# METSÄTIETEELLISEN TUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA

COMMUNICATIONES
INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

MEDDELANDEN FRÅN FORSTLIGA FORSKNINGSANSTALTEN I FINLAND
MITTEILUNGEN DER FORSTLICHEN FORSCHUNGSANSTALT IN FINNLAND
PUBLICATIONS OF THE FOREST RESEARCH INSTITUTE IN FINLAND
PUBLICATIONS DE L'INSTITUT DE RECHERCHES FORESTIÈRES DE LA FINLANDE

18

HELSINKI 1933

# METSÄTIETEELLISEN TUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA

COMMUNICATIONES
INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE

MEDDELANDEN FRÅN FORSTLIGA FORSKNINGSANSTALTEN I FINLAND
MITTEILUNGEN DER FORSTLICHEN FORSCHUNGSANSTALT IN FINNLAND
PUBLICATIONS OF THE FOREST RESEARCH INSTITUTE IN FINLAND
PUBLICATIONS DE L'INSTITUT DE RECHERCHES FORESTIÈRES DE LA FINLANDE

18

HELSINKI 1933

Helsinki 1933. Valtioneuvoston kirjapaino.

# COMMUNICATIONES
# INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE
## 18


18, 1 MIETTINEN, LEEVI, Tutkimuksia harmaalepiköiden kasvusta ..... 1—77, 87—100
Referat: Untersuchungen über den Zuwachs der Weisserlenbestände ..... 78—86

18, 2 JALAVA, MATTI, Puun kosteuspitoisuuden, koon ja muodon muutoksista ..... 1—57
Summary: Changes in the moisture content, volume and form of wood ..... 59—71

18, 3 HYYPPÄ, ESA, Untersuchungen über die spätquartäre Geschichte der Wälder am karelischen Isthmus .... 1—45
Selostus: Tutkimuksia Karjalankannaksen metsien myöhäiskvartäärisestä historiasta sekä muutamia siihen läheisesti liittyviä alueellisia vertailuja 46—51

18, 4 AALTONEN, V. T., Über die postglazialen, natürlichen Veränderungen des Waldbodens in Finnland .... 1—20
Selostus: Suomen metsämaaperän luontaisista muutoksista jääkauden jälkeen ..... 21—22

18, 5 ILVESSALO, YRJÖ, Metsätyyppien esiintyminen eri maalajeilla ..... 1—30
Summary: Occurrence of forest types on the different soils ..... 31—36

18, 6 HERTZ, MARTTI, Tutkimuksia tavallisesta männynneulaspistiäisestä *(Lophyrus pini L.)* ja sen metsätaloudellisesta merkityksestä ..... 1—45
Referat: Die gewöhnliche Kiefernbuschhornblattwespe *(Lophyrus pini L.)* und ihre forstwirtschaftliche Bedeutung ..... 46—53

18, 7 JALAVA, MATTI, Suomalaisen männyn lujuusominaisuuksista ..... 1—130
Summary: Strength properties of finnish pine *(Pinus silvestris)* ..... 131—187

# TUTKIMUKSIA
# HARMAALEPIKÖIDEN KASVUSTA

*LEEVI MIETTINEN*

★

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN
ZUWACHS DER WEISSERLENBESTÄNDE

DEUTSCHES REFERAT

HELSINKI 1932
VALTIONEUVOSTON KIRJAPAINO

# Alkusanat.

Kuten tunnettua, on professori Yrjö Ilvessalo jo aiemmin suorittanut pääpuulajiemme kasvu- ja tuottosuhteita selvittävän tutkimuksen, jonka tuloksena v. 1920 ilmestyivät maamme eteläpuoliskon luonnonnormaalisten mänty-, kuusi- ja koivumetsien kasvu- ja tuottotaulut. Tämän tutkimuksen yhteydessä saatiin myös harmaaleppäkoealoja kerätyksi, mutta aineisto jäi kuitenkin lepän osalta siksi vaillinaiseksi, ettei sen perusteella vielä voitu lepän kasvua selvittää. Kun harmaaleppä on maassamme kuitenkin verraten yleinen puulaji ja esiintyy monin paikoin metsiköitä muodostavana, pidettiin Metsätieteellisessä tutkimuslaitoksessa myös lepän kasvu- ja tuottosuhteiden selvittämistä tarpeellisena. Tutkimuksen suorittaminen jätettiin allekirjoittaneen tehtäväksi.

Esimieheni, prof. Yrjö Ilvessalo on työni kuluessa antanut minulle paljon arvokkaita neuvoja ja ohjeita. Lisäksi hän on tarkastanut käsikirjoitukseni tehden tärkeitä lisäyksiä ja huomautuksia. Lepiköiden kasvillisuuden selvittelyssä olen saanut käyttää hyväkseni dosentti, fil. tohtori Viljo Kujalan suurta asiantuntemusta. Heille molemmille pyydän lausua vilpittömimmät kiitokseni.

Suuressa kiitollisuuden velassa olen myöskin niille monille yhtiöiden toimihenkilöille ja yksityisille maanomistajille, jotka ovat suopeasti työhöni suhtautuneet ja sallineet lepiköissään tutkimuksia suorittaa.

*Tekijä.*

# Sisällysluettelo.


Sivu.

**Harmaalepän leviämisalue** ..... 5
**Katsaus harmaalepän esiintymiseen, metsätaloudelliseen merkitykseen sekä kasvua koskeviin tutkimuksiin eri maissa** ..... 6
**Harmaalepän esiintyminen Suomessa** ..... 20
**Tutkimukset harmaalepiköiden kasvusta ja tuotosta** ..... 25
*Tutkimusaineiston keruu* ..... 25
*Tutkimusaineisto ja sen alkukäsittely* ..... 31
**Tutkimuksen tulokset** ..... 38
*Runkoluku* ..... 38
*Pituus* ..... 44
Valtapituus ..... 44
Keskipituus ..... 47
*Rinnankorkeusläpimitta* ..... 50
Valtapuiden rinnankorkeusläpimitta ..... 51
Keskiläpimitta ..... 53
*Pohjapinta-ala* ..... 56
*Kuutiomäärä* ..... 59
Valtapuiden kuutiomäärä ..... 59
Metsikön kuutiomäärä ..... 62
*Kokonaistuotto ja kuutiokasvu* ..... 67
*Katsaus tutkimuksen päätuloksiin* ..... 73
**Kirjallisuusluettelo** ..... 75
**Kasviluettelot ja valokuvat** ..... 87

**Deutsches Referat** ..... 78

## Harmaalepän leviämisalue.

Harmaalepän (*Alnus incana* L.) leviämisalue on sangen laaja, käsittäen suurimman osan Pohjois- ja Keski-Eurooppaa sekä Länsi-Siperian (C a j a n d e r 1917, s. 391; K ö p p e n 1889, ss. 207—213; W i l l k o m m 1875, s. 292).

Harmaalepän leviämisalueen pohjoisraja on Norjassa 70° 30′ p. lev. tienoilla. Ruotsin ja Suomen Lapissa se kasvaa purolaaksoissa metsänrajalle tai melkein metsänrajalle asti. Kuolan niemimaalla sitä tavataan havumetsävyöhykkeen äärimmäisissä osissa, mutta Kuolan vuonossa ja Ponoi-joen laaksossa ym. vielä koivuvyöhykkeessäkin. Riittämättömien tietojen vuoksi harmaalepän pohjoisrajaa ei tarkasti tiedetä Pohjois-Venäjällä, mutta joka tapauksessa se jää huomattavasti koivun rajan eteläpuolelle.

Harmaalepän itäraja Länsi-Siperiassa on myöskin tuntematon, koska harmaaleppää ei ole erotettu lähisukulaisistaan.

Leviämisalueen eteläraja, joka kulkee Venäjällä hiukan etelämpää kuin kuusen, ylittää Uraalin vuoriston 54° ja 55° välissä, kulkien sitten länteen päin Ufaan sekä seuraavien kuvernementtien kautta: Samara (Sergijewskin tienoilla), Simbirsk (Simbirsk), Pensa (pohjois-osa), Tambow, Rjasan (Kassimow), Tula (pohjoisin osa), Kaluga, Orel (Trubtschewsk), Tschernigow (Nowgorod-Sjewersk), Kijew (pohjoisin osa). Viimeksi mainitusta kuvernementista raja jatkuu Podolian kautta Bessarabiaan, jossa harmaaleppää kasvaa kosteilla paikoilla jokien rannoilla. Täältä raja kulkee Etelä-Siebenbürgiin (Kronstadt) ja Serbiaan, jossa harmaaleppää tavataan hiukan eteläpuolella 44°:tta. Sieltä raja kääntyy luoteeseen, sillä harmaaleppä puuttuu Kroatiasta ja Dalmatiasta, ja seuraa Alppien eteläreunaa Ranskaan, Auvergnen vuoristoon. Ranskassa rajan kulkua ei tarkoin tunneta, vaikkakin harmaaleppä on levinnyt melkein kautta koko maan. Harmaaleppä puuttuu Pyreneitten niemimaalta, mutta tavataan Kaukaasian vuoristossa ja Apenniineilla, aina Faënzaan ja Pisaan (43° 40′) saakka, joka on sen eteläisin esiintymispaikka Euroopassa. Harmaaleppää ei kasva myöskään Isossa Britanniassa.

Harmaalepän optimialueeksi ja kotiseuduksi otaksutaan yleisimmin Itämeren maakuntia (esim. W i l l k o m m 1875, s. 292; G a y e r 1898, s. 115).

## Katsaus harmaalepän esiintymiseen, metsätaloudelliseen merkitykseen sekä kasvua koskeviin tutkimuksiin eri maissa.

Edellä on tehty selkoa vain harmaalepän leviämisalueen rajoista, joten on syytä lähemmin tarkastella sen esiintymistä ja metsätaloudellista merkitystä eri maissa. Samalla selostetaan niitä tutkimuksia, joita sen kasvun selvittämiseksi on suoritettu. Esitystä rajoittaa kuitenkin se seikka, ettei kaikista niistä maista, joissa harmaaleppää kasvaa, ole ollut tietoja saatavana.

### *Ruotsi.*

Harmaaleppä on saapunut Ruotsiin idästä Suomen kautta. Aiemmin on jo mainittu sen kasvavan Ruotsin Lapissa aina metsänrajalle asti. Harmaalepän eteläraja on sangen selvä, kulkien suunnilleen Gävlestä lounaaseen Vätternin pohjoispäähän sekä sieltä Vännernin eteläkärjen kautta länteen Skagerrackin rannalle (Cajander 1917, s. 391; Wahlgren 1922, s. 707). Etelä-Ruotsissa tavataan harmaaleppää nykyään vain hajallaan siellä täällä, mutta se oli siellä varhaisempina aikoina yleinen, kunnes tervaleppä karkoitti sen pohjoisemmaksi (Cajander 1916, s. 627). Sitä tavataan Schotten (1918, s. 27) mukaan yleisemmin Norrlannissa, Taalainmaassa, Vermlannissa ja Vestmanlannissa.

Wahlgren (1922, s. 707) mainitsee harmaalepän luonnonmetsiköiden esiintyvän useimmiten kosteutta läpäisevillä mailla, kuten joki- ja purolaaksojen rinteillä, järvien rannoilla, uudisviljelysten ympärillä, metsänhakkuualueilla ym. Paitsi kosteilla mailla, kuten tervaleppä, se menestyy myös kuivilla ja laihoilla mailla.

Mitään tutkimuksia harmaalepän tuotto- ja kasvusuhteista ei Ruotsissa ole suoritettu (vrt. Schotte 1918, s. 32), lukuun ottamatta muutamia taimistoissa suoritettuja pituusmittauksia. Sollefteån taimitarhan hyvin lannoitetussa maassa harmaalepän pituuskasvu Örtenbladin (1902, ss. 35, 56) mukaan oli seuraava:

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Ikä, v. ..... | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Pituus, cm ..... | 24 | 74 | 145 | 215 |

Sekä raudus- että hieskoivu jäivät pituuskasvussa paljon harmaalepän jälkeen, mutta raita oli sen sijaan nopeakasvuisempi. Örtenblad mainitsee kuitenkin, ettei harmaalepän nopea pituuskasvu ole

pysyvää, vaan vähenee aikaisin eikä se kasva suureksi puuksi, hyvin harvoin 20 m:n pituiseksi.

Wahlgrenin (1922, s. 708) mukaan metsäkorkeakoulun puiston koekentillä keväällä v. 1916 2-vuotisilla taimilla suoritetuissa istutuksissa 10 parasta yksilöä olivat syksyllä 1920 saavuttaneet 6.41 m:n (tervaleppä 5.20 m:n) keskipituuden. Hänkin mainitsee harmaalepän pituuskasvun nopeasti vähenevän, joten se harvoin saavuttaa saman pituuden tai paksuuden kuin tervaleppä.

Kun harmaaleppä kasvaa vain pienikokoiseksi, on puulaadultaan huono sekä monin paikoin juurivesoineen ehkäisee arvokkaampien metsien syntyä, pidetään sitä Ruotsissa vähäarvoisena puulajina (Schotte 1918, s. 32; Wahlgren 1922, s. 709). Sen vuoksi Wahlgren (1922, ss. 709—710) suosittelee niillä seuduilla, joissa todellista metsänhoitoa voidaan soveltaa, harmaalepiköiden muuttamista arvokkaampia puulajeja kasvaviksi. Aukeilla kuloalueilla, kanervakankailla ja lentohietikoilla hän pitää vaatimatonta, maata parantavaa ja nopeakasvuista harmaaleppää erikoisen sopivana arvokkaampien puulajien esikulttuuri-puuna. Samoin olisi harmaaleppävesametsiä kasvatettava hedelmättömillä, kivisillä vesijättömailla, joissa tervaleppä ja koivu eivät viihdy. Lisäksi havupuunuorennoksissa on kohtuullinen harmaalepän sekoitus arvokas sen vuoksi, että harmaaleppä on erinomainen typen kerääjä, ja sen karikkeet muodostavat hyvää multaa.

*Norja.*

Harmaaleppä on saapunut Norjaan idästä ennen mäntyä ja paljon ennen kuusta. Se esiintyy enimmäkseen sekapuuna, mutta myös jossain määrin puhtaita metsiköitä muodostavana yli koko maan. Harmaaleppä oli varhaisempina aikoina laajasti levinnyt ja nykyäänkin se on vielä Norjan monista lehtipuista koivun ja haavan jälkeen tärkein (Skinnemoen 1927, s. 8; *Oplysninger* ... 1930, s. 19).

Myhrwoldin (1928, s. 471) ja Skinnemoenin (1927, s. 37) mukaan harmaaleppä viihtyy parhaiten tuoretta kosteutta sisältävässä syvässä, savipitoisessa ja multaisessa maassa, mutta menestyy myös hyvin kuivassa ja laihassa hiekkamaassa sekä jäykässä savimaassa.

Harmaalepän kasvusuhteita on Norjassakin sangen vähän selvitetty. Huomattavimmat tiedot ovat erään pysyvän koealan mittaustulokset, joita Barth (1924, ss. 16—17), Skinnemoen (1927, s. 38) ja Myhrwold (1928, ss. 678—679) selostavat. Kysy-

myksessä oleva harmaaleppä-metsikkö (koeala N:o 27, Lysaker, Eidsvoll) kasvaa kohtalaisen jyrkällä, savisella, tasaisen kostealla mäellä, joka on aiemmin viljeltyä maata, todennäköisesti vanhaa niittyä. V. 1920, jolloin lepikkö oli 18 v:n ikäinen, sen kuutiomäärä oli ennen harvennusta 176 $m^3$ ha kohden ja harvennuksen jälkeen 109 $m^3$. V. 1923 metsikkö oli tuottanut 206 $m^3$ ja vuotuinen juokseva kuutiokasvu oli ollut 9.98 $m^3$ ha kohden. Metsikön keskipituus oli silloin n. 12 m ja rungot kauniit sekä oksattomat. Barth ei usko kuusen ja männyn helposti pääsevän yhtä suuriin tuloksiin ja pitää todennäköisenä, että harmaaleppä kosteimmilla ja multarikkaimmilla mailla tuottaa yhtä paljon kuin kuusi, joka sellaisilla mailla helposti kaatuu tuulessa, saa juuren katkeamia ja lahoa. Samoin hänen mielestään on uskomatonta, millaisia puumääriä voidaan saada leppävesametsistä 30—35-vuotista kiertoaikaa käyttämällä.

Mainittakoon vielä, että Myhrwoldin (ss. 471—472) mukaan harmaaleppä saavuttaa 15—20 vuoden iällä n. 15 m:n pituuden ja tulee lopulta n. 18 m:n pituiseksi. Lisäksi hän arvelee harmaalepän hakkuuiän olevan n. 60 v:n vaiheilla ja vesametsätalouden kiertoajan 25—30 v.

Harmaaleppää käytetään pääasiallisesti polttopuuksi, jota se lyhyessä ajassa tuottaa melkoiset määrät, varsinkin vesametsätaloutta harjoitettaessa. Kun harmaalepän polttoarvo on alhainen, ei sille suorastaan taloudelliselta kannalta voida antaa mitään suurta sijaa Norjan metsätaloudessa. Mutta seuraavasta selvinnee, että sitä kuitenkin pidetään monessa suhteessa tärkeänä puulajina (Akre 1928, s. 123; Skinnemoen 1927, s. 38).

Kun harmaalepällä on typpeä keräävä ominaisuus, ja lepän lehdet muodostavat nopeasti humusta, valmistavat lepät esikulttuuritaimina hyvän maaperän toisille vaativammille puulajeille tai aivan uusille kulttuureille. Sen vuoksi on harmaaleppää kasvatettu Vaerdalin maanvieremillä ja Rørosin lentohietikoilla (Myhrwold 1928, s. 471). Samoin harmaalepän maata parantaviin ominaisuuksiin vedoten Kierulf kehoittaa käyttämään leppää koivun ohella huonoilla metsämailla vanhempien istutusten aukkoihin ja myöskin uusiin istutuksiin. Samaa oli jo v. 1911 G. Sibbern suositellut tekemään (Kierulf 1925, s. 580). Niin ikään Skinnemoen (1927, s. 78) mainitsee, että Norjassa on huomattavat määrät huonolaatuisia raakahumusmaita, varsinkin kuusimaita, joiden luontainen uudistuminen on suuressa määrin vaikeutunut. Kasvattamalla näillä mailla lehtimetsiä, koivua ja leppää, voidaan niiden humuskerrosta sekä siten myös koko maaperää parantaa ja saada kysymyk-

sessä oleville maille havupuita, koska ne halukkaasti tunkeutuvat lehtimetsiin.

*Tanska.*

Harmaaleppä ei ole alkuaan ollut Tanskan luontainen puulaji, vaan v. Langen toi sen sinne Norjasta v. 1765. Se kotiutui Tanskaan nopeasti, paremmin kuin mikään muu vieras puulaji, ja sen rehevän kasvun vuoksi monet luulivat sitä pitkän aikaa kotimaiseksi puulajiksi. Nykyisin harmaaleppä on verraten laajasti levinnyt, ei kuitenkaan samassa määrin kuin tervaleppä (Vaupell 1863, ss. 40—41; Hauch-Oppermann 1898—1902, ss. 359—360; Petersen 1908, s. 298).

Harmaaleppää pidetään nopeakasvuisena, hallan ja tuulen kestävänä sekä kasvupaikan suhteen vaatimattomana puulajina, joka voi kasvaa melkeinpä minkälaisella maaperällä tahansa, mutta menestyy kuitenkin parhaiten kostealla savimaalla. Sen kasvusuhteita selvitteleviä tutkimuksia ei ole suoritettu.

Varhaisempina aikoina harmaaleppää istutettiin varsinkin valtion metsiin, mutta kun sen tuotto osoittautui pienemmäksi kuin tervalepän ja saarnen, alettiin sitä jonkin ajan kuluttua kuitenkin hävittää. Sen sijaan karuilla seuduilla on siihen oltu tyytyväisempiä. Leppää on suosittu varsinkin nummilla ja hiekkasärkillä, joilla sitä on istutettu esikulttuuripuuksi ja typen kerääjäksi muille aremmille sekä vaativammille puulajeille (Vaupell 1863, s. 41; Wahlgren 1922, s. 707; Laitakari 1931, s. 90). Gyldenstenin tilalla harmaaleppää on istutettu hyvällä menestyksellä laihalle, hiekkapohjaiselle suolle, jota ensin oli turhaan yritetty tervalepällä metsittää (Steenberg 1893, ss. 36—38). Saman tilan padotuilla alueilla se on myöskin kasvanut paremmin kuin mikään muu puulaji, ja Steenberg otaksuu, että sellaisille maille voidaan leppäesimetsän avulla saada pyökkikin kasvamaan. Sabroen (1926, s. 23) mukaan harmaaleppää kasvatetaan usein suojapuuna (»nurses») pyökki- ja tammiistutuksissa.

Paitsi polttopuuna käytetään leppää havupuun puutteessa myös humalaseipäinä, aitapuina ym.

*Hollanti, Belgia ja Ranska.*

Harmaaleppää ei tavata Hollannissa eikä Belgiassa luonnonvaraisena, vaan ainoastaan kulttuurien kautta levinneenä (Willkomm 1875, s. 292).

Ranskassa pidetään harmaaleppää kotimaisena puulajina ainoastaan vuoristoissa (Alpit, Auvergne, Jura, Vogesit), joissa se kasvaa etupäässä jokien varsilla. Muualla sitä tavataan vain kulttuurien välityksellä levinneenä; niinpä Pariisin ympäristöllä, Fontainebleaun ja Compiègnen metsissä, on vain istutettuja lepiköitä (Willkomm 1875, ss. 292—293).

*Saksa.*

Harmaaleppä on Saksassa vähemmän levinnyt kuin tervaleppä, mutta esiintyy kuitenkin kaikkialla, osittain puhtaina, pieninä metsikköinä, osittain myös yhdessä toisten puulajien, kuten pajun, pähkinäpensaan ja valkopyökin kanssa (Gayer 1898, s. 115; Hess 1905, s. 112).

Suurimmassa osassa maata harmaaleppä ei ole ollut alun perin kotimainen puulaji, vaan se on levinnyt kulttuurien välityksellä. Willkommin (1875, s. 293) mukaan se on luonnonvarainen Juran vuoristossa ja Schwarzwaldissa, joissa sitä kasvaa etupäässä jokivarsilla. Luultavasti jokilaaksoja seuraten harmaaleppä on levinnyt myös Reinin laaksoon, jossa se on varsinkin tulva-alueiden (Baselin ja Wormsin välillä) metsien pääpuulajina. Tosin Gayerin (1898, s. 116) ja Rebmannin (1896, s. 364) mukaan myös kulttuurien välityksellä tapahtunut leviäminen on Reinin maissa ja Westerwaldissa sangen huomattava. Sitä vastoin muissa seuduissa, kuten Länsi-, Etelä-, Keski- ja Pohjois-Saksan vuoristoissa sekä Pohjois-Saksan tasangolla tavattavat lepiköt ovat todennäköisesti kylvämällä ja istuttamalla syntyneet ja sitten itsestään edelleen levinneet (Willkomm 1875, s. 293; Busse 1929, s. 270).

Harmaalepän yläraja vuoristoissa on seuraava: Erzgebirgellä 650 m, Harzissa 500 m, Schwarzwaldissa 630 m, Böhmerwaldissa 700 m, Juran vuoristossa 900—1 000 m ja Baijerin alpeilla 1 400 m (Cajander 1917, s. 391).

Tilsitin ja Memelin ympäristöllä harmaaleppä esiintyy hyvin yleisenä ja Willkomm (1875, s. 292) otaksuukin näitä alueita harmaalepän kotiseuduksi. Myöskin Danzigin lähistöllä on laajoja harmaalepiköitä, joiden syntytapaa hän pitää epäselvänä.

Harmaaleppää tavataan etenkin vesistöjen varsilla ja tulva-alueilla. Kasvupaikan suhteen harmaalepällä on yleensä pienemmät vaatimukset kuin tervalepällä. Se menestyy parhaiten hyvin tuoreella, kuohkealla, kalkkipitoisella ja kohtalaisen syväpohjaisella maalla, mutta viihtyy myös laihoilla vierinkivimailla, soraisilla puronvarsilla, vieläpä vuorenrinteillä ja -harjanteilla. Maan ja ilman

kosteuden suhteen harmaaleppä on tervaleppää vaatimattomampi (Gayer 1898, ss. 115—117; Hess 1905, s. 112; Busse 1929, s. 270).

Harmaalepän normaalista kasvua selvittelevää tutkimusta ei ole Saksassa suoritettu. Seuraavassa esitetään kuitenkin sikäläisestä kirjallisuudesta tavattuja ylimalkaisia mainintoja sen kasvusta.

Harmaaleppä kasvaa suoraksi, solakaksi ja vähemmän pensasmaiseksi puuksi kuin tervaleppä, mutta ei saavuta sen pituutta eikä vahvuutta. Harmaaleppä on nuorena nopeakasvuisempi kuin tervaleppä, mutta sen kasvu hidastuu aikaisemmin. Pituuskasvu on varhaisemmalla iällä suurempi kuin tervalepän, usein jo ensimmäisenä vuonna 0.5 m, toisena jopa yli 1 m:n. Harmaaleppä saattaa muodostaa tiheitä metsiköitä ja voi tuottaa korkeita kuutiomääriä. Sen kuutiokasvun mainitaan olevan siemennysikään (15 v.) saakka lähimain kaksi kertaa suuremman kuin tervalepän, joka kuitenkin myöhemmin tavoittaa harmaalepän. Sen elinikä on lyhyempi kuin tervalepän, tuskin enempää kuin 40—50 v. ja yli 40-vuotisena harmaaleppä on taipuvainen lahovikaisuuteen. Lisäksi on havaittu kasvupaikan erilaisuuden vaikuttavan vähemmän harmaalepän kuin tervalepän kasvuun (Willkomm 1875, s. 291; Hess 1905, s. 112; Busse 1929, s. 270; Dittmar 1929, s. 205; *Handbuch* ... 1926, s. 764).

Edellä jo mainittiin, että harmaaleppä on levinnyt suurimpaan osaan Saksaa kulttuurien välityksellä. Sen kasvattaminen, joka on viime aikoina ollut yhä laajenemaan päin, perustuu harmaalepän muista puulajeista eriäviin ominaisuuksiin. Varsinkin sen vaatimattomuus kasvupaikan suhteen, viihdyntä kalkkipitoisella maalla ja maata parantava ominaisuus ovat tehneet mahdolliseksi monen vaikeasti metsitettävän alueen valtaamisen muille arvokkaammille puulajeille. Siten harmaalepällä on pääasiallisesti vain välillinen merkitys Saksan metsätaloudessa, jota vastoin sen kasvattaminen varsinaisesti puun saantia varten on jäänyt siinä ohessa aivan takaalalle. Varhaisempina aikoina viimeksi mainittu tarkoitus on saattanut olla yksinomaisenakin päämääränä, varsinkin metsäköyhillä seuduilla (vrt. Pfeil 1860, s. 338). Niinpä Borgmann (1895, s. 217) kertoo, että Hessen-Nassaussa, Schwarzenbornin kaupungin metsiin istutettiin nopeakasvuista harmaaleppää v:n 1840 vaiheilla pääasiallisesti sen vuoksi, että siihen aikaan pelättiin puun puutteen syntymistä.

Varsinkin autioiden ja huonotuottoisten maiden metsittämiseen pidetään harmaaleppää sopivana. Allersin (1922, s. 253) mukaan sitä on tähän tarkoitukseen ensin käytetty suuressa määrin

Hessen-Nassaussa, Eisenachin lähistöllä, josta sitten oppi harmaalepän maata parantavasta ominaisuudesta on muualle levinnyt. Samoin sitä on menestyksellisesti istutettu Etelä-Saksan Juran alueen autiomaille esimetsäksi etupäässä pyökille ja jalokuuselle (Mang 1922, s. 140). Myöskin Baijerissa, Münchenin ympäristöllä, on harmaalepällä metsitetty nunnaperhosten aiheuttamien vahinkojen johdosta syntyneitä laajoja, paljaita alueita (*Handbuch* ... 1926, s. 764).

Paitsi kovien maiden on myös soiden metsittämiseen käytetty harmaaleppää. Niinpä Eulefeldin (1922, s. 335) mukaan Keski-Saksassa, Ylä-Hessenissä, jo viime vuosisadan keskivaiheilla istutettiin harmaaleppää paljon korpimaille, jotka se ajan pitkään kuivatti ja siinä määrin paransi, että niille myöhemmin istutetut kuusimetsiköt ovat menestyneet mainiosti.

Kun harmaaleppä viihtyy hyvin kalkkipitoisella maalla, on sitä istutettu useille autioille kalkkimaille esi- ja suojametsäksi myöhemmin kasvatettaville puulajeille, pyökille, saarnelle ja vuorivaahteralle (Früchtenicht 1927, ss. 490—495). Ilmin ja Saalen kalkkialueilla on leppää kasvatettu esimetsänä kuuselle, joka viihtyy hyvin sen lievässä varjossa (Heyer-Hess 1909, s. 88). Stassenin ja Behrischin (1925, ss. 490—494) tutkimusten mukaan harmaaleppä onkin kalkkialueiden metsittämiseen yleisesti käytettyä mustamäntyä sopivampi, koska harmaaleppä on parempi humuksen muodostaja ja lisäksi typen kerääjä.

Maata parantavan ominaisuutensa vuoksi harmaaleppää on viime aikoina ruvettu käyttämään mäntymetsiköiden sekapuuna ja niiden alikasvoksena, samoin mäntykulttuurien aukkojen täytepuuna. Sitä on myös istutettu suojapuuksi kuuselle, jalokuuselle, saarnelle ja tammelle, koska se nopeakasvuisena ja helposti kasvatettavana 2—3 v:ssa muodostaa esimetsän, jonka lievään varjoon sitten edellä mainitut puulajit voidaan istuttaa (Dittmar 1929, s. 205; Busse 1929, s. 270; Hess 1905, s. 113).

### *Sveitsi.*

Harmaaleppä kuuluu Sveitsin luontaisiin puulajeihin ja on siellä hyvin laajasti levinnyt. Sitä tavataan kaikenlaisella maaperällä, kuten alkuvuorilla, kalkki-, hiekkakivi- ja liuskemailla. Harmaaleppä on jokien tulva-alueiden pääpuulaji, peittäen laajoja aloja Alppien etelä- ja pohjoisrinteillä. Vesistöjä seuraten se nousee verraten korkealle vuoristoon. Alppien etelärinteillä harmaaleppä kasvaa luontaisena 1 500—1 550 m:n, vieläpä 1 680 m:n (Reichen-

bachtal) korkeudelle saakka, jota vastoin pohjoisrinteillä sen yläraja on n. 1 400 m. Keinollisesti perustettuja, hyvin menestyneitä harmaaleppä-metsiköitä tavataan kuitenkin vielä edellä mainittujen luontaisten rajojen yläpuolella (Fankhauser 1902, ss. 33—34; 1930, ss. 405—406).

Vaikkakin harmaaleppä mielellään kasvaa vesistöjen varsilla, ei sen hyvälle menestymiselle ole ensi sijassa välttämätöntä tuore tai kostea maa. Olosuhteiden mukaan se saattaa viihtyä sangen kuivallakin maalla ja kasvaa siellä yhtä hyvin kuin purojen varsilla. Paljon tärkeämmäksi on sitä vastoin havaittu maaperän kuohkeus, jota varsinkin kivimurskasekoitus edistää. Sen vuoksi harmaaleppää tavataan jokilaaksoissa, rapautumissoran kasautumilla (Schuttkegeln) vuorten ja kallioiden juurilla, soraisilla rinteillä ym. vastaavanlaisilla paikoilla, joissa on hyvä ilmanvaihto ja esteetön vedenkulku (Fankhauser 1902, ss. 35—36; 1930, s. 406).

Siitä huolimatta, että harmaaleppä on Sveitsissä sangen yleinen, ei sielläkään ole suoritettu sen kasvua selvitteleviä tutkimuksia. Harmaaleppää pidetään tosin nopeakasvuisena, mutta havainto perustunee yksinomaan pituuskasvua koskevien mittaustulosten varaan, jotka ovat samalla myöskin ainoat kirjallisuudesta tavatut, harmaalepän kasvua valaisevat tiedot. Niitäkin on vain kahdesta istuttamalla syntyneestä metsiköstä (Fankhauser 1902, ss. 77—78; 1930, s. 406). Toinen kysymyksessä oleva, pinta-alaltaan n. 3 ha:n suuruinen harmaalepikkö oli istutettu vuosina 1892—1893 istutusväliä 1 × 1 m käyttämällä pelkkää soraa ja hiekkaa sisältävälle maaperälle. Lepikön kasvu ylitti kaikki odotukset, sillä jo 10-vuotisena vanhin kulttuurin osa oli 8—9 m:n pituista ja yleensä reheväkasvuista. Fankhauser mainitsee, etteivät mänty- ja kuusi-istutukset olisi samassa ajassa päässeet yhtä hyviin tuloksiin. — Kuohkealla ja riittävän kostealla maalla harmaalepän pituuskasvu on erikoisen nopea. Niinpä eräässä Aare-joen tulva-alueen lepikössä, Wildeggin lähistöllä, istutusaikana 40—50 cm:n pituiset lepät olivat kasvaneet kolmen vuoden kuluttua 5 m:n pituisiksi.

Varhaisempina aikoina pidettiin Sveitsissä kaikkia sikäläisiä leppälajeja, harmaaleppää, tervaleppää ja vuorileppää *(A. viridis)* ala-arvoisina puulajeina. Kun sittemmin leppien maata parantava vaikutus tuli tunnetuksi, kohosi niiden metsätaloudellinen arvo ja käyttö suuresti. Ehdottomasti tärkein on harmaaleppä, jonka metsänhoidollisessa suhteessa erinomaiset ominaisuudet laajan leviämisen ohella takaavat sille sijan heti pääpuulajien jälkeen. Tervalepän merkitys on siis siellä vähäisempi kuin harmaalepän, ts. päinvastoin kuin yleensä muissa maissa *(Die forstlichen* ... 1925, s. 92; Fankhauser 1902, s. 33; 1930, ss. 403, 407).

Harmaalepän päämerkitys on siinä, että sitä käytetään ylätasangolla suojapuuna ja vuoristossa uusilla metsitettävillä alueilla esimetsänä sekä että se lisäksi on hyvä maan sitoja. Verrattomana suojapuuna sitä pidetään varsinkin seuraavien ominaisuuksiensa vuoksi: erinomaisen pienet vaatimukset maaperän laadun ja kosteuden suhteen, oivallinen maan parantaja, nopeakasvuinen, tehokas suojaamaan hallalta ja kuumuudelta, ei tukahduta varjossaan kasvavia puulajeja (*Die forstlichen* ... 1925, s. 92; Fankhauser 1902, s. 77).

Vuoristossa on harmaalepästä suurta hyötyä sen johdosta, että se sitoo luhistuneet rinteet ja suojaa niitä huuhtoutumiselta. Sellaisille alueille, joissa vesistö pitkän ajan on kasannut kulkumaata tai luhistunut sorakasautuma pysähtyy paikoilleen, harmaaleppä ilmestyy ensimmäisenä puulajina kasvamaan pelkälle soralle tai raakamaalle, josta puuttuu humus. Sen jälkeen kun se on parantanut maan, muutkin puulajit voivat sellaisilla mailla kasvaa. Esimetsälepikköön saapuu varsinkin kuusi mielellään ja kuusen tapaakin sangen usein tällä tavalla nuorentuneena. Myöskin jalokuusi ja pyökki viihtyvät harmaalepän varjossa melkein yhtä hyvin (Fankhauser 1902, ss. 37, 74—77).

Kulttuurien toimittaminen hallaseuduilla, laihoilla autiomailla, vahvasti ruohottuneilla hakkuualoilla, hedelmättömillä hietikoilla tai maanvieremä-rinteillä ym. on vaikeaa, usein mahdotontakin ilman harmaalepän apua. Leppä-esimetsän kasvattaminen on sekä helppoa että varmaa, ja sen alle istutettuna menestyvät sitten kuusi, jalokuusi tai pyökki; usein saadaan näitä puulajeja lepikköön jo luonnonsiemennyksestäkin (Fankhauser 1902, s. 77; P....y 1906, ss. 19—22). Hyvällä menestyksellä on käytetty myös sitä tapaa, että leppäistutuksiin jo alusta alkaen sekoitetaan havupuita, varsinkin kuusta, lehtikuusta ja mäntyä, joiden kasvua leppä jouduttaa (M. 1904, ss. 73—74).

### *Itävalta.*

Itävallassa pehmeitä lehtipuita, niiden joukossa harmaaleppää, tavataan etupäässä Ala-Itävallassa, mutta suuressa määrin myös Ylä-Itävallassa, Salzburgissa, Steiermarkissa ja Tyrolissa. Alpeilta, joilla harmaaleppä kasvaa luontaisena pääasiallisesti vesistöjen varsilla, se on jokilaaksoja seuraten levinnyt Ala-Itävaltaan Tonavan laaksoon. Siellä se, varsinkin Wienin lähistöllä, muodostaa tulva-alueiden metsien pääpuulajin (Marchet 1919, s. 23; Willkomm 1875, s. 293; Christian 1929, ss. 149—151).

Harmaaleppä kasvaa etupäässä purojen ja jokien rannoilla sekä soistumattomilla jokien tulvamailla, mutta menestyy myös kuivalla maalla, lisäksi vuorten rinteillä ja harjanteilla, kummuilla ym. (Willkomm 1875, s. 294).

Harmaalepän kasvua mainitaan nopeaksi, vaikkakaan sitä koskevia tutkimuksia ei ole ainakaan kirjallisuudessa julkaistu, lukuun ottamatta niitä vähäisiä tietoja, jotka Hampel (1884, ss. 188—190) esittää eräältä koealalta. — Kyseessä oleva 4 aarin suuruinen koeala (N:o I) oli otettu hyvin eri-ikäisestä harmaalepiköstä, jonka alikasvoksena oli 3 m:n pituista kuusta. Lepikkö kasvoi syväpohjaisella, multaisella ja hiukan kostealla, paikoin märällä kalkkipohjaisella maalla. Metsikön keski-ikä oli 22 v., runkoluku 2 250 kpl. ja kuutiomäärä 62 $m^3$ ha kohden. Lepän kasvun selvittämiseksi on laskettu ainoastaan keskimääräiset pituus- ja läpimittakasvut. Näistä esitetään seuraavassa taulukossa vain muutamiin ikäkausiin kohdistuvat luvut:

| Ikä, v. | Keskimääräinen vuotuinen pituuskasvu, m | Keskimääräinen vuotuinen läpimittakasvu, cm |
|---|---|---|
| 10..... | 0.43 | 0.65 |
| 15..... | 0.45 | 0.56 |
| 20..... | 0.39 | 0.53 |
| 25..... | 0.34 | 0.51 |
| 30..... | 0.31 | 0.50 |
| 35..... | 0.28 | 0.49 |

Tonavan tulva-alueilla kasvatetaan harmaaleppää yleensä sekaisin tuomen kanssa, pääasiallisesti alikasvoksena välimetsissä, joissa ylispuina ovat saarni, tammi ja poppeli. Nopeakasvuiset leppävesametsät tuottavat 15—30-vuotista kiertoaikaa sovelluttamalla sangen suuret määrät polttopuuta, johon tarkoitukseen leppäpuuta yksinomaan käytetään. Tarkoituksena mainitaan kuitenkin olevan lähiaikoina luopua yksinomaisesta polttopuun kasvatuksesta ja muuttaa myös lepiköt arvokkaammiksi puulajeiksi (Drapal jun. 1928, s. 8).

Samoin kuin muissa maissa, käytetään Itävallassakin harmaaleppää vaikeasti metsitettävillä alueilla esimetsänä. Niinpä Vorreithin (1928, ss. 79—80) mukaan Tyrolissa, Schwazin ympäristöllä, ryhdyttiin jo n. 30 v. sitten metsittämään vuorikaivosrinteitä harmaalepän avulla. Kaivostöissä syntyvien rouhekasojen metsittämisen jättäminen luonnon tehtäväksi saattaisi kestää vuosisatoja ennen kuin niissä olisi puiden kasvulle riittävä määrä humusta. Sen

vuoksi ruvettiin rouhekasoja keinollisesti metsittämään ja aluksi käytettiin vaatimattomia mäntylajeja, mutta metsitysten epäonnistuttua siirryttiin harmaaleppä-esikulttuureihin, jolloin työ saatiin oikealle pohjalle.

Maata parantavan ominaisuutensa vuoksi harmaaleppä on osoittautunut sopivaksi esimetsäpuuksi myös ruohottuneilla mailla (D r a p a l jun. 1928, s. 9).

H a m p e l (1884, ss. 188—191) pitää harmaaleppää hyödyllisenä metsikön suojapuuna ja hän valaisee sen käytön edullisuutta kahden koealan perusteella tekemillään laskelmilla.

*Puola ja Venäjä.*

Puolassa harmaaleppä esiintyy paikoitellen kaikkialla, mutta varsinkin kosteilla paikoilla metsissä ja soisilla jokivarsilla. Varsovan ja Lowiczin välillä se muodostaa suurehkoja metsiköitä. Lisäksi sitä tavataan Pinskin alueella (K ö p p e n 1889, s. 212).

Venäjällä harmaaleppä on myös verraten yleinen. Niinpä sitä tavataan Minskin alueella ja melkoisen laajasti levinneenä Mohilewin kuvernementissa. Smolenskin ja Moskovan kuvernementeissa se on hyvin yleinen ja peittää usein suuria aloja yksinään. Edelleen sitä tavataan Wladimirin ja, todennäköisesti vain paikoitellen, Nishnij-Nowgorodin kuvernementeissa. Harmaaleppää kasvaa myös Kasanin, Permin ja Wjatkan kuvernementeissa; viimeksi mainitulla alueella se on hyvin laajasti levinnyt. Mitä pohjoisemmaksi siirrytään, sitä yleisemmäksi harmaaleppä käy ja sitä tavataan etupäässä paremmilla, ei varsin kosteilla mailla. Tavallisesti se kasvaa peltojen pientareilla, teiden varsilla ja jokien rantamilla, usein tiheinä metsikköinä ja hyljätyt pellot lyhyessä ajassa täydellisesti metsittävänä, kuten esim. Pietarin kuvernementissa (K ö p p e n 1889, s. 212).

Puolalaisesta ja venäläisestä kirjallisuudesta ei ole tavattu muita harmaaleppää koskevia tietoja.

*Liettua.*

Harmaaleppä kuuluu koivun ja haavan jälkeen Liettuan eniten levinneisiin lehtipuihin. Monin paikoin, kuten esim. Kiejdanyn, Schaulenin, Wilkomierzin ja Johanischkelen alueella sekä Marjampolin ja Sapiezyczkin välillä nämä puulajit yhdessä muodostavat kokonaisia metsiköitä ja vielä suuremmassa määrin pensasmetsiköitä. Haapa-, koivu- ja leppämetsiköiden hallussa on laajat alat pääasiallisesti yksityismetsissä, ja ne ovatkin yksityismaiden pääpuulajit (W e b e r 1918, ss. 4—5; K ö p p e n 1889, s. 212).

Harmaalepän suuren leviämisen on aiheuttanut sen vesomiskyvyn ahkera hyväksi käyttäminen sekä usein toistuvat, laajat paljaaksihakkaukset, joiden jälkitoimenpiteet on laiminlyöty. Lepän runsaus johtuu myös siitä, että Liettuan metsämailla on sille tarjona yleensä suotuisia kasvupaikkoja. Sitä todistaa Weberin (1918, ss. 9, 11) mukaan lepän kasvu, joka Liettuassa on melkoisen suuri, paljon suurempi kuin Länsi-Saksassa. Lisäksi silmiin pistävää on lepiköiden moitteettoman solakat, sileät rungot sekä niiden suuri runkoluku, vieläpä vanhoissakin metsiköissä.

*Latvia.*

Harmaaleppä on levinnyt yli koko Latvian, mikä johtuu sen suuresta mukaantumis- ja nuorentumiskyvystä sekä kasvuvoimasta. V. 1925 harmaalepiköiden kokonaispinta-ala valtion metsissä oli 3 962 ha eli 0.3 % kokonaismetsäalasta. Pääosa valtion mailla kasvavista lepiköistä sijaitsee Kuurinmaan Aajoen yläjuoksun varrella, etenkin Bausken, Würtzaun, Banckaushofin ja Kautzmünden hoitoalueissa, joissa harmaalepällä on huomattava merkitys. Kun varsinkin jokivarret tarjoovat sille suotuisia kasvupaikkoja, tavataan leppää muidenkin jokien, kuten Liivinmaan Aan, Peddetzin, Ogerin sekä toisten pienempien jokien alueilla (Ozols ja Hibners 1927, ss. 43—44, 156—157).

Harmaaleppä kasvaa erittäinkin niittyjen, peltojen ja laidunmaiden reunamilla. Myöskin paljaaksihakkausaloille se ilmestyy mielellään, mutta kun se siellä useimmiten jää vain pensaaksi, on siten syntyneillä lepiköillä ainoastaan vähäinen arvo. Sitä vastoin sopivilla kasvupaikoilla, kuten hyvillä savensekaisilla, runsaasti humusta ja kalkkia sisältävillä mailla tavataan monesti metsätaloudellisesti arvokkaita lepiköitä (Ozols ja Hibners 1927, ss. 43, 156).

Kun harmaalepällä on monin paikoin huomattava metsätaloudellinen merkitys, on pidetty tarpeellisena sen kasvun ja tuoton selvittämistä. Siinä tarkoituksessa Ozols ja Hibners (1927, ss. 44—52, 157—159) ovat ottaneet 13—40 v:n ikäisistä lepiköistä 15 koealaa, joiden suuruus vaihteli 0.05—0.10 ha:iin.[1]) Koepuita otettiin 5—14 kpl. kultakin koealalta ja ne kuutioitiin 2 m:n pätkissä sekä piirrettiin koealojen pituus- ja kuutiokäyrät. Koealatulosten perusteella laadittiin myös normaalisten harmaalepiköiden tuottotaulukko valtametsikölle (Hauptbestand), joka esitetään seuraavassa:

[1]) Lepiköiden syntytapaa ei ole mainittu.

| Metsikön | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ikä, v. | runkoluku ha:lla, kpl. | pohjapinta-ala, $m^2$ | keskipituus, m | keskiläpimitta, cm | järeän puun (8 + cm) kuutiomäärä ha:lla, $k.-m^3$ | keskimäär. vuotuinen kasvu, $k.-m^3$ |
| 10 | 12 000 | 25.0 | 7.5 | 5.0 | 110 | 11.0 |
| 15 | 6 500 | 28.3 | 10.0 | 7.5 | 170 | 11.3 |
| 20 | 4 400 | 30.3 | 12.0 | 9.4 | 195 | 9.7 |
| 25 | 4 000 | 32.5 | 14.0 | 10.1 | 220 | 8.8 |
| 30 | 3 600 | 35.0 | 16.0 | 11.1 | 247 | 8.2 |
| 35 | 2 700 | 35.5 | 17.5 | 12.7 | 275 | 7.8 |
| 40 | 1 800 | 35.5 | 19.0 | 15.8 | 302 | 7.5 |

Kuten taulukosta ilmenee, harmaalepän kasvu on sangen hyvä. Niinpä Ozols ja Hibners mainitsevatkin, että Latviassa ei ole toista puulajia, joka 20. ikävuoteen mennessä saavuttaisi saman pohjapinta-alan, kuutiomäärän ja kasvun kuin harmaaleppä. Se ei kasva Latviassa vanhaksi; n. 40 v:n vanhoissa metsiköissä oli jo 40 % puista sydänlahoisia.

Harmaaleppätalouden kannattavaisuuden ja edullisimman hakkuuajan määräämiseksi Ozols ja Hibners ovat laskeneet myös metsiköiden rahallisen tuoton eri ikäkausina, jolloin on otettu huomioon, että harmaaleppää käytetään Latviassa yksinomaan polttopuuksi. Laskelmien mukaan osoittautui edullisimmaksi kiertoajaksi 15 v., joissakin tapauksissa hiukan alle tai yli, mutta yli 20 v:n hakkuuikä ei voi mennä ilman rahallisia tappioita. Alhaisen kiertoaikansa vuoksi harmaaleppä soveltuu mainiosti polttopuun kasvatukseen, joten vähämetsäisissä seuduissa, joissa on suuri polttopuun kysyntä, harmaalepiköiden muuttaminen muiksi puulajeiksi olisi taloudellisesti epäedullista. Suuri etu on myöskin se, että pientilalliset voivat nopeasti kasvattaa polttopuunsa omalla tilallaan.

Kuten Ozols ja Hibners huomauttavat, harmaalepällä on lyhyen kiertoaikansa lisäksi muihin puulajeihin verrattuna se tärkeä etu, että lepän kasvattaminen on helppoa ja varmaa. Paitsi sitä, että leppä luontaisestikin uudistuu nopeasti, voidaan sitä myös keinollisesti hyvällä menestyksellä nuorentaa, se ei ole tulen arka eikä kärsi hyönteisistä, tuulesta ym. Lisäksi on muistettava harmaalepän muut hyvät ominaisuudet, kuten erinomainen maata parantava vaikutus ja suhteellinen vaatimattomuus.

*Eesti.*

Harmaaleppä on levinnyt yli koko Eestin, puuttuen vain soilta ja hietikoilta. Sitä tavataan useimmiten ainoastaan laidunmailla,

kun taas suurilla metsäalueilla harmaaleppä kasvaa vain avonaisilla tienreunoilla ja jokivarsilla. Se menestyy hyvin tuoreilla multamailla, jotka eivät ole liian kosteita, samoin matalapohjaisilla, sorarikkailla moreeniharjanteilla sekä kaikilla hiekkasavi- ja savihiekkamailla (Mathiesen 1926, s. 39; Raukas 1930, ss. 84—85).

Harmaaleppä on sekä pien- että suurtilojen tavallisin puulaji, joka tuottaa huomattavan osan taloudessa tarvittavasta polttopuusta. Harmaalepän laaja levinneisyys tilojen metsissä johtuu sen suuresta kestävyydestä ja hyvästä uudistumiskyvystä, joten se ei ole yhtä arka virheellisille hakkauksille ja metsikön kehitystä alkuvuosina haittaavalle laiduntamiselle kuin muut puulajit (Raukas 1930, ss. 84—85).

Pärnumaan tilojen metsiä koskevassa tutkimuksessaan Raukas (1930, ss. 85—88, 124—127) on selvittänyt myös harmaaleppävesametsien kasvua. Tässä tarkoituksessa on mitattu kaikkiaan 9 koealaa, joiden suuruus vaihteli 1—10 aariin. Koealat mainitaan otetun täysitiheistä, koskemattomista lepiköistä, joiden ikä vaihteli 6—32 v:een; vanhempia metsiköitä ei tavattu. Vaikka koealoja otettiin erilaisilta kasvupaikoilta, ei lepiköiden kasvussa havaittu kuitenkaan eroa, joten tulokset yhdistettiin. Koepuita mitattiin 1—5 kpl. kultakin koealalta ja puut kuutioitiin 1 m:n pätkissä. Tutkimuksen tulokset on esitetty vain graafisin piirroksin, mutta paremman yleiskatsauksen saamiseksi on piirrosten perusteella mahdollisimman tarkasti laadittu seuraava taulukko, josta nähdään tärkeimmät harmaalepän kasvua koskevat numerotiedot.[1])

| Metsikön | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ikä, v. | runkoluku ha:lla, kpl. | pohjapinta-ala, m² | pituus, m | rinnankork. läpimitta, cm | kuutio-määrä (ilman oksia), m³ | keskimäär. vuot. kuutiokasvu, m³ |
| 10 | 14 300 | 23.0 | 6.2 | 4.5 | 73 | 9.8 |
| 15 | 11 700 | 31.2 | 8.8 | 7.1 | 137 | 10.3 |
| 20 | 7 850 | 34.7 | 11.1 | 9.5 | 184 | 10.2 |
| 25 | 3 800 | 35.9 | 12.9 | 11.4 | 224 | 9.7 |
| 30 | 2 140 | — | 14.8 | 13.3 | 248 | 9.0 |
| 35 | — | — | 16.5 | 14.5 | — | 7.9 |

[1]) Taulukossa esiintyvät otsikot ovat samat kuin kysymyksessä olevan tutkimuksen piirroksissa. Tutkimuksesta ei selviä, tarkoittaako tekijä »metsikön pituudella» keskipituutta vaiko valtapituutta. »Rinnankorkeusläpimitta» tarkoittanee metsikön keskiläpimittaa.

Kuten taulukosta ilmenee, harmaalepiköiden kasvu on Eestissäkin sangen suuri. Taulukon luvut koskevat tosin vesametsiä, mutta Raukas otaksuu, että siemenestä syntyneet lepiköt eivät kasvunsa puolesta niistä ainakaan suuresti eroa. Keskimääräisen vuotuisen kuutiokasvun suhteen kuitenkin huomautettakoon, että siihen sisältyy myös oksien kasvu ja että oksien osuus kokonaiskuutiomäärästä on 15—30 v:n iällä n. 10 %. Lisäksi nähdään, että suurin kasvu, n. 10 $m^3$, on 15—20 v:n tienoilla ja sopivimpana pienen polttopuun kiertoaikana Raukas pitääkin 20 v., järeämmän polttopuun saamiseksi kuitenkin pitempää, 25 v:n kiertoaikaa. Lisäksi hän mainitsee, että harmaalepän suuren kuutiokasvun ja kohtalaisen polttoarvon vuoksi muut puulajit eivät pysty sen kanssa kilpailemaan polttopuun kasvatuksessa. Jo parin hehtaarin suuruinen laidunmaan osa, johon järjestettäisiin vakituinen polttopuun kasvatus, saattaisi Raukasin mukaan tyydyttää keskikokoisen tilan polttopuun tarpeen. Kuitenkin harmaalepiköiden perustaminen tulisi vasta sitten kysymykseen, kun arvokkaampien puulajien kasvattaminen jostakin syystä olisi mahdotonta. Mutta niin kauan kuin tilojen arvokkaammat metsän osat ovat järjestämättä ja niiden nykyinen käyttö järkiperäistyttämättä, Raukas suosittelee harmaaleppää polttopuuna kasvatettavaksi, sitäkin suuremmalla syyllä, koska sen kasvatus ei kysy kovinkaan suurta taitoa.

## Harmaalepän esiintyminen Suomessa.

Harmaalepän saapuessa maahamme idästä, olivat koivu ja mänty ehtineet jo vallata itselleen sellaiset paikat, jotka ovat niille suotuisia. Sopivia kasvupaikkoja harmaaleppä löysi vielä lihavimmista lehtomaisista laaksoista ja rinteiltä, soiden laidoilla olleista korpimaisista paikoista, joissa oli liikkeessä olevaa kosteutta, mutta varsinkin vesistöjen varsilta, joissa se muodosti useasti kapeita rantametsiä. Viimeksi mainituilta kasvupaikoilta harmaalepän oli kuitenkin vähitellen väistyttävä myöhemmin saapuneen, isommaksi puuksi kasvavan ja runsaammin varjostavan tervalepän tieltä, mutta sen haltuun jäi kuitenkin pääasiallisesti maan itä- ja keskiosan vesistöjen varret, jota vastoin paremmin meri-ilmastoa vaativa tervaleppä valtasi kasvupaikkoja maamme eteläiseltä ja varsinkin lounaiselta rannikkoalueelta (Cajander 1916, ss. 627—628, 632, 691; Heikinheimo 1915, ss. 119, 121).

Harmaaleppä on siis ollut alkuaan verraten harvinainen, eivätkä kulotkaan, jotka ovat suuresti vaikuttaneet muiden puulajiemme

keskinäiseen valta-asemaan, pystyneet huomattavammin edistämään sen leviämistä. Vasta sitten, kun maassamme ryhdyttiin harjoittamaan kaskiviljelystä, harmaaleppä pääsi suuremmassa määrin leviämään ja valtaamaan uusia kasvupaikkoja kaskiahoista, koska se voi tulla toimeen myös verraten kuivalla kasvupaikalla (Cajander 1916, s. 627; 1917, s. 399). Harmaalepän leviäminen on siis läheisesti riippunut kaskeamisesta ja vielä nykyisinkin tavataan lepiköiden pääosa entisillä kaskiviljelysalueilla. Tutkiessaan kaskiviljelyksen vaikutusta Suomen metsiin, on Heikinheimo (1915) selvitellyt myöskin syitä harmaalepän yleisyyteen. Niistä tehdään selkoa seuraavassa.

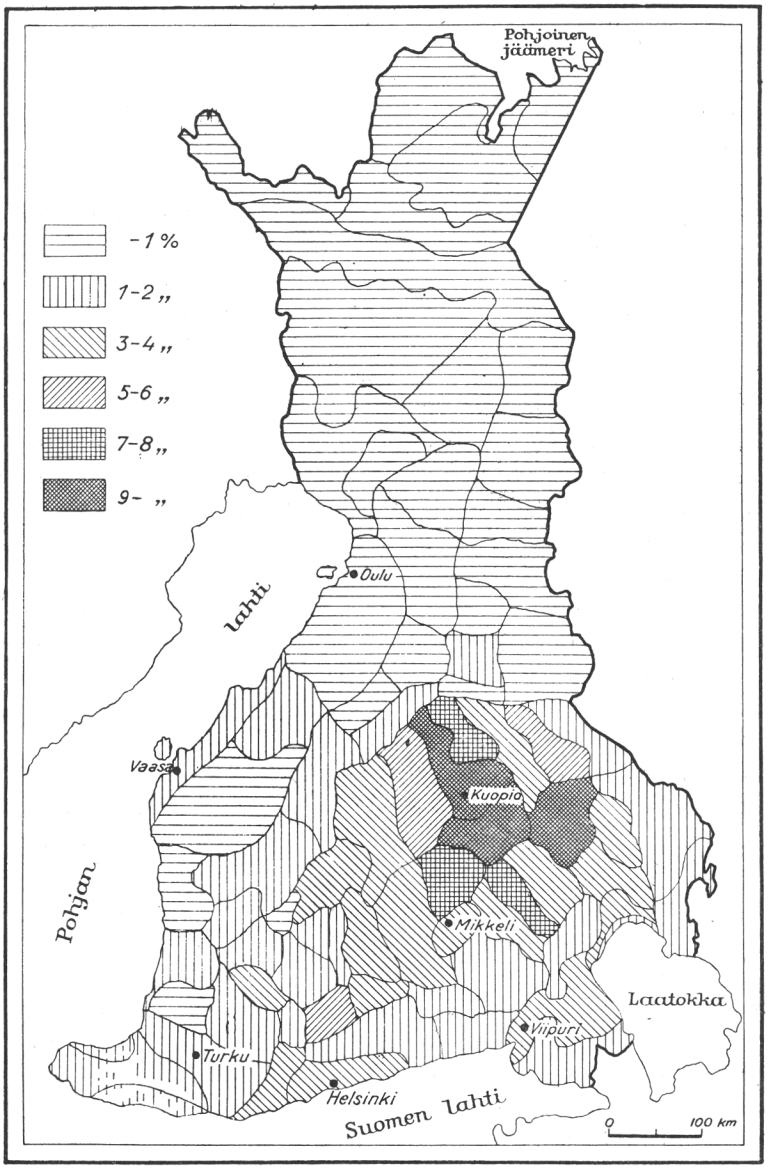
Luonnonmetsissä toimitetut kaskeamiset ns. ylipaloviljelykset eivät ole vaikuttaneet sanottavasti harmaalepän leviämiseen, sillä pitempi ikäiset puulajit ehtivät ennen seuraavaa kaskeamista lepän tukahduttaa. Päämerkitys on sitä vastoin ollut varsinaisissa kaskimetsissä suoritetulla kiertokaskiviljelyksellä, jossa sama ala poltettiin jotenkin säännöllisesti, tavallisimmin metsikön saavuttaessa 15—25 v:n iän (ss. 187, 249). Kun varhaisempina aikoina ei kaskettaessa jätetty varsinaisia siemenpuita, jäi kaskialueen metsittyminen reunametsän siemennyksen varaan (s. 129). Reunametsästä oli tapana hävittää kaikki havupuut, jotta ne eivät olisi päässeet kaskiahoa siementämään, vaan lehtipuut, joista syntyvä metsä voitiin nopeammin uudelleen kaataa kaskeksi. Myöskin taloudessa käytettiin havupuuta moneen tarkoitukseen, jota vastoin ala-arvoisinta puulajia, leppää, tarvittiin kaikkein vähimmin (ss. 249—250). Kun lisäksi kaskiviljelyksen ensimmäiset laajemmat keskukset olivat lehtoseutuja ja muita tuoreita maita, oli harmaaleppä tietenkin hyvin yleinen reunametsän puulaji ja siis kaskiahojen siementäjä (s. 121). Mutta lepällä on myös ominaisuuksia, joiden avulla se pystyi muita puulajeja paremmin kaskialueita metsittämään. Jo siemenvuosiensa yleisyyden ja runsauden vuoksi se voi vallata nuoria kaskiahoja, sillä leppä tekee siementä melkein joka vuosi, ja hyviä sekä runsaita siemenvuosia on joka kolmas vuosi (s. 141). Yhtenä syynä lepän yleisyyteen kaskialueilla on sen siementen hyvä leviämiskyky; vielä 20—30 m:n päähän siemenpuista se voi riittävästi siementää (ss. 133—134). Laajoilla kaskiahoilla, joilla vanha reunametsä oli hyvin kaukana, jäi nuorimpien kaskien siementäminen viereisten vanhempien ahojen puiden tehtäväksi. Kun leppä on siemennyskykyinen nuorempana kuin muut puulajit, usein jo 10 v:n ikäisenä, se pääsi tällöinkin valtaamaan uudet alat (ss. 128—129). Milloin entinen kaski ei heti viljan jälkeen metsittynyt, valtasi alan pintakasvillisuus, joka varsinkin hyvillä mailla — jollaisia kaskialueet

yleensä olivat — on tavallisesti sangen rehevää. Leppä selviytyi siitä muita puulajeja paremmin, sillä sen taimet ja vesat kasvavat nopeammin kuin minkään muun puulajin. Samoin kilpaillessaan toisten puulajien kanssa lepällä on etua nopeasta kasvustaan ja siitä, ettei se ole varjostukselle arka (ss. 172, 206, 208). Tuoreilla lehtomailla pintakasvillisuus saattaa usein tehdä ahon siementymisen kokonaan mahdottomaksikin, joten metsittyminen voi tapahtua vain vesojen avulla. Tällaisillekin maille leppä uudistuu parhaiten siitä syystä, että sen siementaimet synnyttävät juurivesoja hyvin aikaisin, jo 10 v:tta nuorempina (ss. 178, 184). Kun kaskiahoja on yleensä niitetty ja käytetty laitumina, ei siitä ole ollut lepälle yhtä suurta haittaa kuin muille puulajeille, josta johtuukin lepän yleisyys etenkin rinta- ja hakamailla. Runsaasti vesovana leppä pelastuu hyvin niitolta ja nopeakasvuisena sekä huonona karjanrehuna se säästyy myös parhaiten karjalta (ss. 192—193, 198).

Edellä esitetyn perusteella harmaalepän leviäminen ja valtaan pääsy entisillä kiertokaskialueilla on ymmärrettävissä. Mitä useammin kaskeaminen on samalla alueella uusiutunut, sitä vallitsevammaksi leppä on käynyt. Säännöllistä kaskeamiskiertoa on eniten käytetty talojen ja kylien lähistöllä, ja varsinaisilla kaskeamisseuduilla, Savossa ja Karjalassa, sen seuraukset ovat vielä nykyäänkin nähtävissä. Niinpä tavataan tiheimmin kasketuilla mailla, viljelysten ympärillä useimmiten vain pelkkiä lepiköitä, haka- ja rintamailla harvemmin ja etäämpänä tulevat jo muut puulajit vallitseviksi.

Vuosina 1921—1924 suoritetun valtakunnan metsien arvioimisen mukaan (Ilvessalo 1927, ss. 90—95, taulukot 44—46) leppävaltaisia metsiä on maassamme kaikkiaan 379 000 ha eli 1.5 % koko metsäalasta. Leppämetsien valtava enemmistö kuuluu kasvullisiin metsämaihin, joista ne käsittävät 1.8 % eli 362 500 ha, jota vastoin huonokasvuisten metsämaiden alasta niitä on vain 0.1 %.

Ilvessalon (1930, s. 15, taulukko 6) mukaan laadittu kuva 1 esittää leppävaltaisten metsien suhteellista runsautta maan eri osissa Linkolan maataloudellis-kasvimaantieteellisen aluejaon perusteella. Siitä ilmenee, että leppämetsät pääosaltaan sijaitsevat maan eteläpuoliskossa, jossa niitä on 3.2 %, pohjoispuoliskossa (Oulun läänissä) sitä vastoin vain 0.1 % kasvullisen metsämaan alasta. Lisäksi nähdään, että Etelä-Suomessa leppämetsiä on yleensä runsaammin itäosassa, jota vastoin länsipuoliskossa, Varsinais-Suomessa, Satakunnassa ja Pohjanmaalla, niitä on paljon vähemmän. Leppämetsien vähyys viimeksi mainituilla seuduilla johtuu pääasiallisesti siitä, että Länsi-Suomessa on luovuttu kaskeamisesta paljon aikaisemmin kuin Itä-Suomessa. Leppävaltaisten metsien vahvimmat




Kuva 1. Harmaaleppävaltaisten metsien prosenttinen osuus kasvullisen metsämaan alasta.

*Prozentualer Anteil der Wälder mit vorherrschender Weisserle an den produktiven Waldböden.*

(Kuvan laatimisen perustana käytetyt %-luvut ovat lähdetaulukossa pyöristetyt kokonaisiksi luvuiksi.)

esiintymisalueet ovat Kuopion ja Mikkelin lääneissä, Pohjois- ja osaksi myös Keski-Savossa sekä Joensuun ympäristöllä, joissa niiden osuus vaihtelee 6—15 %:iin kasvullisten metsämaiden alasta. Etelämpänä leppämetsiä on suhteellisen paljon Lopen-Kosken seudulla, jossa vastaava prosenttiluku on 5.

Leppävaltaiset metsät jakaantuvat eri omistajaryhmien kesken siten, että niitä on eniten yksityismetsissä ja vähiten varsinaisissa valtionmetsissä; edellisissä 3.0 % ja jälkimmäisissä ainoastaan 0.1 % kasvullisten metsämaiden alasta. Muiden omistajaryhmien mailla leppämetsiä on suhteellisesti yhtä paljon ja niiden osuus vaihtelee 2.0—2.3 %:iin kasvullisten maiden alasta (Ilvessalo 1927, ss. 95—97, taulukot 47, 49—50).

Varsinaisella esiintymisalueellaan, maamme eteläpuoliskon kasvullisella metsämaalla, leppävaltaisia metsiä tavataan suhteellisesti runsaimmin parhailla metsätyypeillä ja niiden osuus pienenee huonoimpiin metsätyyppeihin siirryttäessä. Niinpä leppämetsät käsittävät 20.2 % lehtojen, 10.4 % lehtomaisten metsien, 8.9 % metsittyneiden viljelysmaiden, mutta vain 5.1 % mustikkatyypin, eteläpuoliskon yleisimmän metsätyypin, alasta. Leppämetsien kasvupaikkojen suhteen eteläpuoliskon itäinen ja läntinen osa eivät eroa edellä esitetystä mainittavasti (Ilvessalo 1927, ss. 97—101, taulukko 51).

Valtakunnan metsien arvioimistyössä ei ole laskettu erikseen leppävaltaisten metsien puuvarastoa ja kasvua, mutta leppäpuun osuus metsiemme puuvarastosta ja kasvusta on sen sijaan määrätty. Ilvessalon (1927, ss. 188—195, taulukot 89, 91, 92) mukaan on harmaalepän osuus Suomen metsien puuvarastosta 1.3 % eli 21.0 milj. $m^3$, josta 99 % on maan eteläpuoliskossa. Maan pohjoispuoliskon leppäpuuvarasto on melkein kokonaan yksityismetsissä ja eteläpuoliskonkin leppäpuuvarastosta on pääosa, 87.5 %, yksityisten metsissä, joten lepän osuus muiden omistajaryhmien metsissä supistuu hyvin vähiin. Suurin osa, yli $^2/_3$, leppäpuuvarastosta tulee 1—40-vuotisten metsien osalle. Leppäpuuvarasto käsittää etupäässä pienikokoista puuta. Niinpä Suomen eteläpuoliskon leppäpuuvarastosta on rinnankork. alle 10 cm:n vahvuisten puiden osuus 65.6 %, 10—20 cm:n 26.3 %, mutta yli 20 cm:n vain 8.1 %.

Lepän osuus metsien vuotuisesta kasvusta on 3.2 % eli 1.42 milj. $m^3$, josta 99.3 % tulee maan eteläpuoliskon osalle. Näistä luvuista ilmenee, että lepän osuus on huomattavasti suurempi kasvusta kuin puuvarastosta johtuen pääasiallisesti siitä, että leppämetsät ovat suhteellisen nuoria ja kasvavat hyvillä metsämailla. Samoin nähdään lepän kasvun olevan vielä suuremmassa määrässä kuin

puuvaraston melkein yksinomaan eteläpuoliskon osalla. Kuten puuvarastosta, sisältyy kasvustakin valtava pääosa nuoriin yksityismetsiin. Niin ikään tulee lepän kasvusta suurin osa pienien puiden osalle (Ilvessalo 1927, ss. 237—243, taulukot 114—116).

Lepiköiden syntyä ja leviämistä selviteltäessä (s. 22) mainittiin niitä tavattavan yleisimmin talojen ja kylien lähistöllä. Siitä johtuu, että Suomen eteläpuoliskon kasvullisten maiden leppävaltaisista metsistä on valtava pääosa, 73.8 %, hakamaanluontoisia (Ilvessalo 1927, ss. 274—275).

Vielä mainittakoon, että samoin kuin leppävaltaisia metsiä, tavataan myöskin puhtaita leppämetsiä eniten Kuopion ja Mikkelin läänien kasvullisilla metsämailla. Niin ikään niiden pääasialliset kasvupaikat ovat samat kuin leppävaltaisten metsien yleensä: lehtomaiset metsät, metsittyneet viljelysmaat ja lehdot (Ilvessalo 1927, ss. 103, 108—109, taulukot 52, 56).

## Tutkimukset harmaalepiköiden kasvusta ja tuotosta.

### Tutkimusaineiston keruu.

Kun jo aiemmin on selvitetty pääpuulajiemme männyn, kuusen ja koivun kasvu- ja tuottosuhteet (Ilvessalo 1920 a, b), päätettiin harmaalepän kasvusuhteita tutkimaan ryhdyttäessä suorittaa työ niin paljon kuin mahdollista samalla pohjalla ja samoja tutkimusmenetelmiä noudattaen, jotta eri puulajeille saadut tulokset olisivat keskenään vertailukelpoisia.

Samoin kuin pääpuulajiemme, on myöskin harmaalepän kasvu- ja tuottosuhteita koskeva tutkimus kohdistettu vain Suomen eteläpuoliskoon, joka metsätyyppien ja kasvusuhteiden puolesta on osoittautunut hyvin yhtenäiseksi alueeksi (Ilvessalo 1920 a, s. 148). Tältä alueelta oli tarkoituksena saada sarja koealoja kaiken ikäisistä, nuoremmista ja vanhemmista, metsiköistä eri metsätyypeiltä.

Metsiköiden puolesta yhtenäisen aineiston saamiseksi koealat sijoitettiin koskemattomiin, luonnontilassa säilyneisiin, normaalitiheisiin lepiköihin. Metsikössä ei saanut olla hakkuista johtuneita tai luontaisesti syntyneitä suurempia aukkoja, vaan sen täytyi olla tasainen ja normaalitiheä. Tutkittaviksi eivät kelvanneet myöskään sellaiset lepiköt, jotka kaiken todennäköisyyden mukaan alkuaan olivat olleet harvoja, mutta vasta

myöhemmällä iällä sulkeutuneet täysitiheiksi. Joskus otettiin kuitenkin koeala sellaisesta metsiköstä, joka oli muuten luonnonnormaalinen, paitsi että siitä hiljattain oli hakattu muutamia puita, joiden kannot olivat vielä näkyvissä. Sellaisissa tapauksissa mitattiin kannot ja laskettiin minkälaisia puita ne edustivat.

Tutkittavaksi otettiin yksinomaan puhtaita lepiköitä. Puhtaana pidettiin sellaista metsikköä, jossa lepän hallussa oli vähintään 80 % koko metsikön kuutiomäärästä.

Suomessa on tähänastiset puhtaiden metsien kasvu- ja tuotto suhteita selvittelevät tutkimukset (Ilvessalo 1920 a, b; Lönnroth 1925) kohdistuneet luonnonsiemennyksestä syntyneisiin metsiin. Näin olisi menetelty lepiköidenkin suhteen, mutta yksinomaan siemenestä syntyneitä lepiköitä on hyvin vaikea löytää, sillä kuten Heikinheimo (1915, ss. 209—210, 238) on osoittanut ja myöskin esillä olevassa tutkimuksessa todettiin, lepiköissä on siemenistä kehittyneiden puiden ohella melkein aina myöskin vesomalla syntyneitä. Puhtaita vesametsiä ei myöskään ole, vaan tavataan niissä vuorostaan siemenestä syntyneitä puita, joten maamme lepiköt ovat suurimmalta osaltaan jonkinlaisia välimetsiä. Tämän vuoksi tutkimusaineistoa ei ole voitu jakaa metsiköiden syntytavan puolesta yhtenäisiin ryhmiin, vaan kaikkia metsiköitä on täytynyt pitää samaan kasvusarjaan kuuluvina. Vaikkakin saman lepikön eri tavoilla syntyneitä puita varsinkin vanhalla iällä on vaikea toisistaan erottaa, koetettiin kuitenkin aina määrätä kunkin metsikön pääasiallisin syntytapa, josta tehtiin erityinen merkintä koealan selityslomakkeeseen.

Koealoja oli alun perin tarkoitus ottaa vain tasaikäisistä lepiköistä. Koealametsiköt olivatkin yleensä aivan tasaikäisiä siitä huolimatta, että niissä oli melkein aina eri tavoilla syntyneitä puita. Joissakin lepiköissä alimpien latvuskerrosten puut olivat kuitenkin hiukan nuorempia kuin ylimpien, mutta silloinkaan ikäeroa ei ollut enempää kuin 2—3 vuotta. Sellaisissa tapauksissa metsikön ikä määrättiin koepuiden ikien keskiarvona.

Ennen kuin edellä mainitut ehdot täyttävään metsikköön koeala asetettiin, tarkastettiin vielä metsätyypin puhtautta ja yhtenäisyyttä, sillä kultakin metsätyypiltä pyrittiin saamaan sen keskiarvoa edustava aineisto. Näitä seikkoja silmällä pidettäessä oli toisinaan hylättävä muissa suhteissa sopivia metsiköitä tai tyydyttävä pienempään koealaan kuin mitä muuten olisi ollut välttämätöntä.

Koealan suuruutta ei ennakolta määritelty, vaan se jäi ensi sijassa riippumaan siitä, kuinka suuri ala täysin yhtenäistä

metsikköä voitiin kulloinkin koealaksi erottaa. Aivan pienien koealojen ottoa kuitenkin vältettiin ja koealan oli oltava sitä suurempi, mitä vanhempi metsikkö oli kysymyksessä. Enimmät koealat saatiin pinta-alaltaan $^1/_{10}$—$^1/_4$ ha:n suuruisiksi ja ainoastaan muutamat nuorimpiin metsiköihin sijoitetut koealat olivat pienempiä kuin $^1/_{10}$ ha. Siihen katsoen, että lepiköt ovat yleensä verraten nuoria, voitaneen otettuja koealoja pitää riittävän suurina luotettavien tulosten saamiseksi.

Koealat olivat useimmiten suorakaiteen tai puolisuunnikkaan muotoisia. Niiden pituus ei kuitenkaan koskaan ollut suurempi kuin leveyden kaksinkertainen määrä. Koealat rajoitettiin tavalliseen tapaan seipäiden avulla.

Koealametsiköstä laadittiin ensin yleinen selitys merkitsemällä muistiin metsikön syntytapa, silmiin pistävimpiä puolia sen laadusta, sekapuista, alikasvoksesta ym. Kasvupaikan asemasta ympäristöönsä nähden ja maan pinnan kaltevuudesta tehtiin myös selkoa. Metsätyypin varmaa määräämistä varten koeala kuljettiin ristiin rastiin ja merkittiin muistiin kaikki koealalla tavatut kasvilajit sekä niiden runsaus Norrlinin runsausasteikkoa (vrt. esim. Cajander 1916, s. 362) käyttämällä. Niin ikään tarkastettiin maaperää tutkimalla eri maakerrosten laatua ja vahvuutta. Lisäksi kiinnitettiin huomiota maan kivisyyteen ja karikkeisuuteen.

Sen jälkeen toimitettiin koealalla puiden lukeminen ja mittaaminen. Koelan kaikki puut — luontaisen harventumismäärän selvittämisen helpottamiseksi myöskin kuolleet puut —, alikasvosta lukuun ottamatta, luettiin ja niiden vahvuus mitattiin rinnankorkeudelta (1.3 m maan pinnasta), jota osoittamassa käytettiin 1.3 m:n pituista keppiä. Mittaus suoritettiin 10 v. nuoremmissa metsiköissä 1 cm:n (0.5, 1.5, 2.5 cm jne.) ja sitä vanhemmissa 2 cm:n parittomissa (1, 3, 5 cm jne.) läpimittaluokissa. 10 v. nuoremmissa metsiköissä luettiin myös 1.3 m lyhyemmät puut.

Paitsi edellä esitettyä puiden mekaanista luokittelua rinnankorkeusläpimittansa mukaan, suoritettiin muutamilla koealoilla myöskin puhtaasti biologista puunluokittelua, määräämällä puiden biologiset kehitysluokat Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen käyttämää puunluokitusmenetelmää (L. Ilvessalo 1929) noudattaen. Tällöin rajoituttiin vain puiden latvuskerroksen määräämiseen.

Kun puiden vahvuusluokkiin jakaantuminen oli selvillä, mitattiin Lönnrothin hypsometrilla valitsematta 25—30 eri vahvuisen puun pituudet 0.5 m:n tarkkuudella. Pituusmittauksia esittävät pisteet asetettiin millimetripaperille piirrettyyn koordinaatistoon, jossa abskissana oli rinnankorkeusläpimitta ja ordinaattana pituus.

Sen jälkeen piirrettiin pisteiden perusteella tasoitettu käyrä, josta saatiin määrätyksi kunkin vahvuusluokan puitten keskimääräinen pituus.

Kun koealoilla oli sekapuita hyvin vähän, valittiin koepuut yksinomaan pääpuulajista, lepästä. Koealan puuluettelon ja edellä mainitun pituuskäyrän perusteella kultakin koealalta valittiin 4—6 koepuuta, joiden tuli läpimitaltaan, pituudeltaan ja muodoltaan mahdollisimman tasaisesti edustaa eri vahvuusluokkien puita. Näin vähien koepuiden katsottiin riittävän sen vuoksi, että lepiköissä vahvuusluokkiin jakaantuminen on suppea. Muutamilla koealoilla kiinnitettiin erikoista huomiota vahvimman koepuun valintaan, koska siitä tehtiin lisäksi ns. runkoanalyysi, josta tulee puhe edempänä.

Ennen koepuun kaatoa mitattiin sen läpimitta rinnankorkeudelta mm:n tarkkuudella kahdessa toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa ja merkittiin puuhun tämä mittauskorkeus. Niin ikään määrättiin puun kehitysluokka Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen käyttämää puunluokitusmenetelmää (L. Ilvessalo 1929) noudattaen. Puu kaadettiin aivan juuren niskasta, josta luetun vuosilustomäärän perusteella saatiin koepuun ikä. Kaadetussa puussa mitattiin dm:n tarkkuudella koko pituus, oksaton osa tuoreen oksiston alkamiskohtaan, latvuksen suurin leveys ja se kohta, jossa maksimileveys sijaitsi. Kun vielä oli mitattu cm:n tarkkuudella 5:n viime vuoden pituuskasvaimet,[1]) karsittiin puu. Aiemmin määrätyn 1.3 m:n mittauskohdan perusteella merkittiin puuhun muut kohdat, joissa sen läpimittaa tutkittiin. Puun ollessa 12 m pitempi, merkittiin ensimmäinen mittauskohta 0.5 m:n päähän tyvestä, toinen 2 m:n ja sen jälkeen aina 2 m:n päähän, siis 0.5, 2, 4, 6 jne. m:n kohdalle. Jos puu oli 12 m lyhyempi, oli ensimmäinen mittauskohta 0.5 m:n ja seuraavat aina 1 m:n päässä, siis 0.5, 1.5, 2.5 jne. m:n kohdalla, kun taas hyvin lyhyissä puissa ensimmäinen mittauskohta oli 0.25 m:n ja seuraavat aina 0.5 m:n päässä. Paitsi kuorellista läpimittaa, joka näissä mittauskohdissa mitattiin kahdessa toisiaan vastaan kohtisuorassa suunnassa, tutkittiin niissä myös kuorimittarilla kuoren paksuutta. Kaikissa edellä mainituissa mittauksissa noudatettiin mm:n tarkkuutta. Järeän puumäärän selville saamiseksi määrättiin koepuissa myöskin se kohta, jossa läpimitta oli 10 cm. — Kaikki koepuussa tehdyt mittaukset merkittiin Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen käyttämiin koepuulomakkeisiin.

[1]) Vuotuisten pituuskasvainten määrääminen oli yleensä sangen työlästä, sillä useimmiten vasta monien latvasta tehtyjen leikkausten ja niistä suoritettujen vuosilustojen lukemisen avulla voitiin ratkaista, minkä vuoden pituuskasvain oli kulloinkin kysymyksessä.

Useimmissa 25 v. vanhemmissa koealametsiköissä tehtiin, kuten jo aiemmin mainittiin, vahvimmasta koepuusta runkoanalyysi metsikön valtapuiden kasvun selvittämiseksi. Se valittiin siten, että ensin laskettiin hehtaaria kohti 100:n (siis $^1/_5$ ha:lla 20:n, $^1/_{10}$ ha:lla 10:n jne.) vahvimman puun, jotka lepiköissä kuuluivat aina vallitseviin latvuskerroksiin, keskimääräinen rinnankorkeusläpimitta mm:n tarkkuudella.[1]) Kun aiemmin mainitusta koealametsikön pituuskäyrästä nähtiin lisäksi tämän vahvuisen puun keskimääräinen pituus, etsittiin koealalta tai sen läheisyydestä sellainen kaikin puolin säännöllisesti kehittynyt puu, joka oli kysymyksessä olevan vahvuinen ja pituinen. Runkoanalyysipuuksi valittiin aina siemenestä syntynyt puu.

Sen jälkeen kuin analyysipuu oli kaadettu ja siitä tehty samat mittaukset kuin muistakin koepuista, sahattiin siitä kiekot aiemmin mainituista mittauskohdista sekä 1.3 m:n korkeudelta. Kiekon mitattavaksi tuleva pinta sovitettiin aivan mittauskohtaan ja kiekon vastakkaiselle puolelle merkittiin koealan sekä kiekon numero. Kiekot varustettiin lisäksi ilmansuuntaa osoittavalla merkillä.

Kiekkojen mittaaminen suoritettiin samana päivänä kuin niiden sahaaminen. Sitten kuin kiekkojen mitattavaksi joutuva pinta oli ensin vuoltu puukolla sileäksi, laskettiin vuosilustojen lukumäärä sekä piirrettiin suuntamerkin mukainen halkaisija ja toinen ytimen kautta kulkeva, edellä mainittua vastaan kohtisuora viiva, joille merkittiin puun iän tasaisia 5-vuotiskausia vastaavat vuosilustoryhmät.[2]) Jokaisesta kiekosta mitattiin sitten paitsi nykyistä kuorellista ja kuoretonta läpimittaa myöskin puun läpimitat 5-vuotiskausittain ja merkittiin mittaustulokset erityisiin painettuihin lomakkeisiin.

* * *

Jo alun perin osoittautui sopivien koealametsiköiden löytäminen sangen vaikeaksi ja niiden haeskelu veikin suurimman osan käytettävänä olleesta ajasta. Sellaisia lepiköitä, jotka täyttävät kaikki edellä esitetyt vaatimukset, ei ollut helppo löytää, mutta toiselta puolen ei asetetuista vaatimuksista voitu myöskään tinkiä, jos haluttiin saada

---

[1]) Laskukaavoina olivat $g = \frac{\Sigma n'g'}{N}$ ja $d = 2\sqrt{\frac{g}{\pi}}$; niissä merkitsevät g = valtapuiden keskim. poikkileikkaus-pintaala rinnankork., g′ = läpimittaluokan yhden puun poikkileikkaus-pintaala, n′ = vastaavan luokan puiden lukumäärä, N = puiden lukumäärä yhteensä (esim. $^1/_5$ ha:n koealalla 20) ja d = valtapuiden keskim. rinnankorkeusläpimitta.

[2]) Vuosilustojen lukeminen lepästä on verraten helppoa, varsinkin sen jälkeen kuin kiekko on sileäksi vuoltu ja kun käytetään apuna suurennuslasia.

tutkimus tarkoitustaan vastaavaksi. Erityisesti oli vaikeata löytää täysin luonnonnormaalisia lepiköitä. Vaikka leppämetsiä on monin seuduin hyvinkin laajat alat, tapaa kuitenkin verraten harvoin säännöllisesti kehittyneitä, normaalitiheitä lepiköitä. Pääosaltaan lepiköt ovat aukkoisia ja repaleisia sekä puut pensasmaisia, mikä johtuu ainakin suurimmaksi osaksi siitä, että lepiköitä runsaan ruohon kasvun vuoksi on yleisesti käytetty laitumina, jopa niitettykin (vrt. s. 22). Lepiköiden sijaitessa pääasiallisesti yksityismailla, tavallisesti vielä asuntojen läheisyydessä, on niissä suoritettu alituiseen kaikenlaisia kotitarvehakkuita, joka on osaltaan vähentänyt normaalitiheiden lepiköiden alaa. Varsinkin vanhat lepiköt ovat jo nykyisin melkein järjestään halon hakkuilla hävitetyt, ainoastaan yksityisiä puita tai puuryhmiä on niistä enää tavattavissa. Normaalitiheitä nuoria lepiköitä on myöskin vähän, mikä johtuu tietenkin siitä, että kaskeamisesta on nykyään luovuttu. Viime aikoina vauhtiin päässyt lepiköiden muuttaminen kuusikoiksi on tietenkin osaltaan vähentänyt myöskin luonnonnormaalisten lepiköiden alaa.

Puhtaiden lepiköiden löytäminen ei yleensä tuottanut vaikeuksia, sillä aiemmin (ss. 21, 22) mainituista syistä leppä kasvaa varsinaisilla esiintymisalueillaan, kiertokaskimailla, enimmäkseen puhtaina metsikköinä karkoitettuaan ensin muut puulajit. Koivu on parhaiten pystynyt puoliaan pitämään, mutta milloin leppä on päässyt syntymään yhtenäistä metsikköä muodostavana, on sekin jäänyt hitaampana jälkeen, esiintyen silloin lepikköjen »alikasvoksena». Tutkituissa lepiköissä koivu onkin ollut yleisin sekapuu, mutta senkin osuus metsikön kuutiomäärästä on poikkeuksetta supistunut asetetun rajan alapuolelle, joten se, samoin kuin muut puulajit, on voitu laskelmissa yhdistää leppään.

Alikasvoksen esiintyminen lepiköissä osoittautui hyvin yleiseksi ilmiöksi ja sitä tavattiinkin melkein jokaisella koealalla, milloin enemmän, milloin vähemmän. Useimmiten sen muodosti hitaasti kehittynyt parin kolmen metrin mittainen, mutkarunkoinen koivu, joka oli rinnankorkeudelta tavallisesti 1—3 cm:n vahvuista. Hyvin yleinen oli myöskin kuusialikasvos, useimmiten lepän ikäinen, mutta vain parin metrin pituinen. Vanhemmissa lepiköissä myös leppien juurivesat muodostivat monesti alikasvoksen. Kun alikasvos vain poikkeustapauksissa oli erikoisen runsas ja käsitti ainoastaan pienikokoista puuta, otaksuttiin sen vaikutuksen lepikön kasvuun olleen verraten vähäisen. Sen vuoksi ei yksinomaan alikasvoksen esiintymisen takia katsottu olevan syytä muissa suhteissa kelvollisten metsiköiden hylkäämiseen. Kuten jo aiemmin mainittiin, ei alikasvosta luettu eikä mitattu, mutta tehtiin kuitenkin muistiinpanoja sen laadusta.

## Tutkimusaineisto ja sen alkukäsittely.

Tutkimusaineisto koottiin pääasiallisesti kesäkausina vv. 1929—30, mutta käytettiin vielä v:n 1931 alkukesä sen täydentämiseen, joten aineiston kerääminen on vaatinut verraten pitkän ajan. Mainittuna aikana mitattiin 40 koealaa, mutta kun vielä lisäksi saatiin käytettäväksi Punkaharjun kokeilualueen kahden pysyvän koealan mittaustulokset, joita toiselta koealalta oli kahdet, 5:n vuoden väliajoin tehdyt, käsittää tutkimusaineisto kaikkiaan 43 koealaa.

Koealat ovat harmaalepän vahvimmilta esiintymisalueilta, yksinomaan Kuopion ja Mikkelin lääneistä; edellisestä läänistä on 9, jälkimmäisestä 34 koealaa. Useimmat koealat, 33 kpl., saatiin yksityismailta, 3 yhteismetsistä, 6 valtion mailta ja 1 yhtiön maalta.

Taulukosta 1 nähdään koealametsiköiden jakaantuminen eri metsätyyppien kesken ikäjärjestyksessä.

Taulukko 1. — *Tabelle* 1.

| Metsätyyppi *Waldtyp* | Koealan N:o *Probefläche N:o* | Metsikön ikä, v. *Bestandesalter in J.* | Lääni *Län* | Pitäjä *Kirchspiel* | Metsätyyppi *Waldtyp* | Koealan N:o *Probefläche N:o* | Metsikön ikä, v. *Bestandesalter in J.* | Lääni *Län* | Pitäjä *Kirchspiel* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OT | 14 | 6 | Mikkelin | Hartolan | OMT | 25 | 23 | Mikkelin | Heinäveden |
| » | 41 | 8 | » | » | » | 42 | 23 | » | Hartolan |
| » | 40 | 14 | » | Joutsan | » | 8 | 25 | » | Kerimäen |
| » | 1 | 21 | » | Kerimäen | » | 7 | 25 | » | Punkaharjun |
| » | 9 | 21 | » | » | » | 11 | 25 | » | » |
| » | 34 | 26 | » | Hartolan | » | 29 | 26 | » | Kerimäen |
| » | 3 | 30 | » | Punkaharjun | » | 32 | 26 | » | » |
| » | 37 | 33 | » | Hartolan | » | 13 | 27 | Kuopion | Maaningan |
| » | 36 | 34 | » | » | » | 30 | 27 | Mikkelin | Kerimäen |
| OMT | 5 | 4 | » | Punkaharjun | » | 18 | 30 | Kuopion | Polvijärven |
| » | 27 | 7 | » | Heinäveden | » | 7 | 30 | Mikkelin | Punkaharjun |
| » | 10 | 9 | Kuopion | Kuopion | » | 33 | 30 | » | Hartolan |
| » | 38 | 12 | Mikkelin | Joutsan | » | 12 | 31 | Kuopion | Maaningan |
| » | 26 | 14 | » | Heinäveden | » | 21 | 32 | » | Kaavin |
| » | 28 | 17 | » | » | » | 24 | 34 | Mikkelin | Heinäveden |
| » | 15 | 19 | Kuopion | Polvijärven | » | 16 | 34 | » | Hartolan |
| » | 39 | 20 | Mikkelin | Joutsan | » | 35 | 40 | » | Heinäveden |
| » | 2 | 21 | » | Kerimäen | » | 23 | 42 | » | » |
| » | 4 | 21 | » | » | MT | 19 | 30 | Kuopion | Polvijärven |
| » | 22 | 21 | » | Heinäveden | » | 17 | 33 | » | » |
| » | 31 | 22 | » | Kerimäen | » | 20 | 37 | » | » |
| » | 6 | 23 | » | » | | | | | |

Kuten taulukosta ilmenee, jakaantuvat koealat eri metsätyyppien kesken siten, että käenkaali-oravanmarjatyypiltä (OT)[1]) on 9 kpl., käenkaali-mustikkatyypiltä (OMT) 31 kpl. ja mustikkatyypiltä (MT) 3 kpl. OMT:ltä on siis saatu koealoja verraten runsaasti, jota vastoin niitä OT:ltä ja varsinkin MT:ltä on vähän. Useimmat edellä (s. 30) mainituista sopivien koealametsiköiden löytämistä vaikeuttaneista seikoista koskevat juuri OT:ä ja MT:ä. OT:ltä oli erikoisesti normaalitiheiden, MT:ltä sen lisäksi vielä puhtaiden lepiköiden löytäminen vaikeaa. Viimeksi mainitulla tyypillä muut puulajit ovat jo paremmin pystyneet lepän kanssa kilpailemaan ja itselleen kasvualoja valtaamaan. Kuten myös aiemmin (s. 24) on käynyt selville, ei MT ole samassa määrässä lepän varsinaisia kasvupaikkoja kuin OT ja OMT, joten tästäkin syystä kelvollisten koealojen saanti MT:ltä on ollut vaikeaa.

Taulukosta nähdään, että koealametsiköiden ikä vaihtelee OT:llä 6—34 v:een, OMT:llä 4—42 v:een ja MT:llä 30—37 v:een. Näitä vanhempia puhtaita ja luonnonnormaalisia lepiköitä ei suuresta haeskelusta huolimatta löydetty. Mutta tunnettuahan on, että harmaaleppä ei kasva varsin vanhaksi, vaan puut tulevat jo usein ennen 50:ttä ikävuottaan lahovikaisiksi (C a j a n d e r 1917, s. 395). Kuten aiemmin (s. 17) on käynyt ilmi, ei Latviassa suoritettuun harmaalepän kasvusuhteita koskevaan tutkimukseen tavattu 40 v. vanhempaa metsikköä ja silloinkin jo oli puista 40 % lahovikaisia. Eestissä ei samaan tarkoitukseen löydetty 32 v. vanhempaa lepikköä (s. 19).

Kun ottaa huomioon harmaalepän lyhyen iän ja käsillä olevassa tutkimuksessa koealametsiköiden yhtenäisyydelle asetetut suuret vaatimukset, voitaneen hyvällä syyllä pitää OT:n ja OMT:n koealaaineistoja riittävän suurina näiden tyyppien lepiköiden kasvu- ja tuottosuhteiden luotettavaan selvittelyyn. MT:n aineisto on kuitenkin liian pieni mainittujen seikkojen tutkimiseen, joten tällä tyypillä rajoitutaan yksinomaan valtapuiden kasvusuhteiden selvittämiseen runkoanalyysien avulla.

Täydellinen r u n k o a n a l y y s i tehtiin kaikkiaan 14 koealalla. Runkoanalyysit jakaantuvat eri metsätyyppien kesken siten, että OT:ltä niitä on 3, OMT:ltä 8 ja MT:ltä 3.

Aiemmin, s. 27, mainittiin, että kullakin koealalla tehtiin muistiinpanoja myöskin kasvipeitteestä. Kun lepiköitä ei ole maassamme

[1]) Käenkaali-oravanmarjatyyppi lyhennetään oikeastaan OMaT eikä OT. Tässä tutkimuksessa käytetään kuitenkin lyhennystä OT selvemmän eron aikaansaamiseksi lyhennyksestä OMT, koska näitä molempia joudutaan yhtenään rinnakkain esittämään.

aikaisemmin tutkittu, ei myöskään niiden kasvipeitettä ole ennen selvitetty. Sen vuoksi on pidetty tarpeellisena julkaista tutkittujen leppäkoealojen kasviluettelot. Nämä luettelot, joista nähdään koealoilla tavatut kasvilajit runsauslukuineen, on liitetty tutkimuksen loppuun.

Suorittaessaan pääpuulajiemme kasvu- ja tuottotaulujen koealaaineiston perusteella kasvillisuustilastollisia tutkimuksia Ilvessalo (1922, ss. 12—14) totesi, että kasvilajien lukumäärä keskimäärin koealaa kohti oli eri metsätyypeillä erilainen, ja että kasvilajeja oli sitä enemmän, mitä parempi oli metsätyyppi. Niinpä nuorissa metsiköissä (eri puulajien koealat käsiteltynä yhdessä) oli OT:n koealoilla keskimäärin 42 kasvilajia (sammalia ja jäkäliä lukuun ottamatta), OMT:n 37 lajia ja MT:n 30.

Myöskin esillä olevassa tutkimuksessa laskettiin kasviluettelon perusteella kasvilajien lukumäärä keskimäärin koealaa kohti eri metsätyypeillä. Tällöin saatiin, että OT:llä oli 48 kasvilajia, OMT:llä 47 ja MT:llä 42. Näitä lukuja Ilvessalon saamiin tuloksiin verrattaessa ilmenee, että kasvilajeja on leppäkoealoilla ollut keskimäärin enemmän kuin pääpuulajiemme koealoilla sekä että metsätyypit kasvilajien lukumäärän suhteen eivät näytä eroavan toisistaan lepiköissä yhtä paljon kuin pääpuulajiemme metsiköissä. Kuitenkin on huomattava, että lepiköissäkin vaateliaimpien kasvilajien määrä on suurempi paremmilla kuin huonommilla metsätyypeillä.

Seuraavassa esitetään lyhyt kuvaus tutkittujen koealojen kasvupaikan ja metsikön laadusta. Koealan paikasta mainitaan vain kylä ja tila, koska lääni ja pitäjä selviävät taulukosta 1.

**Lyhyt kuvaus tutkituista koealametsiköistä.**

*Käenkaali-oravanmarjatyyppi* (OT).

N:o 14. Ikä 6 v. Nokka, Iso-Kanteleen tila. — Hiukan länteen viettävä rinne. Humuskerros 2 cm, mullaskerros 7 cm. Paikoitellen verraten kivistä. Hakamaata. — Etupäässä kantovesoista syntynyttä tasaista lepikköä.

N:o 41. Ikä 8 v. Putkijärvi, Kinkkulan tila. — Lounaaseen viettävä rinne. Humuskerros 3 cm, mullaskerros 12—14 cm, sen alla ruskeaa hietaa. Runsaasti kariketta. — Verraten tasaista, etupäässä kantovesoista syntynyttä puhdasta lepikköä.

N:o 40. Ikä 14 v. Kirkkola, Pohjolan tila. — Pohjoiseen loivasti viettävä rinne. Humuskerros 2 cm, mullaskerros 7—11 cm, sen alla ruskeaa hietaa. — Kasken jälkeen kanto-, osittain myös juurivesoista syntynyttä, jossain määrin ryhmittäistä lepikköä, seassa vähän raitaa ja joitakin koivuja.

N:o 1. Ikä 21 v. Toroppala, Saranselän tila. — Tasainen. Humuskerros 2—3 cm, mullaskerros 10—12 cm, sen alla ruskeaa hietaa. Karjan laitumena.

— Pääasiallisesti juurivesoista entiseen kaskipeltoon syntynyttä, sangen tiheää, tasaista lepikköä, seassa vähän koivua. Joitakin puita hakattu.

N:o 9. Ikä 21 v. Toroppala, Saranselän tila. — Pohjoiseen viettävä rinne. Humuskerros 2—3 cm, mullaskerros 10—15 cm, sen alla ruskeaa hietaa. Kariketta niukasti. — Etupäässä juurivesoista syntynyttä, jonkin verran epätasaista, ryhmittäistä lepikköä. Joitakin puita hakattu.

N:o 34. Ikä 26 v. Vastamäki, Seppälän tila. — Tasainen. Humuskerros 3—4 cm, mullaskerros 7—9 cm, sen alla hietaa. Kariketta vähän. Hevoshaka. — Luonnonsiemennyksestä sekä juurivesoista syntynyttä, sangen tasaista lepikköä, seassa joitakin koivuja. Alikasvoksena runsaasti pientä koivua.

N:o 3. Ikä 30 v. Punkaharjun kokeilualue. — Hiukan pohjoiseen viettävä. Humuskerros 2—3 cm, mullaskerros 10—15 cm, sen alla ruskeaa hietaa. Kariketta vähän. — Pääasiallisesti luonnonsiem. syntynyttä hiukan aukkoista, verraten suorarunkoista, puhdasta lepikköä.

N:o 37. Ikä 33 v. Vastamäki, Rauhaniemen tila. — Melkein tasainen. Humuskerros 3 cm, mullaskerros 7—9 cm, sen alla ruskeaa hietaa. Vanha kaski. Karjan laitumena. — Luonnonsiem. ja juurivesoista syntynyttä, verraten suorarunkoista lepikköä, seassa joku koivu. Alikasvoksena pientä koivua.

N:o 36. Ikä 34 v. Vastamäki, Vastamäen yhteismetsä. — Hieman länteen viettävä rinne. Humuskerros 2—3 cm, mullaskerros 5—7 cm, sen alla ruskeaa hietaa. Vanha kaskialue. Karjan laitumena. — Verraten tasaista, suorarunkoista, etupäässä luonnonsiem., osittain myös juurivesoista syntynyttä lepikköä, seassa joitakin koivuja. Alikasvoksena runsaasti pientä koivua.

*Käenkaali-mustikkatyyppi* (OMT).

N:o 5. Ikä 4 v. Punkaharjun kokeilualue. — Hiukan etelään viettävä. Humuskerros 1—2 cm, mullaskerros 10—15 cm, sen alla ruskeaa hietaa. Kariketta vähän. — Kantovesoista syntynyttä, verraten tasaista, taajaa lepikköä, vain joitakin pienehköjä aukkoja.

N:o 27. Ikä 7 v. Petruma, Rajalan tila. — Hieman pohjoiseen viettävä rinne. Humuskerros 1—2 cm, mullaskerros 4—9 cm, sen alla harmaa hiekka. Kiviä melkoisesti. Karjan laitumena. — Pääasiallisesti kanto-, osittain myös juurivesoista syntynyttä tasaista, taajaa lepikköä.

N:o 10. Ikä 9 v. Haminalahti, Adamin tila. — Itään viettävä rinne. Humuskerros 2—3 cm, mullaskerros 7—11 cm, sen alla ruskeaa hietaa. Verraten kivistä. Kariketta melko runsaasti. — Melkein yksinomaan kantovesoista syntynyttä, sangen tasaista, taajaa lepikköä.

N:o 38. Ikä 12 v. Kirkkola, Anttilan tila. — Itään viettävä rinne. Humuskerros 1—2 cm, mullaskerros 6—9 cm, sen alla ruskeaa hietaa. Sangen paljon kiviä. — Etupäässä juurivesoista, mutta suuressa määrin myös kantovesoista syntynyttä, verraten tasaista lepikköä.

N:o 26. Ikä 14 v. Petruma, Rajalan tila. — Tasainen. Humuskerros 2—3 cm, vahvasti hiekansekaista multaa 5—9 cm, sen alla harmaa hieta. Karjan laitumena. — Osittain juurivesoista, osittain myös luonnonsiem. entiseen kaskeen syntynyttä tasaista, taajaa lepikköä, jonka seassa on vähän koivua ja mäntyä.

N:o 28. Ikä 17 v. Karvio, Mäkelän tila. — Hiukan itään viettävä rinne. Humuskerros 2—3 cm, mullaskerros 5—11 cm, sen alla ruskeaa hietaa.

Kariketta sangen paljon. — Pääasiallisesti luonnonsiem., osittain myös juurivesoista entiseen kaskeen syntynyttä tasaista, verraten suorarunkoista lepikköä, seassa vähän koivua. Alikasvoksena tiheä kuusinuorennos.

N:o 15. Ikä 19 v. Lehtovaara, Luukkolan tila. — Tasainen. Humuskerros 1—2 cm, mullansekaista hietaa 5 cm, sen alla ruskeaa hietaa. — Entiseen kaskeen luonnonsiem. ja juurivesoista syntynyttä tasaista, suorarunkoista lepikköä. Alikasvoksena harva kuusentaimisto.

N:o 39. Ikä 20 v. Kirkkola, Anttilan tila. — Itään viettävä rinne. Humuskerros 2—3 cm, mullaskerros 7—10 cm, sen alla ruskeaa hietaa. Sangen kivistä. — Todennäk. kasken jälkeen etupäässä juurivesoista syntynyttä, verraten suorarunkoista lepikköä.

N:o 2. Ikä 21 v. Toroppala, Perriin tila. — Hieman koilliseen viettävä rinne. Humuskerros 2—3 cm, mullaskerros 8—12 cm, sen alla ruskeaa hietaa. Karjan laitumena. — Entiseen kaskipeltoon juurivesoista ja luonnonsiem. syntynyttä verraten suorarunkoista, tasaista lepikköä.

N:o 4. Ikä 21 v. Toroppala, Hiukon tila. — Tasainen. Humuskerros 1—2 cm, mullaskerros 13—17 cm, sen alla ruskeaa hietaa. Karjan laitumena. — Pääasiallisesti juurivesoista, mutta myöskin luonnonsiem. syntynyttä tasaista, suorarunkoista lepikköä. Joitakin puita hakattu.

N:o 22. Ikä 21 v. Karvio, Nurkkalan tila. — Tasainen. Humuskerros 2—3 cm, mullaskerros 6—7 cm, sen alla ruskeaa hietaa. Hakamaa. — Entiseen kaskeen juurivesoista ja luonnonsiem. syntynyttä jonkin verran ryhmittäistä, suorarunkoista lepikköä. Harva kuusialikasvos.

N:o 31. Ikä 22 v. Viitamäki, Riihimäen tila. — Hieman itään viettävä rinne. Humuskerros 1—2 cm, mullaskerros 14—18 cm, sen alla harmaa hieta. Kariketta verraten runsaasti. — Entiseen kaskeen etupäässä juurivesoista syntynyttä, sangen tasaista lepikköä, seassa vähän koivua. Alla melko taaja kuusinuorennos.

N:o 6. Ikä 23 v. Toroppala, Hiukon tila. — Melkein tasainen. Humuskerros 1—3 cm, mullaskerros 7—14 cm, sen alla ruskeaa hietaa. Karjan laitumena. — Entiseen kaskipeltoon etupäässä juurivesoista, osittain myös luonnonsiem. syntynyttä hiukan epätasaista lepikköä. Joitakin puita hakattu.

N:o 25. Ikä 23 v. Petruma, Rantalan tila. — Tasainen. Humuskerros 1—2 cm, hiekansekaista multaa 6—9 cm, sen alla ruskeaa hiekkaa. Karjan laitumena. — Kasken jälkeen luonnonsiem. ja juurivesoista syntynyttä tasaista, verraten suorarunkoista lepikköä.

N:o 42. Ikä 23 v. Putkijärvi, Rajalan tila. — Hiukan länteen viettävä rinne. Humuskerros 1—2 cm, mullaskerros 7—12 cm, sen alla ruskeaa hietaa. — Verraten tasaista, etupäässä juurivesoista, osittain myös luonnonsiem. syntynyttä lepikköä, seassa joitakin koivuja ja mäntyjä. Alikasvoksena koivua ja kuusta.

N:o 8. Ikä 25 v. Toroppala, Perätuvan tila. — Pohjoiseen viettävä rinne. Humuskerros 2—3 cm, mullaskerros 10—14 cm, sen alla ruskeaa hietaa. Karjan laitumena. — Verraten suorarunkoista, tasaista, etupäässä luonnonsiem. entiseen kaskeen syntynyttä lepikköä. Joitakin puita hakattu.

N:o 7. Ikä 25 v. Punkaharjun kokeilualue. Pysyvä koeala N:o 11 a. — Hiukan pohjoiseen viettävä rinne. Humuskerros 2—3 cm, mullaskerros 10—11 cm, sen alla ruskeaa hietaa. — Verraten tasaista, luonnonsiem. syntynyttä lepikköä, seassa muutamia ylispuunluontoisia koivuja. — V:n 1924 mittaustulokset.

N:o 11. Ikä 25 v. Punkaharjun kokeilualue. Pysyvä koeala N:o 11 b. — Hieman pohjoiseen viettävä rinne. Humuskerros 2—3 cm, mullaskerros 9—11 cm, sen alla ruskeaa hietaa. — Luonnonsiem. syntynyttä tasaista lepikköä. — V:n 1924 mittaustulokset.

N:o 29. Ikä 26 v. Toroppala, Perätuvan tila. — Hieman pohjoiseen viettävä. Humuskerros 1—2 cm, mullaskerros 10—12 cm, sen alla ruskeaa hietaa. Karjan laitumena. — Etupäässä juurivesoista, osaksi myös luonnonsiem. entiseen kaskeen syntynyttä verraten tasaista lepikköä. Alikasvoksena vähän koivua ja joitakin kuusia.

N:o 32. Ikä 26 v. Toroppala, Perätuvan tila. — Jokseenkin tasainen. Humuskerros 1—2 cm, mullaskerros 11—12 cm, sen alla ruskeaa hietaa. Karjan laitumena. — Pääasiallisesti juurivesoista, osaksi myös luonnonsiem. syntynyttä taajaa, verraten suorarunkoista lepikköä.

N:o 13. Ikä 27 v. Varpaismaa, Kankaisten tila. — Lievästi etelään viettävä. Humuskerros 2—4 cm, mullaskerros 0—1 cm, sen alla harmaa hieta. Kiviä melko runsaasti. Entinen kaski. — Tasaista, suorarunkoista, melkein yksinomaan luonnonsiem. syntynyttä lepikköä, seassa vähän koivua. Alikasvoksena runsaasti koivua ja joitakin kuusia.

N:o 30. Ikä 27 v. Toroppala, Perätuvan tila. — Hieman pohjoiseen viettävä. Humuskerros 2—3 cm, mullaskerros 9—12 cm, sen alla ruskeaa hietaa. Entinen kaski. Karjan laitumena. — Etupäässä juurivesoista, osittain myös luonnonsiem. syntynyttä tasaista, sangen suorarunkoista lepikköä. Alikasvoksena koivua ja vähän kuusta.

N:o 18. Ikä 30 v. Lehtovaara, Luukkolan tila. — Länteen viettävä rinne. Humuskerros 1—3 cm, mullansekaista hietaa 3—6 cm, sen alla harmaa hieta. Entinen kaski. Karjan laitumena. — Luonnonsiem. ja juurivesoista syntynyttä verraten tasaista lepikköä, seassa joitakin koivuja.

N:o 7. Ikä 30 v. Punkaharjun kokeilualue. Pysyvä koeala N:o 11 a. — Vrt. yllä. V:n 1929 mittaustulokset.

N:o 33. Ikä 30 v. Vehkalahti, Impolan yhteismetsä. — Hiukan länteen viettävä. Humuskerros 2—4 cm, mullaskerros 8—10 cm, sen alla ruskeaa hietaa. Entinen kaskialue. Karjan laitumena. — Luonnonsiem. ja juurivesoista syntynyttä tasaista, sangen kaunista lepikköä.

N:o 12. Ikä 31 v. Varpaismaa, Kankaisten tila. — Itään viettävä rinne. Humuskerros 2—4 cm, mullaskerros 0—1 cm, sen alla ruskea hieta. Kiviä verraten paljon. Entinen kaski. — Tasaista, melkein yksinomaan luonnonsiem. syntynyttä lepikköä. Alikasvoksena koivua ja kuusta.

N:o 21. Ikä 32 v. Syrjävaara, Selkolan tila. — Lievästi länteen viettävä. Humuskerros 1—3 cm, mullansekaista hietaa 4—5 cm, sen alla ruskea hieta. Entinen kaski. — Etupäässä juurivesoista syntynyttä jonkin verran ryhmittäistä lepikköä, seassa vähän koivua.

N:o 24. Ikä 34 v. Petruma, Mikonahon tila. — Länteen viettävä rinne. Humuskerros 2—3 cm, mullaskerros 6—8 cm, sen alla ruskea hieta. — Pääasiallisesti luonnonsiem. syntynyttä tasaista, suorarunkoista lepikköä. Alikasvoksena koivua ja lepänvesoja.

N:o 16. Ikä 34 v. Vehkalahti, Impolan yhteismetsä. — Länteen viettävä rinne. Humuskerros 2—3 cm, mullaskerros 6—10 cm, sen alla harmaa hieta. Entinen kaski. Karjan laitumena. — Luonnonsiem. ja juurivesoista syntynyttä, jossain määrin mutkarunkoista lepikköä, seassa vähän koivua.

N:o 35. Ikä 40 v. Ruunalehto, Konttilan tila. — Melkein tasainen. Humuskerros 2—3 cm, laiha, hiedansekainen mullaskerros 7—10 cm, sen alla

harmaa, paikoin ruskea hieta. Karjan laitumena. — Etupäässä juurivesoista, osittain myös kantovesoista syntynyttä, sangen tasaista lepikköä.

N:o 23. Ikä 42 v. Savonlinnan hoitoalue, Haikansalon palsta. — Melkein tasainen. Humuskerros 2—3 cm, mullaskerros 5—8 cm, sen alla ruskea hieta. Entinen kaski. — Jonkin verran ryhmittäistä luonnonsiem. ja juurivesoista syntynyttä lepikköä, seassa joitakin koivuja. Alikasvoksena vähän kuusta ja lepänvesoja.

*Mustikkatyyppi* (MT).

N:o 19. Ikä 30 v. Lehtovaara, Pekunsuon tila (A. B. Stockfors). — Tasainen. Humuskerros 1—2 cm, mullansekaista hietaa 4—6 cm, sen alla ruskea hieta. Entinen kaski. — Pääasiallisesti juurivesoista syntynyttä, verraten tasaista, jossain määrin mutkarunkoista lepikköä, seassa muutamia koivuja ja kuusia.

N:o 17. Ikä 33 v. Lehtovaara, Luukkolan tila. — Hiukan itään viettävä. Humuskerros 1—2 cm, mullansekaista hietaa 4—5 cm, sen alla ruskea hieta. Entinen kaski. Hevoshakana. — Luonnonsiem. ja juurivesoista syntynyttä verraten tasaista lepikköä, seassa joku koivu ja kuusi. Alikasvoksena koivua.

N:o 20. Ikä 37 v. Lehtovaara, Pahka-ahon tila. — Matala kumpu. Humuskerros 1—2 cm, mullansekaista hietaa 5—6 cm, sen alla ruskea hieta. Entinen kaski. — Pääasiallisesti juurivesoista syntynyttä tasaista lepikköä. Rungot mutkaisia ja haaraisia.

* * *

Ryhdyttäessä käsittelemään kerättyä tutkimusaineistoa, oli ensimmäisenä tehtävänä koealoilla mitattujen koepuiden kuutiomäärien laskeminen. Koepuut kuutioitiin 0.5, 1 tai 2 metrin pätkissä aina sen mukaan, miten mittaukset metsässä oli suoritettu. Kun ulkotöissä oli määrätty myös kuoren vahvuus kussakin mittauskohdassa, voitiin koepuiden nykyisen kuorellisen kuutiomäärän lisäksi laskea myös niiden kuorettomat kuutiomäärät. Samoin määrättiin koepuihin sisältyvä järeän (vahvuudeltaan 10 + cm) puun kuutiomäärä. Milloin jonkin koepuun pituus poikkesi yli 0.5 m siitä kuin sen olisi pitänyt olla koealan pituuskäyrän mukaan, korjattiin kuutiomäärä pituuksien suhteessa.[1]) Sen jälkeen kunkin koealan koepuiden nykyiset kuorelliset ja kuorettomat sekä järeän puun kuutiomäärät asetettiin pisteinä millimetripaperille piirrettyyn koordinaatistoon, jossa abskissalle oli merkitty rinnankorkeusläpimitta ja ordinaatalle kuutiomäärä. Kuutiomääriä esittävien pisteiden perusteella piir-

[1]) Kuutiomäärät oikaistiin seuraavan suhteen mukaisesti: $\frac{v}{v'} = \frac{h}{h'}$, jossa v = oikaistu ja v′ = koepuun todellinen kuutiomäärä sekä h = pituuskäyrän mukainen ja h′ = koepuun todellinen pituus.

rettiin tasoitetut käyrät, jolloin saatiin ns. kuutioimiskäyrät.[1]) Kun sitten käyrien ilmaisemat eri läpimittaluokkien yksikkökuutiomäärät kerrottiin luokkien puuluvuilla ja tulot laskettiin yhteen, saatiin määrätyksi kunkin koealan kuutiomäärät (nykyinen kuorellinen ja kuoreton sekä järeän puun kuutiomäärä).

Paitsi kuutioimista suoritettiin koealoilla metsikön kuutiokasvua, puiden lukumäärää ja mittasuhteita, kuten pituutta, läpimittaa ym. koskevia laskelmia sekä piirrettiin niitä esittäviä graafisia käyriä. Samoin tutkittiin runkoanalyysien avulla valtapuiden kasvusuhteita sekä laskelmallisesti että graafisesti. Kaikkien edellä mainittujen sekä niihin liittyvien seikkojen selvittämisessä käytetyistä menetelmistä tehdään selkoa myöhemmin, joten ne voidaan tässä sivuuttaa.

Tässä yhteydessä mainittakoon, että OT:n ja MT:n metsiköiden sekä valtapuiden kasvusuhteita esittävien käyrien yläpään piirtämistä on jatkettu ja saatu siten tulokset aina 45. ikävuoteen saakka, vaikka molemmilta metsätyypeiltä puuttuvat vanhat koealat. Näin on voitu menetellä sen vuoksi, että molempien kysymyksessä olevien tyyppien käyrien kulku loppuiällä on ollut verraten säännöllistä ja koska lisäksi käyrien piirtämiselle on saatu tukea OMT:n käyristä.

Lisäksi huomautettakoon, että tutkimuksessa ei ole pidetty tarkoitustaan vastaavana tarkistaa saatuja keskiarvoja matemaattisilla todennäköisyyslaskelmilla syystä että aineisto jakaantuu tältä kannalta katsoen liian pieniin ryhmiin.

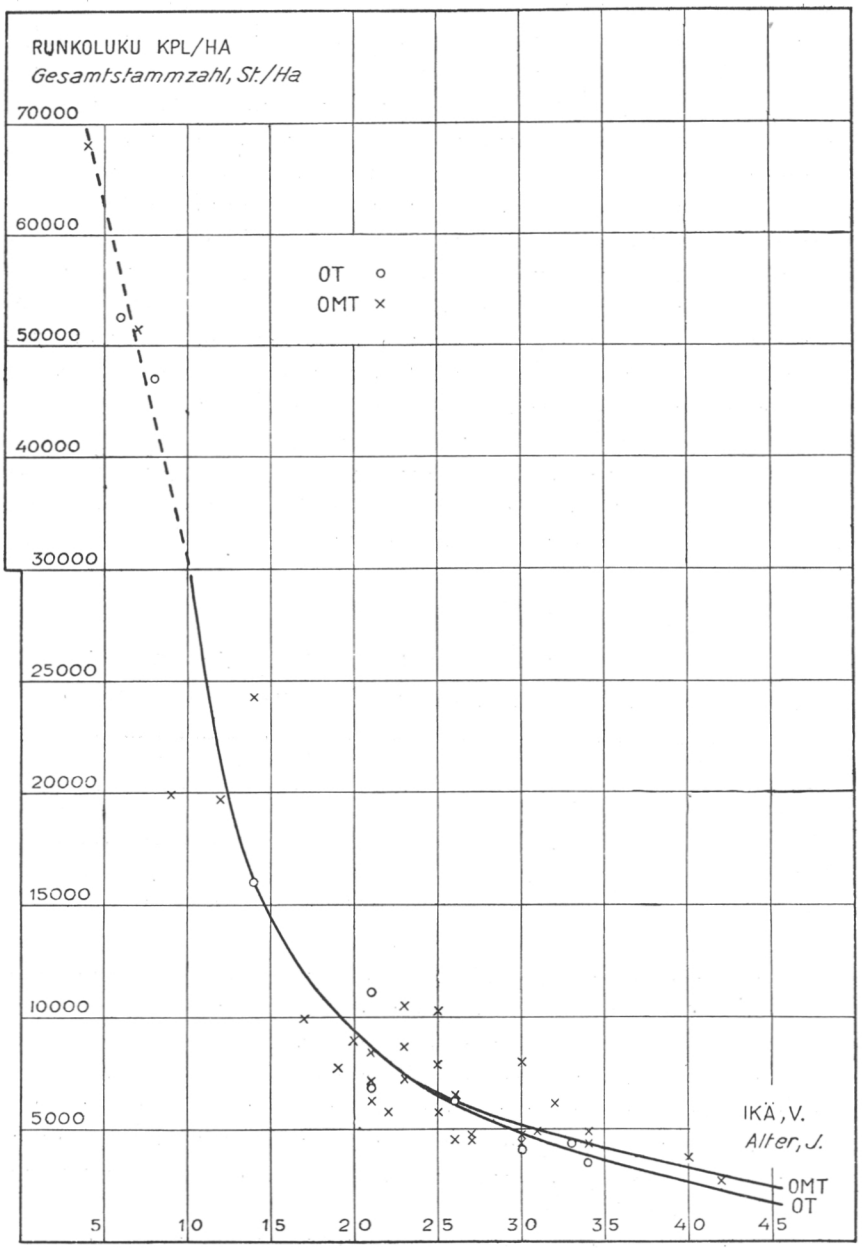
## Tutkimuksen tulokset.

### Runkoluku.

Harmaalepiköissä eri ikäkausina tavattavien keskimääräisten runkolukujen määräämiseksi asetettiin koealametsiköiden elävien puiden lukumääriä — joihin sisältyivät myöskin 1.3 m lyhyemmät puut — esittävät pisteet metsätyypeittäin koordinaatistoon, jossa abskissalle merkittiin metsikön ikä ja ordinaatalle runkoluku ha kohti. Sen jälkeen piirrettiin pisteiden perusteella tasoitetut käyrät. Nämä keskimääräiset runkolukukäyrät nähdään kuvasta 2. Aiemmin (s. 32) mainitusta syystä on runkolukua tutkittu vain OT:llä ja OMT:llä.

Kuvasta ilmenee havainnollisesti lepikön runkoluvun nopea väheneminen metsikön iän kasvaessa. Lisäksi huomataan, että molem-

[1]) Koepuiden kuutiomäärät tasoitettiin aina käyräviivaisesti.




Kuva 2. Harmaalepikön runkoluku.
*Gesamtstammzahl des Weisserlenbestands.*

pien tutkittujen metsätyyppien, OT:n ja OMT:n, runkoluvut näyttävät olevan n. 25. ikävuoteen saakka yhtä suuret. Kun käyrien alkupään piirtäminen on ollut jossain määrin epävarmaa aivan nuorten lepiköiden vähyyden vuoksi, ei saatua tulosta voida kuitenkaan pitää täysin varmana, mutta todennäköisesti näiden toisilleen läheisten tyyppien välinen ero kysymyksessä olevassa suhteessa on vähäinen. Sen sijaan edellä mainitusta ikäkaudesta alkaen on havaittavissa selvää eroavaisuutta OT:n ja OMT:n runkoluvuissa. Edellisen runkoluvut ovat kaikissa ikäasteissa pienemmät kuin jälkimmäisen, joten myös lepiköissä, samoin kuin muidenkin puulajien puhtaissa luonnonnormaalisissa metsiköissä, paremman metsätyypin runkoluku on — todennäköisesti ehkä metsikön ensi ikävuosia lukuun ottamatta — pienempi kuin huonomman (vrt. Ilvessalo 1920 a, ss. 88—89; Lönnroth 1925, kuva 2).

Käyrien perusteella on laadittu taulukko 2, josta nähdään harmaalepikön keskimääräinen runkoluku ha kohti eri ikäkausina ja sen väheneminen metsikön iän lisääntyessä.

Taulukko 2. Harmaalepikön runkoluku hehtaaria kohti.

*Tabelle 2. Gesamtstammzahl des Weisserlenbestands pro Hektar.*

| Metsätyyppi *Waldtyp* | Metsikön ikä, v. — *Bestandesalter, J.* | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 |
| | runkoluku, kpl. — *Stammzahl, St.* | | | | | | | | |
| OT | n. *c.* 63 000 | n. *c.* 31 000 | n. *c.* 14 000 | 9 400 | 6 500 | 4 760 | 3 610 | 2 630 | 1 950 |
| OMT | n. *c.* 63 000 | n. *c.* 31 000 | n. *c.* 14 000 | 9 400 | 6 600 | 5 120 | 4 180 | 3 370 | 2 690 |

Kuten taulukosta ilmenee, on 5-vuotisen lepikön runkoluku yli 60 000. Runkoluku vähenee kuitenkin nopeasti, 20 v:n iällä se on enää n. 15 % ja 40-vuotisessa lepikössä vain n. 4—5 % alkuperäisestä runkoluvusta. Koska molempien kysymyksessä olevien metsätyyppien runkoluvut todennäköisesti ovat alkuaan jotakuinkin yhtä suuret, mutta vanhemmissa ikäasteissa OT:llä pienemmät, on tietenkin luonnollista, että OT:llä runkoluvun väheneminen on nopeampi kuin OMT:llä.

Harmaalepikön runkolukua on vertailtu niihin tuloksiin, joita Ilvessalo on saanut edellä mainitussa, pääpuulajiemme kasvuja tuottosuhteita selvittelevässä tutkimuksessaan (ss. 86—89). Vertailu on kohdistettu ensi sijassa koivuun, koska se lehtipuuna on lepälle läheisempi kuin havupuut. Koivu tulee lähinnä kysymyk-

seen myöskin sen vuoksi, että sen suhteen voidaan suorittaa täydellisempi vertailu, koska edellä mainitussa tutkimuksessa on selvitetty ainoastaan koivun kasvusuhteet OT:llä, jota vastoin mäntyä ja kuusta tutkittaessa parhaimpana metsätyyppinä on ollut OMT.[1]) Edellä mainituista syistä suoritetaan myös muiden käsillä olevan tutkimuksen tulosten vertailu pääasiallisesti koivun suhteen.

Verrattaessa taulukon 2 lukuja vastaaviin koivun runkolukuihin ilmenee, että samalla metsätyypillä ja samalla iällä lepikön runkoluku on säännöllisesti paljon pienempi kuin koivikon. Tämä koskee vain 20 v. vanhempia metsiköitä, sillä sitä nuorempien koivikoiden runkolukuja ei ole esitetty. Lepän ja koivun runkolukujen erotus on nuoremmissa ikäasteissa OMT:llä suurempi kuin OT:llä, mutta vanhemmissa päinvastoin. Niinpä runkolukujen ero on OT:llä 20 v:n iällä 3 500, 30 v:n iällä 2 580 ja 40 v:n iällä 790, mutta OMT:llä vastaavat luvut ovat: 10 800, 2 680 ja 330. Myös runkoluvun väheneminen on verrattavina ikäkausina lepikössä paljon pienempi kuin koivikossa.

Verrattaessa lepikön runkolukua männikön ja kuusikon runkolukuihin OMT:llä havaitaan sen olevan kaikissa ikäasteissa suuremman kuin männikössä, mutta huomattavasti pienemmän kuin kuusikossa. Kaikkina verrattuina ikäkausina myöskin runkoluvun väheneminen on lepikössä suurempi kuin männikössä, mutta pienempi kuin kuusikossa.

Jos lopuksi vertaillaan taulukkoa 2 aiemmin (ss. 18—19) esitettyihin taulukoihin, nähdään, että Latviassa ja Eestissä lepiköiden runkoluvut ovat vastaavissa ikäasteissa kauttaaltaan pienemmät kuin meikäläisten, joskin on huomattava, että latvialaiset luvut koskevat vain valtametsikköä (Hauptbestand).

Kun muutamilla koealoilla suoritettiin biologista puunluokittelua (s. 27), voitiin siten tehdä havaintoja myöskin lepiköiden runkoluvun jakaantumisesta kehitysluokkiin. Aineisto jäi kuitenkin tässä suhteessa vaillinaiseksi, joten sen perusteella ei saada täysin luotettavaa selvyyttä lepiköiden sisäisestä rakenteesta ja puiden olemassaolon taistelusta. Kun havaintojen tulokset luovat kuitenkin jonkinlaista valaistusta edellä mainittuihin seikkoihin, esitetään ne taulukossa 3.

---

[1]) Poikkeuksen tekee vain metsikön kuutiomäärä, joka on määrätty myös OT:n kuusikoille (Ilvessalo 1920 a, s. 99).

Taulukko 3. Harmaalepikön runkoluvun jakaantuminen kehitysluokkiin.

*Tabelle 3. Prozentuale Anteile der Entwicklungsklassen an der Gesamtstammzahl des Weisserlenbestands.*

| Metsätyyppi *Waldtyp* | Koealojen lukumäärä *Anzahl der Probeflächen* | Metsikön ikä, v. *Bestandesalter, J.* | Latvuskerros — *Kronenschicht* | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1. | 2. | 3. | 4. | Yhteensä *Zusammen* |
| | | | prosenttia — *Prozente* | | | | |
| OT | 1 | 30 | 63 | 18 | 11 | 8 | 100 |
| OMT | 2 | 25 | 38 | 20 | 34 | 8 | 100 |
| » | 1 | 30 | 38 | 20 | 35 | 7 | 100 |
| » | 1 | 42 | 47 | 21 | 24 | 8 | 100 |

Taulukon 3 lukuja voidaan parhaiten vertailla Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen luonnonnormaalisten männiköiden pysyvillä koealoilla suoritettujen puunluokittelujen tuloksiin (Miettinen 1930, s. 78). Niiden mukaan tuli OMT:n 32—38-vuotisten männiköiden puulukumäärästä 1. latvuskerroksen osalle 47.5 %, 2. latvuskerroksen 19.2 %, 3. latvuskerroksen 19.1 % ja 4. latvuskerroksen 14.2 %. Lepiköissä näyttää siis olevan 3. latvuskerroksen puita huomattavasti enemmän, mutta 4. latvuskerroksen puita sitä vastoin vähemmän kuin männiköissä, kun taas vallitsevien latvuskerrosten suhteen erot ovat pienemmät.

Metsikön koko runkoluvun ohella on monesti tarpeellista tuntea myöskin metsikön puiden vahvuusluokkiin jakaantuminen eri ikäkausina, so. metsikön keskimääräiset runkojakaantumissarjat. Ne tulevat kysymykseen varsinkin metsikön raha-arvon laskemisessa, metsätaloudellisissa kannattavaisuuslaskelmissa ym., sillä eri kokoisten puiden varsin erilaisista hinnoista johtuen saadaan metsikön hinnoittaminen vasta sitten oikealle perustalle, kun tunnetaan metsikön runkojakaantumissarjat.

Keskimääräisten runkojakaantumissarjojen määrääminen on sangen suuritöinen tehtävä, sillä niiden laskemista varten on ensin selvitettävä runkojakaantumissarjojen karakteristikat: runkoluku, keskiläpimitta, dispersio, variatiokerroin, asymmetria ja eksessi. Kun lepiköiden puut ovat yleensä pienikokoisia ja siis vähäarvoisia, ei lepiköiden runkojakaantumissarjojen tuntemisella ole mitään suurta merkitystä. Tämän vuoksi ei ole pidetty tarpeellisena määrätä runkojakaantumissarjoja edellä mainittujen tarkempiin tuloksiin vievien laskelmien avulla. Kun kuitenkin on mielenkiintoista edes osapuilleen tietää, minkä vahvuisia puita lepiköissä on kullakin ikä-

kaudella, määrättiin runkojakaantumissarjat likimääräisin menetelmin, mistä tehdään selkoa seuraavassa.

Lepiköiden keskimääräisten runkojakaantumissarjojen määräämisessä käytettiin yksinomaan graafista tasoitusmenetelmää. Suorakulmaiseen akselistoon, jonka abskissana oli metsikön ikä ja ordinaattana lukumäärä hehtaarilla, asetettiin jokaisen koealan 1 cm:n vahvuusluokan puulukumäärää esittävät pisteet, joiden perusteella piirrettiin tasoitettu käyrä. Käyrä esitti siis 1 cm:n vahvuusluokan puulukumäärää eri ikäkausina. Sen jälkeen asetettiin samanlaiseen akselistoon jokaisen koealan 3 cm:n vahvuusluokan puulukua esittävät pisteet, jotka samoin tasoitettiin. Näin meneteltiin vuorotellen kunkin vahvuusluokan suhteen, erikseen OT:llä ja OMT:llä. Tasoitetuista käyristä saatiin sitten määrätyksi kunkin vahvuusluokan keskimääräinen puulukumäärä 5, 10, 15 jne. vuoden iällä. Sen jälkeen tasoitettiin vielä kunkin ikäkauden eri vahvuusluokkien puulukumäärät sellaisessa akselistossa, jossa abskissana oli vahvuusluokka ja ordinaattana puulukumäärä. Täten saadut keskimääräiset runkojakaantumissarjat nähdään taulukosta 4.

Taulukko 4. Harmaalepikön runkojakaantumissarjat.

*Tabelle 4. Stammverteilungsreihen des Weisserlenbestands.*

| Ikä, v. *Alter, J.* | Rinnankorkeus-läpimittaluokka, cm — *Brusthöhendurchmesserklasse, cm* 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 | Yhteensä *Zusammen* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Runkoluku ha:lla, kpl. — *Stammzahl pro Hektar, St.* | | | | | | | | | | |
| | OT | | | | | | | | | | |
| 5 | 43 800 | 13 170 | 30 | — | — | — | — | — | — | — | 57 000 |
| 10 | 16 390 | 11 830 | 2 560 | 220 | — | — | — | — | — | — | 31 000 |
| 15 | 1 340 | 6 185 | 4 570 | 1 605 | 260 | 40 | — | — | — | — | 14 000 |
| 20 | 235 | 2 290 | 3 220 | 2 405 | 910 | 235 | 65 | 25 | 15 | — | 9 400 |
| 25 | 70 | 685 | 1 720 | 1 875 | 1 295 | 600 | 180 | 50 | 25 | — | 6 500 |
| 30 | 30 | 235 | 710 | 1 100 | 1 135 | 940 | 415 | 135 | 50 | 10 | 4 760 |
| 35 | 15 | 95 | 225 | 540 | 895 | 895 | 590 | 240 | 90 | 25 | 3 610 |
| 40 | — | 35 | 90 | 205 | 430 | 635 | 615 | 395 | 180 | 45 | 2 630 |
| 45 | — | — | 20 | 95 | 250 | 425 | 455 | 430 | 210 | 65 | 1 950 |
| | OMT | | | | | | | | | | |
| 5 | 49 280 | 7 720 | — | — | — | — | — | — | — | — | 57 000 |
| 10 | 18 560 | 10 760 | 1 670 | 10 | — | — | — | — | — | — | 31 000 |
| 15 | 2 430 | 6 300 | 3 960 | 1 180 | 120 | 10 | — | — | — | — | 14 000 |
| 20 | 355 | 2 520 | 2 990 | 2 440 | 860 | 180 | 40 | 15 | — | — | 9 400 |
| 25 | 120 | 830 | 1 845 | 1 950 | 1 265 | 455 | 105 | 30 | — | — | 6 600 |
| 30 | 70 | 360 | 915 | 1 295 | 1 295 | 820 | 275 | 70 | 20 | — | 5 120 |
| 35 | 45 | 170 | 500 | 905 | 1 010 | 870 | 460 | 170 | 50 | — | 4 180 |
| 40 | 20 | 95 | 220 | 495 | 755 | 780 | 570 | 305 | 115 | 15 | 3 370 |
| 45 | — | 25 | 110 | 300 | 475 | 615 | 610 | 380 | 150 | 25 | 2 690 |

Taulukon 4 lukuja tarkastellessa ilmenee, että molemmilla kysymyksessä olevilla metsätyypeillä metsikön iän kasvaessa pienten läpimittaluokkien puuluku vähenee ja suurten lisääntyy. Tämä kehitys on OT:llä nopeampi kuin OMT:llä. Niinpä esim. 3 cm:n vahvuusluokan puita on OT:llä 10 v:n iällä 11 830 kpl., 25 v:n iällä 685 ja 40 v:n iällä 35, kun taas OMT:llä vastaavat luvut ovat 10 760, 830 ja 95. Vahvimpien läpimittaluokkien puita on edellisellä metsätyypillä paljon runsaammin ja myöskin nuoremmalta iältä alkaen kuin jälkimmäisellä. Kun esim. 17 cm:n vahvuisia puita on OT:llä jo 20. ikävuodesta lähtien, on niitä OMT:n lepiköissä vasta 10 v. myöhemmin.

Lepän ja pääpuulajiemme runkojakaantumissarjoja ei voida keskenään vertailla siitä syystä, että koivun, männyn ja kuusen runkojakaantumissarjat on laskettu vasta 50—60 v. vanhemmille metsiköille (Ilvessalo 1920 b).

## Pituus.

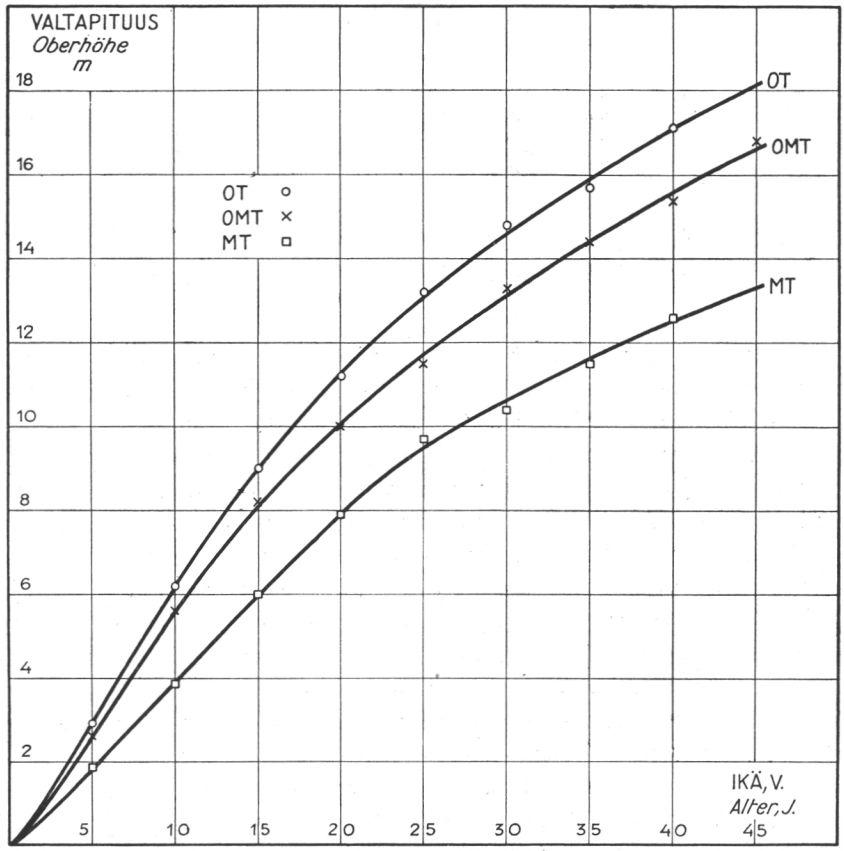
Pituutta tutkittaessa on tarkastelu kohdistettu sekä valtapuiden pituuteen että metsikön keskipituuteen. Edellistä on selvitetty runkoanalyysimittausten pohjalla, jota vastoin jälkimmäisen tutkiminen on perustunut niihin pituusmittauksiin, joita koealoilla suoritettiin eri vahvuusluokkien keskipituuksien määräämiseksi (s. 27). Kun runkoanalyysejä tehtiin OT:llä, OMT:llä ja MT:llä, voidaan valtapituutta selvitellä näillä kolmella metsätyypillä, mutta keskipituutta aiemmin (s. 32) mainitusta syystä vain kahdella ensiksi mainitulla metsätyypillä.

### *Valtapituus.*

Tehtäessä selkoa analyysipuiden mittaustavasta (s. 29) mainittiin, että kiekot sahattiin puusta aina määrätyiltä etäisyyksiltä tyvileikkauksesta ja luettiin jokaisesta kiekosta vuosilustojen lukumäärä. Täten voitiin kussakin sahauskohdassa tutkia analyysipuun pituuden kehitystä. Sen jälkeen kuin kaikki analyysipuussa tehdyt pituushavainnot oli asetettu koordinaatistoon, jonka abskissana oli ikä ja ordinaattana pituus, tasoitettiin havaintosarja graafisesti. Siten saatu käyrä esitti analyysipuun ja samalla myös sen edustaman metsikön valtapuiden pituutta eri ikäkausina.

Sitten kuin kaikkien analyysipuiden pituuskäyrät oli piirretty, otettiin kustakin käyrästä aina täysiä 5 vuosia (5, 10, 15 v. jne.) vastaavat pituusarvot, jotka yhdistettiin metsätyypeittäin ja ikä-

luokittain ryhmiin ja näissä laskettiin aritmeettiset keskiarvot. Sen jälkeen pituuskeskiarvot satunnaisten poikkeusten aiheuttamien epätasaisuuksien poistamiseksi tasoitettiin graafisesti. Täten saadut eri metsätyyppien valtapuiden keskimääräiset pituuskäyrät nähdään kuvasta 3.




Kuva 3. Harmaaleppävaltapuun pituus.
*Höhe des herrschenden Weisserlenstamms.*

Pituuskäyristä on määrätty tutkittujen metsätyyppien lepiköiden valtapuiden keskimääräiset pituudet 5-vuotisin ikäastein. Samoin on käyrien perusteella laskettu juokseva ja keskimääräinen vuotuinen pituuskasvu 5-vuotiskausin. Nämä seikat käyvät ilmi taulukosta 5.

Taulukko 5. Harmaaleppävaltapuun pituus ja pituuskasvu.

*Tabelle 5. Höhe und Höhenzuwachs des herrschenden Weisserlenstamms.*

| Ikä, v. *Alter, J.* | Pituus, *Höhe,* m | | | Juokseva vuot. pituuskasvu, *Laufend jährlicher Höhenzuwachs,* cm | | | Keskimäär. vuot. pituuskasvu, *Durchschnittlich jährlicher Höhenzuwachs,* cm | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | OT | OMT | MT | OT | OMT | MT | OT | OMT | MT |
| 5 | 2.9 | 2.6 | 1.8 | 66 | 60 | 40 | 58 | 52 | 36 |
| 10 | 6.2 | 5.6 | 3.9 | 62 | 56 | 44 | 62 | 56 | 39 |
| 15 | 9.0 | 8.1 | 6.0 | 52 | 46 | 40 | 60 | 54 | 40 |
| 20 | 11.3 | 10.1 | 7.9 | 40 | 36 | 32 | 57 | 51 | 39 |
| 25 | 13.1 | 11.7 | 9.5 | 32 | 29 | 26 | 52 | 47 | 38 |
| 30 | 14.6 | 13.1 | 10.6 | 28 | 26 | 22 | 49 | 44 | 35 |
| 35 | 15.9 | 14.4 | 11.6 | 24 | 24 | 20 | 45 | 41 | 33 |
| 40 | 17.1 | 15.6 | 12.5 | 22 | 22 | 18 | 42 | 39 | 31 |
| 45 | 18.1 | 16.6 | 13.3 | 20 | 20 | 16 | 40 | 37 | 29 |

Kuten saadut tulokset osoittavat, on valtapituus jo aivan taimistoiältä alkaen säännöllisesti sitä suurempi, mitä parempi on metsätyyppi. Varsinkin OMT:n ja MT:n lepiköiden valtapituuksien välinen ero on huomattava, vaihdellen 15. ikävuoden jälkeen 2—3 m:iin, jota vastoin OT ja OMT eroavat toisistaan vähemmän. Niiden valtapituuksissa on 15. ikävuodesta lähtien ainoastaan 1.0—1.5 m:n ero.

Taulukosta 5 ilmenee, että juokseva vuotuinen pituuskasvukin on yleensä sitä suurempi, mitä parempi on metsätyyppi. OT:llä ja OMT:llä se saavuttaa maksiminsa (66 ja 60 cm) samanaikaisesti jo 5 v:n iällä, kun taas MT:llä maksimi (44 cm) sattuu hiukan myöhemmin, eli 10 v:n ialle. Koska valtapituus on säännöllisesti suurempi paremmilla kuin huonommilla metsätyypeillä, on tietenkin keskimääräinen vuotuinen pituuskasvukin kaikissa ikäasteissa edellisillä suurempi kuin jälkimmäisillä. Se saavuttaa myös maksiminsa OT:llä ja OMT:llä vähän aikaisemmin kuin MT:llä, edellisillä (62 ja 56 cm) 10 v:n ja viimeksi mainitulla (40 cm) 15 v:n iällä.

Mielenkiintoista on vertailla keskenään harmaalepän ja muiden puulajiemme valtapituuksien kehitystä. Tähän tarkoitukseen parhaiten soveltuvassa Ilvessalon (1920 a, ss. 121—129) tutkimuksessa on luonnonnormaalisen männikön ja kuusikon valtapituudet määrätty myöskin runkoanalyysien avulla. Koivikon valtapituus on sitä vastoin laskettu koealojen vahvimpien koepuiden pituuksien avulla, joten siis koivikon ja lepikön valtapituudet ovat eri tavoin määrätyt. Aiemmin (ss. 40—41) mainituista syistä suoritetaan kuitenkin yksityiskohtaisempi vertailu koivun kuin männyn ja kuusen suhteen.

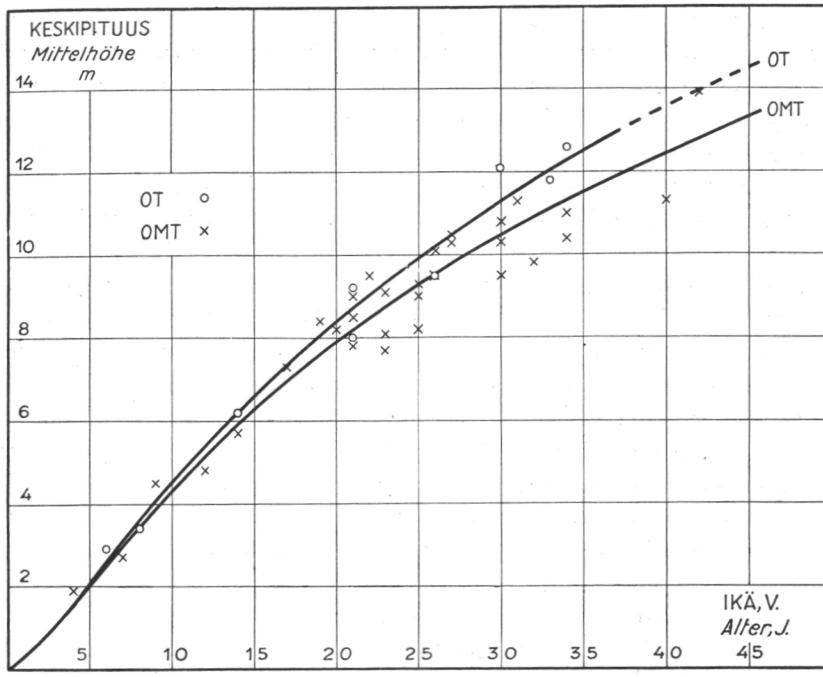
Vertailtaessa ensin keskenään lepiköiden ja koivikoiden valtapituuksia ilmenee, että leppävaltapuut ovat kaikilla tutkituilla metsätyypeillä nuorissa ikäasteissa säännöllisesti koivuvaltapuita pitempiä ja pituusero on paljon suurempi OT:llä ja OMT:llä kuin MT:llä. Pituusero suurenee alussa, iän kasvaessa, ollen kahdella ensin mainitulla metsätyypillä suurimmillaan (3.2—3.3 m) 15—20 v:n vaiheilla, MT:llä (1.7—1.8 m) 10—15 v:n tienoilla. Edellä mainittujen ikäkausien jälkeen erotus vähitellen pienenee, kunnes jo 30 v:n iällä leppä- ja koivuvaltapuu ovat MT:llä jokseenkin yhtä pitkät, ja suhde muuttuu sen jälkeen päinvastaiseksi. OT:llä ja OMT:llä koivu saavuttaa lepän pituudessa 40 v:n vaiheilla. — Koivuvaltapuun vuotuinen juokseva pituuskasvu saavuttaa suurimman arvonsa (42—47 cm) kaikilla metsätyypeillä 20—25 v:n vaiheilla, siis paljon myöhemmin kuin leppä. Ennen tätä ikää lepän pituuskasvu on suurempi, mutta sen jälkeen pienempi kuin koivun.

Myöskin mäntyvaltapuu on OMT:llä ja MT:llä alussa leppävaltapuuta lyhyempi. MT:llä, jolla pituusero on pienempi, mänty saavuttaa saman pituuden kuin leppä 25—30 v:n tienoilla, OMT:llä 40 v:n iällä, siis samaan aikaan kuin koivu. Kuusivaltapuu on molemmilla edellä mainituilla metsätyypeillä vielä 45 v:een mennessä leppävaltapuuta lyhyempi, vaikkakin 20—25. ikävuoden jälkeen erotus pienenee.

### *Keskipituus.*

Vaikkakaan metsikön keskipituudelle ei useista syistä voida antaa yhtä suurta merkitystä kuin valtapituudelle, on myös siihen kohdistettu huomiota käsillä olevassa tutkimuksessa, koska senkin tunteminen osaltaan valaisee lepiköiden rakennetta ja kehitystä.

Yksityisille koealametsiköille laskettiin ensin keskipituudet seuraavan laskukaavan avulla: $H = \frac{\Sigma nh}{N}$, jossa H = laskettava keskipituus, n = läpimittaluokan puuluku ja h = sen keskimääräinen pituus sekä N = koealametsikön puuluku. Sen jälkeen kuin koealametsiköiden keskipituudet oli graafisesti tasoitettu, saatiin kuvassa 4 esitetyt keskimääräiset käyrät, jotka osoittavat iän mukana tapahtuvaa keskipituuden kehitystä. Näistä käyristä saadut, tasoitetut keskipituudet käyvät metsätyypeittäin ilmi taulukosta 6, josta nähdään myös käyrien perusteella laskettu keskipituuden juokseva vuotuinen ja keskimääräinen vuotuinen kasvu.




Kuva 4. Harmaalepikön keskipituus.
*Mittelhöhe im Weisserlenbestand.*

Taulukko 6. Harmaalepikön keskipituus ja sen kasvu.
*Tabelle 6. Mittelhöhe und deren Zuwachs im Weisserlenbestand.*

| Ikä, v. *Alter, J.* | Keskipituus, *Mittelhöhe,* m | | Keskipituuden juokseva vuotuinen kasvu, *Laufend jährlicher Zuwachs der Mittelhöhe,* cm | | Keskipituuden keskimäär. vuotuinen kasvu, *Durchschnittlich jährlicher Zuwachs der Mittelhöhe,* cm | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | OT | OMT | OT | OMT | OT | OMT |
| 5 [1]) | 2.1 | 2.0 | 50 | 46 | 42 | 40 |
| 10 | 4.5 | 4.3 | 46 | 44 | 45 | 43 |
| 15 | 6.6 | 6.3 | 37 | 35 | 44 | 42 |
| 20 | 8.4 | 7.9 | 32 | 29 | 42 | 39 |
| 25 | 9.9 | 9.3 | 29 | 25 | 40 | 37 |
| 30 | 11.3 | 10.5 | 26 | 22 | 38 | 35 |
| 35 | 12.5 | 11.5 | 24 | 20 | 36 | 33 |
| 40 | 13.6 | 12.4 | 22 | 18 | 34 | 31 |
| 45 | 14.5 | 13.3 | 20 | 16 | 33 | 29 |

[1]) Keskipituus on tullut epävarmemmin määrätyksi sen vuoksi, että sitä laskettaessa ei ole otettu huomioon lepiköissä vielä tällä iällä tavattavia 1.3 m lyhyempiä puita.

Kuten valtapituus, on myöskin keskipituus jo aivan taimistoiältä alkaen OT:llä suurempi kuin OMT:llä, mutta keskipituuksien ero on paljon pienempi kuin valtapituuksien. Pituusero on alussa vähäinen, mutta kasvaa iän mukana, ollen vasta 35 v:n iällä 1 m. — Keskipituuden sekä juokseva että keskimääräinen vuotuinen kasvu on kaikissa ikäasteissa OT:llä suurempi kuin OMT:llä. Edellinen kasvu saavuttaa molemmilla metsätyypeillä maksiminsa (50 ja 46 cm) n. 5 v:n, jälkimmäinen (45 ja 43 cm) n. 10 v:n vaiheilla, siis samoihin aikoihin kuin valtapituudenkin molemmilla kasvuilla on maksiminsa.

Seuraavassa vertaillaan keskenään lepikön ja pääpuulajiemme puhtaiden metsiköiden keskipituuksia (Ilvessalo 1920 a, ss. 113—120). Vertailun on kuitenkin kohdistuttava yksinomaan 20—45. ikävuosien väliseen aikaan, koska edellä mainitussa tutkimuksessa ei erinäisistä syistä ole keskipituutta nuoremmille metsiköille laskettu. Lisäksi mainittakoon, että Ilvessalo on määrännyt keskipituuden toisin kuin käsillä olevassa tutkimuksessa on menetelty, mutta ei tätä seikkaa voitane pitää vertailua ehkäisevänä.

Lepikön ja koivikon keskipituuksien vertailussa ilmenee, että 20—45. ikävuosien välisenä aikana lepikön keskipituus on molemmilla metsätyypeillä paljon suurempi kuin koivikon, vaikkakin pituusero iän lisääntyessä pienenee. OT:llä ero vaihtelee 3.5—2.4 m:iin ja OMT:llä 4.1—2.0 m:iin, joten siis ero on huomattava. Kuten edellä nähtiin, olivat lepän ja koivun valtapituudet molemmilla metsätyypeillä jo 40 v:n iällä yhtä suuret. — Koivikon keskipituuden juokseva vuotuinen kasvu on molemmilla metsätyypeillä 25—30 v:n iältä lähtien lepikön keskipituuden kasvua suurempi, mutta keskimääräinen vuotuinen kasvu on sitä vastoin vielä 45 v:n iällä pienempi kuin lepikön vastaava kasvu.

Myöskin vertailtaessa keskenään lepikön ja OMT:n männikön sekä kuusikon keskipituuksia 20—45. ikävuosien aikana huomataan melkoisia eroavaisuuksia. Niinpä männikön ja lepikön keskipituuksien ero on pienempi kuin koivikon ja lepikön. Vielä 20 v:n iällä ensiksi mainittujen pituusero on 2.5 m, mutta se pienenee nopeasti, kunnes 40 v:n tienoilla lepikön ja männikön keskipituudet ovat yhtä suuret ja sen jälkeen männikön suurempi. Kuten muistettaneen, on asianlaita valtapituuden suhteen samanlainen. — Kuusikon ja lepikön keskipituuksissa on ero suurin, vaihdellen 25—45 v:n välisenä aikana 4.9—4.4 m:iin.

Verrattaessa keskenään meikäläisiä, latvialaisia (s. 18) ja eestiläisiä (s. 19) lepiköitä huomataan, että meillä lepiköiden keskipituus on paljon pienempi kuin molemmissa viimeksi mainituissa maissa.

Niinpä keskipituus on Latviassa 3—6.5 m ja Eestissä — mikäli luvut tarkoittavat keskipituutta — 2—5 m suurempi kuin meillä. Kun latvialaiset luvut kohdistuvat vain valtametsikköön, johtuu eron suuruus osittain tästä seikasta.

Lopuksi tarkastellaan vielä lepiköiden valta- ja keskipituuden erotusta. Pituuserot käyvät ilmi taulukosta 7, johon vertailun vuoksi on merkitty myös pituuksien erot männikössä, kuusikossa ja koivikossa vastaavilla metsätyypeillä niistä ikäkausista alkaen, joista tiedot on ollut saatavana (Ilvessalo 1920 b).

Taulukko 7. Valtapituuden ja keskipituuden erotus harmaalepikössä.
*Tabelle 7. Differenz von Oberhöhe und Mittelhöhe im Weisserlenbestand.*

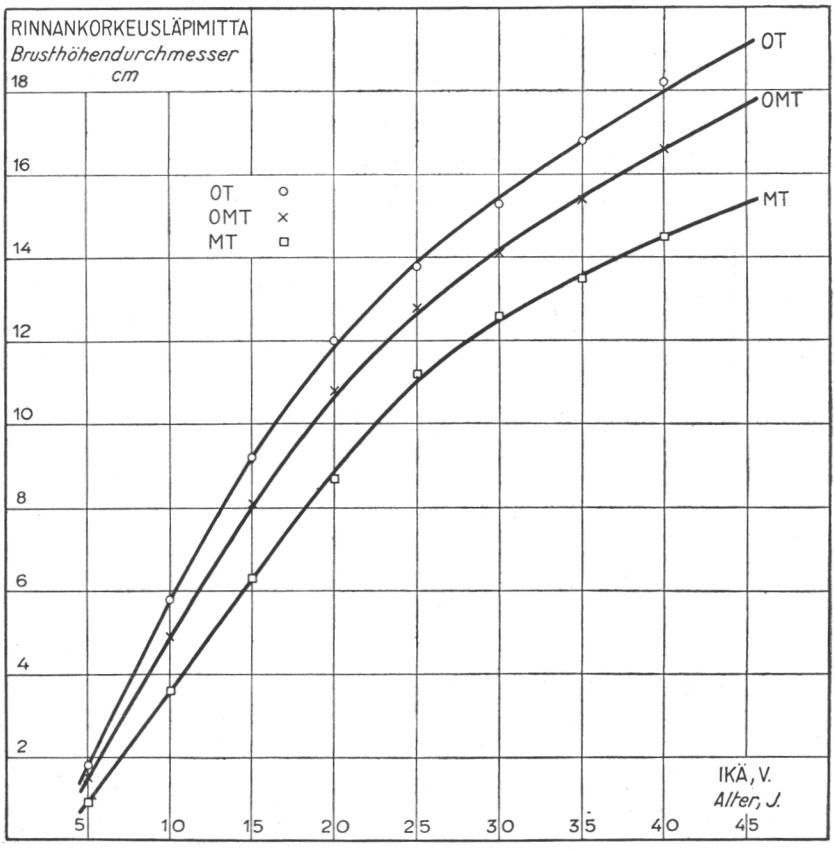
| Ikä, v. *Alter, J.* | Valtapituuden ja keskipituuden erotus, m *Differenz von Oberhöhe und Mittelhöhe, m* | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | harmaalepikössä *im Weisserlenbestand* | | koivikossa *im Birkenbestand* | | männikössä *im Kiefern-bestand* | kuusikossa *im Fich'en-bestand* |
| | OT | OMT | OT | OMT | OMT | OMT |
| 5 | 0.8 | 0.6 | — | — | — | — |
| 10 | 1.7 | 1.3 | — | — | — | — |
| 15 | 2.4 | 1.8 | — | — | — | — |
| 20 | 2.9 | 2.2 | 3.0 | 3.1 | 1.3 | — |
| 25 | 3.2 | 2.4 | 3.9 | 3.8 | 2.2 | 2.4 |
| 30 | 3.3 | 2.6 | 4.7 | 4.4 | 2.9 | 3.6 |
| 35 | 3.4 | 2.9 | 5.6 | 5.0 | 3.4 | 4.8 |
| 40 | 3.5 | 3.2 | 6.3 | 5.5 | 3.6 | 5.7 |
| 45 | 3.6 | 3.3 | 7.0 | 6.0 | 3.5 | 6.3 |

Kuten taulukosta ilmenee, on lepiköiden valta- ja keskipituuden erotus molemmilla kysymyksessä olevilla metsätyypeillä likipitäen yhtä suuri, OT:llä kuitenkin hiukan suurempi kuin OMT:llä. Verrattaessa lepikköä toisten puulajien metsiköihin huomataan, että männikössä pituuksien ero on jokseenkin yhtä suuri, mutta koivikossa ja kuusikossa paljon suurempi kuin lepikössä. Koivikossa ja kuusikossa siis puut jakaantuvat useampiin pituusluokkiin, kun taas lepikössä ja männikössä puut ovat enemmän tasapitkiä.

## Rinnankorkeusläpimitta.

Puiden läpimittaa ja sen kehitystä on lepiköissä tutkittu vain rinnankorkeudelta (1.3 m:n korkeudelta). Erikseen tutkittiin valta-

puiden rinnankorkeusläpimittaa ja metsikön keskiläpimittaa. Edellisen selvittely on perustunut runkoanalyysimittauksiin, jälkimmäisen sen sijaan koealojen runkojakaantumissarjoihin. Tämän vuoksi voidaan valtapuiden rinnankorkeusläpimittaa tarkastella OT:llä, OMT:llä ja MT:llä, mutta metsikön keskiläpimittaa vain kahdella ensiksi mainitulla metsätyypillä (vrt. s. 32).




Kuva 5. Harmaaleppävaltapuun rinnankorkeusläpimitta.
*Brusthöhendurchmesser bei dem herrschenden Weisserlenstamm.*

### *Valtapuiden rinnankorkeusläpimitta.*

Kuten jo aiemmin (s. 29) mainittiin, sahattiin jokaisesta analyysipuusta myöskin rinnankorkeudelta kiekko, jonka perusteella on voitu selvittää puun läpimitan kehitystä tällä mittakorkeudella. Näistä kiekoista määrättiin analyysipuun rinnankorkeusläpimitta kullakin täyden 5 v:n iällä. Sen jälkeen kuin metsätyypeittäin oli laskettu

kaikkien täysiä 5 vuosia vastaavien läpimittojen aritmeettiset keskiarvot, tasoitettiin ne graafisesti, jolloin saatiin valtapuiden rinnankorkeusläpimitan keskimääräistä suuruutta osoittavat käyrät (kuva 5). Käyristä määrätyt tasoitetut keskimääräiset rinnankorkeusläpimitat nähdään taulukosta 8, johon on myöskin käyrien perusteella laskettu läpimitan juokseva ja keskimääräinen vuotuinen kasvu eri ikäkausina.

Taulukko 8. Harmaaleppävaltapuun rinnankorkeusläpimitta ja sen kasvu.

*Tabelle 8. Brusthöhendurchmesser und dessen Zuwachs bei dem herrschenden Weisserlenstamm.*

| Ikä, v. *Alter, J.* | Rinnankorkeusläpimitta (kuoretta), *Brusthöhendurchmesser (ohne Rinde)*, cm | | | Läpimitan juokseva vuot. kasvu, *Laufend jährlicher Durchmesserzuwachs*, mm | | | Läpimitan keskimäär. vuot. kasvu, *Durchschnittlich jährlicher Durchmesserzuwachs*, mm | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | OT | OMT | MT | OT | OMT | MT | OT | OMT | MT |
| 5 | 1.8 | 1.5 | 0.9 | 8.0 | 7.0 | 4.7 | 3.6 | 3.0 | 1.8 |
| 10 | 5.8 | 4.9 | 3.6 | 7.4 | 6.6 | 5.4 | 5.8 | 4.9 | 3.6 |
| 15 | 9.2 | 8.1 | 6.3 | 6.4 | 6.0 | 5.6 | 6.1 | 5.4 | 4.2 |
| 20 | 11.9 | 10.7 | 8.9 | 4.4 | 4.6 | 4.6 | 5.9 | 5.3 | 4.4 |
| 25 | 13.9 | 12.7 | 11.0 | 3.6 | 3.4 | 3.6 | 5.6 | 5.1 | 4.4 |
| 30 | 15.5 | 14.2 | 12.5 | 3.0 | 2.8 | 2.6 | 5.2 | 4.7 | 4.2 |
| 35 | 16.8 | 15.5 | 13.6 | 2.6 | 2.3 | 2.0 | 4.8 | 4.4 | 3.9 |
| 40 | 18.0 | 16.6 | 14.5 | 2.2 | 2.2 | 1.6 | 4.5 | 4.1 | 3.6 |
| 45 | 19.1 | 17.7 | 15.3 | 2.2 | 2.2 | 1.4 | 4.2 | 3.9 | 3.4 |

Kuten saaduista tuloksista ilmenee, on valtapuiden rinnankorkeusläpimitankin kehitys selvästi erilainen eri metsätyypeillä, läpimitta on sitä suurempi, mitä parempi on metsätyyppi. Samoin kuin valtapuiden pituuden, on myös niiden läpimitan kehityksen suhteen OT:n ja OMT:n ero pienempi kuin OMT:n ja MT:n. Jo alun perin MT jää huomattavasti toisista metsätyypeistä jälkeen, mutta vielä myöhemmälläkin iällä sen valtapuun läpimitan kehitys hidastuu enemmän kuin OMT:n ja OT:n. Taulukon 8 lukuja tarkastellessa huomataan OT:n ja OMT:n läpimittojen eron vaihtelevan 5—45. ikävuosien välillä 0.3—1.4 cm:iin, jota vastoin OMT:n ja MT:n erotus samana aikana on 0.6—2.4 cm.

Rinnankorkeusläpimitan juokseva ja keskimääräinen vuotuinen kasvu ovat myös paremmilla metsätyypeillä yleensä suuremmat kuin huonommilla. Juoksevan kasvun maksimi sattuu sekä OT:llä että OMT:llä jo 5 v:n, MT:llä 10—15 v:n iälle, keskimääräisen kasvun

hiukan myöhemmin eli molemmilla ensiksi mainituilla metsätyypeillä 15—16 v:n ja MT:llä 20—25 v:n tienoille. Molemmilla läpimittakasvuilla on siis maksiminsa vähän myöhemmin kuin vastaavilla pituuskasvuilla (vrt. taulukkoa 5).

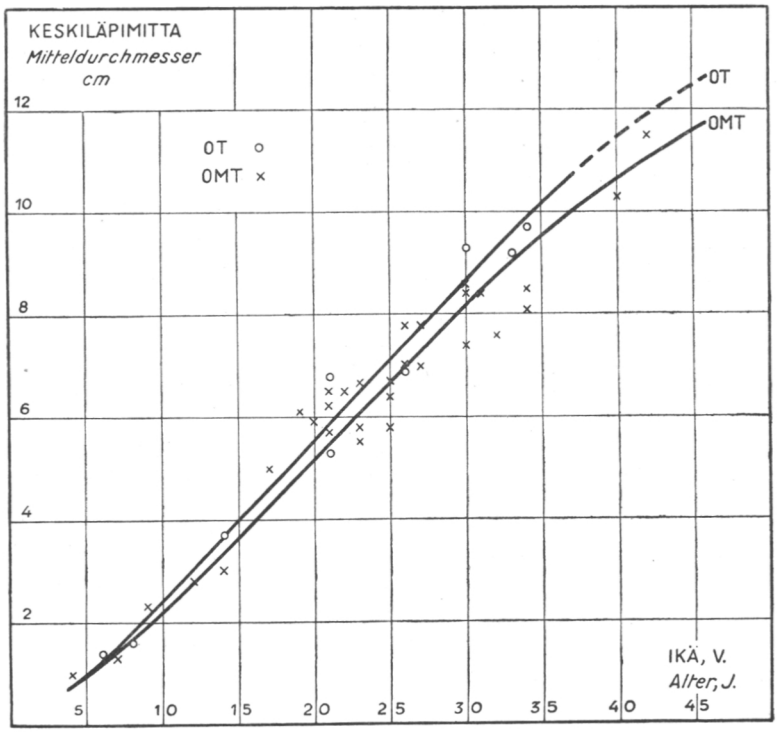
Kun edellä vertailuun käytetyssä Ilvessalon (1920 a, ss. 129—136) tutkimuksessa ei koivulle ole tehty runkoanalyysejä, on leppävaltapuun rinnankorkeusläpimitan kehitystä koskeva vertailu toimitettava vain OMT:n ja MT:n mänty- ja kuusivaltapuiden suhteen.

Vertailtaessa keskenään mänty- ja leppävaltapuun rinnankorkeusläpimittojen kehitystä huomataan, että männyn läpimitta molemmilla edellä mainituilla metsätyypeillä on nuorella iällä pienempi kuin lepän. Niinpä männyn läpimitta 10—15 v:n iällä on OMT:llä yli 3 cm ja MT:llä 1—2 cm pienempi kuin lepän vastaavilla tyypeillä. Vahvuusero kuitenkin iän lisääntyessä vähitellen pienenee, joten männyn ja lepän läpimitat tulevat ennen pitkää yhtä suuriksi, MT:llä 25 v:n ja OMT:llä 30 v:n vaiheilla, suhteen muuttuessa sen jälkeen päinvastaiseksi. Mänty- ja leppävaltapuu saavuttavat siis aikaisemmin saman vahvuuden kuin pituuden (vrt. s. 47). — Molemmilla kysymyksessä olevilla metsätyypeillä mäntyvaltapuun juokseva vuotuinen läpimittakasvu on jo 15. ikävuodesta, keskimääräinen vuot. kasvu sitä vastoin MT:llä 25 v:sta ja OMT:llä vasta 35 v:sta lähtien suurempi kuin lepän.

Kuusi- ja leppävaltapuun rinnankorkeusläpimittojen vertailussa ilmenee, että molemmilla edellä mainituilla metsätyypeillä kuusen läpimitta 45. ikävuoteen mennessä on säännöllisesti pienempi kuin lepän; erotus on suurimmillaan (5—6 cm) n. 20 v:n iällä, mutta vähenee iän lisääntyessä. Valtapuun läpimitan ja pituuden kehitykseen nähden on siis molempien puulajien suhde samanlainen (vrt. s. 47).

### *Keskiläpimitta.*

Jokaiselle koealametsikölle laskettiin keskiläpimitta käyttämällä kaavaa: $D = \frac{\Sigma nd}{N}$, jossa D = laskettava keskiläpimitta, d = rinnankorkeus-läpimittaluokka ja n = sen puuluku sekä N = koealametsikön puuluku. Yksityisten koealametsiköiden keskiläpimittaarvot tasoitettiin sitten graafisesti metsätyypeittäin, jolloin saatiin keskimääräiset keskiläpimittakäyrät (kuva 6) osoittamaan metsikön keskiläpimitan riippuvaisuutta metsikön iästä. Taulukosta 9 nähdään käyrien perusteella määrätyt keskiläpimitan keskimääräiset arvot sekä keskiläpimitan juokseva ja keskimääräinen vuotuinen kasvu eri ikäasteissa.




Kuva 6. Harmaalepikön keskiläpimitta.
*Mittlerer Durchmesser im Weisserlenbestand.*

Taulukko 9. Harmaalepikön keskiläpimitta ja sen kasvu.
*Tab. 9. Mittlerer Durchmesser und dessen Zuwachs im Weisserlenbestand.*

| Ikä, v. *Alter, J.* | Keskiläpimitta (kuorineen), *Mittlerer Durchmesser (einschl. Rinde)*, cm | | Keskiläpimitan juokseva vuotuinen kasvu, *Laufend jährl. Zuwachs des mittleren Durchmessers*, mm | | Keskiläpimitan keskimäär. vuotuinen kasvu, *Durchschn. jährl. Zuwachs des mittleren Durchmessers*, mm | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | OT | OMT | OT | OMT | OT | OMT |
| 5 [1]) | 1.0 | 1.0 | 2.5 | 2.5 | 2.0 | 2.0 |
| 10 | 2.4 | 2.2 | 3.2 | 2.8 | 2.4 | 2.2 |
| 15 | 4.0 | 3.7 | 3.2 | 3.0 | 2.6 | 2.4 |
| 20 | 5.6 | 5.2 | 3.2 | 3.0 | 2.8 | 2.6 |
| 25 | 7.1 | 6.7 | 3.1 | 3.0 | 2.8 | 2.6 |
| 30 | 8.7 | 8.2 | 3.0 | 2.8 | 3.0 | 2.8 |
| 35 | 10.2 | 9.6 | 2.8 | 2.6 | 3.0 | 2.8 |
| 40 | 11.5 | 10.7 | 2.3 | 2.0 | 2.8 | 2.6 |
| 45 | 12.5 | 11.6 | 1.8 | 1.4 | 2.8 | 2.6 |

[1]) Vrt. alimuistutusta s. 48.

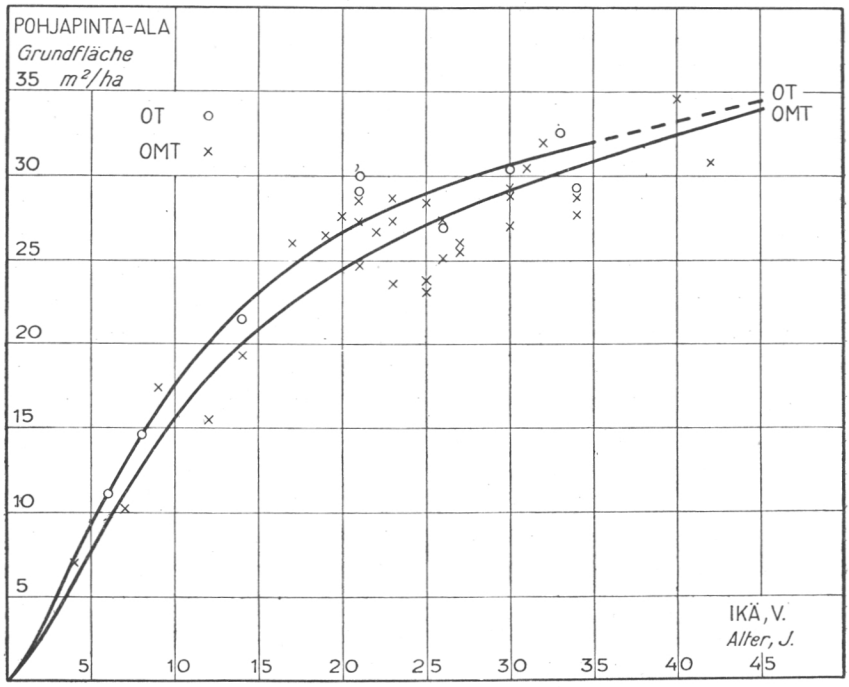
Kuten edellä mainituista käyristä ja taulukon luvuista ilmenee, on OT:n ja OMT:n lepiköiden keskiläpimittojen kesken havaittavissa eroa, joskaan ei suurta. Vahvuusero ei ole läheskään niin selvä kuin samojen metsätyyppien valtapuiden läpimitoissa. OT:n lepiköiden keskiläpimitta on tosin jo aivan nuorelta iältä alkaen samassa ikäasteessa suurempi kuin OMT:n ja ero kasvaa vähitellen iän lisääntyessä, mutta vielä 45. ikävuoteen mennessä vahvuusero on ainoastaan alle 1 cm:n.

Keskiläpimitan juokseva ja keskimääräinen vuotuinen kasvu ovat myöskin OT:llä vähän suuremmat kuin OMT:llä. Juoksevalla kasvulla on maksiminsa OT:llä 10—20. ja OMT:llä 15—25. ikävuosien vaiheilla, jota vastoin keskimääräisen kasvun maksimi sattuu molemmilla metsätyypeillä 30—35 v:n iälle. Molemmat kasvut saavuttavat siis kummallakin tyypillä korkeimmat arvonsa huomattavasti myöhemmin kuin valtapuiden läpimitan kasvut (vrt. taulukkoa 8), joka onkin luonnollista, koska valtapuiden vapaampaan asemaan päästyä myöskin niiden vahvuuskasvu edistyy nopeammin kuin koko metsikön, johon sisältyy myös kehityksessä jälkeen jääneitä yksilöitä.

Vertailtaessa keskenään lepikön ja koivikon keskiläpimittojen kehitystä (Ilvessalo 1920 a, ss. 79—82) ilmenee, että molemmilla kysymyksessä olevilla metsätyypeillä lepikön keskiläpimitat vielä 45. ikävuoteen saakka ovat huomattavasti suuremmat kuin koivikon, ollen vahvuusero OMT:llä suurempi kuin OT:llä. Nuorella iällä vahvuusero on vähäisempi, esim. 10 v:n iällä 1.4—1.5 cm, mutta se kasvaa iän lisääntyessä ja molemmilla tyypeillä ero on suurimmillaan (3.1—3.7 cm) 30—35. ikäasteiden vaiheilla, pienentyen taas sen jälkeen. — Lepikön keskiläpimitan juokseva kasvu on molemmilla metsätyypeillä alussa suurempi kuin koivikon, mutta 35. ikävuodesta alkaen suhde muuttuu päinvastaiseksi. Samoin kuin lepikön keskiläpimitta, on tietenkin läpimitan keskimääräinen kasvukin kaikissa tutkituissa ikäasteissa molemmilla metsätyypeillä paljon suurempi kuin koivikon. Molemmat keskiläpimitan kasvut saavuttavat maksiminsa aikaisemmin lepiköissä kuin koivikoissa.

Keskiläpimitan suhteen lepikköä voidaan vertailla männikköön ja kuusikkoon vain OMT:llä (Ilvessalo 1920 a, ss. 77—83). Lepikön keskiläpimitta on tällä tyypillä kaikissa tutkituissa ikäasteissa pienempi kuin männikön, vahvuusero vaihtelee 0.8—2.1 cm:iin ja ero suurenee iän lisääntyessä. — Lepikön ja kuusikon suhde on sen sijaan päinvastainen. Lepikön keskiläpimitta on vielä 45. ikävuoteen mennessä säännöllisesti suurempi (1.0—3.9 cm) kuin kuusikon. Eroa on aivan nuorelta iältä alkaen, suurimmillaan se on 40 v:n iällä, mutta pienenee sen jälkeen.

Edellä suoritetusta vertailusta ilmenee, että lepikön keskiläpimitta on samalla iällä huomattavasti suurempi kuin koivikon ja kuusikon, mutta jonkin verran pienempi kuin männikön. Kuten jo aiemmin (s. 41) kävi ilmi, on lepikön runkoluku pienempi kuin koivikon ja kuusikon, mutta suurempi kuin männikön, joten erot keskiläpimitan suhteen voitaneen katsoa yksinomaan erilaisesta runkoluvusta johtuviksi, sillä mitä vähemmän puita on pinta-alayksikköä kohti, sitä vahvemmiksi ne voivat kehittyä (vrt. Ilvessalo 1920 a, s. 89).




Kuva 7. Harmaalepikön pohjapinta-ala.
*Grundfläche im Weisserlenbestand.*

Vertailtaessa keskiläpimitan suhteen meikäläisiä, latvialaisia (s. 18) ja eestiläisiä (s. 19) lepiköitä nähdään, että saadut tulokset ovat kauttaaltaan pienemmät meillä kuin Latviassa ja Eestissä. Tässäkin tapauksessa saattaa pääasiallinen vahvuuseron syy johtua erilaisista runkoluvuista, sillä kuten edellä (s. 41) ilmeni, on meillä myöskin lepiköiden runkoluku suurempi kuin kysymyksessä olevissa maissa.

## Pohjapinta-ala.

Pohjapinta-alaan kohdistuvat tutkimukset on suoritettu yksinomaan koko metsikön suhteen, jota vastoin valtapuiden rinnan-

korkeus-poikkileikkauspinnan tutkimista erikseen ei ole pidetty tarpeellisena enää sen jälkeen, kun niiden rinnankorkeusläpimitan kehitystä on jo edellä selvitetty.

Kun ensin oli laskettu kunkin koealametsikön pohjapinta-ala, so. metsikön puiden kuorellisia rinnankorkeusläpimittoja vastaavien poikkileikkauspintojen summa, asetettiin pohjapinta-aloja esittävät pisteet metsätyypeittäin koordinaatistoon, jonka abskissana oli metsikön ikä ja ordinaattana pohjapinta-ala. Sen jälkeen piirrettiin pisteiden perusteella tasoitetut käyrät, jotka nähdään kuvasta 7. Näistä käyristä saadut lepikön pohjapinta-alan keskimääräiset arvot eri ikäasteissa on esitetty taulukossa 10, johon käyrien perusteella on laskettu myös pohjapinta-alan juokseva ja keskimääräinen vuotuinen kasvu.

Taulukko 10. Harmaalepikön pohjapinta-ala ja sen kasvu ha kohti.
*Tab. 10. Grundfläche und deren Zuwachs pro Ha im Weisserlenbestand.*

| Ikä, v. *Alter, J.* | Pohjapinta-ala, *Grundfläche*, m² | | Pohjapinta-alan juokseva vuotuinen kasvu, *Laufend jährlicher Zuwachs der Grundfläche*, dm² | | Pohjapinta-alan keskimäär. vuotuinen kasvu, *Durchschnittlich jährlicher Zuwachs der Grundfläche*, dm² | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | OT | OMT | OT | OMT | OT | OMT |
| 5 | 9.2 | 7.7 | 192 | 174 | 184 | 154 |
| 10 | 17.6 | 15.6 | 136 | 132 | 176 | 156 |
| 15 | 23.1 | 20.9 | 88 | 86 | 154 | 139 |
| 20 | 26.7 | 24.5 | 58 | 60 | 134 | 123 |
| 25 | 29.0 | 27.1 | 38 | 44 | 116 | 108 |
| 30 | 30.6 | 29.1 | 30 | 38 | 102 | 97 |
| 35 | 32.0 | 30.9 | 26 | 34 | 91 | 88 |
| 40 | 33.3 | 32.5 | 26 | 32 | 83 | 81 |
| 45 | 34.5 | 34.0 | 24 | 28 | 77 | 76 |

Saatuja tuloksia tarkasteltaessa ilmenee, että pohjapinta-alankin suhteen OT:n ja OMT:n lepiköiden kesken on eroavaisuutta, edellisten pohjapinta-ala on kaikissa ikäasteissa jälkimmäisiä suurempi. Jo taimistoiältä alkaen havaittava tyyppien keskeinen ero kasvaa vähitellen ja on suurimmillaan, vähän yli 2 m², 15—20. ikävuosien vaiheilla, mutta pienenee sen jälkeen ja esim. 45 v:n tienoilla eroa on enää 0.5 m².

Pohjapinta-alan juokseva vuotuinen kasvu on nuorella iällä OT:llä suurempi kuin OMT:llä, mutta 20. ikävuodesta lähtien suhde muuttuu päinvastaiseksi. Tämä ilmiö, että OT:llä pohjapinta-alan

kasvu hidastuu nopeammin kuin OMT:llä, nähdään myös havainnollisesti edellä mainituista käyristä. Ilmiön pääasiallisimpana syynä on todennäköisesti se, että 20. ikävuodesta lähtien runkoluvun väheneminen on OT:llä suurempi kuin OMT:llä, kuten aiemmin (s. 40) osoitettiin. — Koska pohjapinta-ala on OT:llä kaikissa ikäasteissa suurempi kuin OMT:llä, on sen keskimääräinen kasvukin edellisellä suurempi kuin jälkimmäisellä. Pohjapinta-alan molempien kasvujen maksimit sattuvat jo aivan nuorelle iälle.

Lepikön ja koivikon pohjapinta-alojen (Ilvessalo 1920 a, ss. 112—115) keskinäinen vertailu voidaan kohdistaa vain 20—45. ikävuosien väliseen aikaan, koska koivikon pohjapinta-alaa ei ole nuoremmissa ikäasteissa selvitetty. — Vertailusta käy ilmi, että molemmilla tutkituilla metsätyypeillä lepikön pohjapinta-ala on edellä mainitun ikäisissä metsiköissä paljon suurempi kuin koivikon. Pohjapinta-alojen välinen ero eri ikäasteissa vaihtelee OT:llä 8.6—10.3 $m^2$ ja OMT:llä 15.7—11.6 $m^2$. Edellisellä metsätyypillä ero suurenee metsikön iän lisääntyessä, mutta jälkimmäisellä sitä vastoin pienenee. — Pohjapinta-alan juokseva vuotuinen kasvu on verrattuna ikäkautena OT:n lepiköissä suurempi kuin saman tyypin koivikoissa, mutta OMT:llä suhde on päinvastainen.

Kuten aiemmin (ss. 41, 55) nähtiin, on koivikon runkoluku kaikissa ikäasteissa suurempi, mutta keskiläpimitta sitä vastoin pienempi kuin lepikön, mistä ilmeisesti johtuukin, että koivikon pohjapinta-ala jää pienemmäksi kuin lepikön. Lepikön ja koivikon pohjapinta-alojen erilainen suhde OT:llä ja OMT:llä johtunee lepikön ja koivikon erilaisesta luontaisesta harventumisesta kysymyksessä olevilla metsätyypeillä.

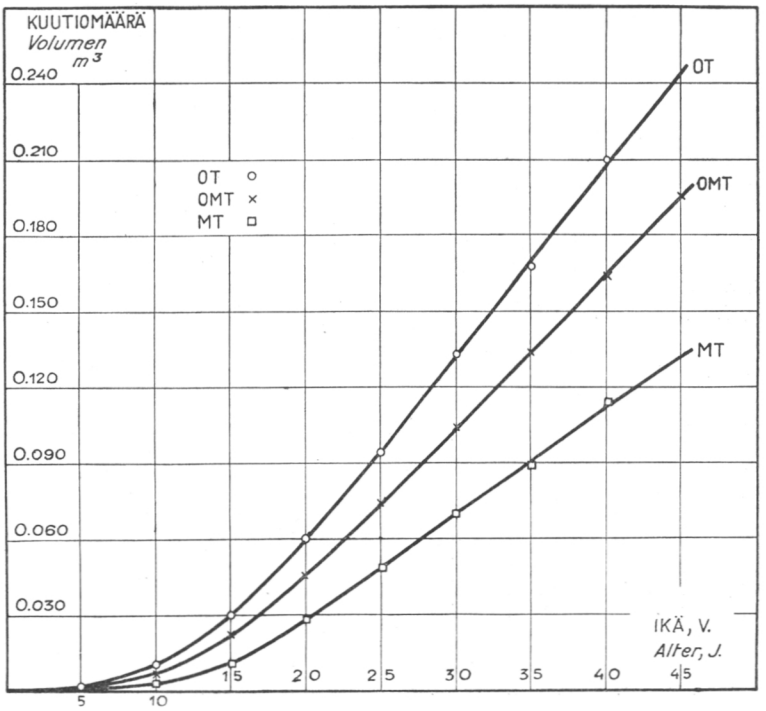
OMT:n lepikön ja männikön pohjapinta-alojen (Ilvessalo 1920 a, ss. 111—114) keskinäisestä vertailusta ilmenee, että lepikön pohjapinta-ala on kaikissa tutkituissa ikäasteissa huomattavasti suurempi kuin männikön. Ero, joka vaihtelee 4.8—9.0 $m^2$:iin, on suurimmillaan 15—20 v:n iällä, mutta pienenee iän lisääntyessä. Vaikkakin männikön keskiläpimitta samalla iällä on vähän suurempi kuin lepikön (s. 55), jää edellisen pohjapinta-ala kuitenkin pienemmäksi kuin jälkimmäisen, koska männikön runkoluku on tuntuvasti pienempi kuin lepikön (s. 41).

OMT:n kuusikon pohjapinta-ala on 20—45. ikävuosien välisenä aikana huomattavasti pienempi kuin saman tyypin lepikön, ero vaihtelee 15.2—8.4 $m^2$:iin pieneten iän lisääntyessä (Ilvessalo 1920 a, ss. 112—115). Kuusikon pohjapinta-ala, samoin kuin sen keskiläpimitta (s. 55), on siis tuntuvasti pienempi kuin lepikön, vaikka edellisen runkoluku on paljon suurempi kuin jälkimmäisen (s. 41).

Meikäläisten lepiköiden pohjapinta-ala on paljon pienempi kuin latvialaisten (s. 18) ja eestiläisten (s. 19) lepiköiden.

## Kuutiomäärä.

Kuten lepiköiden pituuden ja läpimitan, on myöskin niiden kuutiomäärän selvittely kohdistettu sekä valtapuihin että koko




Kuva 8. Harmaaleppävaltapuun kuutiomäärä.
*Volumen des herrschenden Weisserlenstamms.*

metsikköön. Valtapuiden kuutiomäärää ja sen kehitystä on tutkittu runkoanalyysien perusteella, kun taas metsikön kuutiomäärää on selvitetty koealamittausten pohjalla. Aiemmin (s. 32) mainituista syistä voidaan valtapuiden kuutiomäärää tarkastella kolmella metsätyypillä, nim. OT:llä, OMT:llä ja MT:llä, mutta metsikön kuutiomäärää vain kahdella ensiksi mainitulla tyypillä.

### *Valtapuiden kuutiomäärä.*

Runkoanalyysimittausten avulla voitiin määrätä kunkin analyysipuun kuutiomäärä jokaisella täyden 5 vuoden (siis 5, 10, 15 v.

jne.) iällä. Kun sitten metsätyypeittäin oli laskettu kaikkien saman ikäasteen kuutiomääräarvojen aritmeettiset keskiarvot, tasoitettiin ne vielä graafisesti, jolloin saatiin kuvassa 8 esitetyt, valtapuun kuutiomäärän keskimääräistä suuruutta osoittavat käyrät. Näistä käyristä saadut valtapuiden keskimääräiset kuutiomäärät eri ikäasteissa nähdään taulukosta 11, johon käyrien perusteella on laskettu myös kuutiomäärän vuotuinen juokseva ja keskimääräinen kasvu. Taulukkoon on lisäksi laskettu kuutiokasvuprosentti, so. juoksevan kasvun prosenttinen suhde vastaavaan kuutiomäärään.

Taulukko 11. Harmaaleppävaltapuun kuutiomäärä ja kuutiokasvu.
*Tab. 11. Volumen und Volumzuwachs des herrschenden Weisserlenstamms.*

| Ikä, v. *Alter, J.* | Kuutiomäärä (kuoretta), *Volumen (ohne Rinde)*, m³ | | | Juokseva vuotuinen kuutiokasvu, *Laufend jährlicher Volumzuwachs*, dm³ | | | Keskimäär. vuotuinen kuutiokasvu, *Durchschnittlich jährlicher Volumzuwachs*, dm³ | | | Kuutiokasvuprosentti, *Volumzuwachsprozent*, % | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | OT | OMT | MT | OT | OMT | MT | OT | OMT | MT | OT | OMT | MT |
| 5 | 0.0008 | 0.0006 | 0.0003 | — | — | — | 0.2 | 0.1 | — | — | — | — |
| 10 | 0.010 | 0.007 | 0.003 | 3.0 | 2.0 | 0.8 | 1.0 | 0.7 | 0.3 | 30.0 | 28.6 | 26.7 |
| 15 | 0.030 | 0.022 | 0.011 | 5.0 | 3.8 | 2.6 | 2.0 | 1.5 | 0.7 | 16.7 | 17.3 | 23.6 |
| 20 | 0.060 | 0.045 | 0.028 | 6.6 | 5.2 | 3.8 | 3.0 | 2.3 | 1.4 | 11.0 | 11.6 | 13.6 |
| 25 | 0.095 | 0.073 | 0.049 | 7.2 | 6.0 | 4.0 | 3.8 | 2.9 | 2.0 | 7.6 | 8.2 | 8.2 |
| 30 | 0.132 | 0.103 | 0.070 | 7.6 | 6.2 | 4.2 | 4.4 | 3.4 | 2.3 | 5.8 | 6.0 | 6.0 |
| 35 | 0.170 | 0.134 | 0.091 | 7.6 | 6.2 | 4.2 | 4.9 | 3.8 | 2.6 | 4.5 | 4.6 | 4.6 |
| 40 | 0.208 | 0.165 | 0.112 | 7.4 | 6.0 | 4.2 | 5.2 | 4.1 | 2.8 | 3.6 | 3.6 | 3.8 |
| 45 | 0.244 | 0.196 | 0.132 | 7.0 | 5.8 | 4.0 | 5.4 | 4.4 | 3.0 | 2.9 | 3.0 | 3.0 |

Saatujen tulosten tarkastelussa ilmenee, että harmaaleppävaltapuun kuutiomääränkin kehitys on jo aivan taimistoiältä alkaen eri metsätyypeillä erilainen. Kuutiomäärä on sitä suurempi, mitä parempi on metsätyyppi. OT:n ja OMT:n kuutiomäärien erotus on pienempi kuin OMT:n ja MT:n, kuten asianlaita oli myös valtapuiden pituuden ja läpimitan suhteen. Niinpä OT:n ja OMT:n kuutiomäärien erotus on esim. 15 v:n iällä 0.008 m³, 30 v:n iällä 0.029 m³ ja 45 v:n iällä 0.048 m³, kun taas OMT:n ja MT:n erot vastaavina ikäkausina ovat 0.011, 0.033 ja 0.064 m³.

Kuten taulukosta 11 ilmenee, on valtapuun juokseva vuotuinen kuutiokasvu sitä suurempi, mitä parempi on metsätyyppi. OT:n ja OMT:n kuutiokasvujen ero on pienempi kuin OMT:n ja MT:n. Juoksevalla kuutiokasvulla on maksiminsa kaikilla metsätyypeillä melkein samanaikaisesti, OT:llä (7.6 dm³) ja OMT:llä (6.2 dm³) 30—35 v:n

vaiheilla, MT:llä (4.2 dm³) vähän myöhemmin eli 30—40 v:n tienoilla. — Kun puut ovat kooltaan pienempiä huonommilla kuin paremmilla metsätyypeillä, johtuu siitä, että kuutiokasvuprosentti on, taimistoikää lukuun ottamatta, yleensä sitä suurempi, mitä huonompi on metsätyyppi, joskin tyyppien keskeiset erot ovat verraten pienet.

Keskimääräinen vuotuinen kuutiokasvu on kaikissa ikäasteissa sitä suurempi, mitä parempi on metsätyyppi. Se saavuttaa maksiminsa kaikilla tyypeillä vasta 45. ikävuoden jälkeen.

Seuraavassa vertaillaan keskenään lepiköiden ja pääpuulajiemme metsiköiden valtapuiden kuutiomäärää ja sen kehitystä (Ilvessalo 1920 a, ss. 136—146). Kun koivikoissa ei ole kysymyksessä olevaa seikkaa tutkittu, voidaan vertailu kohdistaa vain OMT:n ja MT:n männiköihin ja kuusikoihin.

Leppä- ja mäntyvaltapuun kuutiomäärien vertailussa ilmenee, että nuorella iällä lepän kuutiomäärä on molemmilla edellä mainituilla metsätyypeillä huomattavasti suurempi kuin männyn. Niinpä 20 v:n iällä, jolloin ero on suurimmillaan, kuutiomäärien erotus on OMT:llä 0.024 m³ ja MT:llä 0.007 m³. Vähitellen ero kuitenkin pienenee ja mäntyvaltapuun kuutiomäärä on MT:llä jo 25 v:n sekä OMT:llä 35 v:n iällä suurempi kuin leppävaltapuun. Ero suurenee suurenemistaan ja esim. 45 v:n iällä mäntyvaltapuun kuutiomäärä on OMT:llä jo 0.070 m³ ja MT:llä 0.118 m³ lepän kuutiomäärää suurempi.

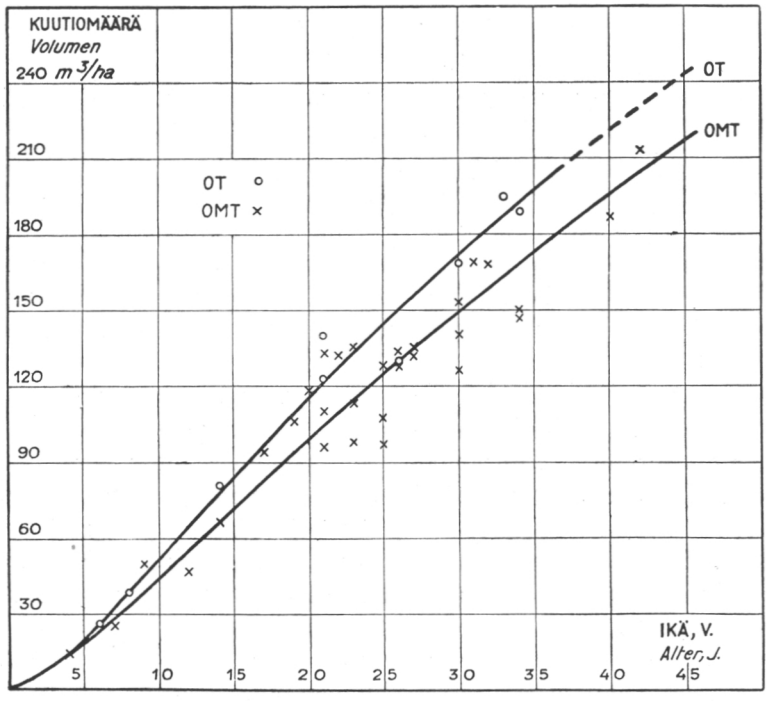
Leppävaltapuun kuutiomäärä on samoin taimistoiältä alkaen suurempi kuin kuusivaltapuun ja ero kasvaa iän lisääntyessä, ollen OMT:llä suurimmillaan (0.053 m³) 30 v:n ja MT:llä (0.059 m³) 40 v:n tienoilla. Tämän iän jälkeen erotus pienenee, mutta vielä 45. ikävuoteen mennessä leppävaltapuun kuutiomäärä on suurempi kuin kuusivaltapuun.

Juoksevan vuotuisen kuutiokasvun suhteen leppää, mäntyä ja kuusta keskenään vertailtaessa huomataan, että leppävaltapuun kuutiokasvu on nuorella iällä suurempi kuin mänty- ja kuusivaltapuun, mutta erot pienenevät iän lisääntyessä, ja suhde muuttuu ennen pitkää päinvastaiseksi. Niinpä mäntyvaltapuun kuutiokasvu on jo 20—25. ja kuusivaltapuun 30—40. ikävuosien vaiheilta lähtien suurempi kuin leppävaltapuun. — Leppävaltapuun kuutiokasvuprosentit ovat sitä vastoin kaikissa ikäasteissa pienemmät kuin saman metsätyypin mänty- ja kuusivaltapuun.

Leppävaltapuun keskimääräinen vuotuinen kuutiokasvu on nuorella iällä suurempi kuin mäntyvaltapuun, mutta 30—35 v:n tienoilta lähtien pienempi. Kuusivaltapuun keskimääräinen kuutiokasvu on kaikissa ikäasteissa vielä 45. ikävuoteen mennessä pienempi kuin leppävaltapuun, vaikkakin ero pienenee iän kasvaessa.

### *Metsikön kuutiomäärä.*

Edellä (ss. 37—38) on jo tehty selkoa koealametsiköiden kuutiomäärän laskemisessa noudatetuista menetelmistä. Samassa yhteydessä myöskin mainittiin, että kullekin koealametsikölle määrättiin erikseen kuorellinen ja kuoreton kuutiomäärä. Kummankin kuutiomäärän keskimääräisen suuruuden selville saamiseksi eri ikäasteissa oli koealametsiköiden kuutiomäärät tasoitettava. Sitä varten asetet-




Kuva 9. Harmaalepikön kuoreton kuutiomäärä.
*Volumen ohne Rinde im Weisserlenbestand.*

tiin niitä esittävät pisteet metsätyypeittäin koordinaatistoon, jonka abskissana oli metsikön ikä ja ordinaattana kuutiomäärä. Näiden pisteiden perusteella piirrettiin vapaalla kädellä tasoitetut graafiset käyrät osoittamaan lepiköiden kuorellisten ja kuorettomien kuutiomäärien keskimääräisiä arvoja eri ikäasteissa. Kuorettoman kuutiomäärän graafiset käyrät nähdään kuvasta 9. Kun kuorellista kuutiomäärää esittävien käyrien kulku on edellisten kaltainen, ei niiden julkaisemista ole pidetty tarpeellisena.

Käyrien perusteella määrätyt lepiköiden keskimääräiset kuutiomäärät sekä kuorettoman kuutiomäärän juokseva ja keskimääräinen vuotuinen lisääntyminen nähdään taulukosta 12. Siihen on laskettu myöskin kuutiomäärän lisääntymisprosentti sekä järeän (10 + cm) puun suhteellinen osuus kuorettomasta kuutiomäärästä.

Taulukko 12. Harmaalepikön kuutiomäärä ja sen lisääntyminen hehtaaria kohti.

*Tab. 12. Volumen und dessen Zunahme pro Ha im Weisserlenbestand.*

| Ikä, v. *Alter, J.* | Kuutiomäärä kuorineen, *Volumen einschl. Rinde*, m³ | | Kuutiomäärä kuoretta, *Volumen ohne Rinde*, m³ | | Järeätä (yli 10 cm) puuta kuorettomasta kuutiomäärästä, *Anteil des Derbholzes (über 10 cm) an dem Volumen ohne Rinde*, % | | Kuutiomäärän juokseva vuotuinen lisääntyminen, *Laufend jährliche Zunahme des Volumen*, m³ | | Kuutiomäärän keskimääräinen vuotuinen lisääntyminen, *Durchschnittlich jährliche Zunahme des Volumen*, m³ | | Kuutiomäärän lisääntymisprosentti, *Zunahmeprozent des Volumen*, % | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | OT | OMT | OT | OMT | OT | OMT | OT | OMT | OT | OMT | OT | OMT |
| 5 | 26 | 24 | 20 | 18 | — | — | 5.4 | 4.8 | 4.0 | 3.6 | 27.0 | 26.7 |
| 10 | 63 | 55 | 52 | 44 | — | — | 6.8 | 5.6 | 5.2 | 4.4 | 13.1 | 12.7 |
| 15 | 99 | 86 | 85 | 72 | 4 | 2 | 6.4 | 5.4 | 5.7 | 4.8 | 7.5 | 7.5 |
| 20 | 133 | 116 | 116 | 99 | 9 | 6 | 6.0 | 5.2 | 5.8 | 4.9 | 5.2 | 5.2 |
| 25 | 164 | 144 | 145 | 125 | 18 | 13 | 5.6 | 5.0 | 5.8 | 5.0 | 3.9 | 4.0 |
| 30 | 195 | 171 | 173 | 149 | 32 | 24 | 5.2 | 4.8 | 5.8 | 5.0 | 3.0 | 3.2 |
| 35 | 221 | 196 | 198 | 173 | 48 | 37 | 5.0 | 4.6 | 5.7 | 4.9 | 2.5 | 2.7 |
| 40 | 246 | 220 | 221 | 195 | 65 | 53 | 4.4 | 4.4 | 5.5 | 4.9 | 2.0 | 2.2 |
| 45 | 270 | 243 | 243 | 217 | 82 | 69 | 4.4 | 4.4 | 5.4 | 4.8 | 1.8 | 2.0 |

Saatujen tulosten tarkastelussa ilmenee, että OT:n ja OMT:n lepiköt eroavat toisistaan sekä kuorellisen että kuorettoman kuutiomäärän suhteen. Molemmat kuutiomäärät ovat kaikissa ikäasteissa OT:llä suuremmat kuin OMT:llä. Tämä onkin aivan luonnollista sen jälkeen kuin edellä jo nähtiin myös kuutiomäärään vaikuttavien tekijöiden, pituuden, vahvuuden ja pohjapinta-alan, olevan edellisellä metsätyypillä suurempia kuin jälkimmäisellä. Kuutiomäärien välinen ero on alussa vähäinen, mutta kasvaa metsikön iän lisääntyessä. Niinpä se on 10 v:n iällä 8 m³, 25 v:n iällä 20 m³ ja 40 v:n iällä 26 m³.

Kuten taulukosta 12 nähdään, sisältyy molemmilla metsätyypeillä lepiköiden kuutiomäärään järeätä puuta jo 15. ikävuodesta alkaen. Sen osuus kuutiomäärästä on OT:llä suurempi kuin OMT:llä, ja ero kasvaa iän lisääntyessä.

Kuutiomäärän juokseva vuotuinen lisääntyminen on 40. ikävuoteen saakka OT:llä suurempi kuin OMT:llä, sen jälkeen se on

molemmilla tyypeillä yhtä suuri. Tästä huolimatta kuutiomäärän lisääntymisprosentti on kuitenkin jo 25. ikävuodesta alkaen OMT:llä suurempi kuin OT:llä, oltuaan sitä ennen pienempi tai yhtä suuri kuin viimeksi mainitulla. Juoksevan lisääntymisen maksimit, OT:llä 6.8 $m^3$ ja OMT:llä 5.6 $m^3$, sattuvat molemmilla tyypeillä samaan aikaan eli 10 v:n iälle. Kuutiomäärän keskimääräinen lisääntyminen, samoin kuin kuutiomääräkin, on kaikissa ikäasteissa OT:llä suurempi kuin OMT:llä. Edellisellä tyypillä se saavuttaa maksiminsa, 5.8 $m^3$, 20—30 v:n ja jälkimmäisellä, 5.0 $m^3$, 25—30 v:n iällä.

Taulukon 12 kuutiomäärälukujen perusteella laskien saadaan kuoren osuus lepiköissä seuraavaksi:

| | Kuoren osuus kuutiomäärästä, % | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Metsätyyppi: | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 v:n iällä |
| OT .... | 23.1 | 17.5 | 14.1 | 12.8 | 11.6 | 11.3 | 10.4 | 10.2 | 10.0 |
| OMT .. | 25.0 | 20.0 | 16.3 | 14.7 | 13.2 | 12.9 | 11.7 | 11.4 | 10.7 |

Kuten edellä esitetyistä luvuista ilmenee, on kuoriprosentti OT:llä kaikissa ikäasteissa pienempi kuin OMT:llä. Tyyppien välinen ero pienenee jokseenkin säännöllisesti iän lisääntyessä ja vaihtelee 2.5—0.7 %:iin.

Samoin kuin muiden kasvusuhteiden, on myöskin kuutiomäärän ja sen lisääntymisen suhteen mielenkiintoista keskenään vertailla lepiköitä ja pääpuulajiemme metsiköitä (Ilvessalo 1920 a, ss. 98—110). Siitä syystä, että viimeksi mainituita koskevat laskelmat perustuvat kuorettomaan kuutiomäärään ja koska lisäksi eri puulajien kuorimäärät ovat suuruudeltaan erilaiset, on pidetty tarkoitustaan vastaavampana kuorettomien kuin kuorellisten kuutiomäärien vertailua. Koivun ja kuusen suhteen vertailut voidaan suorittaa sekä OT:llä että OMT:llä, mutta männyn suhteen vain viimeksi mainitulla metsätyypillä (s. 41, alimuist.).

Vertailun helpottamiseksi esitetään seuraava asetelma, josta nähdään eri puulajien kuorettomat kuutiomäärät eri ikäkausina.

| | | Kuoreton kuutiomäärä ha kohti, $m^3$ *Volumen ohne Rinde pro Hektar, $m^3$* | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Metsätyyppi: *Waldtyp:* | Puulaji: *Holzart:* | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 v:n iällä *Alter, J.* |
| OT | Harmaaleppä *Weisserle* | 52 | 85 | 116 | 145 | 173 | 198 | 221 | 243 |
| » | Koivu *Birke* | 23 | 44 | 66 | 86 | 107 | 129 | 151 | 173 |
| » | Kuusi *Fichte* | 8 | 21 | 42 | 71 | 105 | 141 | 176 | 214 |

| Metsätyyppi: *Waldtyp:* | Puulaji: *Holzart:* | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | v:n iällä *Aller, J.* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OMT | Harmaaleppä *Weisserle* | 44 | 72 | 99 | 125 | 149 | 173 | 195 | 217 | |
| » | Koivu *Birke* | 9 | 17 | 30 | 49 | 70 | 93 | 117 | 140 | |
| » | Kuusi *Fichte* | 6 | 13 | 25 | 44 | 69 | 98 | 128 | 160 | |
| » | Mänty *Kiefer* | 15 | 32 | 56 | 84 | 116 | 147 | 178 | 209 | |

Asetelman lukuja tarkastellessa tehdään ensiksi se tärkeä havainto, että 45. ikävuoteen mennessä harmaalepän kuutiomäärä on molemmilla metsätyypeillä ja kaikissa ikäasteissa suurempi kuin muiden kysymyksessä olevien puulajien. Lisäksi nähdään, että kuutiomäärien suuruuserot ovat erilaiset aina sen mukaan, millä metsätyypillä ja mihin puulajiin leppää kulloinkin verrataan.

Vertailtaessa asetelman perusteella lepän, koivun ja kuusen kuutiomääriä OT:llä huomataan, että metsikön nuorella iällä, aina 30. ikävuoteen asti, lepän ja koivun kuutiomäärien erotus on pienempi, mutta sen jälkeen suurempi kuin lepän ja kuusen. Niinpä lepän ja koivun kuutiomäärien erotus on 15 v:n iällä 41 $m^3$, 30 v:n iällä 66 $m^3$ ja 45 v:n iällä 70 $m^3$, mutta lepän ja kuusen kuutiomäärien erot samoina ikäkausina ovat 64, 68 ja 29 $m^3$. Edellisten ero siis kasvaa iän lisääntyessä, mutta jälkimmäisten pienenee, oltuaan 20—25 v:n tienoilla korkeimmillaan. Kuten edellä esitetystä selviää, ovat kuutiomäärien erot OT:llä huomattavan suuret.

Verrattaessa leppää kuutiomäärän suhteen OMT:llä koivuun, kuuseen ja mäntyyn ilmenee, että lepän ja männyn kuutiomäärien erotus on huomattavasti pienempi kuin lepän ja koivun sekä lepän ja kuusen. Samoin kuin OT:llä on tälläkin metsätyypillä lepän ja koivun kuutiomäärien ero 30. ikävuoteen saakka pienempi, mutta sen jälkeen suurempi kuin lepän ja kuusen. Kuten asetelmasta ilmenee, on lepän ja männyn kuutiomäärien erotus 15 v:n iällä 40 $m^3$, 30 v:n iällä 33 $m^3$ ja 45 v:n iällä vain 8 $m^3$. Lepän ja koivun kuutiomäärien erot ovat samoina ikäkausina 55, 79 ja 77 $m^3$ sekä lepän ja kuusen 59, 80 ja 57 $m^3$. Lepän ja männyn kuutiomäärien erot pienenevät 25. ikävuodesta, lepän ja kuusen 30. ikävuodesta sekä lepän ja koivun vasta 40. ikävuodesta lähtien, jota vastoin ennen edellä mainittuja ikäkausia erotukset kasvavat. Kaikkien puulajien, mutta varsinkin koivun ja kuusen kuutiomäärät ovat siis tälläkin metsätyypillä lepän kuutiomääriä pienemmät ja erot ovat suuremmat kuin OT:llä.

Kun pääpuulajiemme kasvu- ja tuottotauluissa (Ilvessalo 1920 b) on laskettu myös järeän (10 + cm) puun osuus kuorettomasta

kuutiomäärästä, voidaan senkin suhteen toimittaa lepän ja muiden puulajien keskeinen vertailu. Siitä syystä, että kasvu- ja tuottotauluihin ei ole merkitty 30 % pienempää järeän puun osuutta, voidaan vertailu kohdistaa vain niihin ikäkausiin, jolloin sen osuus on edellä mainittua minimimäärää suurempi. Koivikosta saadaan kysymyksessä olevat tiedot sekä OT:ltä että OMT:ltä, männiköstä ja kuusikosta vain OMT:ltä.

OT:n koivikossa järeän puun osuus on 35 v:n iällä 30 %, 40 v:n iällä 50 % ja 45 v:n iällä 60 %, siis huomattavasti pienempi kuin saman ikäisissä lepiköissä, joissa se on vastaavasti 48, 65 ja 82 % (vrt. taulukkoa 12). OMT:n männikössä järeän puun määrä on 35 v:n iällä 35 %, 40 v:n iällä 55 % ja 45 v:n iällä 74 %, koivikossa kahtena viimeksi mainittuna ikäkautena 30 % ja 48 % sekä kuusikossa samoina ikäkausina 30 % ja 44 %. Tällä metsätyypillä järeän puun osuus on siis männikössä likipitäen yhtä suuri, koivikossa ja kuusikossa sen sijaan paljon pienempi kuin saman ikäisissä lepiköissä, joissa vastaavat prosenttiluvut ovat 37, 53 ja 69.

Seuraavassa verrataan leppää pääpuulajeihimme kuutiomäärän juoksevan ja keskimääräisen vuotuisen lisääntymisen sekä lisääntymisprosentin suhteen, koska nämä seikat on myös niille laskettu (Ilvessalo 1920 a, ss. 100—110). Vertailu voidaan nytkin suorittaa koivun ja kuusen suhteen sekä OT:llä että OMT:llä, mutta mäntyyn nähden vain viimeksi mainitulla metsätyypillä.

Juoksevan vuotuisen lisääntymisen suhteen havaitaan lepän ja muiden puulajien kesken melkoisia eroavaisuuksia. OT:n lepiköissä juokseva lisääntyminen on nuorella iällä suurempi kuin saman tyypin koivikoissa ja kuusikoissa, mutta 25. ikävuodesta alkaen on kuusen ja 40 v:n iältä lähtien koivun juokseva lisääntyminen suurempi kuin lepän. Mainittakoon, että kuusen juokseva lisääntyminen on 15 v:n iällä 3.2 $m^3$ pienempi, mutta 30 v:n 2.0 $m^3$ ja 45 v:n iällä jo 2.8 $m^3$ suurempi kuin lepän, kun taas koivun juokseva lisääntyminen on 15 v:n 2.3 $m^3$ ja 30 v:n iällä 0.9 $m^3$ pienempi, mutta 45 v:n iällä 0.2 $m^3$ suurempi kuin lepän. Juoksevan lisääntymisen maksimi on kuusella 30—50. ja koivulla 40—45. ikävuosien vaiheilla, siis paljon myöhemmin kuin lepällä, jolla se sattuu 10 v:n ialle. — Myöskin OMT:llä lepän kuutiomäärän juokseva lisääntyminen on alussa suurempi kuin toisten puulajien, mutta ennen pitkää suhteet muuttuvat päinvastaisiksi. Jo 20 v:n tienoilla on männyn, 30 v:n kuusen ja 40 v:n iällä koivun juokseva lisääntyminen suurempi kuin lepän. Edellä esitetyn selventämiseksi mainittakoon muutamia lukuja. Männyn kuutiomäärän juokseva lisääntyminen on 15 v:n iällä 1.2 $m^3$ pienempi, mutta 30 v:n 1.6 $m^3$ ja 45 v:n iällä 1.8 $m^3$ suurempi kuin lepän. Kuu-

sella vastaavat luvut ovat 3.4, 0.6 ja 2.2 m³. Koivun juokseva lisääntyminen on sen sijaan 15 v:n iällä 3.4 m³ ja 30 v:n iällä 0.5 m³ pienempi, mutta 45 v:n iällä vain 0.2 m³ suurempi kuin lepän. Lisääntymisen maksimi sattuu männyllä 30—35, koivulla 40—45 ja kuusella n. 50 v:n tienoille, lepällä taas 10 v:n ialle.

Lepän ja muiden kysymyksessä olevien puulajien kuutiomäärän lisääntymisprosentteja toisiinsa verratessa ilmenee, että molemmilla metsätyypeillä lepän lisääntymisprosentit ovat kaikissa ikäasteissa pienemmät kuin männyn, kuusen ja koivun, mikä ilmeisesti johtuu siitä, että lepikkö jo ensimmäisinä ikävuosinaan saavuttaa muihin puulajeihin verraten paljon suuremman kuutiomäärän. OT:llä lisääntymisprosenttien ero vaihtelee 10—45 v:n välisenä aikana koivun suhteen 4.3—0.9 %:iin ja kuusen suhteen 9.4—1.6 %:iin. OMT:llä vastaavat luvut ovat 6.1—1.3 ja 7.9—2.1 % sekä mäntyyn nähden 5.6—1.0 %. Molemmilla tyypeillä on siis lepän ja kuusen lisääntymisprosenttien ero suurin.

Koska lepän kuutiomäärä 10—45 v:n välisenä aikana on molemmilla metsätyypeillä suurempi kuin pääpuulajiemme, on luonnollisesti sen kuutiomäärän keskimääräinen vuotuinen lisääntyminenkin suurempi kuin niiden. Erot vähenevät säännöllisesti iän lisääntyessä. Niinpä OT:llä ero vaihtelee koivun suhteen 2.9—1.6 m³:iin ja kuusen suhteen 4.4—0.6 m³:iin, kun taas OMT:llä vastaavat erot ovat 3.7—1.7 m³:n ja 3.9—1.2 m³:n sekä männyn suhteen 2.9—0.2 m³:n välillä. Molemmilla metsätyypeillä koivun, männyn ja kuusen lisääntymisen maksimit sattuvat paljon myöhemmin kuin lepän.

K u o r e n osuuden suhteen lepiköitä ja pääpuulajiemme metsiköitä (I l v e s s a l o 1920 b) keskenään verrattaessa ilmenee, että samalla metsätyypillä ja samalla iällä lepän kuoriprosentti on yleensä pienempi kuin koivun, männyn ja kuusen. Kuoriprosenttien erotus vaihtelee koivun suhteen OT:llä keskimäärin 1—2 % ja OMT:llä 2—3 % sekä viimeksi mainitulla tyypillä männyn suhteen 3—6 % ja kuusen suhteen 5—7 %, joten erot ovat siis sangen huomattavat.

## Kokonaistuotto ja kuutiokasvu.

Edellä on jo esitetty luonnonnormaalisten lepiköiden kuutiomäärät eri ikäkausina. Kuutiomäärät eivät kuitenkaan ilmaise metsikön varsinaista tuottoa, sillä koko metsikön elinajan poistuu siitä luontaisen itseharvenemisen johdosta puita, joiden kuutiomäärä ei sisälly metsikön nykyiseen kuutiomäärään. Vasta sitten, kun metsikön kuutiomäärään kullakin iällä on lisätty siihen mennessä poistuneiden puiden kuutiomäärä, saadaan selville metsikön kokonais-

tuotto. Sen selvittämiseksi on siis välttämätöntä tuntea metsikön luontaisen harventumisen määrä.

Lepiköiden luontaista harventumista tutkittiin jo koealoilla, joilla elävien puiden mittaamisen ohella tehtiin myöskin kuolleisiin ja kuoleviin puihin kohdistuvia havaintoja (s. 27). Käyttämällä vielä apuna lepiköiden runkojakaantumissarjoja (taulukko 4) saatiin selvitetyksi, minkä vahvuisia puita milläkin ajanjaksolla metsiköstä poistuu. Kun poistuneet puut oli kuutioitu ja kuutiomäärät satunnaisten poikkeusten aiheuttamien epätasaisuuksien poistamiseksi vielä graafisesti tasoitettu, saatiin määrätyksi kuorelliset ja kuorettomat keskimääräiset harventumismäärät 5-vuotisin ajanjaksoin. Laskemalla yhteen eri ajanjaksoina harventuneet määrät saatiin selville kuhunkin ikään mennessä alusta alkaen harventunut puumäärä. Nämä seikat nähdään taulukosta 13.

Taulukko 13. Harmaalepikön luontaisen harventumisen määrä ha kohti.

*Tabelle 13. Natürliche Selbstabscheidung pro Ha im Weisserlenbestand.*

| Ikä, v. *Alter, J.* | Runkoluku, kpl. *Stammzahl, St.* | | Kuutiomäärä kuorineen, *Volumen einschl. Rinde,* m³ | | Kuutiomäärä kuoretta, *Volumen ohne Rinde,* m³ | | Alusta alkaen harventunut yhteensä *Seit dem Bestandesbeginn insgesamt ausgeschieden* | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | kuorineen, *einschl. Rinde,* m³ | | kuoretta, *ohne Rinde,* m³ | |
| | OT | OMT | OT | OMT | OT | OMT | OT | OMT | OT | OMT |
| 5 | 26 000 | 26 000 | 6 | 5 | 5 | 4 | — | — | — | — |
| 10 | 17 000 | 17 000 | 10 | 7 | 8 | 6 | 6 | 5 | 5 | 4 |
| 15 | 4 600 | 4 600 | 14 | 9 | 12 | 7 | 16 | 12 | 13 | 10 |
| 20 | 2 900 | 2 800 | 16 | 11 | 14 | 9 | 30 | 21 | 25 | 17 |
| 25 | 1 740 | 1 480 | 18 | 13 | 16 | 11 | 46 | 32 | 39 | 26 |
| 30 | 1 150 | 940 | 18 | 12 | 16 | 11 | 64 | 45 | 55 | 37 |
| 35 | 980 | 810 | 17 | 11 | 15 | 10 | 82 | 57 | 71 | 48 |
| 40 | 680 | 680 | 15 | 10 | 13 | 9 | 99 | 68 | 86 | 58 |
| 45 | | | | | | | 114 | 78 | 99 | 67 |

Taulukon 13 lukuja tarkastellessa huomataan, että molemmilla kysymyksessä olevilla metsätyypeillä harventuneiden puiden kuutiomäärä lisääntyy vanhempiin ikäkausiin siirryttäessä ja on suurimmillaan 25—35 v:n välisenä aikana, mutta sen jälkeen vähenee. Kuutiomäärä on kaikkina ajanjaksoina OT:llä suurempi kuin OMT:llä, myöskin nuorissa lepiköissä, vaikka harventuneiden puiden lukumäärä on 20. ikävuoteen saakka molemmilla tyypeillä yhtä suuri. Ero aiheutuu tietenkin puiden erilaisesta koosta.

Verrattaessa toisiinsa lepiköiden ja pääpuulajiemme metsiköiden luontaisen harventumisen määrää (Ilvessalo 1920 b) huomataan

melkoisia eroavaisuuksia. Niinpä koivikossa harventuminen on kuutiomäärältään 30. ikävuoteen saakka pienempi, mutta sen jälkeen suurempi kuin saman metsätyypin lepikössä. Harventuminen on kuitenkin kokonaismäärältään vielä 45 v:n iällä koivikossa pienempi kuin lepikössä. — OMT:n männikössä harventumisen kokonaismäärä on nuorella iällä pienempi kuin saman tyypin lepikössä, mutta 30. ikävuodesta lähtien suurempi. OMT:n kuusikossa poistuneiden puiden kuutiomäärä on vielä 45 v:n iällä pienempi kuin lepikössä.

Lisäämällä taulukossa 13 esitetyt, alusta alkaen harventuneet määrät vastaavien ikäasteiden metsiköiden kuutiomääriin (taulukko 12), on saatu määrätyksi lepiköiden kokonaistuotto, joka ilmenee taulukosta 14.[1]) Kuorettoman kokonaistuoton perusteella on määrätty metsiköiden juokseva ja keskimääräinen vuotuinen kuutiokasvu. Juokseva vuotuinen kuutiokasvuprosentti on sitä vastoin laskettu metsikön kuorettoman kuutiomäärän perusteella. Kuutiokasvu nähdään myöskin taulukosta 14.

Taulukko 14. Harmaalepikön kokonaistuotto ja kuutiokasvu ha kohti.
*Tab. 14. Gesamtertrag und Volumzuwachs pro Ha im Weisserlenbestand.*

| Ikä, v. *Alter, J.* | Kokonaistuotto *Gesamtertrag* | | | | Kuutiokasvu kuoretta *Volumzuwachs ohne Rinde* | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | kuorineen, *einschl. Rinde,* m³ | | kuoretta, *ohne Rinde,* m³ | | juokseva vuotuinen, *laufend jährlicher,* m³ | | keskimäär. vuotuinen, *durchschnittlich jährlicher,* m³ | | juokseva vuotuinen kuutiokasvuprosentti, *laufend jährliches Volumzuwachsprozent,* % | |
| | OT | OMT | OT | OMT | OT | OMT | OT | OMT | OT | OMT |
| 5 | 26 | 24 | 20 | 18 | — | — | — | — | — | — |
| 10 | 69 | 60 | 57 | 48 | 7.8 | 6.4 | 5.7 | 4.8 | 15.0 | 14.5 |
| 15 | 115 | 98 | 98 | 82 | 8.4 | 6.8 | 6.5 | 5.5 | 9.9 | 9.4 |
| 20 | 163 | 137 | 141 | 116 | 8.6 | 6.9 | 7.1 | 5.8 | 7.4 | 7.0 |
| 25 | 210 | 176 | 184 | 151 | 8.7 | 7.0 | 7.4 | 6.0 | 6.0 | 5.6 |
| 30 | 259 | 216 | 228 | 186 | 8.5 | 7.0 | 7.6 | 6.2 | 4.9 | 4.7 |
| 35 | 303 | 253 | 269 | 221 | 7.9 | 6.7 | 7.7 | 6.3 | 4.0 | 3.9 |
| 40 | 345 | 288 | 307 | 253 | 7.3 | 6.3 | 7.7 | 6.3 | 3.3 | 3.2 |
| 45 | 384 | 321 | 342 | 284 | 6.5 | 5.9 | 7.6 | 6.3 | 2.7 | 2.7 |

Taulukon 14 kokonaistuottoa esittäviä lukuja tarkastellessa ilmenee, että samoin kuin metsikön kuutiomäärä ja harventumismäärä, on myöskin niihin perustuva kokonaistuotto kaikissa ikäasteissa

[1]) Aivan tarkalleen nämäkään luvut eivät vielä osoita metsikön kokonaistuottoa, sillä luontaisesti harventuneiden puumäärien kasvua (poiston kasvu, vrt. Lönnroth 1929) niiden muutamana viime elinvuotena 5-vuotiskausien aikana ei ole voitu laskea. Nämä määrät ovat kuitenkin luonnonmaalisissa metsissä, ellei mitään suurempia myrsky- yms. vahinkoja ole sattunut, aivan vähäisiä.

OT:llä suurempi kuin OMT:llä. Tyyppien tuottojen keskeinen ero, joka metsikön vanhetessa suurenee, on esim. 10 v:n iällä 9 m³, 25 v:n iällä 33—34 m³ ja 40 v:n iällä 54—57 m³.

Juokseva vuotuinen kuutiokasvu on kaikissa ikäasteissa OT:llä suurempi kuin OMT:llä, ero vaihtelee 0.6—1.7 m³:iin. Erotus on suurimmillaan 20—25. ikävuosien vaiheilla, mutta pienenee sen jälkeen. OT:llä juoksevan kasvun maksimi (8.6—8.7 m³) sattuu 20—25 v:n ja OMT:llä (7.0 m³) hiukan myöhemmin eli 25—30 v:n tienoille.

Keskimääräinen vuotuinen kasvu on myös OT:llä suurempi kuin OMT:llä, ero vaihtelee 0.9—1.4 m³:iin. Se saavuttaa OT:llä maksiminsa (7.7 m³) 35—40 v:n tienoilla ja OMT:llä (6.3 m³) samoihin aikoihin tai hiukan myöhemmin. Jos lepiköiden kasvattamisessa noudatettaisiin suurimman kuutiomäärän kiertoaikaa, olisi se edellä mainitun pituinen. Tämä koskee vain luonnonnormaalisia lepiköitä. Jos sitä vastoin lepiköitä säännöllisesti harvennettaisiin, lyhenisi tietenkin kyseessä oleva kiertoaika.

Seuraavassa vertaillaan keskenään lepiköiden ja pääpuulajiemme metsiköiden (I l v e s s a l o 1920 b) kokonaistuottoa ja kuutiokasvua, jotka molemmissa tutkimuksissa on myös samalla tavalla määrätty. Koivun suhteen voidaan vertailu taaskin suorittaa sekä OT:llä että OMT:llä, mutta mäntyyn ja kuuseen nähden vain viimeksi mainitulla metsätyypillä.

Ensin otetaan tarkasteltavaksi kokonaistuotto. Kun on pidetty tarpeettomana sekä kuorellisten että kuorettomien tuottojen vertailua, suoritetaan se ainoastaan viimeksi mainittujen suhteen. Vertailua helpottaa seuraava asetelma, josta ilmenevät eri puulajien kuorettomat kokonaistuotot eri ikäkausina.

Kuoreton kokonaistuotto ha kohti, m³.

*Gesamtertrag ohne Rinde pro Hektar, m³.*

| Metsätyyppi: *Waldtyp:* | Puulaji: *Holzart:* | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 v:n iällä *Alter, J.* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OT | Harmaaleppä *Weisserle* | 57 | 98 | 141 | 184 | 228 | 269 | 307 | 342 |
| » | Koivu *Birke* | 25 | 51 | 82 | 113 | 147 | 184 | 224 | 265 |
| OMT | Harmaaleppä *Weisserle* | 48 | 82 | 116 | 151 | 186 | 221 | 253 | 284 |
| » | Koivu *Birke* | 10 | 21 | 38 | 66 | 97 | 131 | 166 | 200 |
| » | Mänty *Kiefer* | 16 | 38 | 71 | 110 | 154 | 197 | 243 | 285 |
| » | Kuusi *Fichte* | 6 | 15 | 30 | 53 | 82 | 116 | 152 | 190 |

Jo pikainenkin silmäys asetelman lukuihin osoittaa, että harmaalepän kokonaistuotto on kaikkina ikäkausina paljon suurempi kuin muiden puulajien. Lisäksi havaitaan tuottojen erotusten olevan suhteellisesti suurempia nuoremmalla kuin vanhemmalla iällä. Lepän ja asetelman muiden puulajien tuottojen yksityiskohtaisessa vertailussa ilmenee lisäksi joukko eroavaisuuksia, joita tarkastellaan seuraavassa.

Verrattaessa toisiinsa lepän ja koivun kokonaistuottoa huomataan, että molemmilla metsätyypeillä tuottojen ero ensin kasvaa iän lisääntyessä, mutta sitten 40. ikävuodesta alkaen pienenee. Lisäksi havaitaan tuottojen erotuksen olevan pienemmän OT:llä kuin OMT:llä. Kun edellisellä tyypillä erotus on esim. 15 v:n iällä 47 $m^3$, 30 v:n iällä 81 $m^3$ ja 45 v:n iällä 77 $m^3$, ovat vastaavat luvut jälkimmäisellä tyypillä 61, 89 ja 84 $m^3$.

Lepän ja männyn kokonaistuottojen erotus, joka on paljon pienempi kuin lepän ja koivun, kasvaa myös aluksi metsikön nuorella iällä, mutta pienenee ennen pitkää ja 45 v:n iällä tuotot ovat melkein yhtä suuret. Niinpä esim. 15 v:n iällä männyn kokonaistuotto on 44 $m^3$ ja 30 v:n iällä 32 $m^3$ pienempi, mutta 45 v:n tienoilla 1 $m^3$ suurempi kuin lepän.

Lepän ja kuusen kokonaistuottojen erotus on vielä suurempi kuin lepän ja koivun. Tuottojen ero on 15 v:n iällä 67 $m^3$, 30 v:n iällä 104 $m^3$ ja 45 v:n iällä 94 $m^3$.

Mielenkiintoista on myöskin kuutiokasvun suhteen vertailla leppää edellä mainittuihin puulajeihin. Tässä tarkoituksessa esitetään seuraava asetelma, josta nähdään eri puulajien metsiköiden juokseva vuotuinen kuutiokasvu metsikön kullakin täyden 5 v:n iällä (Ilvessalo 1920 b).

Juokseva vuotuinen kuutiokasvu ha kohti, $m^3$.

*Laufend jährlicher Volumzuwachs pro Hektar, $m^3$.*

| Metsätyyppi: *Waldtyp:* | Puulaji: *Holzart:* | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 v:n iällä *Alter, J.* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OT | Harmaaleppä *Weisserle* | 7.8 | 8.4 | 8.6 | 8.7 | 8.5 | 7.9 | 7.3 | 6.5 |
| » | Koivu *Birke* | 4.5 | 5.7 | 6.2 | 6.5 | 7.1 | 7.7 | 8.1 | 8.3 |
| OMT | Harmaaleppä *Weisserle* | 6.4 | 6.8 | 6.9 | 7.0 | 7.0 | 6.7 | 6.3 | 5.9 |
| » | Koivu *Birke* | 1.6 | 2.8 | 4.5 | 5.9 | 6.5 | 6.9 | 6.9 | 6.9 |
| » | Mänty *Kiefer* | 3.4 | 5.6 | 7.2 | 8.3 | 8.7 | 8.9 | 8.7 | 8.5 |
| » | Kuusi *Fichte* | 0.9 | 2.4 | 3.8 | 5.2 | 6.3 | 7.0 | 7.4 | 7.7 |

Kuten asetelman lukuja tarkastellessa käy ilmi, on lepän juokseva kuutiokasvu molempien metsätyyppien nuorissa metsiköissä suurempi kuin koivun, mutta kuutiokasvujen erotus pienenee säännöllisesti metsikön iän lisääntyessä, ja puulajien suhde muuttuu lopulta päinvastaiseksi. Niinpä koivun kuutiokasvu on OMT:llä 35:stä ja OT:llä 40. ikävuodesta lähtien suurempi kuin lepän. Asetelmasta nähdään, että lepän kuutiokasvu on OT:llä esim. 15 v:n iällä 2.7 $m^3$ ja 30 v:n iällä 1.4 $m^3$ suurempi, mutta 45. ikävuoden tienoilla 1.8 $m^3$ pienempi kuin koivun. OMT:llä vastaavat luvut ovat 4.0, 0.5 ja 1.0 $m^3$.

OMT:n lepiköiden ja männiköiden juoksevien kuutiokasvujen vertailussa ilmenee, että ainoastaan 20 vuotta nuoremmissa metsiköissä lepän kuutiokasvu on suurempi, mutta sitä vanhemmissa metsiköissä pienempi kuin männyn. Esim. 15 v:n iällä lepän kuutiokasvu on 1.2 $m^3$ suurempi, mutta 30 v:n iällä 1.7 $m^3$ ja 45 v:n iällä jo 2.6 $m^3$ pienempi kuin männyn. — Lepän ja kuusen kuutiokasvujen suhde on likipitäen samanlainen kuin lepän ja koivun. Kuusenkin juokseva kuutiokasvu on nuorissa metsiköissä pienempi, mutta 35. ikävuodesta lähtien suurempi kuin lepän.

Vielä mainittakoon, että koivun, männyn ja kuusen juoksevan vuotuisen kuutiokasvun maksimit sattuvat myöhemmälle iälle kuin lepän.

Kaikki nämä vertailut viittaavat siihen, että jos leppää kasvattamalla halutaan saada nopeasti suurempia kuutiomääriä kuin mitä muut puulajit pystyvät tuottamaan, niin lepikön kiertoaika on oleva lyhyt ja se on pyrittävä kasvatushakkauksilla tekemään mahdollisimman lyhyeksi.

Kuutiokasvuprosentin suhteen leppää pääpuulajeihin verrattaessa ilmenee, että lepän kuutiokasvuprosentit ovat kaikkina ikäkausina pienemmät kuin viimeksi mainittujen. Aivan nuoria metsiköitä lukuun ottamatta lepän ja männyn prosenttilukujen erotus on pienin sekä lepän ja koivun suurin (Ilvessalo 1920 b).

Samoin kuin kokonaistuotto on luonnollisesti lepiköiden keskimääräinen vuotuinen kuutiokasvukin kaikkina ikäkausina suurempi kuin pääpuulajiemme metsiköiden. Kysymyksessä olevassa suhteessa lepän ja männyn erotus on pienin, kun taas lepän ja kuusen erotus on suurin.

## Katsaus tutkimuksen päätuloksiin.

Esillä olevassa tutkimuksessa on tarkasteltu erikseen metsikön ja valtapuiden kasvusuhteita. Edellisiä on tutkittu OT:llä ja OMT:llä, jälkimmäisiä näiden metsätyyppien lisäksi myös MT:llä.

Metsikön kasvusuhteiden tarkastelussa, joka koskee 45 v. nuorempia lepiköitä, on ilmennyt, että runkoluku näyttää olevan OT:llä ja OMT:llä yhtä suuri 20. ikävuoteen saakka, mutta sen jälkeen OT:llä pienempi. Metsikön keskipituus, keskiläpimitta, pohjapinta-ala, kuutiomäärä, harventumisen määrä, kokonaistuotto ja kuutiokasvu ovat jo taimistoiältä alkaen OT:llä suuremmat kuin OMT:llä, joskaan ero ei ole aina suuri.

Lepiköiden ja pääpuulajiemme metsiköiden kasvusuhteita samalla metsätyypillä ja samalla iällä toisiinsa verrattaessa on huomattu melkoisia eroavaisuuksia.

Runkolukujen vertailussa ilmeni, että lepikön runkoluku on paljon pienempi kuin koivikon ja kuusikon, mutta huomattavasti suurempi kuin männikön.

Keskipituus on lepikössä suurempi kuin pääpuulajiemme metsiköissä. Lepikön ja männikön keskipituudet eroavat toisistaan vähiten ja ovat yhtä suuret n. 40. ikävuoden tienoilla, aikaisemmin kuin lepän ja toisten pääpuulajiemme.

Keskiläpimitta on lepikössä huomattavasti suurempi kuin koivikossa ja kuusikossa, mutta jonkin verran pienempi kuin männikössä.

Pohjapinta-ala on lepikössä paljon suurempi kuin koivikossa ja huomattavasti suurempi kuin männikössä ja kuusikossa.

Kuutiomäärä on 45 v. nuoremmissa lepiköissä suurempi kuin pääpuulajiemme metsiköissä. Lepikön ja männikön kuutiomäärien erotus on huomattavasti pienempi kuin lepikön ja koivikon sekä lepikön ja kuusikon.

Kokonaistuotto on lepikössä paljon suurempi kuin pääpuulajiemme metsiköissä. Lepikön ja kuusikon tuottojen erotus on suurin, lepikön ja männikön pienin ja kahden viimeksi mainitun tuotot ovat jo 45 v:n tienoilla yhtä suuret.

Juokseva vuotuinen kuutiokasvu on nuorissa lepiköissä suurempi kuin pääpuulajiemme metsiköissä, mutta 20. ikävuodesta lähtien ovat ensin männikön ja 35—40. ikävuodesta alkaen koivikon ja kuusikon kuutiokasvut suuremmat kuin lepikön.

Kasvun vertailut viittaavat siihen, että jos leppää kasvattamalla halutaan saada nopeasti suurempia kuutiomääriä kuin mitä muut puulajit pys-

tyvät tuottamaan, niin lepikön kiertoaika on oleva lyhyt ja se on pyrittävä kasvatushakkauksilla tekemään mahdollisimman lyhyeksi.

Valtapuiden kasvusuhteiden tarkastelussa on käynyt ilmi, että leppävaltapuun pituus, rinnankorkeusläpimitta ja kuutiomäärä ovat jo taimistoiältä alkaen säännöllisesti sitä suuremmat, mitä parempi on metsätyyppi.

Pituuden suhteen leppävaltapuuta on voitu verraten koivu-, mänty- ja kuusivaltapuihin, mutta rinnankorkeusläpimittaan ja kuutiomäärään nähden vain mänty- ja kuusivaltapuihin siitä syystä, että koivuvaltapuuta ei ole niiden suhteen tutkittu.

Leppä- ja koivuvaltapuun kasvun vertailussa on ilmennyt, että nuorella iällä leppävaltapuu on pitempi kuin koivuvaltapuu, mutta 30—40. ikävuoden tienoilla molemmat ovat yhtä pitkät, MT:llä hiukan aikaisemmin kuin paremmilla metsätyypeillä.

Nuorella iällä leppävaltapuun pituus, rinnankorkeusläpimitta ja kuutiomäärä ovat suuremmat kuin mäntyvaltapuun, mutta jo 25—40 v:n iällä niiden pituudet, läpimitat ja kuutiomäärät ovat yhtä suuret, MT:llä vähän aikaisemmin kuin paremmilla metsätyypeillä.

Vielä 45. ikävuoteen mennessä leppävaltapuu on kuusivaltapuuta pitempi, vahvempi ja kuutiomäärältään suurempi, vaikkakin erotus iän lisääntyessä pienenee.

## Kirjallisuusluettelo.


Akre, Stein. 1928. Løvskogens betydning. Premiert besvarelse av konkurranseopgave opstillet av Det norske Skogselskap. (Tidsskr. f. Skogbr., ss. 115—128. Oslo.)

Allers. 1922. Die Weisserle und die Lupine als Bodenverbesserer. (Forstl. Wochenschr. Silva, s. 253. Tübingen.)

Barth, Agnar. 1924. Løvskogens rolle i vort skogbruk. (Tidsskr. f. Skogbr., ss. 13—29. Kristiania.)

Borgmann. 1895. Ueberführung wertloser Weisserlenbestände in Fichten und Eschen. (Allg. Forst- u. Jagd-Zeit., ss. 217—219. Frankfurt am Main.)

Busse, J. 1929. Forstlexikon. Dritte völlig neubearbeitete Auflage. Erster Band. Berlin.

Cajander, A. K. 1916. Metsänhoidon perusteet. I. Kasvibiologian ja kasvimaantieteen pääpiirteet. Porvoo.

—»— 1917. Metsänhoidon perusteet. II. Suomen dendrologian pääpiirteet. Porvoo.

Christian, Johann. 1929. Tirol und sein Wald. (Österreichische Vierteljahresschr. f. Forstwes., ss. 136—174. Wien.)

Dittmar, Heinrich. 1929. Der Waldbau. Dritte, neuarbeitete Auflage von Gericke und Metelmann. Neudamm.

Drapal jun. 1928. Die Bedeutung der Weisserle in den Auwäldern. (Wiener Allg. Forst- u. Jagd-Zeit. N:o 2, ss. 8—9. Wien.)

Eulefeld. 1922. Die Weisserle und die Lupine als Bodenverbesserer. (Forstl. Wochenschr. Silva, s. 335. Tübingen.)

Fankhauser, F. 1902. Zur Kenntnis des forstlichen Verhaltens der Weisserle. (Schweiz. Zeitschr. f. Forstwes., ss. 33—38, 74—78. Bern.)

—»— 1930. Einige Mitteilungen über unsere Erlen. (Ibid., ss. 403—412.)

Früchtenicht. 1927. Aufforstungen von Kalködland. (Zeitschr. f. Forst- u. Jagdwes., ss. 488—501. Berlin.)

Gayer, Karl. 1898. Der Waldbau. Vierte, verbesserte Auflage. Berlin.

Hampel, L. 1884. Die Weisserle in Mischung mit der Fichte als Bestandesschutzholz. (Centralbl. f. d. ges. Forstwes., ss. 188—191. Wien.)

Hauch, L. A. — Oppermann, A. 1898—1902. Haandbog i skovbrug. København.

Heikinheimo, Olli. 1915. Kaskiviljelyksen vaikutus Suomen metsiin. (Mit deutschem Referat: Der Einfluss der Brandwirtschaft auf die Wälder Finnlands.) (Acta Forest. Fenn., 4. Helsinki.)

Hess, Richard. 1905. Die Eigenschaften und das forstliche Verhalten der wichtigeren in Deutschland vorkommenden Holzarten. Ein Leitfaden für Studierende, Praktiker und Waldbesitzer. Berlin.

Heyer, Carl — Hess, Richard. 1909. Der Waldbau oder die Forstproduktenzucht. Zweiter Band. Leipzig und Berlin.

Ilvessalo, Lauri. 1929. Puuluokitus ja harvennusasteikko. (A tree-classification and thinning system.) (Acta Forest. Fenn., 34. Helsinki.)

Ilvessalo, Yrjö. 1920 a. Tutkimuksia metsätyyppien taksatoorisesta merkityksestä, nojautuen etupäässä kotimaiseen kasvutaulujen laatimistyöhön. (Mit deutschem Referat: Untersuchungen über die taxatorische Bedeutung der Waldtypen, hauptsächlich auf den Arbeiten für die Aufstellung der neuen Ertragstafeln Finnlands fussend.) (Acta Forest. Fenn., 15. Helsinki.)

—»— 1920 b. Kasvu- ja tuottotaulut Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. (Mit deutschem Referat: Ertragstafeln für die Kiefern-, Fichten- und Birkenbestände in der Südhälfte von Finnland.) (Ibid., 15.)

—»— 1922. Vegetationsstatistische Untersuchungen über die Waldtypen. (Ibid., 20).

—»— 1927. Suomen metsät. Tulokset vuosina 1921—1924 suoritetusta valtakunnan metsien arvioimisesta. (English summary: The Forests of Suomi (Finland). Results of the general survey of the forests of the country carried out during the years 1921—1924.) (Comm. ex Inst. quaest. forest. Finl. ed., 11. Helsinki.)

—»— 1930. Suomen metsät viljavuusalueittain kuvattuina. Tuloksia vuosina 1921—1924 suoritetusta valtakunnan metsien arvioimisesta. (English summary: The forests of Suomi (Finland) described by areas of fertility. Results of the general survey of the forests of the country carried out during the years 1921—1924.) (Ibid., 15.)

Kierulf, Thv. 1925. Mere løvskog i de vestlandske plantninger! (Tidsskr. f. skogbr., ss. 577—584. Oslo.)

Köppen, Fr. Th. 1889. Geographische Verbreitung der Holzgewächse des europäischen Russlands und des Kaukasus. Beiträge zur Kenntniss des russischen Reiches und der angrenzenden Länder Asiens. Dritte Folge. Band VI. St. Petersburg.

Laitakari, Erkki. 1931. Käynti Jyllannin ja Lüneburgin nummilla. (Metsätal. Aikakk., ss. 88—97. Helsinki.)

Lönnroth, Erik. 1925. Untersuchungen über die innere Struktur und Entwicklung gleichaltriger naturnormaler Kiefernbestände, basiert auf Material aus der Südhälfte Finnlands. (Acta Forest. Fenn., 30, N:o 1. Helsinki.)

—»— 1929. Theoretisches über den Volumzuwachs und -abgang des Waldbestandes. (Ibid., 34.)

M. 1904. Anbau der Weisserle in Mischung mit Nadelhölzern. (Schweiz. Zeitschr. f. Forstwes., ss. 73—74. Bern.)

Mang, O. 1922. Aus der waldbaulichen Praxis. (Forstl. Wochenschr. Silva, ss. 137—140. Tübingen.)

Marchet, Julius. 1919. Waldflächen und Holzproduktion von Oesterreich. Wien und Leipzig.

Mathiesen, A. 1926. Die Waldungen Estlands, ihre Bewirtschaftung und der forstliche Unterricht in Estland. (Actes du I:er Congrès International de Sylviculture Rome, 29 avril—5 mai 1926. Vol.II., ss. 32—47. Rome.)

Miettinen, Leevi. 1930. Harvennusasteikoista ja niiden soveltamisesta. (Mit deutschem Referat: Über Durchforstungsskalen und ihre Anwendung.) (Comm. ex Inst. quaest. forest. Finl. ed., 16. Helsinki.)

Myhrwold, A. K. 1928. Skogbrukslaere. Forelaesninger ved Norges landbrukshøiskole. Bearbeidet og utgit ved Julius Nygaard. Oslo.

Ozols, J. un Hibners, E. 1927. Baltalkšna audžu izplatība Latvijā, augšanas gaita un nozīme mežsaimniecībā. (Mit deutschem Referat: Ueber Verbreitung, Wachstumsverhältnisse und wirtschaftliche Bedeutung der Weisserle.) (Mežsaimniecības rakstu krājums. V sējums. Sammlung forstwirtschaftlicher Schriften. V Band., ss. 43—52, 156—159. Rigā.)

Petersen, O. G. 1908. Forstbotanik. København.

Pfeil, W. 1860. Die deutsche Holzzucht. Leipzig.

P...y. 1906. Die Weisserle im Jura. (Schweiz. Zeitschr. f. Forstwes., ss. 19—22. Bern.)

Raukas, Aleksander. 1930. Pärnumaa talumetsad. (Mit deutschem Referat: Die Gesindewälder des Pernauschen Kreises.) (Tartu Ülikooli Metsaosakonna toimetused nr. 19. Mitteilungen der Forstwissenschaftlichen Abteilung der Universität Tartu nr. 19. Tartu.)

Rebmann. 1896. Die Rheinwaldungen und deren Bewirtschaftung. (Allg. Forst- u. Jagd-Zeit., ss. 360—365, 381—386. Frankfurt am Main.)

Sabroe, Axel S. 1926. Forestry in Denmark. A guide to foreigners. Copenhagen.

Schotte, Gunnar. 1918. Björk och al. Skogsvårdsföreningens folkskrifter. Band 3. Stockholm.

Skinnemoen, Knut A. 1927. Løvskogens betydning. Oslo.

Stassen und Behrisch. 1925. Über Aufforstungen von Kalködland, insbesondere in Bezug auf die Weisserle und Schwarzkiefer in der Klosteroberförsterei Göttingen. (Zeitschr. f. Forst- u. Jagdwes., ss. 483—494. Berlin.)

Steenberg, J. 1893. Hvidaellen paa Gyldensten. (Tidsskr. f. Skovvaes., ss. 35—38. København.)

Vaupell, Chr. 1863. De danske Skove. Kjøbenhavn.

Vorreith. 1928. Die Bedeutung der Erle für die Aufforstung steriler Böden. (Wiener Allg. Forst- u. Jagd-Zeit. N:o 14, ss. 79—80. Wien.)

Wahlgren, A. 1922. Skogsskötsel. Stockholm.

Weber, H. 1918. Über die Waldverhältnisse Litauens. (Allg. Forst- u. Jagd-Zeit., ss. 1—17, 25—28. Frankfurt am Main.)

Willkomm, Moritz. 1875. Forstliche Flora von Deutschland und Oesterreich. Leipzig und Heidelberg.

Örtenblad, Th. 1902. Anteckningar om trädens biologi. (Bihang till Årsskrift från Föreningen för skogsvård i Norrland år 1901.)

*Die forstlichen Verhältnisse der Schweiz.* Herausgegeben vom Schweizerischen Forstverein. Zürich 1925.

*Handbuch der Forstwissenschaft.* Erster Band. Tübingen 1926.

*Oplysninger om skogforholdene i Norge.* Meddelt av Skogdirektøren. Oslo 1930.

# UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN ZUWACHS DER WEISSERLENBESTÄNDE.

## REFERAT.

### Einleitung.

(S. 5—25.)

Im Jahre 1920 erschienen die Ertragstafeln für naturnormale Kiefern-, Fichten- und Birkenbestände in der Südhälfte Finnlands.[1]) Im Zusammenhang damit sollte auch der Zuwachs der Weisserle (*Alnus incana* L.) untersucht werden, doch musste dieser Gedanke wegen der Geringfügigkeit des Materiales damals aufgegeben werden. Da jedoch die Weisserle in Finnland eine verhältnismässig häufige Holzart ist, die an manchen Stellen ganze Bestände bildet, wurde seitens der Forstwissenschaftlichen Forschungsanstalt eine besondere Untersuchung des Zuwachses und der Entwicklung auch der Weisserle für notwendig erachtet und Verf. mit der Durchführung derselben beauftragt.

In der vorliegenden Arbeit wird zunächst das Verbreitungsgebiet der Weisserle behandelt und dann die sich auf das Auftreten, die forstwirtschaftliche Bedeutung und den Zuwachs derselben beziehende Literatur in Skandinavien, Holland, Belgien, Frankreich, Deutschland, der Schweiz, Österreich, Polen, Russland, Litauen, Lettland und Estland gemustert. Gründlicher erforscht ist der Zuwachs der Weisserle nur in den beiden letzten Ländern, während für die übrigen Länder gar keine oder nur wenige Beobachtungen vorliegen.

Nach Finnland ist die Weisserle erst nach der Birke und Kiefer von Osten eingewandert. Anfänglich kam sie verhältnismässig selten vor und auch Waldbrände, welche das gegenseitige Verhältnis zwischen den übrigen Holzarten stark beeinflusst haben, konnten ihre Verbreitung kaum in grösserem Masse befördern. Erst seit der Einführung der Brandwirtschaft in Finnland gelang es der Weisserle weiter vorzudringen und neue Standorte auf den Schwendflächen zu erobern, da sie auch auf verhältnismässig trockenen Standorten fortkommen kann. Die Verbreitung der Weisserle stand also in enger Beziehung zur Brandwirtschaft und heute noch findet man Erlenbestände vorzugsweise auf ehemaligen Schwendflächen. Je häufiger eine Fläche geschwendet wurde, eine um so dominierendere Stellung hat die Weisserle erlangt. Regelmässig geschwendet wurde vorzugsweise in der Nähe von Gehöften und Dörfern und in den eigentlichen Schwendgegenden, im südlichen Teile von Finnland, kann man die Folgen derselben noch heute, obgleich die Brandwirtschaft aufgegeben ist, sehen. So findet man auf den am dichtesten ge-

[1]) Vgl. Ilvessalo, Yrjö 1920 a und b im Literaturverzeichnis S. 75.

schwendeten Böden um Anbauflächen herum meist nur reine Erlenbestände, auf Waldwiesen sind diese schon seltener und in weiterer Entfernung dominieren die übrigen Holzarten.

Nach den Ergebnissen der in den Jahren 1921—24 durchgeführten allgemeinen Linientaxierung der finnischen Wälder umfassen die Wälder mit vorherrschender Erle (fast ausschliesslich Weisserlenbestände) insgesamt 379 000 ha oder 1.5 % der gesamten Waldfläche Finnlands. Weitaus der grösste Teil der Erlenwälder gehört zu den produktiven Waldböden, von denen sie 1.8 % oder 362 500 ha ausmachen, während nur 0.1 % auf weniger produktive Waldböden entfallen.

Fig. 1, S. 23, wo die Prozentzahlen auf ganze Zahlen abgerundet sind, zeigt die relative Häufigkeit der Wälder mit vorherrschender Erle in den verschiedenen Teilen Finnlands. Wir sehen, dass die Erlenwälder hauptsächlich auf die südliche Hälfte des Landes entfallen. Die Abbildung zeigt ausserdem, dass Erlenwälder häufiger im östlichen Teile von Süd-Finnland vorkommen, während sie im westlichen Teile viel seltener sind. Der Grund liegt darin, dass hier die Brandwirtschaft viel früher aufgegeben wurde als in Ost-Finnland.

Die Wälder mit vorherrschender Erle verteilen sich auf die verschiedenen Gruppen von Besitzern so, dass der Hauptteil auf Privatwaldungen und nur ein kleiner Teil auf die Staatsforsten entfällt. In ihrem eigentlichen Verbreitungsgebiet findet man die Weisserle verhältnismässig häufiger auf den besten Waldtypen, vorzugsweise in Hainen und auf hainartigen Böden.

Der Anteil der Weisserle an den Holzvorräten der finnischen Wälder beträgt 1.3 % oder 21.0 Mill. m³, wovon 99 % auf die südliche Hälfte Finnlands, der Hauptteil auf Privatwaldungen entfallen. Der grösste Teil, über $^2/_3$, der Erlenholzvorräte entfällt auf 1—40-jährige Wälder und zwar mit vorzugsweise kleinen Bäumen. So umfasst der Anteil der Bäume mit einem Brusthöhendurchmesser von weniger als 20 cm ca. 92 % der gesamten Erlenholzvorräte. Der Anteil der Erle am jährlichen Zuwachs der finnischen Wälder beträgt 3.2 % oder 1.42 Mill. m³, wovon 99 % auf den südlichen Teil des Landes entfallen.

## Untersuchungsmethode und -Material.

(S. 25—38.)

Ebenso wie bei den Hauptholzarten Finnlands, der Kiefer, Fichte und Birke, betreffen die Zuwachsuntersuchungen bei der Weisserle nur den südlichen Teil des Landes, der sich in bezug auf Waldtypen und Wachstumsverhältnisse als einheitliches Gebiet erwiesen hat. In diesem Gebiete wurde eine Reihe von Probeflächen angelegt, welche Bestände von verschiedenem Alter, junge und alte, auf den verschiedenen Waldtypen umfassen.

Um in bezug auf die Bestände ein einheitliches Material zu erhalten wurden die Probeflächen in unberührte, im Naturzustand befindliche, normaldichte Erlenbestände verlegt. Untersucht wurden ausschliesslich gleichaltrige und reine Bestände. Als rein wurde ein Bestand angesehen, wenn die Weisserle wenigstens 80 % des Volumens des ganzen Bestandes umfasste.

In Finnland haben die bisherigen Untersuchungen über die Zuwachs- und Ertragsverhältnisse reiner Wälder sich nur auf Wälder, die durch Naturbesamung entstanden sind, bezogen. Dasselbe liess sich nicht bei den Erlen-

beständen durchführen, denn ausschliesslich durch Naturbesamung entstandene Erlenwälder sind sehr selten, da sich fast immer auch Stockausschläge finden. Reine Ausschlagwälder kommen ebenfalls nicht vor, sondern neben den Stockausschlägen trifft man Bäume, die durch Naturbesamung entstanden sind. Aus diesem Grunde liess sich das Untersuchungsmaterial nicht nach der Entstehungsart der Bestände in einheitliche Gruppen teilen, sondern alle Bestände wurden zu der gleichen Wachstumsserie zusammengefasst.

Der Umfang der meisten Probeflächen betrug $^1/_{10}$—$^1/_4$ ha; nur einige, in ganz junge Bestände verlegte Probeflächen waren kleiner als $^1/_{10}$ ha.

Für jede Probefläche wurde zunächst eine allgemeine Aufnahme in der Weise vorgenommen, dass die Entstehungsweise des betr. Bestandes, die wichtigsten Seiten seiner Beschaffenheit wie Mischholzarten, Unterwuchs usw. vermerkt wurden. Ausserdem wurde die Lage des Standortes und die Bodenbeschaffenheit festgestellt. Zum Zwecke einer sicheren Bestimmung des Waldtyps wurde die Probefläche kreuz und quer untersucht und alle auf derselben vorkommenden Pflanzenarten sowie ihre Häufigkeit mit Hilfe der Norrlinschen 10-teiligen Dichteskala bestimmt.

Dann wurden die einzelnen Bäume auf der Probefläche gezählt und gemessen. Die Anzahl aller Bäume auf der Probefläche — zur Feststellung der natürlichen Selbstabscheidung auch die der abgestorbenen Bäume — mit Ausnahme des Unterwuchses wurde festgestellt und die Brusthöhendurchmesser (1.3 m über dem Boden) der Bäume wurden bestimmt. Die Messung wurde in den weniger als 10 Jahre alten Beständen in 1 cm-, in den älteren Beständen in 2 cm- unpaarigen Durchmesserklassen vorgenommen.

Ausser dieser mechanischen Klassifizierung der Stämme nach dem Brusthöhendurchmesser wurde auf einigen Probeflächen auch eine rein biologische Baumklassifizierung in der Weise ausgeführt, dass die biologischen Entwicklungsklassen auf Grund des von der Forstwissenschaftlichen Forschungsanstalt verwendeten Baumklassifizierungsverfahren (L. Ilvessalo 1929) bestimmt wurden.

Nachdem die Verteilung der Stämme auf die Durchmesserklassen festgestellt war, wurde mit dem Hypsometer wahllos die Höhe von 25—30 verschieden starken Stämmen bestimmt und eine Höhenkurve für den Probebestand gezeichnet. Auf Grund des Stammverzeichnisses der Probefläche und der erwähnten Höhenkurve wurden auf jeder Probefläche 4—6 Probestämme ausgewählt und gefällt, welche in bezug auf Durchmesser, Höhe und Form möglichst gleichmässig die Stämme der verschiedenen Durchmesserklassen vertraten. Eine so geringe Anzahl von Probestämmen erschien genügend, weil in Erlenbeständen die Verteilung der Stämme auf die einzelnen Stärkeklassen in sehr enge Grenzen fällt.

Die Probestämme wurden mit Hilfe des sogen. Sektionsverfahrens gemessen und alle sich auf den Stamm und die Krone beziehenden Einzelheiten vermerkt. Die Bäume unter 12 m Höhe wurden in Stücken von 1 m, alle höheren Bäume in solchen von 2 m Länge gemessen. Bei sehr kurzen Stämmen wurden die Messungen an 0.5 m langen Stücken vorgenommen. Ausser dem Durchmesser mit der Rinde wurde an jeder Messungsstelle auch die Stärke der Rinde mit dem Rindenmesser festgestellt.

Bei den meisten über 25 Jahre alten Probeflächebeständen wurde zur Feststellung des Zuwachses der herrschenden Stämme des Bestandes eine Stammanalyse an dem stärksten Probestamm ausgeführt. Für die Stammanalyse wurde pro ha der Mittelstamm der 100 stärksten Bäume ausgewählt.

Das Untersuchungsmaterial, das in der Hauptsache in den Sommern 1929—30 gesammelt wurde, umfasst im ganzen 43 Probeflächen. Diese vertreten die Hauptgebiete des Vorkommens der Weisserle und zwar in der Hauptsache Privatwälder. Tab. 1, S. 31 zeigt die Verteilung der Probeflächenbestände auf die verschiedenen Waldtypen nach dem Alter geordnet. Wie aus der Tabelle hervorgeht, entfallen auf den Oxalis-Majanthemum-Typ (OT) 9, auf den Oxalis-Myrtillus-Typ (OMT) 31 und auf den Myrtillus-Typ (MT) 3 Probeflächen. Die Tabelle zeigt ausserdem, dass das Alter der Probeflächenbestände auf OT zwischen 6 und 34 Jahren, auf OMT zwischen 4 und 42 Jahren und auf MT zwischen 30—37 Jahren schwankt. Ältere reine und naturnormale Erlenbestände liessen sich trotz genauen Suchens nicht feststellen. Bekanntlich wird die Weisserle nicht sehr alt, da sie oft schon vor 50 Jahren von Stockfäule angegriffen wird.

Wenn man das kurze Alter der Weisserle und die in der vorliegenden Untersuchung an die Homogenität der Probeflächenbestände gestellten grossen Anforderungen berücksichtigt, muss das Probeflächenmaterial für OT und OMT genügend zur Beleuchtung der Zuwachs- und Ertragsverhältnisse der Erlenbestände auf diesen Typen erscheinen. Das Material für MT ist jedoch zur Untersuchung der erwähnten Momente zu klein, so dass bei diesem Typ nur die Zuwachsverhältnisse der herrschenden Stämme mit Hilfe der Stammanalysen festgestellt wurden.

Eine vollständige Stammanalyse wurde auf insgesamt 14 Probeflächen vorgenommen. Die Stammanalysen verteilen sich auf die einzelnen Waldtypen so, dass auf OT 3, auf OMT 8 und auf MT 3 entfallen.

Schon oben wurde erwähnt, dass auf jeder Probefläche auch Aufzeichnungen über die Pflanzendecke gemacht wurden. Die so entstandenen Pflanzenverzeichnisse, welche die auf den Probeflächen gefundenen Pflanzenarten mit ihren Abundanzzahlen angeben, finden sich in der Beilage am Schluss dieser Arbeit. Bei der Durchmusterung der Pflanzenverzeichnisse macht man die Feststellung, dass, obwohl sich die Waldtypen in bezug auf die Anzahl der Pflanzenarten in den Erlenbeständen nur wenig voneinander zu unterscheiden scheinen, die Anzahl der anspruchsvolleren Pflanzenarten auf den besseren Waldtypen grösser ist als auf den schlechteren. — Auch einige photographische Aufnahmen der besonders charakteristischen Probeflächenbestände finden sich in der Beilage.

Bei der Behandlung des Untersuchungsmateriales mussten zunächst die Volumen der auf den Probeflächen gemessenen Probestämme bestimmt werden. Die Probestämme wurden in Stücken von 0.5, 1 oder 2 m kubiert entsprechend den Messungen im Walde. Da auch die Rindenstärke für jede Messungsstelle festgestellt war, liess sich ausser des Volumens mit Rinde auch diejenige ohne Rinde berechnen. Ebenso wurde das Volumen des in den Probestämmen enthaltenen Derbholzes (Stärke 10+ cm) ermittelt. Auf Grund der die Volumen (mit Rinde, ohne Rinde und des Derbholzes) der Probestämme jeder Probefläche bezeichnenden Punkte wurden ausgeglichene graphische Kurven, die sog. Kubierungskurven gezeichnet, auf Grund deren sich die Volumen der Probeflächen berechnen liessen.

Ausser der Kubierung wurden auf den Probeflächen Berechnungen für den Volumzuwachs des Bestandes, die Anzahl und die Massverhältnisse der Bäume, wie Höhe, Durchmesser u. a. vorgenommen und auf Grund derselben graphische Kurven gezeichnet. Ebenso wurden die Zuwachsverhältnisse der

herrschenden Stämme mit Hilfe der Stammanalysen rechnerisch und graphisch festgestellt.

In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass die Zeichnung der Kurven für die Zuwachsverhältnisse des Bestandes und der herrschenden Stämme auf OT und MT nach oben fortgesetzt wurde (gestrichelte Linie) und so die unten angegebenen Ergebnisse bis zum 45. Altersjahre erhalten wurden, obgleich auf beiden Waldtypen alte Probeflächen fehlen. Ein solches Verfahren war deshalb berechtigt, weil der Verlauf der Kurven für beide in Frage stehende Typen für die höchsten Altersklassen verhältnismässig regelmässig war.

## Untersuchungsergebnisse.

(S. 38—74.)

Zur Feststellung der mittleren Stammzahlen für die verschiedenen Altersklassen der Weisserlenbestände wurde die Anzahl der lebenden Bäume in den Probeflächenbeständen graphisch ausgeglichen. Die auf diese Weise erhaltenen mittleren Stammzahlkurven sind in Fig. 2, S. 39 angegeben. Auf Grund derselben wurde Tab. 2, S. 40 aufgestellt. Die Stammzahl sowie die anderen Wachstumsverhältnisse des Bestandes wurden wie erwähnt nur für zwei Waldtypen, OT und OMT ermittelt. Wie Fig. 2 und Tab. 2 zeigen, scheinen die Stammzahlen für OT und OMT bis etwa zum 25. Jahre gleich gross zu sein. Da wegen der geringen Anzahl der ganz jungen Erlenbestände die Zeichnung des Anfangsteiles der Kurven ziemlich unsicher war, kann das Ergebnis nicht als unbedingt sicher angesehen werden, doch ist wahrscheinlich der Unterschied zwischen diesen einander nahe stehenden Typen in dieser Beziehung gering. Dagegen lässt sich von dem erwähnten Alter an in den Stammzahlen ein deutlicher Unterschied zwischen OT und OMT feststellen. — Vergleicht man die Stammzahlen naturnormaler Bestände der Weisserle und der Hauptholzarten Finnlands auf dem gleichen Waldtyp und in der gleichen Altersklasse, so zeigt sich, dass die Stammzahl des Erlenbestandes viel kleiner ist als die des Birken- und Fichtenbestandes, aber bedeutend grösser als die des Kiefernbestandes.

Wie schon oben erwähnt wurde, wurde auf einigen Probeflächen eine biologische Baumklassifizierung vorgenommen. Doch blieb das Material in dieser Beziehung unvollständig, so dass es kein ganz zuverlässiges Bild von der inneren Struktur der Erlenbestände und dem Existenzkampf der einzelnen Bäume gibt. Die Ergebnisse der Beobachtungen, die in Tab. 3, S. 42 angegeben sind, vermitteln jedoch eine gewisse Vorstellung betr. die oben erwähnten Umstände.

Da es oft von Wichtigkeit ist neben der ganzen Stammzahl auch die Verteilung der Stämme der Bestände verschiedenen Alters auf die Durchmesserklassen zu kennen, wurden für die Weisserlenbestände die mittleren Stammverteilungsreihen berechnet (s. Tab. 4, S. 43). Wir sehen, dass mit dem höheren Alter eines Bestandes auf den beiden in Frage stehenden Waldtypen die Stammzahl der kleinen Durchmesserklassen abnimmt, die der grossen dagegen zunimmt. Diese Entwicklung geht auf OT schneller vor sich als auf OMT.

Die Oberhöhe der Weisserlenbestände wurde auf Grund der Stammanalysemessungen festgestellt. Da Stammanalysen auf OT, OMT und MT

vorgenommen wurden, lässt sich die Oberhöhe für diese drei Waldtypen bestimmen. Die mittleren Höhenkurven der herrschenden Stämme der verschiedenen Waldtypen sind in Fig. 3, S. 45 angegeben. Aus diesen wurde die mittlere Höhe der herrschenden Stämme in den Erlenbeständen der untersuchten Waldtypen in 5-jährigen Altersstufen ermittelt und der laufende und durchschnittliche jährliche Höhenzuwachs in 5-jährigen Altersklassen berechnet (s. Tab. 5, S. 46). Wie die Ergebnisse zeigen, ist die Oberhöhe und der laufende und durchschnittliche jährliche Höhenzuwachs schon vom Jungwuchsstadium an regelmässig um so grösser, je besser der Waldtyp ist.

Ein Vergleich zwischen den Oberhöhen in den Weisserlenbeständen und den Hauptholzartenbeständen zeigt, dass der herrschende Birken- und Kiefernstamm in den jüngeren Altersklassen kürzer, im Alter von 25—40 Jahren (auf MT früher als auf den anderen Waldtypen) ebenso lang und dann länger als der herrschende Erlenstamm ist. Der herrschende Fichtenstamm ist dagegen noch bis zum 45. Jahre kürzer als dieser.

Die Untersuchung der Mittelhöhe der Weisserlenbestände fusst auf den Höhenmessungen, die auf den Probeflächen zur Bestimmung der Mittelhöhe der Durchmesserklassen vorgenommen wurden. Zunächst wurden für die einzelnen Probeflächen die mit den Stammzahlen gewogenen arithmetischen Höhenmittel bestimmt und diese dann graphisch ausgeglichen (Fig. 4, S. 48). Tab. 6, S. 48 gibt diese aus den Kurven erhaltenen, ausgeglichenen Mittelhöhen für die einzelnen Waldtypen sowie den auf Grund der Kurven berechneten laufenden und durchschnittlichen jährlichen Zuwachs der Mittelhöhe an.

Wie die Oberhöhe so ist auch die Mittelhöhe und ihr laufender und durchschnittlicher jährlicher Zuwachs schon vom Jungwuchsstadium ab auf OT grösser als auf OMT. Ein Vergleich zwischen den Mittelhöhen der Weisserlenbestände und Hauptholzartbestände zeigt, dass die Mittelhöhe im Erlenbestande grösser ist als in den Hauptholzartenbeständen. Die Mittelhöhen im Erlen- und Kiefernbestand weichen am wenigsten voneinander ab und sind gleich gross um das 40. Jahr, früher als die der Erle und der übrigen Hauptholzarten.

Tab. 7, S. 50 zeigt den Unterschied zwischen der Oberhöhe und der Mittelhöhe in den Erlenbeständen und den Hauptholzartbeständen. Wir ersehen daraus, dass dieser auf OT etwas grösser ist als auf OMT. Der Höhenunterschied ist im Kiefernbestand ungefähr ebenso gross, im Birken- und Fichtenbestand dagegen viel grösser als im Weisserlenbestand.

Die Untersuchung des Brusthöhendurchmessers der herrschenden Stämme und seiner Entwicklung fusste auf den Stammanalysemessungen. Fig. 5, S. 51 zeigt die Kurven für die mittlere Grösse des Brusthöhendurchmessers der herrschenden Stämme, Tab. 8, S. 52 die aus diesen bestimmten ausgeglichenen mittleren Brusthöhendurchmesser sowie den auf Grund der Kurven berechneten laufenden und durchschnittlichen jährlichen Zuwachs des Durchmessers in den verschiedenen Altersklassen.

Wie die Ergebnisse zeigen, ist der Brusthöhendurchmesser der herrschenden Stämme und sein laufender und durchschnittlicher jährlicher Zuwachs um so grösser, je besser der Waldtyp ist. Ein Vergleich zwischen der Weisserle und der Kiefer und Fichte (für die Birke wurden bei der Aufstellung der

Ertragstafeln keine Stammanalysen vorgenommen) in bezug auf den Brusthöhendurchmesser der herrschenden Stämme zeigt, dass der Durchmesser des herrschenden Kiefernstammes in jüngerem Alter kleiner, aber mit ungefähr 25—30 Jahren ebenso gross und dann grösser ist als der des herrschenden Erlenstammes. Der Durchmesser des herrschenden Fichtenstammes ist dagegen regelmässig noch bis zum 45. Jahre kleiner als der des herrschenden Weisserlenstammes.

Die Untersuchung des mittleren Durchmessers des Weisserlenbestandes fusst auf den Stammverteilungsreihen der Probeflächen. Für jeden Probeflächenbestand wurden zunächst die mit den Stammzahlen gewogenen arithmetischen Mittel der Durchmesser berechnet und diese dann graphisch ausgeglichen. Die auf diese Weise erhaltenen mittleren Durchmesserkurven sind aus Fig. 6, S. 54 ersichtlich, während die auf Grund derselben bestimmten mittleren Durchmesser sowie ihr laufender und durchschnittlicher jährlicher Zuwachs in Tab. 9, S. 54 angegeben sind.

Die Ergebnisse zeigen, dass der mittlere Durchmesser und sein laufender und durchschnittlicher jährlicher Zuwachs auf OT etwas grösser ist als auf OMT. Ein Vergleich zwischen dem Durchmesser der Weisserlenbestände und dem der Hauptholzartenbestände führte zu dem Ergebnis, dass der mittlere Durchmesser im Erlenbestand bedeutend grösser ist als im Birken- und Fichtenbestand, aber etwas kleiner als im Kiefernbestand.

Zur Feststellung der durchschnittlichen Werte der Grundfläche wurden mit Hilfe der die Grundflächen der Probeflächenbestände darstellenden Punkte ausgeglichene Kurven gezeichnet, die in Fig. 7, S. 56 angegeben sind. Die aus diesen Kurven erhaltenen durchschnittlichen Grundflächen in den verschiedenen Altersklassen sind in Tab. 10, S. 57 angegeben, die ausserdem den laufenden und durchschnittlichen jährlichen Zuwachs der Grundfläche zeigt.

Mustern wir die Ergebnisse dieser Berechnungen, so sehen wir, dass die Grundfläche und ihr durchschnittlicher jährlicher Zuwachs in allen Altersklassen auf OT grösser ist als auf OMT. Der laufende jährliche Zuwachs der Grundfläche ist in jüngerem Alter auf OT grösser als auf OMT, aber vom 20. Jahre ab wird das Verhältnis umgekehrt. Die Vergleiche zeigen, dass die Grundfläche im Erlenbestand viel grösser ist als im Birkenbestand und bedeutend grösser als im Kiefern- und Fichtenbestand.

Das Volumen der herrschenden Stämme und seine Entwicklung wurde mit Hilfe der Stammanalysemessungen untersucht. Fig. 8, S. 59 zeigt die Kurven für die durchschnittlichen Volumen der herrschenden Stämme auf den verschiedenen Waldtypen. Auf Grund der Kurven wurde Tab. 11, S. 60 aufgestellt, die ausser dem Volumen auch den laufenden und durchschnittlichen jährlichen Volumzuwachs sowie das Volumzuwachsprozent angibt.

Bei der Durchmusterung der Ergebnisse stellen wir fest, dass das Volumen des herrschenden Weisserlenstammes und sein laufender und durchschnittlicher jährlicher Zuwachs um so grösser ist, je besser der Waldtyp ist. Da die Bäume auf schlechteren Waldtypen kleiner sind als auf besseren, folgt daraus, dass das Volumzuwachsprozent, wenn wir vom Jungwuchsstadium absehen, im allgemeinen um so grösser ist, je schlechter der Waldtyp ist, wenn auch die Unterschiede verhältnismässig klein sind. Ein Vergleich zwischen der Erle und den übrigen Holzarten zeigte, dass in jüngerem Alter das

Volumen des herrschenden Erlenstammes bedeutend grösser ist als das des herrschenden Kiefernstammes, dass aber mit 25—35 Jahren das Verhältnis umgekehrt wird. Noch im Alter von 45 Jahren ist das Volumen des herrschenden Erlenstammes grösser als das des herrschenden Fichtenstammes.

Das Volumen der Weisserlenbestände wurde auf Grund der Probeflächemessungen bestimmt. Die Verfahren bei der Berechnung der Volumen der Probeflächenbestände sind schon oben besprochen worden. Auf Grund der die Volumen der Probeflächenbestände darstellenden Punkte wurden dann ausgeglichene graphische Kurven freihändig gezeichnet. Fig. 9, S. 62 zeigt die graphischen Kurven für das Volumen ohne Rinde, Tab. 12, S. 63 die auf Grund derselben bestimmten durchschnittlichen Volumen der Weisserlenbestände, die laufende und durchschnittliche jährliche Zunahme des Volumens ohne Rinde, das Zunahmeprozent des Volumens sowie den prozentualen Anteil des Derbholzes (10 + cm).

Wie aus der Tabelle hervorgeht, ist das Volumen und seine Zunahme sowie der Anteil des Derbholzes regelmässig grösser auf OT als auf OMT. Das Zunahmeprozent des Volumens ist dagegen vom 25. Jahre ab auf OMT grösser als auf OT.

Die Aufstellungen auf S. 64—65 zeigen das Verhältnis zwischen dem Volumen der Weisserlenbestände und der Hauptholzartenbestände. Das Volumen ist danach bis zum 45 Jahre in Erlenbeständen grösser als in anderen Holzartenbeständen. Der Unterschied zwischen Erlen- und Kiefernbeständen in bezug auf das Volumen ist bedeutend kleiner als zwischen Erlen- und Birken- sowie zwischen Erlen- und Fichtenbeständen. — Der prozentuale Anteil des Derbholzes ist in den Erlenbeständen fast ebenso gross wie in den Kiefernbeständen, aber viel grösser als in Birken- und Fichtenbeständen der entsprechenden Altersklassen.

Weiter ist zu erwähnen, dass die laufende jährliche Zunahme des Volumens des Weisserlenbestandes in jüngerem Alter grösser ist als bei den anderen Holzarten, dass sich dann aber das Verhältnis bald umkehrt. Die durchschnittliche jährliche Zunahme ist natürlich im Erlenbestand grösser als in anderen Holzartenbeständen.

Die oben mitgeteilten Volumen der naturnormalen Erlenbestände geben noch nicht den eigentlichen Ertrag des betr. Bestandes an, denn während der ganzen Lebenszeit desselben kommen infolge der natürlichen Selbstabscheidung Bäume in Wegfall, deren Volumen nicht in dem gegenwärtigen Volumen des Bestandes enthalten ist. Erst wenn wir zu dem Volumen des Bestandes für jede Altersklasse das Volumen der bis dahin abgeschiedenen Bäume hinzufügen, erhalten wir den Gesamtertrag des Bestandes. Um diesen feststellen zu können, müssen wir also den Betrag der natürlichen Abscheidung des Bestandes kennen.

Die natürliche Selbstabscheidung der Weisserlenbestände wurde schon auf den Probeflächen untersucht, indem hier neben Messungen an lebenden Bäume auch Beobachtungen an abgestorbenen und absterbenden vorgenommen wurden. Durch Heranziehung der Stammverteilungsreihen für die Erlenbestände und durch Untersuchung ihrer Entwicklung (Tab. 4, S. 43) wurde festgestellt, wie stark die Stämme waren, die zu einer bestimmten Zeit aus dem Bestand ausschieden. Durch Zusammenzählen dieser Mengen für die verschiedenen Altersperioden ergab sich die Holzmenge, die seit dem Bestandesbeginn bis zu jedem Alter insgesamt aus-

geschieden war (s. Tab. 13, S. 68). Fügen wir diese seit dem Bestandesbeginn ausgeschiedenen Mengen zu den gegenwärtigen Volumen der Bestände für die betr. Altersklassen (Tab. 12, S. 63) hinzu, so erhalten wir den Gesamtertrag der Erlenbestände (s. Tab. 14, S. 69).[1]) Auf Grund des Gesamtertrages ohne Rinde wurde der laufende und durchschnittliche jährliche Volumzuwachs der Erlenbestände ermittelt. Das laufende jährliche Volumzuwachsprozent wurde dagegen auf Grund des Bestandesvolumens ohne Rinde berechnet. Der Volumzuwachs ist ebenfalls in Tab. 14, S. 69 angegeben.

Mustern wir die Zahlen in dieser Tabelle, so sehen wir, dass der Gesamtertrag des Weisserlenbestandes, der laufende und durchschnittliche jährliche Volumzuwachs sowie das Volumzuwachsprozent in allen Altersklassen auf OT grösser ist als auf OMT. Weiter zeigt die Tabelle, dass der durchschnittliche jährliche Zuwachs auf OT sein Maximum (7.7 m³) ungef. zwischen 35—40 Jahren, auf OMT (6.3 m³) zur gleichen Zeit oder etwas später erreicht. Wenn bei der Erziehung von Erlenbeständen der Umtrieb des grössten Massenertrages zu Grunde gelegt wird, würde die Umtriebszeit die oben angegebene Länge haben müssen. Dies trifft jedoch nur für naturnormale Erlenbestände zu. Bei regelmässiger Durchforstung der Erlenbestände würde die in Frage stehende Umtriebszeit jedoch kürzer werden.

Die Gesamterträge der Weisserlenbestände und der übrigen Holzartenbestände werden in der Aufstellung S. 70 verglichen. Wir ersehen aus ihr, dass der Gesamtertrag im Weisserlenbestand viel grösser ist als in den aus anderen Holzarten gebildeten Beständen. Der Unterschied in bezug auf den Ertrag ist zwischen Erlen- und Fichtenbeständen am grössten, zwischen Erlen- und Kiefernbeständen am kleinsten; die Erträge der beiden letzteren sind etwa mit 45 Jahren gleich gross.

Der laufende jährliche Volumzuwachs der Erlenbestände und der anderen Holzartenbestände wird in der Aufstellung S. 71 verglichen. Wir ersehen daraus, dass der laufende jährliche Volumzuwachs in jungen Erlenbeständen grösser ist als in den Hauptholzartenbeständen, aber vom 20. Jahre an ist zuerst der Volumzuwachs der Kiefern-, vom 35.—40. Jahre an derjenige der Birken- und Fichtenbestände grösser als der Volumzuwachs der Erlenbestände.

Fassen wir die Ergebnisse der obigen Vergleichung zwischen dem Zuwachs der Weisserlenbestände und der Hauptholzartenbestände zusammen, so scheint sich zu ergeben, dass, wenn man bei der Erziehung der Erle schnell grössere Volumen erzielen will als die anderen Holzarten erzeugen können, die Umtriebszeit der Erlenbestände kurz sein muss. Durchforstungen sind ein gutes Mittel zur Erzielung möglichst kurzer Umtriebszeit.

---

[1]) Auch diese Zahlen geben noch nicht den Gesamtertrag des Bestandes an, denn der Zuwachs der durch natürliche Selbstabscheidung in Wegfall gekommenen Holzmengen (»Abzuwachs», vgl. Lönnroth 1929) in einigen der letzten Lebensjahre während der 5-Jahresperioden liess sich nicht feststellen. Diese Mengen sind jedoch in naturnormalen Wäldern, wenn nicht grössere Sturm- u. a. Schäden entstehen, ganz unbedeutend.

# KASVILUETTELOT JA VALOKUVAT

*PFLANZENVERZEICHNISSE UND PHOTOGRAPHISCHE AUFNAHMEN*

| Metsätyyppi: *Waldtyp:* | Käenkaali- *Oxalis-* | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Koeala N:o: *Probefläche N:o:* | 5 | 27 | 10 | 38 | 26 | 28 | 15 | 39 | 2 | 4 | 22 | 31 | 6 |
| Metsikön ikä, v.: *Bestandesalter, J.:* | 4 | 7 | 9 | 12 | 14 | 17 | 19 | 20 | 21 | 21 | 21 | 22 | 23 |
| **Puut — *Bäume:*** | | | | | | | | | | | | | |
| Sorbus aucuparia | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | — | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 |
| **Pensaat — *Sträucher:*** | | | | | | | | | | | | | |
| Salix livida | — | — | — | — | — | — | 2 | — | — | — | — | — | — |
| S. phylicifolia | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — | 1 | — |
| S. nigricans | — | — | — | — | 1 | 2 | — | — | — | — | — | — | — |
| **Varvut — *Reiser:*** | | | | | | | | | | | | | |
| Lycopodium selago | — | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2—3 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| L. annotinum | — | — | 1 | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — |
| L. clavatum | — | — | — | 2 | 2 | — | — | — | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| Myrtillus nigra | — | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3—4 | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 |
| Vaccinium vitis idaea | — | 2 | 2 | 2 | 2—3 | 2 | 2—3 | 2 | 2—3 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| Linnea borealis | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| **Heinät — *Gräser:*** | | | | | | | | | | | | | |
| Agrostis vulgaris | 6 | 5 | 3 | 5 | 5 | 4 | 5 | 4—5 | 4 | 3—4 | 6 | — | 4 |
| Calamagrostis arundinacea | 1 | 4 | 3 | 1 | 2 | 4 | 2 | 1 | 1 | — | 2 | — | — |
| Aera flexuosa & Festuca ovina | — | — | — | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2—3 |
| A. caespitosa | — | 4 | 4 | 2 | 5 | 4 | 4 | 3 | 6 | 3—4 | 4 | 4 | 6 |
| Melica nutans | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | — |
| Poa nemoralis | — | — | — | 3 | — | — | 2 | 2 | 2 | 3 | — | — | 2 |
| Anthoxantum odoratum | — | — | — | — | — | — | 2 | — | 3 | 1 | — | 2 | 2 |
| Dactylis glomerata | — | — | — | — | — | 2 | — | — | — | — | — | — | — |
| Phleum pratense | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Carex Goodenoughii | — | — | — | — | 2 | — | — | — | — | — | 2 | — | 2 |
| C. pallescens | — | — | — | — | 3 | — | 2 | — | 3 | 1 | 2 | 2 | 3 |
| C. canescens | — | — | — | — | 2 | — | 2 | — | 2 | — | — | — | 1 |
| C. leporina | — | 2 | 2 | 2 | — | — | 3 | 2 | — | 1 | 2 | — | 2 |
| C. loliacea | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Luzula pilosa | — | 2 | — | 2 | 2 | 2 | 4 | — | 2 | — | 2 | 2 | 3 |
| L. multiflora | — | — | — | — | — | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | — | — | 2 |
| **Ruohot — *Kräuter:*** | | | | | | | | | | | | | |
| Onoclea struthiopteris | — | — | — | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — |
| Athyrium filix femina | — | — | — | 1 | — | — | — | 2—3 | — | — | — | 2 | — |
| Phegopteris dryopteris | — | — | 3 | 2 | — | — | — | 3 | — | — | — | — | — |
| Ph. polypodioides | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 |
| Polystichum spinulosum | — | 3 | 2—3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2—3 | 3 |
| Botrychium ternatum | — | — | — | 2 | — | — | — | 2 | — | — | — | — | — |
| Pteris aquilina | — | — | — | 3 | — | — | — | 3 | — | — | — | — | — |
| Equisetum silvaticum | — | 2 | — | — | — | 3 | — | 2 | 1—2 | — | — | 3 | 1 |
| Convallaria majalis | — | 1 | — | — | — | 3—4 | — | — | — | — | — | 1 | — |
| Majanthemum bifolium | 2 | 4 | 5 | 4—5 | 5 | 4 | 4 | 4—5 | 4 | — | 2—3 | 3—4 | 3 |
| Paris quadrifolius | — | — | 1 | — | — | 1 | — | — | — | — | — | 1 | 1 |
| Orchis maculatus | — | 1 | — | — | 1 | 2 | 1 | — | 1 | — | — | — | 1 |
| Urtica dioica | — | — | 1 | — | — | 1 | — | — | — | — | 1 | — | — |
| Rumex acetosa | 1—2 | 1 | — | 3—4 | — | — | — | 2 | 2 | 2 | — | — | 2 |

mustikkatyyppi (OMT)
*Myrtillus-Typ* (OMT)

| 25 | 42 | 8 | 11 | 29 | 32 | 13 | 30 | 18 | 7 | 33 | 12 | 21 | 24 | 16 | 35 | 23 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 23 | 23 | 25 | 25 | 26 | 26 | 27 | 27 | 30 | 30 | 30 | 31 | 32 | 34 | 34 | 40 | 42 |
| 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 3 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| — | — | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — |
| — | — | — | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2 | 3 | 1—2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1—2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1—2 |
| — | — | — | — | — | — | 1—2 | — | 1 | 2 | — | 2 | 3 | 2 | 1—2 | — | — |
| — | 2 | 1—2 | — | 3 | 2—3 | — | 3 | — | — | 1—2 | — | — | 2 | 2 | — | 2 |
| 2 | 2 | 2 | 1—2 | 3 | 2—3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 | 2 | 2 | 2 | 4 |
| 2 | 2 | 2 | 1 | 4 | 2—3 | 3 | 3 | 2 | — | 2 | 2 | 3—4 | 2 | 3 | 2 | 3 |
| — | — | — | — | — | — | 2 | — | — | — | — | 1—2 | — | — | — | — | — |
| 5 | 5 | 5 | 6 | 3 | 4 | 3 | 4 | 5 | 5—6 | 6 | 3 | 4 | 5 | 5—6 | 6 | 6 |
| — | — | — | — | — | — | 2 | — | 4 | — | — | 2 | 4 | — | — | 2 | 2 |
| 2 | 3 | 3 | — | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | — | 3 | 2 | 3 | 2 | — | — | 2 |
| 5 | 4 | 4—5 | 6 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 5—6 | 3 | 3 | 3 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| — | — | — | — | — | — | 2 | — | 2 | — | — | 3 | — | — | 2 | — | — |
| — | — | 3 | — | 2 | 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| — | — | — | — | 2 | 2 | — | 2 | — | — | — | 1 | — | 2 | — | — | — |
| — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — | 1 | — |
| — | 1 | — | — | 1 | 1 | — | — | — | — | — | — | — | 1 | — | — | — |
| — | — | — | — | — | — | — | — | 1—2 | 2 | — | 1 | 2 | — | — | — | — |
| — | — | 3 | — | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | — | — | 2 | 2 | — | — | — | — |
| — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | — | — | — | 3 | — | — | — | — |
| — | 2 | 2 | — | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | — | — | 2 | 2 | 2 | — | 2 | 2 |
| — | — | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — |
| — | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 4 | 2 | 3—4 | 3 | 3 |
| — | — | 2 | — | 2 | 2 | — | 2 | 2 | 2 | — | — | — | — | — | — | — |
| — | — | — | 1 | — | — | 1 | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — |
| — | 2 | — | 2 | — | 1 | 1 | 2 | — | 2 | — | 2 | — | — | — | — | — |
| — | 2 | — | 2 | 2 | — | 4 | 3 | 1—2 | — | — | 4 | 2—3 | 1 | 1—3 | 2 | 1 |
| — | — | — | — | 2 | — | 2 | 2 | 1 | — | — | 2—3 | — | — | 2 | — | — |
| 3 | 3 | 2—3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| — | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| — | 4 | — | — | — | — | — | — | — | 1—2 | 3 | — | — | — | 3 | 3 | — |
| — | — | — | — | 2 | — | 2 | — | 2 | — | — | 2 | — | — | — | — | — |
| — | — | — | — | — | 1 | 1 | — | — | — | — | 2 | 2 | — | 1 | — | — |
| 2 | 3 | 2—3 | 2—3 | 4 | 3 | 4 | 5 | 4 | — | 5 | 5 | 3 | 4 | 5 | 5 | 4 |
| — | — | — | 2 | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| — | — | 1 | 1 | 1 | — | 2 | 2 | 2 | 1 | — | 2 | — | — | — | — | — |
| — | — | 1 | 1 | — | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — | — |
| 2 | 2 | 2 | 2 | — | 1 | — | — | 2 | 2 | 2 | — | — | 2 | 2—3 | 1 | 2 |

| Metsätyyppi: *Waldtyp:* | | | | | | | | | | | | | Käenkaali- *Oxalis-* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Koeala N:o: *Probefläche N:o:* | 5 | 27 | 10 | 38 | 26 | 28 | 15 | 39 | 2 | 4 | 22 | 31 | 6 |
| Metsikön ikä, v.: *Bestandesalter, J.:* | 4 | 7 | 9 | 12 | 14 | 17 | 19 | 20 | 21 | 21 | 21 | 22 | 23 |
| Rumex acetosella | — | — | — | — | — | — | 2 | — | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Stellaria graminea | — | — | 2 | — | — | 2 | 2 | — | 2 | 1—2 | 2 | 3 | 2 |
| S. media | — | — | — | 2 | — | — | — | 2 | — | — | 1 | — | — |
| Arenaria trinervia | 3 | — | 2 | — | — | 2 | — | — | — | 2 | — | 2 | 1—2 |
| Ranunculus auricomus | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | 1 | — | 2 | 1 |
| R. acer | 3 | 3 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1—2 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| R.repens | — | 3 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 | 3 | 2—3 |
| Ulmaria pentapetala | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | — | — | — | 2 |
| Geum rivale | — | 1—2 | — | 1 | — | 3 | — | 1 | 1 | 1 | — | 1 | — |
| Fragaria vesca | 2 | 4 | 3 | 5 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3—4 | 4 | 5 | 4 |
| Potentilla tormentilla | 2 | 4 | 1—2 | 4 | 4 | 2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 4 | 4 |
| Rubus idaeus | 5 | 2 | 4 | 4 | 3 | — | 2 | 4 | — | 1 | 3 | 2—3 | — |
| R. saxatilis | — | 3 | 3 | 1 | 2—3 | 3 | 2 | 2 | — | 1 | 2 | 3—4 | 2 |
| R. arcticus | — | — | — | — | — | — | 3 | — | — | — | 1 | — | — |
| Alchemilla vulgaris | 3 | 3 | 1—2 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2—3 |
| Trifolium repens | — | 3 | — | 3 | 2 | — | 2 | 2 | — | 1 | 3 | 3 | — |
| T. medium | — | — | — | 1 | — | 2 | — | — | — | — | — | — | — |
| T. pratense | — | 2 | — | — | 2 | — | — | — | 1 | 3 | — | 2 | 2—3 |
| Vicia cracca | — | 2 | 2 | — | 2 | 2 | — | — | 2 | 1 | — | — | — |
| V. sepium | — | — | — | — | — | 1 | — | 1 | — | — | — | 2 | — |
| Geranium silvaticum | — | — | 2 | 2 | — | — | — | 2 | 2 | — | — | — | — |
| Oxalis acetosella | 2 | 2 | 4 | 4—5 | — | — | — | 5 | 1 | 3 | 3 | 2—3 | 3 |
| Viola palustris | — | 3 | 2 | — | 5 | 2 | 5 | 2 | 5 | 4 | 4 | 2 | 4—5 |
| V. canina | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| V. Riviniana | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| V. tricolor | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | — |
| Hypericum quadrangulum | 2 | 2—3 | 1 | 3 | 2 | 2—3 | 1—2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2—3 | 2 |
| Epilobium montanum | — | 1 | — | 2 | 2 | 2 | — | — | — | 2 | — | 1 | — |
| E. palustre | — | — | — | — | 2 | — | 1 | — | — | 1 | — | — | 1 |
| Chaerophyllum silvestre | — | — | — | 1 | — | — | — | 2 | — | — | — | 1 | — |
| Pimpinella saxifraga | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | — | — | — | — | 2 | 2—3 | — |
| Aegopodium podagraria | — | — | — | 3 | 2 | — | — | 2 | 1 | 1 | — | 3 | — |
| Angelica silvestris | — | 3 | — | 1 | — | 3 | — | 2 | — | — | 2—3 | — | 2 |
| Pyrola rotundifolia | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| P. minor | — | 2 | — | — | 1 | 2 | — | — | — | — | — | 2 | — |
| P. secunda | — | — | — | 1 | — | 2 | — | — | — | — | — | 2—3 | — |
| Trientalis europaea | 2 | 3 | 4 | 4—5 | 3 | 3 | 4 | 4—5 | 2 | — | 2 | 3 | 3 |
| Lysimachia vulgaris | — | — | — | — | — | — | — | — | 3 | 2 | — | 2 | 3 |
| Brunella vulgaris | — | 3 | — | 2 | 5 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3—4 | 2 | 2 | 2 |
| Galeopsis bifida | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | — | 2 | 2 | — | 2 | — | 2 | 1—2 |
| Veronica chamaedrys | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | — | 2 | 1 | — | 3 | 3—4 | — |
| V. officinalis | — | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 1—2 |
| V. serpyllifolia | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | 2 | — | — | — |
| Scrophularia nodosa | — | — | — | 1 | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — |
| Melampyrum silvaticum | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | — |
| Scutellaria galericulata | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Cerastium triviale | — | — | — | 2 | 2 | — | 1—2 | — | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| Galium uliginosum | — | 2 | — | 2 | 2 | — | — | — | 2 | 2 | — | — | 3 |
| G. mollugo | 3 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Campanula glomerata | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | — | 2 | 1 |
| C. patula | — | 2 | — | 2 | 2 | 2 | — | — | — | — | 2 | 2 | 1 |
| C. rotundifolia | 5 | — | — | — | — | — | — | — | 3 | — | — | 3 | — |
| Knautia arvensis | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — | — | 1 | — |

mustikkatyyppi (OMT)
*Myrtillus-Typ* (OMT)

| 25 | 42 | 8 | 11 | 29 | 32 | 13 | 30 | 18 | 7 | 33 | 12 | 21 | 24 | 16 | 35 | 23 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 23 | 23 | 25 | 25 | 26 | 26 | 27 | 27 | 30 | 30 | 30 | 31 | 32 | 34 | 34 | 40 | 42 |
| 2 | 2 | 3 | — | 2 | 2—3 | — | 1—2 | — | — | — | 1 | — | 2 | — | 1 | 2 |
| 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | — | 2 | 2 | 2 | — | 3 | 2 |
| — | 2 | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | — | — | 1 | — |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | — | — | — | 2 | — | 2 |
| — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — |
| 2 | 2 | — | 4 | 2 | — | — | — | 2 | 2 | 2 | 1 | — | — | 2 | — | 2 |
| 3 | 2 | 2 | — | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | — | 3 | 2 | — | 2 | 2 | 1 | 3 |
| — | 2 | 1 | 1 | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | — | — |
| — | — | — | 1 | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | 1 | — |
| 4 | 5 | 4 | 4—5 | 5 | 5 | 2 | 5 | 3 | 4 | 5 | 3—4 | 3 | 4 | 5 | 5 | 4 |
| 3 | 4—5 | 4 | 2 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 | 2 | 3 | — | 3 | 3 | 4 | 3 | — |
| 3 | 4 | 2—3 | 4—5 | 2 | — | 3 | 2 | 4 | 4 | 2 | 4 | 4 | 3 | 2—3 | 4 | 2 |
| — | 3 | 2 | — | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | — | 1—2 | 4 | — | — | 2 | 3 | 2 |
| — | — | — | — | — | — | — | — | 3 | — | — | — | 3 | — | — | — | — |
| 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | — | 1—2 | — | — | 2 | — | — | 2 | 2 | 1—2 | — |
| 4 | 2 | 3 | — | 3 | 3 | — | 3 | 2 | — | 3 | — | — | 3 | 2 | — | 3 |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2 | 2 | — | 1 | 2 | — | — | — | 2 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 1 | 1 | — | — | 2 | — | — | — | 2 | 1 | 1—2 | — | — | — | 2 | 1 | — |
| — | — | — | 1 | 2 | — | — | 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| — | 2 | — | — | 2 | — | — | 1 | — | — | 2 | — | — | — | 4 | — | — |
| 3 | 1 | — | 2—3 | 2 | 2 | 4—5 | 2—3 | 3—4 | 4 | 1 | 5 | — | 4—5 | 4—5 | 4 | 4 |
| 3 | 2 | 3—4 | — | 4—5 | 3 | — | 5 | 3—4 | — | 2 | 2 | 2 | 4 | 3 | 2 | 3—4 |
| 2—3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | — | 2 | 2 | 2 | 3 |
| 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | — | — | — | — | — | — |
| — | — | 1 | — | — | — | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — |
| 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | — | 2 | — | 1 | 2 | — | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| — | — | — | — | 1 | — | 1 | — | — | — | 1 | 1 | — | 1 | — | — | — |
| 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| — | 1 | — | — | — | — | — | — | — | 2 | — | — | — | — | — | — | — |
| 2 | — | — | 1 | 2 | 2 | — | 2 | — | — | 2 | — | — | — | 2 | — | — |
| — | 3 | — | — | 2 | 2 | — | 2—3 | — | — | 1 | — | — | — | 3 | — | — |
| — | 2 | — | 1 | 2 | 2 | 2 | — | 3 | — | — | 2—3 | — | — | 2 | 2 | — |
| — | — | — | — | — | — | 1 | — | — | — | 1 | — | — | — | 2 | — | — |
| 1 | 2—3 | — | — | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | — | — | 2 | — | 2 | — | 1 | — |
| — | 1 | — | — | 2 | 2 | 2 | 2 | — | 2 | — | 2 | — | — | 2 | — | — |
| 2 | 3 | 2—3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | 2 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 |
| — | — | 2 | 3 | — | 2 | — | — | — | 2 | — | — | — | — | — | — | — |
| 4 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | — | 2—3 | 1 | — | 2 | 1—2 | — | 2 |
| — | — | 2 | — | 1 | — | 1 | 2 | 3 | — | — | — | — | — | — | 2—3 | 1—2 |
| 3 | 4 | 2 | 4—5 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3—4 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| 2 | 2 | 3 | — | 3 | 2—3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2—3 |
| 2 | — | — | — | — | 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| — | — | — | — | 2 | — | 2 | — | 2 | — | — | 2 | — | — | — | — | — |
| — | — | 3 | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2—3 | — | 2—3 | — | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | — | 2 | — | — | 2 | 2 | 1 | — |
| 2 | 2 | 2 | — | 2 | 2 | — | — | 2 | 2 | 2 | — | — | 2 | 2 | — | — |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | — | — | — | — | — | — | — |
| — | 2 | — | — | 1 | 2 | — | 1—2 | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — |
| 2 | 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| — | — | 3 | 1—2 | 3 | — 4 | 1 | 3 | — | 2 | — | — | — | — | — | — | — |
| — | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

| Metsätyyppi: *Waldtyp:* | | | | | | | | | | | | | Käenkaali- *Oxalis-* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Koeala N:o: *Probefläche N:o:* | 5 | 27 | 10 | 38 | 26 | 28 | 15 | 39 | 2 | 4 | 22 | 31 | 6 |
| Metsikön ikä, v.: *Bestandesalter, J.:* | 4 | 7 | 9 | 12 | 14 | 17 | 19 | 20 | 21 | 21 | 21 | 22 | 23 |
| Solidago virgaurea ..... | — | 3 | — | — | 1 | 4 | 2 | — | — | — | — | 2 | — |
| Gnaphalium Norvegicum .. | — | 2 | — | 2 | 1 | — | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| Achillea millefolia ..... | 4 | 3 | 2 | 3 | 2—3 | 2 | — | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| Chrysanthemum leucanth. . | — | 1 | — | — | — | 1 | — | — | 1 | 1 | 1 | 1 | — |
| Cirsium arvense ..... | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | 1 | — | — | — |
| Plantago major ..... | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | 1 | — | — |
| Taraxacum officinale .... | 1 | — | — | 1 | 1 | — | — | — | — | 1 | — | 1 | — |
| Pilosella ..... | — | — | — | 1 | 1 | — | — | 1 | — | 2 | — | 2—3 | 2 |
| Hieracium umbellatum .... | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | — | — | 2 | 2 |
| Archieracium sp. ..... | — | — | — | — | — | — | 1 | — | — | — | 1 | — | — |
| S a m m a l e t — *Moose:* | | | | | | | | | | | | | |
| Dicranum scoparium ..... | — | — | 1 | — | — | — | (2) | — | — | 1 | (2) | — | — |
| D. undulatum ..... | — | — | — | (2) | 2 | — | (1) | (2) | 2 | — | (2) | — | 1 |
| Mnium sp. ..... | — | (5) [1] | 3 | 5 | 4 | 5—6 | 4 | 5 | 3 | 3—4 | 4—5 | (4—5) | 4 |
| Climacium dendroides .... | — | — | — | (2) | — | — | — | (2) | — | — | — | — | — |
| Hylocomium triquetrum .. | — | (2) | 1 | (1) | — | — | — | — | (1—2) | — | — | — | 1 |
| H. parietinum ..... | — | (2) | 1 | (2) | 1 | (2) | (2) | (2) | (2—3) | 1 | (2) | (2) | 1—2 |
| H. proliferum ..... | — | (2) | — | (2) | 2 | (2) | — | (2) | (2—3) | — | — | (2) | 1 |
| Ptilium crista-castrensis .. | — | — | — | (1) | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Polytrichum commune .... | — | (3) | — | — | 3—4 | — | 3 | (2) | 4 | 1 | 2 | (2) | 4 |
| P. juniperinum ..... | — | (2) | 1 | (2) | 2 | — | 2 | (2) | 2—3 | 2 | 2 | — | 2—3 |
| J ä k ä l ä t — *Flechten:* | | | | | | | | | | | | | |
| Cladina silvatica ..... | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Cl. rangiferina ..... | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | (2) | — | — |
| Cladonia sp. ..... | — | (2) | — | (2) | — | (2) | — | (2) | — | — | (2) | — | — |

[1]) ( ) = esiintyy pääasiallisesti kivillä.
= *hauptsächlich auf Steinen vorkommend.*

mustikkatyyppi (OMT)
*Myrtillus-Typ* (OMT)

| 25 | 42 | 8 | 11 | 29 | 32 | 13 | 30 | 18 | 7 | 33 | 12 | 21 | 24 | 16 | 35 | 23 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 23 | 23 | 25 | 25 | 26 | 26 | 27 | 27 | 30 | 30 | 30 | 31 | 32 | 34 | 34 | 40 | 42 |
| — | 2 | 1 | — | 1 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | — | 3 | 2 | — | — | 2 | — |
| 2 | 2 | 1—2 | — | 1—2 | — | — | 2 | 1 | — | 1 | — | — | 2 | — | 1 | — |
| 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2—3 | — | 2 | 2 | 2 | 2—3 | 1 | — | 3 | 2 | 3 | 3 |
| — | — | 1 | — | — | — | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — |
| — | 1 | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 2 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 1 | — | — | 2 | — | — | — | — | — | 1 | 1 | — | — | — | — | — | — |
| 1 | 2 | 1—2 | — | 1 | 2 | — | 2 | — | 1 | 2 | — | — | — | 2 | 1 | — |
| — | 2 | 2 | 2 | 2 | 2—3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | — | 2 | 2 | 2 |
| 1 | — | — | — | — | — | 2 | — | 2 | 2 | — | 2 | — | — | — | 1 | — |
| — | — | — | — | — | — | (2) | — | — | — | — | (2) | — | — | — | — | (2) |
| 2 | 2 | 1—2 | — | — | 2 | (2) | — | (2) | (1) | 2 | (2) | (3) | (2) | 3 | (2) | (2) |
| 5 | 5 | 3 | (3—4) | (2) | 4 | (2) | (4) | (4) | (3—4) | 5 | (3) | 4 | (5) | 5 | (4) | 4 |
| — | (2) | — | — | (4) | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | (2) | — |
| 1 | — | 1 | (1) | (2) | (2) | (1) | (2) | (1) | (1) | 2 | (2) | — | (2) | 2 | (2) | (2) |
| 2 | (2) | 2 | (1) | (2) | (2) | (2) | (2) | (2) | (2) | 3 | (2) | (3) | (2—3) | 3 | (2) | (2) |
| — | (2) | 1 | (1) | (2) | (2) | (2) | (2) | (2) | (2) | 2—3 | (2) | (2) | (2) | 3 | (3) | (2) |
| — | (1) | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 | (2) | — | — | — | (1) | — |
| 2 | (2) | 2—3 | (1) | (3) | (2) | 2—3 | (3—4) | — | (1) | — | 2 | 3 | (2) | 3 | (2) | (2) |
| 2 | (2) | 2 | — | (2) | (2) | 2 | (2) | (2) | — | 3 | 2 | 2 | (3) | 2 | (2) | (2) |
| — | — | — | — | — | — | (2) | — | — | — | — | (1) | — | — | 2 | — | — |
| — | — | — | — | — | — | (2) | — | (2) | — | — | (2) | (2) | (2) | — | — | (2) |
| (2) | (2) | — | — | — | — | (2) | — | — | — | — | — | (2) | (2) | — | (2) | (2) |

| Metsätyyppi: *Waldtyp:* | Käenkaali-oravanmarjatyyppi (OT) *Oxalis-Majanthemum-Typ* (OT) | | | | | | | | | Mustikkatyypp (MT) *Myrtillus-Typ* (MT) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Koeala N:o: *Probefläche N:o:* | 14 | 41 | 40 | 1 | 9 | 34 | 3 | 37 | 36 | 19 | 17 | 20 |
| Metsikön ikä, v.: *Bestandesalter, J.:* | 6 | 8 | 14 | 21 | 21 | 26 | 30 | 33 | 34 | 30 | 33 | 37 |
| **Puut — *Bäume:*** | | | | | | | | | | | | |
| Prunus padus | — | — | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — |
| Sorbus aucuparia | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1—2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| **Pensaat — *Sträucher:*** | | | | | | | | | | | | |
| Rhamnus frangula | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — | — | 1 | — |
| Salix phylicifolia | — | — | 1 | — | 1 | 1 | — | — | — | — | — | — |
| S. nigricans | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | — |
| Ribes rubrum | — | — | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — |
| **Varvut — *Reiser:*** | | | | | | | | | | | | |
| Lycopodium selago | — | — | — | 2 | 1 | 2 | — | 2 | 2 | 1 | 2 | — |
| L. annotinum | 1 | — | — | — | — | 1 | — | — | 1—2 | — | — | — |
| Myrtillus nigra | 2 | 2 | 2 | — | — | 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3 |
| Vaccinium vitis idaea | 2 | 2 | 2 | 2 | — | 2 | — | 1—2 | 2 | 3 | 2 | 3 |
| **Heinät — *Gräser:*** | | | | | | | | | | | | |
| Agrostis vulgaris | 4 | 5 | 5 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4—5 | 6 | 5 | 5 | 5 |
| Calamagrostis arundinacea | 2 | — | 2 | — | 3 | — | — | — | — | 3 | 4 | 3 |
| Aera flexuosa & Festuca ovina | — | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 | 2 | 3 |
| A. caespitosa | 6 | 4 | 4 | 6 | 6—7 | 5—6 | 6—7 | 4—5 | 4 | 4 | 4 | 3 |
| Melica nutans | — | — | — | 2 | 2 | 3 | — | 3 | 2 | — | — | — |
| Poa pratensis | — | — | — | — | — | — | 2 | — | — | — | — | 3 |
| Anthoxantum odoratum | — | — | — | 3 | — | 2 | — | — | — | 2 | — | — |
| Carex pallescens | — | — | — | 3 | 3 | 3 | — | 3 | — | 2 | 3 | 2 |
| C. canescens | — | — | — | — | — | 3 | — | 3 | — | 2 | 2 | — |
| C. digitata | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | — | — | — |
| C. leporina | — | 3 | 2 | — | — | — | — | — | — | 2—3 | 2—3 | 2 |
| Luzula pilosa | — | 2 | — | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 4 | 3 | 2 |
| L. multiflora | — | — | — | 2 | 2 | — | 2 | — | — | 2 | 2 | — |
| **Ruohot — *Kräuter:*** | | | | | | | | | | | | |
| Onoclea struthiopteris | — | — | 2 | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — |
| Athyrium filix femina | — | 3 | 2 | 1 | — | 1 | 1 | — | — | — | — | — |
| Phegopteris dryopteris | 2 | — | 2 | 1 | — | — | — | — | — | — | 1 | — |
| Polystichum spinulosum | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2—3 | 3 | 2 | 3 | 1 |
| Botrychium ternatum | — | 1 | — | — | — | — | — | — | 1—2 | — | — | — |
| Pteris aquilina | — | 4 | — | — | — | — | 2 | — | 4 | — | — | — |
| Equisetum silvaticum | — | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1—2 | — | — | — | 1 | — |
| Convallaria majalis | — | — | — | — | — | 1 | — | 1 | — | — | 1 | — |
| Majanthemum bifolium | 3 | 4 | 4 | 3 | 4—5 | 5 | 1—2 | 5 | 6 | 5 | 4 | 3 |
| Paris quadrifolius | 1 | 2 | 2 | 1 | — | 1 | 1 | — | — | — | — | — |
| Orchis maculatus | — | — | — | 1 | 2 | — | 1 | — | 1 | 1 | 2 | — |
| Urtica dioica | 1 | — | — | 1—2 | — | — | 1—2 | — | — | — | — | 1 |
| Rumex acetosa | 3 | 3 | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | — | 2 |
| R. acetosella | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | — | 2—3 |
| Stellaria graminea | — | — | — | 2 | 2—3 | — | 2 | 2 | 2 | 2—3 | 2 | 2 |
| S. media | — | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 1 |
| Arenaria trinervia | 1—2 | — | 2 | — | — | — | 2 | 2 | 2 | — | — | — |

| Metsätyyppi: *Waldtyp:* | Käenkaali-oravanmarjatyyppi (OT) *Oxalis-Majanthemum-Typ* (OT) | | | | | | | | | Mustikkatyyppi (MT) *Myrtillus-Typ* (MT) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Koeala N:o: *Probefläche N:o:* | 14 | 41 | 40 | 1 | 9 | 34 | 3 | 37 | 36 | 19 | 17 | 20 |
| Metsikön ikä, v.: *Bestandesalter, J.:* | 6 | 8 | 14 | 21 | 21 | 26 | 30 | 33 | 34 | 30 | 33 | 37 |
| Ranunculus auricomus .... | — | — | — | 1 | 1 | — | 2 | — | 2 | — | — | — |
| R. acer ..... | 3 | — | 2 | 1 | 2 | — | 3 | 2 | 2 | 1 | — | 2 |
| R. repens ..... | — | 2 | 3 | 2 | 2 | — | 1 | — | 2 | 2 | 2 | 2—3 |
| Ulmaria pentapetala ..... | — | — | 2 | 2 | 4 | — | 3—4 | — | — | — | — | — |
| Geum rivale ..... | 2 | — | 2 | 1—2 | 3—4 | 2 | 3—4 | 2 | 1—2 | — | — | — |
| Fragaria vesca ..... | 4 | 4 | 4—5 | 3—4 | 2 | 4 | 3—4 | 4 | 5 | 4 | 3 | 4 |
| Potentilla tormentilla .... | 4 | 3 | 4 | 3—4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 4 | 3 | 4 | 2 |
| Rubus idaeus ..... | 4 | 4 | 4 | 1 | — | 3 | 4—5 | 4—5 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| R. saxatilis ..... | 2 | 2—3 | 4 | 3 | 4 | 4—5 | 3 | 5 | 2 | — | 3 | — |
| R. arcticus ..... | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 3 | 3 | 2 |
| Alchemilla vulgaris ..... | 2 | — | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | — | — | — |
| Trifolium repens ..... | 3 | — | 2 | — | 2 | — | — | — | 3 | 2 | — | 3 |
| T. medium ..... | — | — | — | 1 | 2 | — | — | 1 | — | — | — | — |
| T. pratense ..... | — | — | 1 | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — |
| Vicia cracca ..... | 2 | — | 2 | — | 2 | 2 | 2 | 2—3 | 2 | — | 2 | — |
| V. sepium ..... | — | — | — | — | 1 | — | 2 | — | — | — | 1 | — |
| Geranium silvaticum ..... | — | — | 3 | 2 | — | 3 | — | 4 | 4 | — | — | — |
| Oxalis acetosella ..... | 4 | 6 | 4—5 | — | — | 2 | 4 | 3 | 0—2 | — | — | — |
| Viola palustris ..... | — | 3 | 2 | 4 | 4—5 | 4 | 2 | 3 | 5 | 3 | 5 | — |
| V. canina ..... | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Hypericum quadrangulum . | 3 | 2 | 3 | 2 | 1—2 | 3 | 2 | 3 | 2 | — | 1—2 | — |
| Chaerophyllum silvestre .. | 2—3 | — | 2 | — | — | — | 2 | 1—2 | — | — | — | — |
| Pimpinella saxifraga ..... | 2 | 1 | — | 1 | 1 | — | — | — | 2 | — | — | 2 |
| Aegopodium podagraria .. | 3 | 3 | 3 | 2 | 4 | 2 | 3 | 4 | 2—3 | — | — | — |
| Angelica silvestris ..... | 1 | — | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3 | — |
| Pyrola rotundifolia ..... | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | — | — | — |
| P. minor ..... | — | — | 2 | — | 1 | — | — | — | — | 2 | — | — |
| P. secunda ..... | — | — | 2 | — | — | — | — | 2 | — | 1 | 1 | — |
| Trientalis europaea ..... | 3 | 4 | 4 | 3 | 2—3 | 5 | 3 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 |
| Lysimachia vulgaris ..... | — | — | — | 3 | 3 | — | 3 | — | — | — | — | — |
| Brunella vulgaris ..... | — | — | 2 | 2 | 2 | — | 2 | 2 | 1—2 | 1—2 | — | 2 |
| Galeopsis bifida ..... | 2 | — | 2 | 2 | 2 | 1 | 2—3 | 2 | — | — | 3 | — |
| Stachys silvaticus ..... | 1 | — | 1 | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — |
| Veronica chamaedrys .... | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3—4 | 4 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| V. officinalis ..... | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | — | — | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Scrophularia nodosa ..... | 1 | — | 1 | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — |
| Melampyrum pratense .... | — | — | — | 1—2 | 1 | — | — | — | — | — | — | — |
| M. silvaticum ..... | — | — | — | — | 2 | 2 | — | 3 | — | — | 2 | — |
| Scutellaria galericulata .... | — | — | — | 1 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Cerastium triviale ..... | — | — | — | 2 | — | — | 1 | — | 2 | 2 | — | 2 |
| Galium uliginosum ..... | 2 | — | — | 1—2 | 2 | — | 2 | 2 | 2 | — | 2 | — |
| G. mollugo ..... | 2 | — | — | — | 1 | — | 1—2 | 2 | — | — | — | — |
| Campanula glomerata .... | 2 | — | 1 | 2 | 2 | — | 1 | 2 | 2 | — | — | — |
| C. patula ..... | — | — | — | 2 | 1 | — | — | — | — | — | — | — |
| C. rotundifolia ..... | — | — | 2 | 3 | 2 | — | 2 | — | 2 | — | — | 2 |
| Centaurea phrygia ..... | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 2 | 1 | 1 |
| Knautia arvensis ..... | — | — | 1 | — | 1 | — | — | — | — | — | — | 1 |
| Solidago virgaurea ..... | 1 | — | — | 3 | 3 | 2 | — | 2 | — | 2 | 3 | — |
| Gnaphalium Norvegicum .. | — | — | 1 | 1 | — | — | — | — | 1 | — | — | — |
| Achillea millefolia ..... | 2 | — | 2 | 2 | — | 2 | 1—2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 4 |
| Cirsium heterophyllum .... | — | — | — | — | 2 | — | — | — | — | — | — | — |
| Pilosella ..... | 1 | 1 | — | — | — | — | 2 | 2 | — | 1 | — | 2 |

| Metsätyyppi: *Waldtyp:* | Käenkaali-oravanmarjatyyppi (OT) *Oxalis-Majanthemum-Typ* (OT) | | | | | | | | | Mustikkatyyppi (MT) *Myrtillus-Typ* (MT) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Koeala N:o: *Probefläche N:o:* | 14 | 41 | 40 | 1 | 9 | 34 | 3 | 37 | 36 | 19 | 17 | 20 |
| Metsikön ikä, v.: *Bestandesalter, J.:* | 6 | 8 | 14 | 21 | 21 | 26 | 30 | 33 | 34 | 30 | 33 | 37 |
| Hieracium umbellatum .... | 2 | 2 | — | 2 | — | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Archieracium sp. ..... | — | — | — | — | — | — | 1 | — | — | — | — | 1 |
| S a m m a l e t — *Moose:* | | | | | | | | | | | | |
| Dicranum scoparium ..... | — | — | — | — | — | — | — | — | — | (2) | (2) | — |
| D. undulatum ..... | 2 | (1) [1] | (2) | — | — | 2 | — | 2 | 2 | — | (2) | (2) |
| Mnium sp. ..... | 5 | (5) | 5 | 4 | 4 | 5—6 | 3 | 5 | 5—6 | — | — | — |
| Climacium dendroides .... | 2 | (1) | (2) | — | — | 1—2 | — | 2 | 2 | — | — | — |
| Hylocomium triquetrum .. | — | — | (1) | 1 | 1 | 1 | — | 2 | 2 | — | — | — |
| H. parietinum ..... | 1 | — | (2) | 1 | 1 | 2 | — | 2 | 2 | (2) | (2) | (2) |
| H. proliferum ..... | 1 | — | (2) | 1 | 1 | 2 | — | 2 | 2 | (2) | (2) | (2) |
| Polytrichum commune .... | 2 | (1) | — | 2 | — | 3—4 | — | 1—2 | 1 | (3) | 2 | — |
| P. juniperinum ..... | 2 | (2) | (2) | 2 | — | 2 | — | 1—2 | 2 | (2) | 2 | (2) |
| J ä k ä l ä t — *Flechten:* | | | | | | | | | | | | |
| Cladonia sp. ..... | — | — | — | — | — | — | — | — | — | (2) | — | (2) |

[1]) ( ) = esiintyy pääasiallisesti kivillä.
= *hauptsächlich auf Steinen vorkommend.*



Kuva 11. Koeala N:o 26. OMT. 14-vuotinen harmaalepikkö. Kuutiomäärä kuorineen 80 m³/ha. Heinävesi.

*Probefl. N:o 26. OMT. 14-jähriger Weisserlenbestand. Volumen einschl. Rinde 80 m³/Ha.*



Kuva 10. Koeala N:o 14. OT. 6-vuotinen harmaalepikkö. Kuutiomäärä kuorineen 34 m³/ha. Hartola.

*Probefl. N:o 14. OT. 6-jähriger Weisserlenbestand. Volumen einschl. Rinde 34 m³/Ha.*



Kuva 12. Koeala N:o 39. OMT. 20-vuotinen harmaalepikkö. Kuutiomäärä kuorineen 136 m³/ha. Joutsa.

*Probefl. N:o 39. OMT. 20-jähriger Weisserlenbestand. Volumen einschl. Rinde 136 m³/Ha.*



Kuva 13. Koeala N:o 4. OMT. 21-vuotinen harmaalepikkö. Kuutiomäärä kuorineen 160 m³/ha. Kerimäki.

*Probefl. N:o 4. OMT. 21-jähriger Weisserlenbestand. Volumen einschl. Rinde 160 m³/Ha.*



Kuva 14. Koeala N:o 31. OMT. 22-vuotinen harmaalepikkö. Kuutiomäärä kuorineen 149 m³/ha. Kerimäki.

*Probefl. N:o 31. OMT. 22-jähriger Weisserlenbestand. Volumen einschl. Rinde 149 m³/Ha.*



Kuva 15. Koeala N:o 32. OMT. 26-vuotinen harmaalepikkö. Kuutiomäärä kuorineen 149 m³/ha. Kerimäki.

*Probefl. N:o 32. OMT. 26-jähriger Weisserlenbestand. Volumen einschl. Rinde 149 m³/Ha.*



Kuva 16. Koeala N:o 24. OMT. 34-vuotinen harmaalepikkö. Kuutiomäärä kuorineen 170 m³/ha. Heinävesi.

*Probefl. N:o 24. OMT. 34-jähriger Weisserlenbestand. Volumen einschl. Rinde 170 m³/Ha.*



Kuva 17. Koeala N:o 23. OMT. 42-vuotinen harmaalepikkö. Kuutiomäärä kuorineen 239 m³/ha. Heinävesi.

*Probefl. N:o 23. OMT. 42-jähriger Weisserlenbestand. Volumen einschl. Rinde 239 m³/Ha.*

# PUUN KOSTEUSPITOISUUDEN, KOON JA MUODON MUUTOKSISTA

*MATTI JALAVA*

★

CHANGES IN THE MOISTURE CONTENT, VOLUME AND FORM OF WOOD

SUMMARY IN ENGLISH

HELSINKI 1932
VALTIONEUVOSTON KIRJAPAINO

# Alkusanat.

Aineistoa tähän pieneen tutkielmaan on kerääntynyt vähitellen usean vuoden aikana muiden töiden yhteydessä. Kun useilla käytännön aloilla puun kutistuminen on sangen tärkeä seikka, on sitä ja sen yhteydessä olevia asioita koskevat havainnot kerätty yhteen ja julkaistaan nyt erillisenä tutkielmana toivoen, että kosketeltuihin kysymyksiin täten voidaan luoda hiukan lisävalaistusta.

Esimieheni prof. Olli Heikinheimo on antanut hyviä neuvoja aineistoa järjesteltäessä sekä tarkastanut käsikirjoituksen, josta pyydän lausua parhaat kiitokseni. Samoin kiitän myös kaikkia niitä yksityisiä henkilöitä ja toiminimiä, jotka tavalla tai toisella ovat avustaneet työn suorituksessa.

Helsingissä, lokakuulla 1932.

*Matti Jalava.*

3657—32

# Sisällysluettelo.


Sivu.

**Alkusanat** ..... 3

**Puun kosteuspitoisuuden, koon ja muodon vaihtelujen teoreettista tarkastelua** ..... 7

**Puun kosteuspitoisuus** ..... 7

Solun rakenne ..... 7

Veden esiintyminen solussa ..... 8

Puun kosteuspitoisuuden aiheuttamat haitat ..... 10

Eri kuivuusasteet ..... 11

Miten puun kosteuspitoisuus määrätään ..... 12

**Kuivumisen aiheuttamat koon muutokset** ..... 14

Milloin puun kutistuminen alkaa ..... 14

Kutistuminen eri suuntiin ..... 15

Minkälainen puu kutistuu enimmän ..... 16

Puun kutistumisesta käytännössä aiheutuvat haitat ..... 17

Voiko puun kutistumista ja paisumista ehkäistä ..... 18

**Kuivumisen aiheuttamat muodon muutokset** ..... 21

**Puun kosteuspitoisuutta ja kutistumista sekä näihin vaikuttavia ominaisuuksia selvitteleviä tutkimuksia** ..... 22

**Tutkimus A** ..... 22

Aineisto ja sen käsittely ..... 22

Sydän- ja pintapuun ominaisuudet ..... 24

*Kosteusprosentti* ..... 24

*Ominaispaino* ..... 25

*Kesäpuuprosentti* ..... 25

*Kutistumisprosentti* ..... 26

Kesäpuun vaikutus puun eri ominaisuuksiin ..... 27

*Kesäpuuprosentin ja vuosilustojen vahvuuden suhde* ..... 27

*Kesäpuuprosentin ja ominaispainon suhde* ..... 28

*Kesäpuuprosentin ja kutistumisprosentin suhde* ..... 29

Kutistumisprosentin ja vuosilustojen vahvuuden suhde ..... 30

Kutistumisprosentin ja ominaispainon suhde ..... 30

**Tutkimus B** ..... 31

Aineisto ja sen käsittely ..... 31

Tutkimusten tulokset ..... 33

*Kutistumisprosentit* ..... 33

*Kutistumisen alkukohta ja suhde kosteuspitoisuuteen* ..... 35

**Tutkimuksissa saatujen tulosten soveltaminen käytäntöön** ..... 37

Sahatavaran kutistuminen ..... 37

Sivu.

**Lylyn eli janhuksen ja puun »elon» aiheuttamat koon ja muodon muutokset** ..... 48
Lyly ..... 48
*Lylypuun esiintyminen* ..... 48
*Lylypuun syntyminen* ..... 49
*Lylypuussa olevat sisäiset jännitteet ja niiden vaikutukset* ..... 50
*Kosteuden vaihtelun vaikutukset lylypuussa* ..... 51
Puun »elo» ..... 53
*Puun »elon» esiintyminen* ..... 53
*Puun »elon» aiheuttaja* ..... 53
*Puun »elon» poistaminen* ..... 55

**Summary in English** ..... 59

# Puun kosteuspitoisuuden, koon ja muodon vaihtelujen teoreettista tarkastelua.

## Puun kosteuspitoisuus.

Kasvavassa puussa on aina vettä tai oikeammin vesiliuoksia, toisinaan jopa 2—3 kertaa puun kuiva-aineen painoa vastaava määrä. Tämä johtuu etupäässä siitä, että niitä ravintoaineita, joita puu juuriensa avulla ottaa maasta, se voi kuljettaa edelleen niihin kasvin osiin, joissa niitä tarvitaan, ainoastaan laimeina vesiliuoksina. Samoin ne aineet, jotka puu lehdistönsä avulla assimiloi ilmasta, muuttuvat ensin lehdissä veteen liukeneviksi yhdistyksiksi, jotka kulkevat liuoksina rakennuspaikoille. Tästä syystä puuaineksen kosteuspitoisuus on suurin lähinnä niissä osissa, joissa kasvu tapahtuu. Kaadetussa puussa ja kasvavan puun kuolleissa osissa vettä on vähemmän, aina kuitenkin jokin määrä, jollei sitä ole erityisin menetelmin puusta poistettu.

Puussa olevat liuokset käyttävät pystysuorina kulkureitteinään lehtipuissa etupäässä putkiloita ja havupuissa trakeideja, vaakasuorassa suunnassa liuokset taas kulkevat ydinsäteiden soluja myöten. Nämä liuokset ja niissä oleva vesi kulkevat ainoastaan soluonteloissa.

Puussa on kuitenkin todettu olevan vettä, paitsi soluonteloissa, myöskin solunseinien sisään imeytyneenä. Jotta voitaisiin paremmin käsittää, miten vesi on solunseinämiin sijoittunut, on tarkasteltava solun rakennetta.

Puussa eri olotiloissa oleva vesi määrää puun ns. kosteuspitoisuuden. Tätä käytäntöön vakiintunutta, joskaan ei täysin onnistunutta nimitystä käytetään tässäkin tutkimuksessa.

### Solun rakenne.

Madisonin laboratoriossa etenkin R i t t e r[1]) on viime vuosina tutkinut puusolun rakennetta. Käsittelemällä soluja erilaisilla liuottimilla hän havaitsi, että solunseinämä on muodostunut useasta ohuesta

[1]) Journal of Forestry, Vol. XXVIII, N:o 4, April 1930.

kerroksesta. Hän itse sai kerrosten suurimmaksi lukumääräksi 7, mutta sittemmin on Ottawan laboratoriossa havaittu solunseinämissä 21:kin kerrosta.

Huokosreikiä lukuun ottamatta puusolun päällimmäinen kerros näyttää mikroskoopissa tasaiselta, yhtenäiseltä levyltä. Mutta jos sitä käsitellään edelleen liuottimilla, ilmaantuu tähän levyyn solun pituussuuntaa vastaan poikittaisia rakoja ja lopulta havaitaan, että koko levyn muodostavat ohuet, rihmamaiset säikeet, aivan samoin kuin jos lyijykynän ympärille olisi kierretty tiivis kerros lankaa. Solunseinämän sisemmät kerrokset ovat myös tällaisista säikeistä muodostuneet, mutta säikeet ovat joko aivan solun pituusakselin suuntaiset tai ainoastaan hiukan, korkeintaan 30°, sitä vastaan vinossa. Säikeiden vinous on lisäksi eri kerroksissa erilainen, joten eri kerrosten säikeet muodostavat keskenään verkkomaisen kudoksen. Näitä säikeitä nimitetään saksalaisessa kirjallisuudessa tavallisesti miselleiksi, englanninkielisessä fibrilleiksi.

Fibrillien olemassa olo on kyllä aavistettu jo aiemminkin — jo n. 100 vuotta sitten kasvitieteilijä N ä g e l i esitti sen otaksuman, että solunseinämä on muodostunut erittäin pienistä, muttä selvästi toisistaan erotettavista osasista —, mutta R i t t e r on ne ensimmäisen kerran saanut mikroskoopissa selvästi havaittaviksi ja hän on myös saanut selville solun päällimmäisten ja sisempien kerrosten fibrillien erilaisen aseman solun pituussuunnan suhteen.

Fibrillit vuorostaan jakautuvat vielä pienemmiksi osasiksi, joista R i t t e r käyttää nimeä »fusiform body». Viimeksi mainitut ovat muodoltaan käämimäisiä, samantapaisia kuin puusolutkin, ja ne muodostavat fibrillin siten, että niiden suipot kärjet ovat jonkin verran lomittain toisiinsa kiinnittyneinä.

Fusiform bodies, fibrillit ja näiden muodostamat kerrokset kiinnittää toisiinsa eräs hiilihydraatteihin kuuluva aine, jonka tarkkaa kemiallista kokoomusta ei vielä tunneta, mutta joka nähtävästi on joko ligniiniä tai sille läheistä orgaanista ainetta.

### Veden esiintyminen solussa.

Puun solunseinämät eivät siis ole aivan yhtenäistä tiivistä massaa, vaan huokoista siinä mielessä, että fibrillit voivat jossakin määrin erkaantua toisistaan. Aivan kuivassa tilassa ne kyllä koskettavat toisiaan joka kohdassaan, mutta esim. vedellä on ominaisuus tunkeutua fibrillien väliin ja erottaa ne toisistaan. Eräiden aineiden ja veden molekyylien välinen vetovoima (attraktio) on näet suurempi kuin kysymyksessä olevan aineen molekyylien keskinäinen veto-

voima. Jos esim. puupalanen kastetaan veteen, tunkeutuu sen sisään ja jää sen pinnalle vettä vielä sen jälkeen, kuin puu on nostettu vedestä pois. Puu- ja vesimolekyylien välinen attraktio on ollut niin suuri, että se on kyennyt irroittamaan sekä puun osaset että vesimolekyylit. Jos puupalanen kastetaan elohopeaan, ei vastaavaa ilmiötä esiinny; puu- ja elohopeamolekyylien välinen voima ei kykene voittamaan näiden kummankaan aineen omien molekyylien keskinäistä vetovoimaa eikä puun pinnalle ja sen sisään jää elohopeaa kun se tästä nostetaan. Kultapalasta elohopeaan kastettaessa käy samalla tavalla kuin puuta kastettaessa veteen; kulta kastuu elohopeassa.

Solun fibrillit ovat siksi tiukasti toisissaan kiinni, että tarvitaan melkoinen määrä energiaa niiden toisistaan erottamiseen. Veden ja selluloosamolekyylien välinen vetovoima on kuitenkin niin suuri, että se kykenee tämän erottamisen toimittamaan, ja käytettyä energiaa osoittaa se, että siinä syntyy lämpöä, ns. absorboimislämpöä. [1]) Tämän lämmön on kokeissa (Koehler & Thelen 1926, s. 20) huomattu olevan 11.54 kalorian ja 19.64 kalorian välillä.

Tiede ei ole vielä tarkoin selvillä siitä, millä tavalla tuo veden ja fibrillien sekoittuminen tapahtuu, onko se liukenemista muistuttava ilmiö, tapahtuuko siinä joitakin kemiallisia muutoksia, onko solunseinien vedenimeminen selitettävä hiushuokoisilmiöksi vai jotenkin muuten. Kokeilujen avulla on kuitenkin todettu eräs käytännön kannalta sangen tärkeä seikka tämän ilmiön yhteydessä: solunseinämät eivät voi imeä rajatonta vesimäärää, vaan on olemassa tarkka määrätty raja, jota enempää solunseinämiin ei vettä imeydy. Tätä rajaa nimitetään »puusyiden kyllästymispisteeksi» (engl. fiber saturation point), ja se on 25 %:n ja 30 %:n vaiheilla, ts. puusyiden kyllästymispiste on saavutettu silloin, kuin puussa on vettä 25—30 %. Eri puulajeilla se vaihtelee jonkin verran. Moll käyttää prosenttilukua 26.

Tämän rajan olemassa oloa selitetään useallakin eri tavalla (Koehler & Thelen 1926, ss. 20—21). Eräs selitys on seuraavanlainen: kun fibrillit erkanevat toisistaan veden tunkeutuessa niiden väliin, niiden välinen vetovoima (attraktio) vähenee. Samalla kuitenkin myöskin veden imemiskyky heikkenee vielä nopeammin kuin fibrillien välinen vetovoima, ja täten lopulta syntyy tasapaino,

[1]) Esimerkkinä siitä voimakkuudesta, millä vesi tunkeutuu kuivaan selluloosaan, mainittakoon, että erään lokakuussa 1932 Merenkurkussa haaksirikkoutuneen laivan lastiruumissa kastuneen selluloosan turpoamisen vaikutuksesta laivan kansi rikkoutui ja kohosi ylös.

jolloin fibrillien välinen vetovoima ja veden imemisvoima ovat yhtä suuret, ja lisäveden tulo lakkaa. Toisen selityksen mukaan puusyiden vedenimeminen olisi liukenemista vastaava ilmiö, jossa saavutetaan määrätty kyllästymisaste. Kolmannen selityksen mukaan solunseinämän fibrillit eivät ole aivan yhdensuuntaiset, vaan verkkomaisesti ristissä, ja tällaisen verkon laajenemisella on, kuten verkolla yleensä, oma ylin rajansa. Myöskin Ritterin havaitseman solun uloimman, sen ympärille ikään kuin tiiviisti kiedotun fibrillikerroksen voisi ajatella estävän solun paisumista tietyn rajan yli.

Fibrillien itsensä otaksutaan olevan kooltaan muuttumattomia; ne siis eivät ime itseensä vettä. Solunseinämiin imeytynyt vesi on ainoastaan fibrillien väliköissä.

### Puun kosteuspitoisuuden aiheuttamat haitat.

On useita syitä, joiden takia eri tarkoituksiin käytettävän puun alkuperäinen kosteuspitoisuus on saatava pienemmäksi. Näistä syistä mainittakoon seuraavassa tärkeimmät.

Puun sisältämä vesi lisää sen painoa, jopa 2—3 kertaiseksi, jonka johdosta tuoreen puun lastaus- ja kuljetuskustannukset ovat paljon suuremmat kuin kuivan puun, kuljetettiinpa sitä hevosilla, traktoreilla, autoilla, rautatiellä tai muilla maakuljetusneuvoilla, jossa paino on jotenkin säännöllisesti kustannusten määrääjänä, ainakin välillisesti. Aluksilla sekä lautaten ja uittaen puutavaraa kuljetettaessa puun paino myös on otettava huomioon, sillä se vaikuttaa käsittely-, siis lastaus-, purkaus- ja niputuskustannuksiin sekä irtouitossa puiden uppoamisprosentin suuruuteen ja siten välillisesti myös kuljetuskustannuksiin.

Polttoaineena käytetyn puun kosteuspitoisuus vähentää suuresti sen käyttöarvoa, sillä silloin huomattava osa puun palaessa syntyneestä lämmöstä kuluu sen sisältämän veden muuttamiseen höyryksi.

Kostean puun pahimpia haittoja on vielä se, että sellaisessa viihtyvät hyvin useat puuta hävittävät sienet. Varsinkin umpinaisiin paikkoihin, kuten laivan lastiruumaan tai tiiviisiin tapuleihin ladottuun tuoreeseen puuhun tuhosienet käyvät säännöllisesti ja pilaavat sen, joko muuttamalla puun alkuperäisen värin (sinistyminen) tai kokonaan hajoittamalla puun rakenteen (lahoaminen). Kun useat puun tuhosienet viihtyvät parhaiten 20—25 % kosteutta sisältävässä puussa eli juuri siinä kosteusasteessa, mikä ulkoilmakuivauk-

sella tavallisesti saavutetaan, näiden sienien aiheuttamat tuhot ovat varsin suuret.

Kostean puun haitoista voidaan vielä mainita, että siitä valmistetut esineet myöhemmin kuivempaan paikkaan jouduttuaan muuttavat kokoaan ja muotoaan, lisäksi tällaista puuta on vaikea höylätä ja maalata, ja useissa impregnoimismenetelmissä puun kosteus aiheuttaa hankaluuksia.

### Eri kuivuusasteet.

Kosteuden vaihtelut tapahtuvat tietyissä ulkonaisissa olosuhteissa suunnilleen vakinaisten rajojen välillä, joten on voitu erottaa puun eri kosteusluokkia. Näistä voitaisiin tässä yhteydessä mainita tärkeimmät: 1) Tuore puu, siis vastakaadettu puu, jossa kosteus on vielä sama kuin kasvavassa puussa. Kasvavan puun kosteuspitoisuus riippuu puulajista, puun iästä, pintapuun ja sydänpuun suhteellisesta määrästä jne. Kuten jo aiemmin on mainittu, kasvavan puun kosteuspitoisuus vaihtelee hyvinkin laajoissa rajoissa, 30—40 %:sta aina 200—300 %:iin. 2) Metsäkuivaa on puu, josta kosteutta tosin on jo jonkin verran poistunut, mutta jossa kuivuminen, kun puu on jotenkin täydelleen sateille alttiina, ei ole vielä pitkälle edistynyt. Kosteus vaihtelee vuodenajan ja sademäärän mukaan. Tässä kuivuusasteessa puuta jo voidaan käyttää polttopuuna. Kosteuspitoisuus on 40—70 %:n vaiheilla, jollei oteta huomioon aivan kuivasta sydänpuusta valmistettua tavaraa, jonka kosteusprosentti voi olla paljon 40 %:n alapuolella. 3) Varastokuivaa puu on, kun puut, esim. halot, paperipuut yms., ovat isoissa, säännöllisissä varastopinoissa kuivuneet jo pitemmälle kuin pienissä metsäpinoissa tai kasoissa, etupäässä sen tähden, että suurissa pinoissa alemmat kerrokset eivät enää ole varsin pahoin sateelle alttiina. Varastokuivan puun kosteuspitoisuus vaihtelee 30—40 %:n vaiheilla. 4) Ulkokuiva eli lautatarhakuiva puu, jollaiseksi puu voi kuivua ulkoilmassa, jos se on suojattu sateelta, esim. katoksessa olevat halot, peitetyissä tapuleissa oleva sahatavara yms. Ulkokuiva puu sisältää kosteutta n. 18—25 %; suotuisissa olosuhteissa kosteus-% voi mennä 18:n allekin. Erityisiä, tarkemmin määriteltyjä kuivuusasteita tässä ryhmässä on ns. laivauskuiva sahatavara, joka sisältää kosteutta 20—24 %, sekä höyläyskuiva (15—18 %), minkä kuivuusasteen saavuttaminen ulkokuivauksella on ainoastaan suotuisissa olosuhteissa mahdollista; usein käytetäänkin jo siinä keinollista kuivausta.

On useita tarkoituksia, joihin käytetyn puun pitää kuitenkin olla kuivempaa, kuin mihin pelkästään ulkokuivauksella voidaan

päästä. Silloin on ryhdyttävä puun keinolliseen kuivaukseen, joka suoritetaan joko lämmitetyissä varastohuoneissa tai erityisissä kuivausuuneissa. Täten aikaansaatuja kuivuusasteita on edellä mainitun höyläyskuivuuden lisäksi ns. puusepäntehdaskuiva (10—12) %, huonekalukuiva (5—8 %) sekä absoluuttisesti kuiva, joka tila saavutetaan ainoastaan kuivaamalla puuta yli 100° C:n lämmössä.

Puu voi olla myöskin vielä vesipitoisempaa kuin tuore eli vastakaadettu puu, jonka, etenkin sydänpuun ja usein pintapuunkin, soluonteloissa on veden lisäksi vielä ilmaa. Jos tällainen puu joutuu olemaan pitkät ajat vedessä, esim. tukkeja uitettaessa tai niitä veden alla varastoitaessa, vesi tunkeutuu vähitellen puun sisään, työntää soluonteloissa olevan ilman pois ja täyttää lopulta soluontelotkin kokonaan. Puu on silloin vedellä kyllästetty, sillä silloin puussa ei ole enää yhtään tyhjiä huokosia, ainoastaan vettä ja solunseiniä. Kun solunseiniä muodostavan aineen, siis pääasiassa selluloosan ja ligniinin, ominaispaino on kaikilla puulajeilla jotenkin sama, n. 1.56, on koko puun ominaispaino yhden sekä mainitun luvun välillä, soluonteloiden suhteellisesta suuruudesta riippuen, ja siis suurempi kuin veden.

### Miten puun kosteuspitoisuus määrätään.

Koska puun kosteuspitoisuus useinkin on tärkeä tietää, on syytä lyhyesti tehdä selkoa siitä, miten se määrätään.

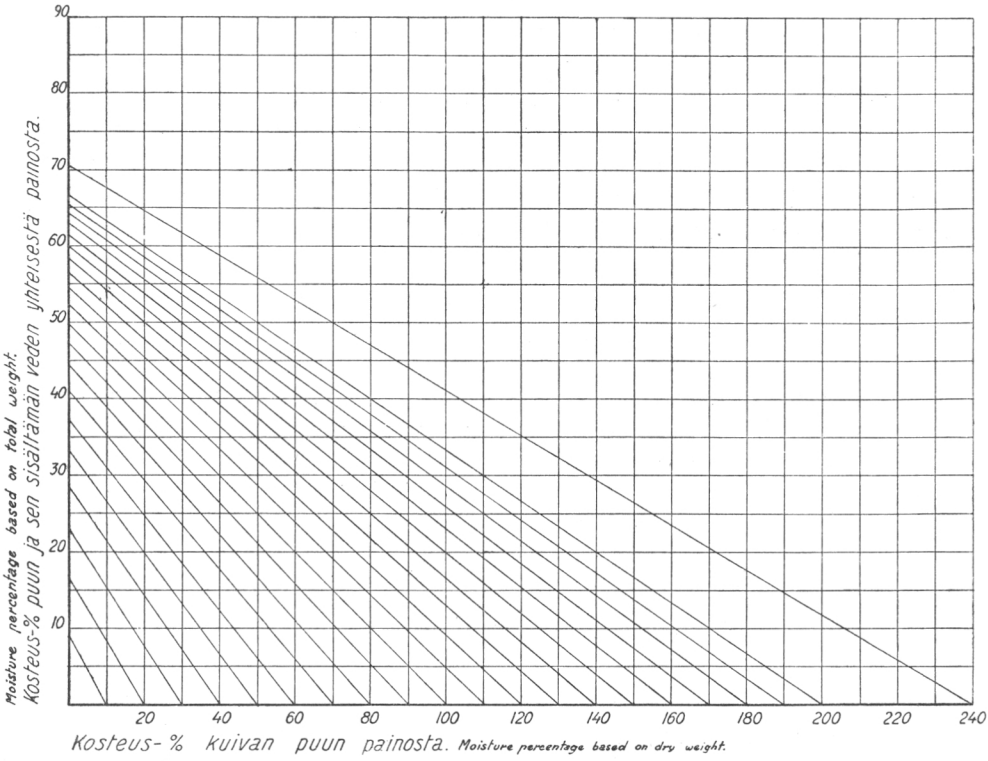
Palanen tutkittavaa puuta punnitaan n. $^1/_{10}$ %:n tarkkuudella, jolloin saadaan sen alkuperäinen paino. Sen jälkeen palasta kuivatetaan kuivausuunissa siksi, kunnes sen paino ei enää vähene. (Veden poistamiseksi täydelleen on lämpö uunissa kohotettava hiukan yli 100° C:n; pihkapitoisista puista silloin kyllä poistuu jo osa pihka-aineitakin, mutta tämä määrä on tavallisesti verraten pieni). Näin saatu paino on kappaleen kuiva-aineen paino. Tämän ja alkuperäisen painon välinen ero on poistuneen veden paino. Alkuperäisen kappaleen kosteusprosentti saadaan kaavasta:

$$\frac{\text{poistuneen veden paino}}{\text{kuiva-aineen paino}} \times 100 = \text{kosteus-\%}.$$

Ennen määriteltiin kosteuspitoisuus tavallisesti prosentteina kuiva-aineen ja sen sisältämän veden yhteisestä painosta, mutta tämä tapa ei ole sen vuoksi sovelias, että se suure, mihin vesimäärää vertaillaan, on muutteleva. Kosteutta kuiva-aineen painoon vertailtaessa on vertaussuure aina sama ja kosteusprosentti ilmaisee suoraan, miten eri kosteusasteiden vesipaljoudet suhtautuvat toisiinsa.

Seuraavassa esityksessä ilmenevät kosteusprosentit tarkoittavat aina veden painon suhdetta kuiva-aineen painoon, jollei erityisesti ole toisin mainittu.

Graafisen taulukon (kuva 1) avulla voidaan puun koko painoon kohdistuvat prosenttiluvut helposti muuttaa kuivapainoon kohdistuviksi.




Kuva 1.
*Fig. 1.*

Kun käytännössä tavallisesti esiintyvien verraten suurten puukappaleiden kosteuspitoisuuden määrääminen, joka vaatii kappaleen kuivaamista absoluuttisen kuivaksi, olisi varsin hankalaa, menetellään tavallisesti siten, että tutkittavasta kappaleesta, tai jos kappaleita on suuri määrä, jostakin määrätystä lukumäärästä, esim. joka sadannesta kappaleesta, otetaan pieniä koepalasia ja määrätään niiden kosteuspitoisuus. Jos on kysymyksessä vastakaadettu puu, sahataan siitä n. 1 sm:n vahvuisia kiekkoja määrättyjen välimatkojen

päästä rungon eri osista, kiekoista poistetaan tarkoin kuoriosa ja näiden kiekkojen kosteuspitoisuus määrätään. Kaikkien rungosta otettujen kiekkojen kosteuspitoisuuden punnittua keskiarvoa voidaan pitää koko rungon keskimääräisenä kosteuspitoisuutena. Eri kiekkojen kosteuspitoisuus ilmaisee taas rungon vastaavan osan kosteuspitoisuuden.

Jos halutaan saada vieläkin yksityiskohtaisemmat tiedot, esim. pinta- ja sydänpuun kosteuspitoisuudesta rungon eri osissa, leikataan kiekoista pinta- ja sydänosat erilleen ja näiden osien kosteuspitoisuudet tutkitaan erikseen. — Sahatavaran kosteuspitoisuuden määräämisessä menetellään samaan tapaan. Kuitenkin on huomattava, että koepalasia ei pidä sahata aivan laudan päästä, koska päät ovat tavallisesti kuivempia (tai kosteampia) kuin muu osa lautaa. Koepalanen on paras sahata pari jalkaa laudan päästä.

## Kuivumisen aiheuttamat koon muutokset.

Puun haitallisimpia ominaisuuksia on sen kutistuminen kuivuessa. Se on sitäkin haitallisempi, kun siinä ei ole huomattavissa tarkkaa säännönmukaisuutta; sen vaihtelut eivät mm. ole samanlaisia kuin puun kosteuspitoisuuden; se on samassakin puussa erilainen eri suuntiin ja eri osissa puuta, saman puulajin eri yksilöt kutistuvat eri suurissa määrin, ja vielä suurempia eroavaisuuksia voi havaita eri puulajien välillä.

### Milloin puun kutistuminen alkaa.

Tuoreen puun solunseinämissä vallitseva jännite on niin suuri, että sen koko ja muoto eivät muutu, olipa soluontelossa vettä tai ei. Vasta sitten kuin itse solunseinämistä alkaa poistua vettä, fibrillit painuvat lähemmäksi toisiaan ja koko solu pienenee. Tämä tapahtuu siis kosteuspitoisuuden laskiessa puusyiden kyllästymispisteeseen.[1])

Puun kutistumisraja ei kuitenkaan käytännössä ole näin jyrkkä. Myöhemmin esitettävät kutistumiskäyrät osoittavat, että kutistuminen alkaa vähitellen jo hiukan ennen, kuin puun kosteuspitoisuus on laskenut mainittuun kohtaan. Tämä johtuu siitä, että käytän-

[1]) Eräissä teoksissa — esim. Tiemann, H. D.: The Kiln Drying of Lumber — esitetään se mielipide, että puu alkaa kutistua jo ennen, kuin soluontelojen sisältämä vesi on poistunut, ja selitetään tämän johtuvan siitä, että soluontelon vesi on pitänyt solua pingoitettuna, ja kun vesi ontelosta vähenee, pingoitus pienenee ja solu vetäytyy kokoon. Tämä on kuitenkin hyvin vähän todennäköistä, ja otaksuttavasti pieni kutistuminen ennen kyllästymispistettä johtuu seuraavassa esitettävistä seikoista.

nössä on vaikea kuivattaa puuta niin tasaisesti, että puun sisustassa olevien soluontelojen vesi olisi jo täydellisesti poistunut, ennen kuin kappaleen pinnalla olevien solujen seinämät alkavat kutistua, vaan tavallisesti käy niin, että pintasolut alkavat kutistua jo ennen, kuin kappaleen sisällä olevien soluontelojen sisältämä vesi on siirtynyt pois. Mitä hitaammin ja varovammin puuta kuivatetaan sitä jyrkempi kulma puun kutistumiskäyrään muodostuu.

**Kutistuminen eri suuntiin.**

Puuta kuivattaessa on havaittu, että kutistuminen on huomattavasti erilainen puun pituuden, poikkileikkauspinnan säteen ja sivuajan suuntiin. Tämän seikan selvittämiseksi on jälleen tarkasteltava solunseinämän ja puun rakennetta.

Aiemmin on jo mainittu, että solunseinämä oletetaan rakennetuksi rihmamaisista fibrilleistä, jotka itse eivät ime vettä ja joiden koko on siis muuttumaton, oli solunseinä tuore tai kuiva. Nesteet ovat tunkeutuneina fibrillien välikköihin, ja kun osa niistä poistuu, lähenevät fibrillit toisiaan ja koko solu ohenee. Kun fibrillit ovat pitkiä, joko yhdensuuntaisia itse solun kanssa — päällimmäistä kerrosta lukuun ottamatta — tai kiertävät loivana spiraalina solun päästä päähän, on koko solun pituussuuntainen kutistuminen sen kuivuessa varsin pieni verrattuna sen poikittaissuuntaiseen kutistumiseen.

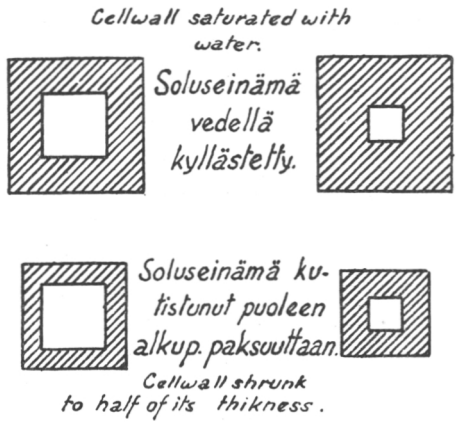
Kun puun solut ovat suurimmaksi osaksi asettuneet yhdensuuntaisiksi puun pituusakselin kanssa, johtuu solujen pituuden pienestä kutistumisesta se, että puukaan ei pituudelleen kutistu sanottavasti (paitsi ns. lylypuu, josta myöhemmin tarkemmalti).

Puun poikkileikkauspinnan säteen suuntaisesti puussa taas on ydinsäteitä. Jos puusta leikataan ohuita levyjä säteen ja puun pituusakselin kautta kulkevien tasojen suuntaan, on näissä levyissä toisiaan vastaan kohtisuorassa asennossa olevia soluja, joista toiset suuntautuvat ydinsäteen, toiset puun pituusakselin suuntaan. Kun kummatkin ovat kiinteästi toisiinsa yhdistyneet, estävät ydinsäteiden solut, jotka enempää kuin muutkaan solut eivät sanottavasti kutistu päätäpäin, puun pituusakselin suuntaisia soluja lähenemästä toisiaan, viimeksi mainittujen solujen kutistuessa poikittaissuunnassaan.[1]) Levy on siis rakenteeltaan samantapainen kuin ristiinliimattu

[1]) Etenkin mäntylajeissa ja eräissä muissa havupuissa, joiden ydinsäteissä on pitkiä ja vankkaseinäisiä trakeidisoluja, on tämä ydinsäteiden kutistumista estävä vaikutus varsin huomattava. Lehtipuissa, joissa ydinsäteet ovat muodostuneet lyhyistä tylppysoluista, tämä vaikutus ei ole niin suuri, ja niissä säteen suuntaisella kutistumisella ei olekaan niin suurta eroa tangentin suuntaiseen kutistumiseen verraten kuin useimmilla havupuilla.

faneerilevy; siinäkin ristiin kulkevat osat estävät toisiaan kutistumasta. — Jos taas puusta leikataan ohuita levyjä poikkileikkauspinnan sivuajan suuntaan, näissä levyissä kaikki solut ovat samansuuntaisia (paitsi levyn sivupintain poikkileikkaamat ydinsäteiden solut), joten niissä solujen poikittaissuuntaiselle kutistumiselle ei ole mitään esteitä. Näistä seikoista johtuukin, että puun kutistuminen rungon pituussuuntaan on aivan vähäinen, sivuajan suuntaan suurin ja säteen suuntainen kutistuminen näiden välillä.

**Minkälainen puu kutistuu enimmän.**




Kuva 2.
*Fig. 2.*

Aivan yleinen mielipide esim. sahamiesten keskuudessa on se, että nopeakasvuinen, huokoinen havupuu kutistuu enemmän kuin tiivis, hidaskasvuinen. Tämä käsitys on kuitenkin erheellinen kahdessakin suhteessa. Ensinnäkään havupuun tiiviys ei ehdottomasti riipu sen hidas- tai nopeakasvuisuudesta, ja toiseksi tiivis, suhteellisen runsaasti kesäpuuta sisältävä, painava ja kova puu kutistuu enemmän kuin hohkainen, kevätpuusta rikas puu.

Tämäkin seikka johtuu suoranaisesti puun ja sen solujen rakenteesta. Koska puusyiden kyllästymispiste on ohut- ja paksuseinäisissä soluissa jotenkin sama, on syytä otaksua, että fibrillit ovat aina saman paksuisia. Edellyttäen, että tämä otaksuma pitää paikkansa, olisi paksuseinäisen solun seinämässä silloin paljon enemmän fibrillejä ja niiden välejä kuin ohuessa solunseinämässä. Kun fibrillien välinen vesikerros poistuu ja fibrillit painuvat toisiinsa kiinni, on selvää, että silloin paksuseinäinen solu kutistuu paljon enemmän kuin ohutseinäinen, kuten kuva 2 havainnollisesti osoittaa.

Puun huokoisuus ja tiiviys riippuu juuri solunseinämien suhteellisesta paksuudesta. Mitä paksumpia solunseinämät ovat soluonteloon verrattuina, sitä tiiviimpää puu on. Edellä puheena olleesta solujen kutistumisesta johtuu silloin välittömästi, että mitä tiiviimpää puu on (joko kokonaisuudessaan tai mitä enemmän siinä on tiivistä kesä-

puuta), sitä enemmän se kutistuu. Koska puun ominaispaino kuivana on yleensä myös suorassa suhteessa sen tiiviyteen, voidaan myöskin sanoa, että mitä suurempi puun ominaispaino on kuivana, sitä enemmän puu kutistuu.[1])

**Puun kutistumisesta käytännössä aiheutuvat haitat.**

Edellä on havaittu, että kaikki puussa esiintyvät kosteuden vaihtelut, mikäli ne tapahtuvat puusyiden kyllästymispisteen alapuolella, aiheuttavat myöskin koon muutoksia.

Jo puun kutistuminen sinänsä on sangen haitallinen ilmiö — tarvitsee vain ajatella ravistuneita veneitä, puuastioita, huonekaluja ym. Samasta syystä esim. sahateollisuuden harjoittajat kärsivät myös huomattavia raaka-ainetappioita, kun he ostavat tukit tuoreina ja jättävät sahatavaraan useitakin prosentteja ylimittaa kutistumisen varalle.

Näiden suoranaisesta volyymin pienenemisestä aiheutuvien tappioiden tai haittojen lisäksi kutistuminen on vielä haitallinen muissakin suhteissa. Niistä on huomattavimpia puun halkeileminen. Se johtuu joko epätasaisesta kuivumisesta tai siitä, että kutistuminen on eri suuntiin erilainen.

Jos esim. verraten massiivinen puukappale kuivataan nopeasti, alkavat sen pintakerrokset kutistua jo ennen kuin kappaleen sisusta, ja kun tämä viimeksi mainittu estää pintaosien kutistumisen, tapahtuu pinnalla halkeilemisia. Samanlainen epätasainen kuivuminen aiheuttaa myös puukappaleen päiden halkeilemisen, sillä puun sisältämä vesi haihtuu helpoimmin puun pituussuuntaan, päät kuivuvat siis nopeammin kuin keskiosa ja halkeilevat.

Eri suuri kutistuminen eri suuntiin aiheuttaa taas halkeamia pyöreissä puun rungoissa tai yleensä, milloin puun ydin on jäänyt kappaleen sisään. Koska puu kutistuu n. 2 kertaa enemmän vuosilustojen kuin säteen suuntaan, syntyy puun rungon kutistuessa vuosilustojen suuntaista vetojännitettä, joka kasvaa niin suureksi, että lopulta puu antaa heikoimmissa kohdissaan myöten ja halkeilee. Tätä halkeilemista helpottaa vielä se, että puun vetolujuus on poikkisyin verraten pieni, etenkin vuosilustojen suuntaan, joita vastaan poikittaiset ydinsäteet muodostavat sopivia repeämispintoja. Eri-

[1]) Näihin päätelmiin aiheuttavat muutamat seikat kyllä pieniä poikkeuksia, esim. ydinsäteiden runsaus ja niiden solujen pituus pienentää muuten tiiviin puun kutistumista säteen suuntaan. Myös solujen sisältämien aineiden, kuten hartsin, väriaineiden ym., runsaus lisää puun ominaispainoa, lisäämättä silti kutistumista.

lainen kutistuminen eri suuntiin aiheuttaa vielä kovertumista, kuten jäljempänä havaitaan.

### Voiko puun kutistumista ja paisumista ehkäistä.

Niistä haitoista puheen ollen, joita käytännössä esiintyy puun koon muutoksien johdosta, herää itsestään kysymys, voiko puusta poistaa sitä sen ominaisuutta, että se muuttelee kokoaan kosteuspitoisuuden mukaan, tai voiko puusta poistaa sen taipumusta muutella kosteuspitoisuuttaan, mikä johtaisi pääasiallisesti samaan tulokseen.

Aiemmin on jo havaittu, että puun koko ei muutu lainkaan, jos sen kosteuspitoisuus on kyllästymispisteen yläpuolella, vaikkapa kosteus vaihtelisi tämän rajan yläpuolella minkä verran tahansa. Pätevä keino puun koon vaihtelun ehkäisemiseksi olisi siis pitää sen kosteutta koko ajan tuon mainitun rajan yläpuolella. Tämän teoreettisesti varsin yksinkertaiselta näyttävän keinon soveltaminen käytäntöön on kuitenkin hankalaa, ja lisäksi se johtaisi toisiin vielä pahempiin haittoihin. Hankalaa se olisi sen takia, että useissa tapauksissa, esim. lämmitetyissä asuinhuoneissa olevien puuesineiden, kosteuspitoisuutta olisi sangen vaikea pitää puusyiden kyllästymispisteen yläpuolella. Näin suuren kosteuspitoisuuden haitoista taas voidaan mainita ensi sijassa se, että se edistäisi useiden tuhosienien kehittymistä puussa; sitä paitsi niin kosteata puuta ei voisi höylätä sileäksi, ei kiilloittaa eikä maalata, ja myöskin kosteuden aiheuttama ylimääräinen paino olisi useissa tapauksissa haitallinen.

Toinen keino puun koon vaihtelun ehkäisemiseksi olisi pitää sen kosteus pysyvästi samana, sillä silloin kuin kosteus ei vaihtele, kokokin pysyy muuttumattomana. Tämäkin on kuitenkin käytännössä usein mahdotonta toteuttaa. Vaikkapa puuesine olisikin sateelta suojatussa paikassa, vaikuttaa puun kosteuteen jo ilman kosteus, ja tämä ei pysy koskaan muuttumattomana edes lämmitetyissä asuinhuoneissa, vielä vähemmän ulkoilmassa.

Muitakin keinoja puun koon muutosten ehkäisemiseksi voitaisiin vielä ajatella olevan. Nämä voidaan jakaa kahteen ryhmään: keinot, joiden avulla puun hygroskooppisuus poistetaan, sekä keinot, joiden avulla puu saadaan sellaiseksi, ettei se kutistu kuivuessaan eikä paisu kostuessaan.

Puun hygroskooppisuutta ei ainakaan toistaiseksi ole voitu poistaa, päinvastoin se pysyy puussa niin itsepintaisesti, että vielä selluloosa ja selluloosasta valmistettu tekosilkkikin ovat hygroskooppisia. Tosin puun hygroskooppisuuta on jossakin määrin voitu

vähentää — suolattomassa vedessä kauan aikaa liotettu puu esim. on hiukan vähemmän hygroskooppista sen takia, että vesi on uuttanut siitä pois hygroskooppisia lisäaineita, kuten sokeria, tärkkelystä, epäorgaanisia suoloja ym., — mutta sanottavaa käytännöllistä merkitystä tällä seikalla ei ole. Ainoa vähänkään pätevä keino tässä suhteessa on puun päällystäminen sellaisilla aineilla, että kosteus ei niiden lävitse pääse tunkeutumaan puuhun. Tällaisina aineina on käytetty maalia, lakkoja, tervaa yms., mutta näistäkään ei mikään ole kosteutta täydelleen läpäisemätöntä, tai niiden muodostamaa puun pinnalla olevaa kerrosta ei muuten saada niin tiiviiksi ja yhtenäiseksi, ettei kosteus jostakin kohdasta pääsisi tunkeutumaan puuhun. Sitä paitsi tällaiseen päällyskerrokseen ilmaantuu aina aukkoja kulumisen, murtumisen, halkeilemisen tms. johdosta.

Tämän haitan poistamiseksi voisi ajatella sellaista menetelmää, että puu impregnoitaisiin läpeensä kosteutta eristävällä aineella. Tässä mielessä allekirjoittanut suoritti muutamia kokeita. Absoluuttisen kuivia puupalasia keitettiin viikon aika tavallisessa puutervassa ja pellavansiemenöljyssä (vernissassa) vesihauteella, jolloin impregnoimisaineet pysyivät koko ajan notkeina, mutta terva ei kuitenkaan pikeentynyt eikä vernissa myöskään kovettunut. Aineet tunkeutuivat puupalasiin jotenkin läpeensä, mutta näissä ei havaittu minkäänlaista paisumista. Impregnoimisen jälkeen puupalasia pidettiin veteen upotettuina, jolloin ne turposivat tavallisen määränsä. Impregnoiminen ei aiheuttanut mitään muuta kuin sen, että veden tunkeutuminen impregnoimisen jälkeen oli hiukan tavallista hitaampaa siitä syystä, että impregnoimisaineet olivat muodostaneet puun pinnalle tiiviin, vaikeasti vettä läpäisevän kerroksen.

Puun kutistumisen ja paisumisen ehkäisemisen kosteuspitoisuuden vaihteluista huolimatta voisi ajatella tapahtuvaksi myös siten, että solunseinämien fibrillien välit täytettäisiin jollakin muulla aineella veden asemasta; vaikka silloin vesi poistuisikin puusta tai siihen tulisi vettä lisää, se ei vaikuttaisi mitään puun kokoon, sillä tuo toinen aine pysyisi fibrillien välissä ja pitäisi niitä koko ajan yhtä etäällä toisistaan, puu pysyisi siis kutistumattomassa, laajimmassa koossaan.

Tässä mielessä allekirjoittanut myöskin suoritti eräitä kokeita. Jo edellä mainitut kaksi koesarjaa ovat tässä suhteessa kuvaavia, sillä onhan sangen lähellä se ajatus, että terva ja vernissa tunkeutuvat solunseinämiin fibrillien väliin ja sitten vähitellen kovetuttuaan eli oksidoiduttuaan sinne pitäisivät fibrillit jatkuvasti erillään toisistaan. Se seikka, että puupalaset tervassa ja vernissassa keitettäessä eivät paisuneet vähääkään, osoittaa kuitenkin, että sanotut aineet

eivät tunkeudu itse solujen seinämiin, ne täyttävät vain soluontelot ja jättävät vedelle edelleenkin jotenkin vapaan pääsyn solunseinämiin.[1])

Toinen sarja kokeita suoritettiin siten, että absoluuttisen kuivia puupalasia liotettiin kuparisulfaatti- ja vesilasi- (natriumsilikaatti) liuoksessa. Puukappaleet paisuivat kyllä aivan normaalisesti, mutta kun vesi niistä haihdutettiin sen jälkeen pois, ne kutistuivat jälleen aivan samaan kokoon, missä ne olivat olleet ennen käsittelyä. Kysymyksessä olevat suolat olivat kyllä tunkeutuneet vesiliuoksessa puun sisään ja jäivät sinne sen jälkeen, kuin vesi haihdutettiin — toimitettujen kokeiden mukaan kuparisulfaattia (kidevedellistä) saattoi näin käsitellyssä puussa olla jäljellä jopa enemmän kuin 20 % puun koko painosta —, mutta se seikka, että puu kutistui jälleen alkuperäiseen kuivaan kokoonsa, osoittaa, että suolat eivät olleet tunkeutuneet lainkaan solunseinämiin, vaan olivat jääneet soluonteloihin.

Nämä kokeet osoittavat, että hartsit, eteeriset öljyt,[2]) epäorgaaniset suolat ym. puussa esiintyvät aineet eivät voi tunkeutua solunseinämien fibrillien väliin ja samalla on myös osoitettu, että tämänkaltaisilla aineilla puuta impregnoimalla ei voida poistaa sen kutistumis- ja paisumistaipumusta. Ainoa keino, millä tämä haitta voitaisiin poistaa, olisi sellaisen aineen löytäminen, joka kykenisi tunkeutumaan fibrillien väliin ja pysyisi siellä.

Toistaiseksi ei ole keksitty mitään pätevää keinoa puun koon muutosten estämiseksi. Käytännössä on kuitenkin eräitä keinoja, joiden avulla koetetaan tämän seikan aiheuttamia haittoja ainakin jossakin määrin lieventää. Edellä on jo mainittu se tosin useissa tapauksissa soveltumaton keino, että koetetaan pitää puun kosteuspitoisuus muuttumattomana tai impregnoimisen avulla hidastaa puun vedenimemistä. Vielä voitaisiin mainita erinäiset niin sanoaksemme pakkokeinot, joina käytetään raudoittamista tai puusta tehtyjen poikkipienojen asettamista. Usein käytetään hyväksi myöskin sitä seikkaa, että puu ei sanottavasti kutistu pituussuunnassaan, esim. ristiinliimatussa faneerissa, jossa liimaamalla useita puulevyjä

[1]) Tästä johtuu, että tervaamalla ei esim. voi turvottaa ravistunutta venettä. Terva voi tosin jossakin määrin tukkia rakoja, mutta ravistumisen aiheuttamat halkeamat ja raot turpoavat umpeen vasta sitten, kuin vene on ollut jonkin aikaa vedessä.

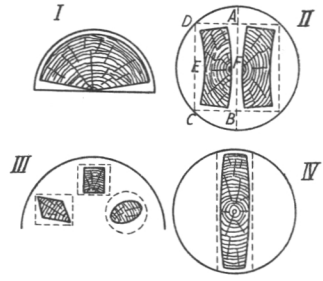
[2]) Niinkään hotkea aine kuin tärpätti ei voi tunkeutua fibrillien väliin. Tätä osoittaa tehty koe, jossa absoluuttisen kuivia puupalasia pidettiin tärpättiin upotettuina pitkät ajat. Puupalaset eivät paisuneet yhtään, mikä todistaa, että puuhun runsaassa määrässä tunkeutunut tärpätti jäi vain soluonteloihin.

päällekkäin, syyt ristiin, saadaan eri kerrokset estämään toisiaan kutistumasta. Myöskin verraten vähäistä säteen suuntaista kutistumista käytetään hyväksi siten, että esim. lattioihin valitaan vain säteen suuntaisesti sahattuja lautoja. Tässä tapauksessa auttaa myös paljon, jos laudat ovat mahdollisimman kapeita, jolloin kunkin laudan absoluuttinen kutistuminen on pieni, ja raot jäävät kapeiksi, vaikka laudat suhteellisesti kutistuisivat paljonkin.

## Kuivumisen aiheuttamat muodon muutokset.

Puun kutistuminen aiheuttaa koon muutosten ohella vielä muodonkin muutoksia. Tämä johtuu eri suuntiin tapahtuvan kutistumisen erilaisuudesta.

Nämä muodon muutokset selviävät parhaiten, jos tarkastaa kuvaa 3.




Kuva 3.
*Fig. 3.*

Kuvista 3 I, III ja IV näkyvät muodon muutokset ovat selviä ilman lähempiä selityksiä; ne johtuvat välittömästi siitä, että puu kutistuu sivuajan suuntaan enemmän kuin säteen suuntaan. Kuvassa 3 II esitetty tapaus on hyvin yleinen esim. sahatavarassa. Kun se on hiukan monimutkaisempi, vaikkakin sen syyt ovat aivan samat kuin edellä esitetyissä tapauksissa, selitettäköön tässä sitä hiukan tarkemmin.

Puun sydämen kautta kulkeva leikkaus AB on täysi sädeleikkaus pitkin matkaa, leikkaus CD on sitä vastoin keskikohdaltaan tangenttileikkaus, muuttuen reunoiltaan yhä vinommaksi, sädeleikkausta lähenteleväksi. Koska leikkaus AB on koko leveydeltään säteen suuntainen, kutistuu se vähemmän kuin suurelta osaltaan tangentin suuntainen leikkaus CD. Jo tämä erilainen kutistuminen eri puolilla aiheuttaa käyristymistä pintaan päin. Ytimen puoleisen sivun kuperuutta lisää vielä se, että kappale kutistuu paksuudelleen reunoiltaan AD ja BC enemmän kuin keskuksestaan FE, sillä viimeksi mainitussa kohdassa kutistuminen on suoraan säteen suuntainen, reunoilla taas jotenkin kokonaan sivuajan suuntainen.

## Puun kosteuspitoisuutta ja kutistumista sekä näihin vaikuttavia ominaisuuksia selvitteleviä tutkimuksia.

Kun kosteuden vaihtelua ja siitä johtuvia puun koon ja muodon muutoksia ei ole voitu tyydyttävällä tavalla estää ainakaan kaikissa olosuhteissa, on niitä käytännössä toistaiseksi pidettävä puun pysyvinä ominaisuuksina. Suureksi höydyksi olisi joka tapauksessa, jos päästäisiin selville siitä, miten puun kosteuspitoisuus sekä koon ja muodon muutokset riippuvat toisistaan, mitä yleisiä sääntöjä ne noudattavat, ja minkälaisten rajojen sisällä ne tapahtuvat.

Esillä olevien tutkimusten tarkoituksena on luoda jonkinlaista lisävalaistusta näihin seikkoihin. Tutkimukset voidaan tältä osaltaan jakaa kahdeksi pääryhmäksi, joista toisen ensisijaisena päämääränä on selvitellä kutistumisen yleisiä lakeja sekä esittää todistusaineistoa yleisessä osassa esitetyille päätelmille, toisen ryhmän päätarkoituksena on pidetty ennen kaikkea sellaisten seikkojen selvittämistä, joista voisi olla käytännöllistä hyötyä sahateollisuudessa, ts. sahatavaran kutistumisvaraa määrättäessä.

Eräissä kohdin kummassakin edellä mainitussa tutkimusryhmässä joudutaan koskettelemaan samojakin asioita, mutta kun kumpikin tutkimus on suoritettu aivan erillisenä, erilaisia koekappaleita ja menettelytapoja käyttäen, pidetään ne seuraavassakin täysin erillään. Näiden tutkimusten tulokset voivat lisäksi tarjota kiintoisia vertauskohtia, etenkin kun ne molemmissa tapauksissa ovat yhtäpitäviä.

### Tutkimus A.

#### Aineisto ja sen käsittely.

Aineisto käsitti yksinomaan mäntyä, mahdollisimman tasaisten, luonnonvaraisten metsien valtapuuluokkaa. Koepuita, jotka alunperin oli valittu ja hankittu erästä toista tutkimusta varten, oli kaikkiaan 85 runkoa seuraavilta paikkakunnilta ja metsätyypeiltä: [1])

[1]) Tässä tutkimuksessa esiintyvistä metsätyypeistä käytetään seuraavia merkkejä: OMT = käenkaali — mustikkatyyppi, MT = mustikkatyyppi, VT = puolukkatyyppi, CT = kanervatyyppi, HMT = paksusammaltyyppi ja ClT = jäkälätyyppi.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Ruotsinkylän kokeilualueelta (Tuusulan pitäjä) ..... | 5 | kpl. | VT |
| » ..... | 5 | » | MT |
| Veikkolan kokeilualueelta (Valkjärven pitäjä) ..... | 5 | » | Räme |
| » ..... | 5 | » | CT |
| » ..... | 5 | » | VT |
| » ..... | 5 | » | MT |
| » ..... | 5 | » | OMT |
| Vilppulan kokeilualueelta (Vilppulan pitäjä) ..... | 5 | » | Räme |
| » ..... | 5 | » | CT |
| » ..... | 5 | » | OMT |
| Kivalon kokeilualueelta (Rovaniemen pitäjä)[1] ..... | 5 | » | Räme |
| » ..... | 5 | » | ClT |
| » ..... | 5 | » | HMT |
| » ..... | 10 | » | VT |
| » ..... | 10 | » | MT |
| | Yhteensä 85 | kpl. | |

Puut kaadettiin helmikuun aikana v. 1932, jokaisesta otettiin 6-metrin tyvipölkky, joka lähetettiin Helsinkiin laboratorioon. Perillä sahattiin jokaisen pölkyn keskikohdalta, siis 3 m:n päästä kantoleikkauksesta, 1.5 sm:n vahvuinen kiekko, josta sitten heti valmistettiin koekappaleet, $1.5 \times 1.5 \times 7.0$ — 8.0 sm, suurin ulottuvaisuus joko kiekon sivuajan tai säteen suuntainen ja mikäli mahdollista, sydän- ja pintapuusta erikseen. Näitä koekappaleita tuli 282 kpl.

Sitä mukaa kuin koekappaleita valmistui, ne punnittiin 1 sg:n tarkkuutta ja niiden suurin ulottuvaisuus mitattiin $^1/_{100}$ mm:n tarkkuutta käyttäen erikoisella, tekijän konstruoimalla mittauslaitteella, jonka avulla mikrometriruuvin puristus ja mittauskohta jokaisessa myöhäisemmässäkin mittauksessa saatiin täsmälleen samaksi. Sen jälkeen kappaleet kuivattiin sähköuunissa, aluksi n. 60—70° C:n lämmössä, vähitellen kohottaen lämpöä 105° C:een, jossa se pidettiin siksi, kunnes kappaleitten paino ei enää vähentynyt. Heti sen jälkeen ne punnittiin ja mitattiin uudelleen. Myöhemmin jokaisessa koekappaleessa laskettiin vielä vuosilustojen lukumäärä senttimetriä kohti sekä kesäpuuprosentti mitattiin tekijän konstruoimalla erikoiskojeella. Jos koekappaleissa oli erilaisia kohtia, suoritettiin molemmat viimeksi mainitut mittaukset sellaiselta kohdalta, joka silmämääräisesti näytti parhaiten edustavan kappaleen keskiarvoa.

Näiden varsinaisten kutistumiskoekappaleiden lisäksi otettiin edellä mainituista kiekoista vielä sektorin muotoiset kappaleet, joista sydänpuu erotettiin pintapuusta. Näistä kappaleista määrättiin erikseen sydän- ja pintapuun kosteuspitoisuus sekä samoin, mikä

[1] Jäkälätyypin (ClT) 5 puuta ovat Kittilästä.

sydän- ja pintapuun ominaispaino on absoluuttisen kuivassa tilassa. Koekappaleiden tilavuus määrättiin elohopeaksylometrin avulla.

Edellä esitetyllä tavalla saatu aineisto on tosin yksipuolinen siinä suhteessa, että se on kokonaisuudessaan otettu yhtä korkealta puiden rungosta. Kun koetukkien latva ja tyvi talvisesta säästä huolimatta oli jonkin verran kuivunut kuljetuksen aikana, ei näitä äärimmäisiä kiekkoja voitu käyttää puheena olevaan tarkoitukseen, ja kun tukit taas oli varattu toisia tarkoituksia varten, ei niistä voitu ottaa kappaleita muilta korkeuksilta kuin keskeltä. Kaikki koepuut olivat jotenkin saman kokoisia, joten niistä samalta korkeudelta otetut koekappaleet ovat kuitenkin keskenään varsin hyvin vertailtavissa.

Kun puut kaadettiin ja kuljetettiin talvella ja koekappaleet otettiin keskeltä pölkkyä, ja ne vielä ensimmäisen punnituksen aikanakin olivat jäässä, voi olla varma, että niistä ei ollut haihtunut kosteutta ennen punnitsemista. Jäässä olevista kiekoista saattoi myös vaivatta ja täsmällisesti erottaa sydän- ja pintapuun rajan.

### Sydän- ja pintapuun ominaisuudet.

*Kosteusprosentti.*

Sydänpuun muodostuessa puun kosteuspitoisuus muutamien tutkijain mukaan voi laskea huomattavasti alle puusyiden kyllästymispisteenkin. Tämän tutkimuksen aineisto — kaikki sektoreista leikatut kappaleet sekä ne varsinaiset kutistumiskappaleet, jotka sisälsivät yksinomaan joko sydän- tai pintapuuta — osoittaa, että sydänpuun kosteuspitoisuus ei näissä puissa ja tutkitussa (3 m:n) korkeudessa ollut juuri kyllästymispisteen alapuolella. Muutamissa harvoissa tapauksissa se oli 26 %, yleensä se oli 30 %:n vaiheilla tai hiukan sen yläpuolella.

Seuraavassa esitetään kosteusprosentin aritmeettiset keskiarvot sekä vaihtelurajat eri osista Suomea tuoduissa koepuissa.

| | | Pintapuun kosteus | | Sydänpuun kosteus | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | % | Vaihtelurajat | % | Vaihtelurajat |
| Lähetys I | (Ruotsinkylä) .. | 119.9 | 106—136 | 31.3 | 28—42 |
| » II | (Veikkola) ..... | 126.1 | 96—165 | 29.6 | 28—36 |
| » III | (Vilppula) ..... | 130.1 | 101—160 | 33.1 | 28—40 |
| » IV | (Kivalo ja Kittilä) ..... | 142.5 | 100—177 | 33.3 | 26—54 |

Kuten yllä olevasta asetelmasta näkyy, sydän- ja pintapuun kosteuspitoisuus on varsin tasainen. Mahdollisesti voi tehdä sen pää-

telmän, että kosteuspitoisuus on Pohjois-Suomen puissa jonkin verran suurempi, mutta kun eri metsätyypit eri lähetyksissä ovat eri lailla edustettuina, ja eroavaisuudet voivat johtua siitä, ei tämän seikan suhteen voida sanoa mitään lopullista. Kun kosteuspitoisuus kuitenkin on yleensä kyllästymispisteen yläpuolella, mahdolliset kosteuserot eivät vaikuta kutistumiseen lainkaan.

### *Ominaispaino.*

Yleensä ollaan sitä mieltä, että sydänpuu on raskaampaa kuin pintapuu; eräät tutkijat ovat tosin päässeet päinvastaisiinkin tuloksiin. Edellä olevan tutkimuksen yhteydessä kiinnitettiin tähänkin seikkaan huomiota. Tulokset näkyvät seuraavasta asetelmasta, jossa luvut tarkoittavat absoluuttisen kuivan puun ominaispainoja.

| | Pintapuun om.-paino | Sydänpuun om.-paino | Koko tyvipölkyn keskimäär. om.-paino |
|---|---|---|---|
| Lähetys I (Ruotsinkylä) ... | 0.51 | 0.46 | 0.488 |
| » II (Veikkola ..... | 0.51 | 0.48 | 0.496 |
| » III (Vilppula) ..... | 0.48 | 0.46 | 0.473 |
| » IV (Rovaniemi ja Kittilä) ..... | 0.45 | 0.42 | 0.441 |

Koko pölkyn keskimääräinen ominaispaino on saatu siten, että sydän- ja pintapuun ominaispainosta on otettu punnittu keskiarvo.

### *Kesäpuuprosentti.*

Kuten jäljempänä havaitaan, ominaispaino on melkoisessa määrin riippuvainen kesäpuuprosentista. Kun aineistossamme pintapuu oli keskimäärin sydänpuuta raskaampaa, voidaan edellyttää, että myöskin kesäpuuprosentti on pintapuussa keskimäärin suurempi. Koko aineistosta keskiarvot laskemalla saatiinkin tulokseksi, että sydänpuussa kesäpuuprosentti oli 28.5, pintapuussa 31.5.

Tämän erilaisuuden syyt selviävät tarkasteltaessa puun rungon kehitystä, kun edellytetään, että luonto aina vahvistaa ja tukee sitä rungon osaa, mikä on enimmän vahvistuksen tarpeessa. Puun pienenä ollessa tyviosan kannettavana ei ole erikoisen suurta painoa, joten verraten heikko puun tyviosan rakenne riittää. Sitä mukaa kuin puu kasvaa, tulee tyviosan kannettavaksi yhä suurempi paino ja tuulen aiheuttama vääntömomentti tyvessä kasvaa. Kun entisiä tyven solukoita ei enää voi vahvistaa, koska ne ovat jo kuolleita ja lopulliseen muotoonsa kehittyneitä, täytyy tyviosaa lujittaa kasvatta-

malla uutta tukisolukkoa, suhteellisesti runsaasti kesäpuuta, entisten solukkojen päälle.

*Kutistumisprosentti.*

Useissa metsäteknologisissa teoksissa[1]) esitetään ikään kuin selviönä, jota ei tarvitse todistaakaan, se mielipide, että sydänpuu kutistuu huomattavasti vähemmän kuin pintapuu. Esillä olevan tutkimuksen tulokset eivät kuitenkaan antaneet mitään selvää tukea tälle käsityskannalle. Koko koeaineiston tulosten keskiarvot esitetään seuraavassa asetelmassa.

| | Kutistumismäärät sydänpuussa | pintapuussa |
|---|---|---|
| Sivuajan suuntaan, % ..... | 7.3 | 7.8 |
| Säteen » » ..... | 4.2 | 4.5 |

Asetelmasta havaitaan, että sydänpuun kutistumisprosentit ovat tosin hiukan pienemmät kuin pintapuun, mutta tämän eron aiheuttajana ei suinkaan tarvitse olla sydän- ja pintapuun sinänsä, vaan syy on pikemminkin etsittävä siitä, että sydänpuun ominaispaino ja kesäpuuprosentti ovat puheena olevassa aineistossa pienemmät kuin pintapuun. Tähän viittaa sekin seikka, että kutistumisprosenttien, ominaispainojen ja kesäpuuprosenttien suhde on sydän- ja pintapuussa jotenkin sama, kuten alla olevasta asetelmasta näkyy.

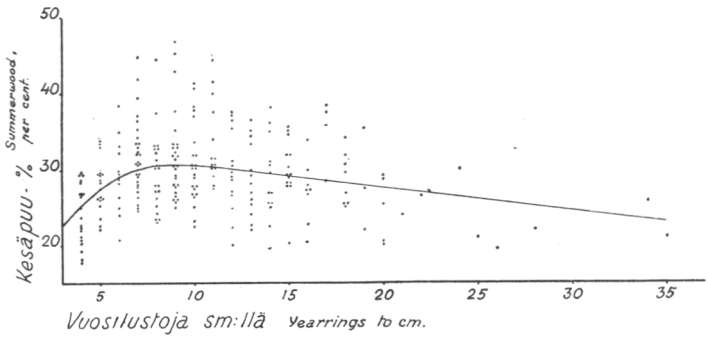
| | |
|---|---|
| Kutistumisprosentit, sivuajan suuntaan ... | $\frac{7.3}{7.8} = 0.936$ |
| » säteen » ... | $\frac{4.2}{4.5} = 0.933$ |
| Ominaispainot ..... | $\frac{0.455}{0.488} = 0.932$ |
| Kesäpuuprosentit ..... | $\frac{28.5}{31.5} = 0.905$ |

Kun sydänpuun kosteuspitoisuus on todennäköisesti vain harvoin kyllästymispisteen alapuolella eikä sydänpuussa ole siis tapahtunut kutistumista jo puun kasvuaikana, ei ole pätevää syytä otaksua, että sydänpuun kutistuminen olisi sinänsä pienempi kuin pintapuun.

Mainitun virhepäätelmän syntymisen varsinkin sahamiesten kes-

[1]) Vrt. esim. Ekman, Wilh. ym. 1922: Handbok i skogsteknologi, s. 21: I följd av den ..... avsevärt mindre krympningen och svällningen skattas hos flertal trädslag kärnveden högre än splinten.

kuudessa voinee selittää johtuneen siitä, että pölkyn sydämestä sahatut laudat kutistuvat leveydelleen vähemmän kuin pinnasta sahatut. Tämä taas aiheutuu siitä, että sydänlaudat ovat leveydelleen jotenkin pelkkää sädeleikkausta, kun taas pintalaudat ovat leveydelleen suureksi osaksi sivuajan suuntaiset, ja puuhan kutistuu sivuajan suuntaan lähes kaksi kertaa enemmän kuin säteen suuntaan. Kun laudan kutistumista tarkkailtaessa mitataan tavallisimmin vain sen leveys — siihen suuntaanhan absoluuttinen kutistuminen on suurin ja sen voi todeta jo hyvinkin yksinkertaisilla mittausvälineillä —, johdutaan helposti siihen päätelmään, että sydänpuu kutistuu vähemmän kuin pintapuu.




Kuva 4.
*Fig. 4.*

**Kesäpuun vaikutus puun eri ominaisuuksiin.**

*Kesäpuuprosentin ja vuosilustojen vahvuuden suhde.*

»Havupuu on sitä lujempaa, raskaampaa ja kovempaa mitä kapeammat vuosilustot siinä on, so. mitä hitaammin se on kasvanut; lehtipuissa asianlaita on päinvastoin.» Tämä on jotenkin kaikissa metsäteknologisissa teoksissa säännöllisesti toistuva, jo melkein aksiomiksi muodostunut väite, joka selitetään siten, että havupuiden vuosilustossa kesäpuuosa on aina jotenkin muuttumaton vahvuudelleen, ja jos kasvu paranee, vain kevätpuuosa vahvenee ja puusta tulee siten hohkaisempaa, kevyempää ja löysempää.

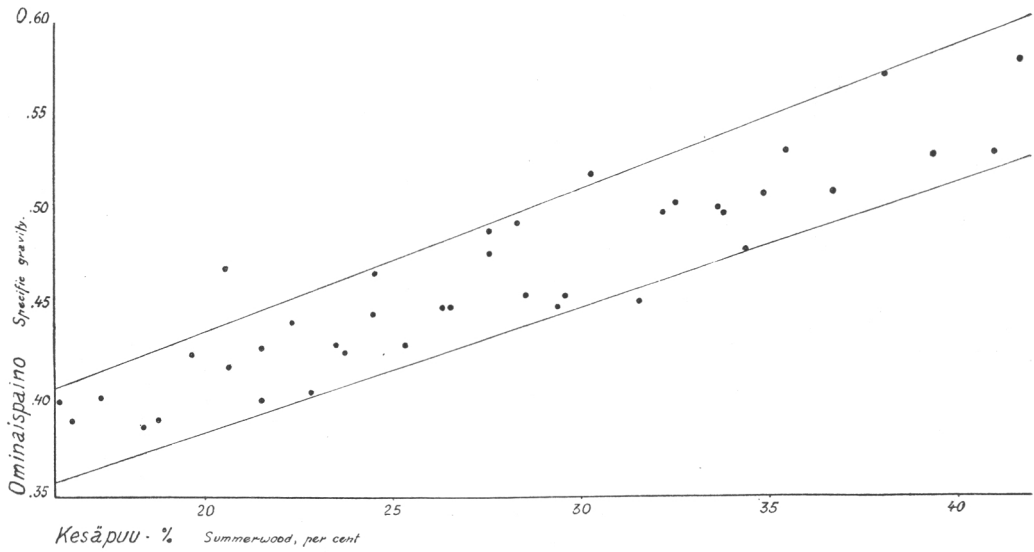
Edellä esitetyn päätelmän mukaan nopeakasvuisessa havupuussa kesäpuuprosentti olisi aina pienempi kuin hitaasti kasvaneessa. Esillä olevan tutkimuksen aineisto ei kuitenkaan anna vahvistusta tälle käsitykselle. Siinä suhteessa tarkasteltakoon kuvaa 4.

Piirroksen mukaan vuosilustojen vahvuudella ja kesäpuuprosentilla ei ole mitään aivan vakinaista suhdetta keskenään, vaan kum-

pikin vaihtelee toisesta paljoakaan riippumatta. Kuitenkin voidaan koko aineistoa silmällä pitäen havaita jonkinlaista säännönmukaisuutta, nim. sellaista, että hyvin nopea- ja hyvin hidaskasvuisessa puussa kesäpuuprosentti on verraten alhainen, kun taas sellaisessa puussa, jossa vuosilustoja on 7—10 senttimetriä kohden, kesäpuuprosentti on keskimäärin korkein.

*Kesäpuuprosentin ja ominaispainon suhde.*

Kun kesäpuu on muodostunut vahvaseinäisistä, pienionteloisista soluista, on selvää, että sen ominaispaino on suurempi kuin ohutsei-




Kuva 5.
*Fig. 5*

näisistä, suurionteloista soluista muodostuneen kevätpuun. Näin ollen kesäpuuprosentin ja ominaispainon pitäisi olla hyvinkin läheisessä suoranaisessa suhteessa keskenään.

Kuvassa 5 esitetty piirros osoittaa käsitellyn aineiston perusteella saatuja tuloksia. Kukin piste edustaa useiden havaintojen keskiarvoa.

Piirroksesta näkyy, että kesäpuuprosentin ja ominaispainon välillä vallitsee suora suhde, joskin se voi vaihdella verraten laajojen rajojen sisällä. Tämä on hyvin ymmärrettävä seikka, sillä kevät- ja kesäpuu eivät eri puissa eivätkä samankaan puun eri vuosilustoissa ole aina samanlaista, vaan kummankin rakenteen tiiviys ja ominaispaino vaihtelevat melkoisesti.

*Kesäpuuprosentin ja kutistumisprosentin suhde.*

Aiemmin kutistumista teoreettisesti tarkasteltaessa tultiin siihen tulokseen, että vahvaseinäinen, pienionteloinen solu kutistuu kuivuessaan enemmän kuin ohutseinäinen solu. Tästä johtuu, että suhteellisesti paljon kesäpuuta sisältävä puu kutistuu enemmän kuin kevätpuusta rikas puu. Tähän viittaavat myöskin tehdyt havainnot, joiden keskiarvot esitetään seuraavassa asetelmassa.

| Kesäpuu-% | Kutistumis-% sivuajan suuntaan | Kutistumis-% säteen suuntaan |
|---|---|---|
| 20—25 | 6.6 | 3.4 |
| 25—30 | 7.6 | 4.2 |
| 30—35 | 8.1 | 4.3 |
| 35—40 | 8.6 | 4.8 |
| 40+ | 8.6 | 5.8 |

Kokeeksi laskettiin myös sivuajan suuntaisen kutistumisen korrelatiokerroin ja sen keskivirhe, joiksi saatiin $+ 0.644 \pm 0.048$.

Tässä yhteydessä voidaan vielä tarkastaa erästä mielenkiintoista seikkaa, nim. kesäpuuprosenttia ja kutistumista eri metsätyypeiltä ja eri osista Suomea otetuissa puissa. Näistä seikoista on saatu seuraavassa taulukossa esitetyt tulokset.

Taulukko 1. **Kesäpuu-% ja kutistuminen.**
Table 1. *Summerwood percentage and shrinkage.*

| Lähetys *Shipment* | Metsäseutu *Locality* | Metsätyyppi *Forest site type* | Kesäpuu-% *Summerwood, per cent* | Kutistumis-% *Shrinkage, per cent* | | Keskiarvot *Average* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Sivuajan suuntaan *Tangential* | Säteen suuntaan *Radial* | Kesäpuu-% *Summerwood, per cent* | Kutistumis-% *Shrinkage, per cent* Sivuajan suuntaan *Tangential* | Kutistumis-% *Shrinkage, per cent* Säteen suuntaan *Radial* |
| I | Ruotsinkylä .... | VT | 27.0 | 8.7 | 4.2 | | | |
| » | » .... | MT | 26.9 | 8.2 | 3.6 | 27.0 | 8.45 | 3.90 |
| II | Veikkola ..... | Räme *Bog* | 24.4 | 8.0 | 4.5 | | | |
| » | » ..... | CT | 28.0 | 7.9 | 4.8 | | | |
| » | » ..... | VT | 26.7 | 7.9 | 4.8 | | | |
| » | » ..... | MT | 29.9 | 8.9 | 4.9 | | | |
| » | » ..... | OMT | 27.5 | 7.8 | 3.9 | 27.3 | 8.10 | 4.60 |
| III | Vilppula ..... | Räme *Bog* | 24.0 | 7.3 | 4.4 | | | |
| » | » ..... | CT | 28.5 | 8.6 | 5.3 | | | |
| » | » ..... | OMT | 29.0 | 8.8 | 4.8 | 27.2 | 8.25 | 4.83 |
| IV | Kivalo ..... | Räme *Bog* | 20.1 | 6.7 | 4.3 | | | |
| » | » ..... | CIT | 20.7 | 7.1 | 4.4 | | | |
| » | » ..... | HMT | 18.8 | 7.1 | 4.2 | | | |
| » | » ..... | VT | 20.2 | 7.4 | 3.8 | | | |
| » | » ..... | MT | 22.2 | 7.3 | 3.6 | 20.4 | 7.20 | 3.90 |

Taulukkoa tarkasteltaessa huomio kiintyy ennen kaikkea Pohjois-Suomen puiden alhaiseen kesäpuuprosenttiin ja siitä johtuvaan pieneen kutistumiseen.

Taulukon numeroita vastaan voidaan tehdä kylläkin se huomautus, että se on laadittu liian pienen aineiston perusteella ja että ryhmät eivät edusta tasapuolisesti Suomen eri osien metsiä. Nämä muistutukset voivat olla paikallaan, mutta kun kuhunkin ryhmään on valittu eri seutujen erilaisia ja yleisimpiä metsätyyppejä edustajiksi, eivät keskiarvotkaan voine olla kovin kaukana oikeasta. Joka tapauksessa Pohjois-Suomen puiden ero on niin ilmeinen, ettei voine olla epäilystäkään niiden huonommuudesta Etelä-Suomen puiden rinnalla.

**Kutistumisprosentin ja vuosilustojen vahvuuden suhde.**

Samoin kuin vuosilustojen vahvuutta on pidetty yleisenä puun hyvyyden mittapuuna, on kutistumisenkin suhteen kapealustoinen puu asetettu leveälustoisen edelle sen takia, että edellinen muka kutistuu vähemmän kuin jälkimmäinen.

Edellä on jo tultu siihen tulokseen, että kutistumis-% on varsin kiinteästi riippuvainen kesäpuun määrästä, ja myöskin että vuosilustojen vahvuus ja kesäpuun määrä ovat toisistaan verraten vähän riippuvaisia, joskin niidenkin välillä on jonkinlaista säännönmukaisuutta havaittavissa. Tästä johtuu, että vuosilustojen vahvuuden perusteella kutistumisprosenttia ei voi täsmälleen etukäteen määritellä.

Kokeiden tulosten keskiarvot näkyvät seuraavasta asetelmasta.

| Vuosilustoja sm:llä | Kutistumis-% sivuajan suuntaan | säteen suuntaan |
|---|---|---|
| 2—4 | 6.4 | 3.0 |
| 5—9 | 8.0 | 4.1 |
| 10—15 | 8.0 | 4.6 |
| 16+ | 7.2 | 4.2 |

Asetelmasta havaitaan, että kutistumis-% seuraa vuosilustojen vahvuutta jotenkin samalla tavalla kuin kesäpuuprosenttikin (vrt. kuvaa 4), joten se väite, että kutistuminen riippuu kesäpuun määrästä, saa uuden vahvistuksen.

**Kutistumisprosentin ja ominaispainon suhde.**

Aiemmin on jo todettu, että kesäpuuprosentin ja ominaispainon välillä vallitsee verraten kiinteä suhde, sekä samoin, että kesäpuun

määrä vaikuttaa ratkaisevasti kutistumiseen. Tästä seuraa, että myöskin ominaispainon ja kutistumisen välillä on tietty suhde. Tätä tutkimuksen tulokset osoittavatkin, kuten seuraavasta keskiarvojen yhdistelmästä näkyy.

Taulukko 2. **Ominaispaino ja kutistumis-%.**
Table 2. *Specific gravity and shrinkage.*

| Ominaispaino *Specific gravity* | Kutistumis-% *Shrinkage, per cent* | |
|---|---|---|
| | Säteen suuntaan *Radial* | Sivuajan suuntaan *Tangential* |
| < 0.40 | 3.38 | 6.39 |
| 0.41—0.45 | 3.94 | 7.37 |
| 0.46—0.50 | 4.42 | 8.00 |
| 0.51 + | 4.78 | 8.57 |

## Tutkimus B.

### Aineisto ja sen käsittely.

Aineisto on pääasiallisesti kerätty Kajaanin Puutavara OY:n sahalta.

Puita sahalle kuljetettaessa, etenkin pitkien uittoreittien takaa, eri metsistä ja erilaisilta kasvupaikoilta otetut tukit menevät sekaisin. Sahattaessa ne lajitellaan ainoastaan puulajin ja latvaläpimitan perusteella, ja useimmiten on melkeinpä mahdotonta muita lajitteluperusteita ottaakaan huomioon.

Tällaisessa etupäässä käytännön vaatimuksia silmällä pitäen suoritetussa tutkimuksessa on siitä syystä myöskin aineiston jaoittelussa koetettava noudattaa käytännössä kysymykseen tulevia perusteita.

Puulaji on tietenkin otettava huomioon myöskin kutistumistutkimuksia tehtäessä, mutta puun paksuudella ei sen sijaan ole tiettävästi ainakaan mitään suoranaista merkitystä.

Kun kuitenkin puun vuosilustojen vahvuudella ja kesäpuun suhteellisella runsaudella on tietty vaikutuksensa kutistumisen määrään ja kun käytännössäkin voidaan ainakin jossakin määrin suorittaa tukkien lajittelua näiden selvästi havaittavien ulkonaisten merkkien perusteella, on esillä olevan aineiston keruussa otettu huomioon puulajin lisäksi myöskin nämä seikat.

Käytäntöä parhaiten vastaavia tuloksia saataisiin tietenkin, jos kaikki kokeet suoritettaisiin tavallista kokoa olevilla lankuilla ja laudoilla. Kun kuitenkin puun kussakin kutistumisasteessa sisäl-

tämä vesimäärä on tiedettävä ja tämä voidaan saada selville ainoastaan siten että kappale lopuksi kuivatetaan absoluuttisen kuivaksi, ja tämän suorittaminen suurien lankkujen ja lautojen suhteen taas tuottaisi erikoisia vaikeuksia ja veisi pitkän ajan, täytyi tyytyä pienehköjen koekappaleiden ottoon. Näitä otettiin ensin siten, että sahattiin n. ½ jalan mittainen kappale laudan tai lankun keskiosasta, mutta kun tällaiset useassa tapauksessa verraten massiiviset kappaleet halkeilivat ja käyristyivät kuivatettaessa niin pahoin, että tarkkoja mittoja oli niistä mahdoton saada, oli niistä luovuttava. Sen jälkeen koekappaleet veistettiin ohuiksi, korkeintaan n. 1 sm:n vahvuisiksi. Niillä oli se hyvä puoli, että ne kuivuivat nopeasti ja tasaisesti, halkeilematta ja kovertumatta ja että niistä myöskin aina saattoi valmistaa mahdollisimman selviä säde- ja tangenttileikkauksia. Kappaleet kuivattiin kuivausuunin lämminilmatuulettajasta suoraan otetussa kuumassa ilmavirrassa, jossa ne kuivuivat parissa päivässä absoluuttisen kuiviksi (erikoisessa kuivauskaapissa, jossa lämpö oli 100° C:n yläpuolella, tehdyissä koekuivauksissa kappaleet eivät enää keventyneet). Punnitukset tehtiin $^1/_{100}$ gramman ja mittaukset $^1/_{10}$ mm:n tarkkuutta käyttäen. Kappaleiden paino oli vaihdellen 50—400 g ja leveys 4—10 sm.

On kyllä myönnettävä, että näin pienten, varsinkin näin ohuiden kappaleiden kutistuminen ei ole aivan samanlaista kuin esim. paksujen lankkujen, joissa, etenkin jos kuivuminen tapahtuu nopeaan, pintakerrosten kuivuttua ensin syntyy jännitteitä, jotka kyllin voimakkaiksi kehityttyään aiheuttavat pintahalkeamia tai ainakin vähäisiä, silmin näkymättömiä repeämiä solujen välille. Kun puu kuivuu tähän asenteeseen, ei se enää myöhemminkään, sisäosien kuivuttua ja supistuttua, kutistu, vaan jää tähän venyttyneeseen tilaan, ja koko kutistuminen on pienempi kuin siinä tapauksessa, että se olisi saanut esteettömästi tapahtua. Saman tapainen ilmiö esiintyy myöskin lankussa, jonka toinen leveä sivu kulkee ytimen kautta tai läheltä sitä. Tämä pinta on kokonaan sädeleikkausta (vrt. kuvaa 3 II, s. 21), ja se kutistuu paljon vähemmän kuin vastainen sivu, joka suurelta osaltaan on tangenttileikkausta. Nämä eri suuret kutistumiset aiheuttavat lankun kovertumisen, tai jos se on tapulissa puristuksessa, niin ettei se pääse kovertumaan, sen, että ytimen vastaisella puolella oleva osa kuivuessaan jää venytystilaan.[1]) Jos tältä

[1]) Ytimen vastaisen puolen suurempi kutistuminen aiheuttaa tietysti puristusjännitettä ytimen puoleisella sivulla, mutta kun puun puristuslujuus on monin verroin suurempi kuin vetolujuus poikkisyin, ei tämä puristus ytimen puolella saa aikaan yhtään suurempaa kutistumista.

sivulta ennen kuivattamista leikataan ohut levy, kutistuu se paljon enemmän kuin sitä vastaava paksun lankun pinta.

Ohuiden koekappaleiden kutistuminen on siis yleensä suurempi kuin lankkujen, varsinkin paksujen lankkujen. Ne osoittavat niitä maksimiarvoja, mihin saakka kutistuminen puussa voi mennä, jollei mitään estäviä tekijöitä ole. Tällaisilla raja-arvoillakin voi kuitenkin olla merkitystä, sillä käytännössä kutistumisvara on jätettävä niin runsaaksi, että se riittää kaikissa tapauksissa.

### Tutkimusten tulokset.

Tutkimukset jaettiin kahteen ryhmään, joista ensimmäisessä tarkastettiin säteen ja sivuajan suuntaisen kutistumisen prosenttista määrää yleensä, toisessa kutistumisen alkamiskohtaa ja sitä, miten se siitä lähtien suhtautuu vesipitoisuuteen.

Ensimmäinen ryhmä käsitti kaikkiaan 87 koetta, enimmäkseen mäntyä. Kun kuusikoekappaleiden vähäisen määrän perusteella ei vielä voitu havaita minkäänlaista selvää eroa männyn ja kuusen kutistumisen välillä, yhdistettiin nämä molemmat puulajit, joten seuraavassa esitettävät tulokset koskevat yhteisesti molempia.

Kutistumisen määrä on ilmaistu prosentteina alkuperäisestä koosta, joka on todettu puun ollessa tuoreena heti sahauksen jälkeen.

#### *Kutistumisprosentit.*

Aineisto jaettiin viiteen luokkaan vuosilustojen vahvuuden perusteella siten, että ensimmäiseen luokkaan otettiin koekappaleet, joissa vuosilustoja oli 2—2½ sm:llä, seuraavissa oli vastaavasti 3, 4, 5—9 ja 10+ vuosilustoa sm:llä.

Taulukossa 3 ovat esitettyinä kunkin luokan kutistumisprosenttien keskiarvo ja vaihteluraja sekä tangentin että säteen suuntaan ja kosteusprosentin (absol. kuivasta painosta lasketun) vaihtelurajat.

Taulukko 3. **Vuosilustojen vahvuus ja kutistuminen.**
Table 3. *Thickness of yearrings and shrinkage.*

| Luokka *Class* | Kosteusprosentin vaihtelurajat (%) *Limits of variation in moisture content, per cent* | Sivuajan suuntaan *Tangential* | | Säteen suuntaan *Radial* | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Kutistumisprosentin vaihtelurajat *Limits of variation in shrinkage* | Kutistumisprosentin keskiarvo *Average shrinkage, per cent* | Kutistumisprosentin vaihtelurajat *Limits of variation in shrinkage* | Kutistumisprosentin keskiarvo *Average shrinkage, per cent* |
| I (2—2 ½ vl. sm) *Yearrings per cm.* | 31.1—157.1 | 5.3—6.5 | 5.9 | 2.4—2.9 | 2.7 |
| II ( 3 vl. sm.) | 32.2—159.5 | 5.6—6.3 | 5.9 | 2.9—3.5 | 3.2 |
| III ( 4 » » ) | 52.4—164.6 | 5.7—7.9 | 6.6 | 2.9—4.4 | 4.0 |
| IV (5—9 » » ) | 35.4—156.0 | 5.4—7.3 | 6.4 | 3.5—5.2 | 4.4 |
| V (10+ » » ) | 34.6—169.9 | 5.4—7.6 | 6.5 | 3.4—5.9 | 4.4 |

Tarkasteltaessa kosteusprosentin vaihtelurajoja havaitaan, että ne ovat verraten suuret. Kokeissa todettiin kuitenkin sama seikka, mikä jo aiemmin teoreettisesti on selitetty ja jäljempänä erikoiskokeissa vielä ilmenee, nim. että niin kauan kuin kosteuspitoisuus on puusyitten kyllästymispisteen yläpuolella, ei sen suurempi tai pienempi määrä vaikuta vähääkään kutistumiseen. Kun varsinkin kauan uitetussa tavarassa, jollaista koeaineisto oli, kosteuspitoisuus on aina kyllästymispisteen yläpuolella, ei siinä alkuperäistä kosteusmäärää tarvitse ottaa huomioon kutistumisilmiöitä tutkittaessa.

Useimmissa metsäteknologisissa teoksissa ilmoitetaan vain puun kutistuminen sen kuivuessa tuoreesta ilmakuivaan (12 tai 15 %:n) tilaan. Helander esim. mainitsee Jankan mukaan kuusen ja männyn kutistuvan seuraavasti tuoreesta 12 % kosteutta sisältäväksi muuttuessaan:

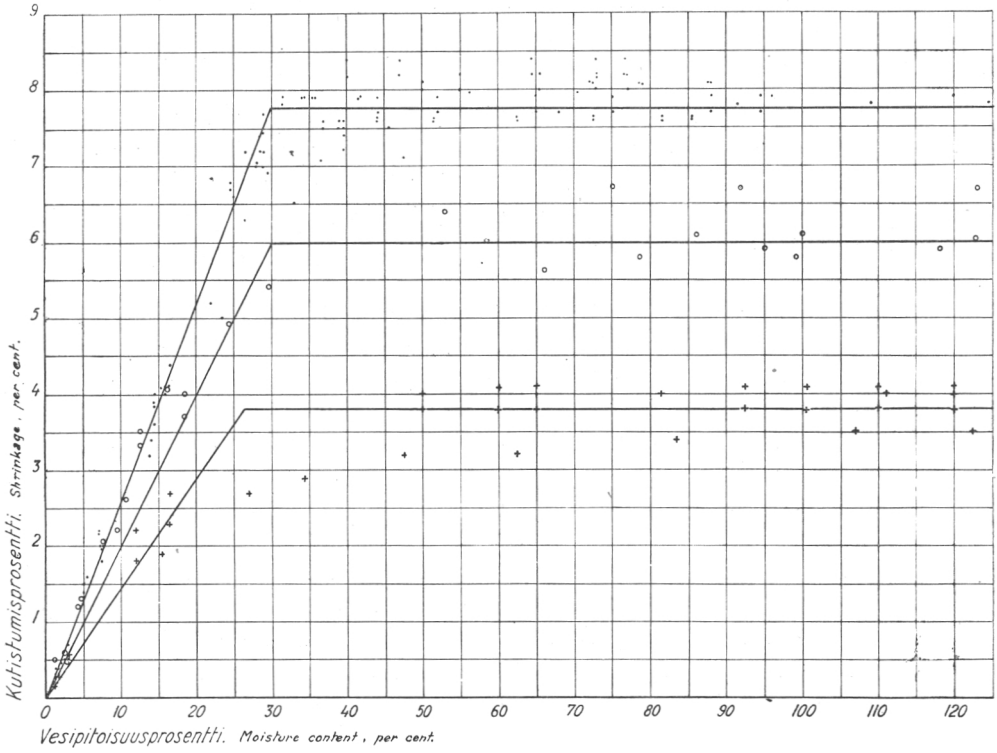
| | Sydänpuu | | Pintapuu | |
|---|---|---|---|---|
| | säteen suuntaan % | sivuajan suuntaan % | säteen suuntaan % | sivuajan suuntaan % |
| Kuusi ..... | 2.24 | 5.11 | 2.38 | 4.52 |
| Mänty ..... | 1.90 | 4.48 | 1.83 | 3.91 |

Levón taas mainitsee kuusen kutistumisen säteen suuntaan olevan keskimäärin 2 % ja sivuajan suuntaan 4.5 % sekä männyn vastaavien lukujen 2.2 ja 4.4. Näilläkin luvuilla tarkoitetaan ilmeisesti kutistumista tuoreesta ilmakuivaan tilaan. — Koehler & Thelenin teoksessa mainitaan uunikuivan männyn kutistuminen säteen suuntaan 4.6 %:ksi, sivuajan suuntaan 7.2 %:ksi, Engelmannin kuusen vastaaviksi luvuiksi 3.4 ja 6.6, punakuusen (*Picea rubra*) 3.8 ja 7.8, Sitkan kuusen 4.5 ja 7.8 ja valkokuusen (*Picea alba*) 3.7 ja 7.3.

Koska käsite »ilmakuiva» on varsin epävarma, erittäinkin jos siksi otetaan se kuivuusaste, mikä saavutetaan lautatarhakuivauksella, tutkimatta koekappaleiden avulla vesipitoisuutta tarkalleen, on esillä olevia tutkimuksia tehtäessä kaikki koekappaleet kuivattu absoluuttisen kuiviksi. Edellä olevan taulukon numerot tarkoittavat siis puun kutistumista tuoreesta absoluuttiseen kuivuuteen; niistä kyllä myöhemmin esitettävien käyrien avulla saadaan käytännössä tärkeä ilmakuivan puun kutistuminen johdetuksi.

Vertailtaessa taulukossa 3 esitettyjä kutistumisprosentteja aiemmin s. 29 esitettyihin havaitaan, että edelliset ovat jonkin verran pienemmät kuin jälkimmäiset. Tämä viittaa jälleen samaan seikkaan, mihin jo ennen (s. 30) on viitattu, nim. että pohjois-suomalaisessa puussa on keskimäärin vähemmän kesäpuuta ja että se myöskin

kutistuu vähemmän kuin Etelä-Suomen puu. Eroavaisuuksiin voi tosin myöskin vaikuttaa se, että toisen koesarjan aineisto käsittää uittamatonta, toisen uitettua puuta.




Kuva 6.
*Fig. 6.*

### *Kutistumisen alkukohta ja suhde kosteuspitoisuuteen.*

Kutistumisilmiötä teoreettisesti käsiteltäessä tultiin siihen tulokseen, että kutistuminen puussa alkaa vasta sitten, kuin kosteuspitoisuus on laskenut puusyiden kyllästymispisteeseen.

Graafisessa piirroksessa, kuva 6, on esitetty tätä koskevien kokeiden tuloksia. Varsinkin ylin ryhmä osoittaa, että kutistuminen alkaa varsin jyrkästi silloin, kuin kosteuspitoisuus on n. 30 %:n tienoilla; tosin jo hiukan ennenkin tätä pistettä kutistumista ilmenee pienessä määrässä, mutta tämä voi johtua, kuten jo aiemmin on huomautettu, siitä seikasta, että koekappaleiden pintakerroksien kosteuspitoisuus

laskee kyllästymispisteen alapuolelle ja niiden kutistuminen alkaa jo silloin, kuin sisäkerroksien kosteuspitoisuus on vielä 30 %:n yläpuolella. Tästä kääntöpisteestä alkaen kutistuminen näyttää tapahtuvan jotenkin suoraviivaisesti, siis rinnan kuivumisen kanssa, joten puun kuivuessa johonkin tiettyyn kosteusasteeseen sen kutistuminen voidaan laskea joko kaavan $\frac{30-k}{30} \times a$ avulla, jossa k = kulloinkin kysymyksessä oleva kosteusprosentti ja a = puun kutistumisprosentti sen kuivuessa absoluuttisen kuivaan tilaan (kutistumisen oletetaan alkavan silloin kosteuden ollesssa 30 %), tai graafisesti edellä esitetyn piirroksen avulla. Sellainen puu siis, jonka kokonaiskutistumisen tiedetään olevan 6 %, kutistuu 20 %:iin kuivuessaan 2 %, 15 %:iin kuivuessaan 3 % jne.

Edellä esitetystä graafisesta piirroksesta ei ilmene selvästi muuta kuin enimmän kutistuvan ryhmän kutistumisen alkukohta, sillä muissa ryhmissä havaintoja on sattunut aivan vähän kääntöpisteen lähettyville.

Aiemmin eri lähteiden perusteella puusyiden kyllästymispisteen alimman rajan on edellytetty olevan 26 %:n kohdalla ja samalla on myöskin mainittu, että eri puulajeilla kyllästymispiste voi olla tätä korkeammallakin. Esillä oleva tutkimus viittaa siihen, että männyn kyllästymispiste on 30 %:n vaiheilla, mutta käytetyn, verraten pienen aineiston perusteella siitä ei voida vielä mitään varmaa sanoa. Jäljempänä esitettävien, käytäntöä silmällä pitäen tehtyjen laskelmien perustaksi tämä kuitenkin kelpaa, sillä mahdollinen muutaman prosentin virheellisyys ei vaikuta häiritsevästi näihin laskelmiin.

## Tutkimuksissa saatujen tulosten soveltaminen käytäntöön.

### Sahatavaran kutistuminen.

Kun sahatukit sahataan aina tuoreina, on sahatavaraan jätettävä niin paljon ylimittaa, että se vielä laivauskuivaksi kuivuttuaankin täyttää siltä vaaditut mitat.

Yksinkertaisin keino kutistumisvaraa määrättäessä olisi tietenkin se, että sitä jätettäisiin aina niin paljon, että se varmasti riittäisi kaikissa tapauksissa, mutta kun sitä täten jäisi usein liian paljon ja sahaajalle siten aiheutuisi tarpeetonta raaka-aine- ym. tappiota, on ylimitta koetettava järjestää niin, että se juuri riittää korvaamaan kuivumisesta aiheutuvan kutistumisen.

Kun erilainen puu kutistuu eri suuressa määrin, olisi kutistumisvara kussakin tapauksessa siis määriteltävä aina kyseessä olevien eri tekijäin mukaan. Aiemmin on havaittu, että tärkeimpiä kutistumiseen vaikuttavia seikkoja ovat puun ominaispaino, kevät- ja kesäpuun suhteellinen runsaus sekä puun kosteuspitoisuus, jos se on puusyiden kyllästymispisteen alapuolella. Näitä näkökohtia ei käytännössä kuitenkaan voi ottaa huomioon ensinnäkään siitä syystä, että silloin jotenkin jokainen pölkky olisi sahattava eri mitoille, joka käytännössä on mahdotonta. Lisäksi puiden lajittelu ominaispainon sekä kevät- ja kesäpuun suhteellisen runsauden perusteella olisi kovin hankalaa, ja vielä vaikeampaa olisi lajittelu kosteuspitoisuuden mukaan, sillä sen määrääminen olisi vaivalloista.

Aiemmin käytettiin sahausmittoina Norjan tuumia, jotka ovat 3 % suuremmat kuin Englannin tuumat. Tätä mittakaavaa käytettäessä on kuitenkin tultu huomaamaan, että pienikokoiseen tavaraan on tullut liian vähän kuivumisvaraa, suurikokoiseen liian paljon, ja sen tähden on mittakaavaa muutettu siten, että pienille mitoille on jätetty suhteellisesti enemmän kuivumisvaraa kuin Norjan tuuman antama 3 %, isomittaiselle tavaralle taas vähemmän. Näin on tultu sellaisiin kuivumisvaroihin, kuin esim. L e v ó n esittää teoksessaan »Puun keinotekoinen kuivaaminen» s. 30. Nämä samat luvut esitetään uudelleen taulukossa 4; havainnollisuuden vuoksi on kutistumisvarat laskettu myöskin prosentteina sahausmitoista (tuoreista).

Taulukko 4. **Kutistumisvaroja.**

Table 4. *Shrinkage allowances.*

| Kuivan sahatavaran mitat *Dimensions of dry sawn goods* | | Norjan mittojen mukaan *By Norwegian measures* | | | Eräillä Pohjois-Suomen sahoilla tiiviskasvuiselle uitetulle männylle käytetyt mitat *Dimensions used on some North Finnish sawmills for close grained floated pine* | | | Eräillä Keski- ja Etelä-Suomen sahoilla hyötykasvuiselle uitetulle männylle käytetyt mitat *Dimensions used on some South Finnish sawmills for rapidly grown, floated pine* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Engl." *Inches* | mm *mm* | Sahausmitta, mm *Dimensions when sawn, mm* | Kuivumisvara, mm *Allowance for shrinkage, mm* | | Sahausmitta, mm *Dimensions when sawn, mm* | Kuivumisvara, mm *Allowance for shrinkage, mm* | Kuivumisvara, % *Allowance for shrinkage, per cent* | Sahausmitta, mm *Dimensions when sawn, mm* | Kuivumisvara, mm *Allowance for shrinkage, mm* | Kuivumisvara, % *Allowance for shrinkage, per cent* |
| 1/2 | 12.7 | 13.1 | 0.4 | | — | — | — | 13.7 | 1.0 | 7.7 |
| 5/8 | 15.9 | 16.3 | 0.4 | | 17.5 | 1.6 | 9.1 | 17.0 | 1.1 | 6.5 |
| 3/4 | 19.1 | 19.6 | 0.5 | | 20.7 | » | 7.7 | 20.0 | 0.9 | 4.5 |
| 7/8 | 22.2 | 22.9 | 0.7 | | 23.8 | » | 6.7 | 23.5 | 1.3 | 5.5 |
| 1 | 25.4 | 26.1 | 0.7 | | 27.8 | 2.4 | 8.6 | 26.5 | 1.1 | 4.2 |
| 1 1/8 | 28.6 | 29.4 | 0.8 | | 31.0 | » | 7.7 | 30.0 | 1.4 | 4.7 |
| 1 1/4 | 31.8 | 32.6 | 0.8 | | 34.2 | » | 7.0 | 33.0 | 1.2 | 3.6 |
| 1 1/2 | 38.1 | 39.2 | 1.1 | | 40.5 | » | 5.9 | 39.5 | 1.4 | 3.5 |
| 1 3/4 | 44.5 | 45.7 | 1.2 | | 46.9 | » | 5.1 | 46.0 | 1.5 | 3.3 |
| 2 | 50.8 | 52.3 | 1.5 | | 53.2 | » | 4.5 | 52.5 | 1.7 | 3.2 |
| 2 1/2 | 63.5 | 65.4 | 1.9 | | 65.9 | » | 3.6 | 65.0 | 1.5 | 2.3 |
| 3 | 76.2 | 78.4 | 2.2 | | 79.4 | 3.2 | 4.0 | 78.0 | 1.8 | » |
| 3 1/2 | 88.9 | 91.5 | 2.6 | | 92.1 | » | 3.5 | 91.0 | 2.1 | » |
| 4 | 101.6 | 104.6 | 3.0 | | 104.8 | » | 3.0 | 104.0 | 2.4 | » |
| 4 1/2 | 114.3 | 117.7 | 3.4 | | 117.5 | » | 2.7 | 117.0 | 2.7 | » |
| 5 | 127.0 | 130.7 | 3.7 | | 130.2 | » | 2.5 | 130.0 | 3.0 | » |
| 5 1/2 | 139.7 | 143.8 | 4.1 | | 142.9 | » | 2.2 | 143.0 | 3.3 | » |
| 6 | 152.4 | 156.9 | 4.5 | | 157.2 | 4.8 | 3.1 | 156.0 | 3.6 | » |
| 6 1/2 | 165.1 | 170.0 | 4.9 | | 169.9 | » | 2.8 | 168.5 | 3.4 | 2.0 |
| 7 | 177.8 | 183.0 | 5.2 | | 182.6 | » | 2.6 | 181.5 | 3.7 | » |
| 7 1/2 | 190.5 | 196.1 | 5.6 | | 195.3 | » | 2.5 | 194.5 | 4.0 | » |
| 8 | 203.2 | 209.2 | 6.0 | | 208.0 | » | 2.3 | 207.0 | 3.8 | 1.8 |
| 8 1/2 | 215.9 | 222.3 | 6.4 | | 220.7 | » | 2.2 | 220.0 | 4.1 | » |
| 9 | 228.6 | 235.3 | 6.7 | | 234.1 | 5.5 | 2.3 | 233.0 | 4.4 | » |
| 10 | 254.0 | 261.5 | 7.5 | | 259.5 | » | 2.1 | 258.5 | 4.5 | 1.7 |
| 11 | 279.4 | 287.7 | 8.3 | | 284.9 | » | 1.9 | 284.5 | 5.1 | » |
| 12 | 304.8 | 313.8 | 9.0 | | 310.3 | » | 1.8 | 310.5 | 5.7 | 1.8 |

Se mielipide, että pienimittainen sahatavara kutistuu enemmän kuin isomittainen, perustunee osaksi todellisiin havaintoihin, osaksi virhepäätelmiin. Todellisuuspohjaa siinä on sikäli, että pieni tavara useimmiten kuivuu paljon alhaisempaan kosteusasteeseen, kuin mitä laivauskuivalta tavaralta vaaditaan ja siis myös kutistuu enemmän; vahva tavara sitä vastoin on, etenkin sisäosistaan, vielä laivattaessakin usein huomattavasti tuoreempaa kuin »laivauskuivaa» ja on siis ennättänyt kutistua verraten vähän. Toiseksi pienen tavaran kutistumisella ei ole sellaisia esteitä kuin järeämittaisen tavaran kuivuessa syntyvät, aiemmin selostetut sisäiset jännitteet, jotka ehkäisevät vuoroin pinta-, vuoroin sisäkerrosten kutistumista. Kolmanneksi

pienimittainen sahatavara on tavallisimman sahattu pölkyn pintaosista, joten se on leveydelleen jotenkin puhdasta tangenttileikkausta ja tietenkin kutistuu tähän suuntaan suhteellisesti enemmän kuin sydänpuusta otetut lankut, joiden leveä sivu on sädeleikkauksen suuntainen. Kun sahatavaran mittoja tarkasteltaessa pidetään tavallisimmin silmällä vain leveyttä, etenkin pienessä tavarassa, tulee silloin järeässä tavarassa mitatuksi sädeleikkauksen, pienessä tavarassa tangenttileikkauksen suuntainen ulottuvaisuus ja sen kutistuminen. Sen lisäksi näissä mittauksissa kiinnitetään huomio enemmän absoluuttisiin kuin suhteellisiin lukuihin, useinkaan huomaamatta sitä, että esim. $^1/_8$ tuuman ylimitta $^1/_2$:ta tuumaa kohti vaikuttaa 16 kertaa enemmän kuin sama ylimitta 8:aa tuumaa kohti. Täten pieni tavara, etenkin paksuudeltaan, jää usein suhteellisesti hyvinkin paljon ylimittaiseksi, ilman että siihen kiinnitetään sanottavaa huomiota.

Joskin pienen tavaran leveyteen on jätettävä jonkin verran runsaammin kutistumisvaraa kuin järeään tavaraan, taulukossa 4 esitetyt numerot ovat ilmeisesti virheellisiä siinä suhteessa, että siinä on pienimmille mitoille jätetty kovin suuret kutistumisvarat. Sen lisäksi näyttää siltä, että käytännössä näitäkin mittoja vielä usein ylitetään. Tästä johtuu, että etenkin pieni sahatavara on tavallisesti vielä laivauskuivanakin hyvin suuresti ylimittaista. Tätä osoittavat allekirjoittaneen suorittamat mittaukset, joista taulukossa 5 esitetään muutamia eräältä Pohjanlahden suursahalta saatuja tuloksia.

Taulukko 5. **Sahatavaran ylimittoja.**
Table 5. *Oversize of sawn goods.*

| Tuoreen tavaran *In green sawn goods* | | | | Laivauskuivan tavaran *In shipping dry sawn goods* | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Paksuus *Thickness* | | Leveys *Width* | | Paksuus *Thickness* | | Leveys *Width* | |
| Nominaalinen, tuumaa *Nominel measure, in.* | Ylimitta, % *Oversize, per cent* | Nominaalinen, tuumaa *Nominel measure, in.* | Ylimitta, % *Oversize, per cent* | Nominaalinen, tuumaa *Nominel measure, in.* | Ylimitta, % *Oversize, per cent* | Nominaalinen, tuumaa *Nominel measure, in.* | Ylimitta, % *Oversize, per cent* |
| ½ | 16.95 | 3 | 4.17 | ½ | 14.27 | 3 | 2.13 |
| ¾ | 14.90 | 4 | 3.75 | ¾ | 12.00 | 4 | 2.00 |
| 1 | 4.72 | 4 ½ | 3.00 | 1 | 3.64 | 4 ½ | 1.51 |
| 1 ¼ | 9.17 | 5 | 3.28 | 1 ¼ | 7.40 | 5 | 1.73 |
| 1 ½ | 7.81 | 6 | 2.29 | 1 ½ | 4.46 | 6 | 0.95 |
| 2 | 7.39 | 7 | 3.20 | 2 | 4.10 | 7 | 1.62 |
| 2 ½ | 5.30 | 8 | 3.13 | 2 ½ | 2.22 | 8 | 1.48 |
| 3 | 4.78 | 9 | 2.16 | 3 | 3.57 | 9 | 0.87 |
| 4 | 4.00 | — | — | 4 | 2.10 | — | — |

Jokainen taulukossa esitetyistä ylimittaprosenteista on saatu laskemalla aritmeettinen keskiarvo useista kymmenistä havainnoista. Tuoreen tavaran mittaukset toimitettiin heti tavaran tultua ulos sahasta, laivauskuivan tavaran mittaukset taas kuivissa tapuleissa ja lotjissa. Kosteuspitoisuuden tutkimuksia ei tehty, vaan laivauskuivaksi katsottiin sellainen tavara, jota todella laivattiin ja joka kaikkien niiden merkkien mukaan, joiden avulla laivauskuivuus käytännössä määritellään, oli näin kuivaa. Koska tapuleissa tuli mitatuksi etupäässä sen ulkoreunoilla olevaa tavaraa, oli se ehkä jossakin määrin liiaksikin kuivaa.

Kun tuoreen ja kuivan tavaran mittauksia ei suoritettu samoissa tavaraerissä, ei voi varmasti sanoa, olisiko mitattu tuore tavara ollut kuivuttuaan juuri saman verran ylimittaista, kuin kuivan tavaran mittaukset osoittavat, mutta kun sekä kuivan että tuoreen tavaran samojen paksuusluokkien, esim. ½″, ¾″ ja 1 ¼″, prosenttiluvut muodostavat samantapaiset sarjat, on ilmeistä, että kysymyksessä olevalla sahalla tietyt laadut sahattiin säännöllisesti tavallista enemmän ylimittaisiksi.

Osoitukseksi siitä, miten suuria kuutiohäviöitä sahanomistaja joutuu kärsimään, jos sahatavarassa vielä laivauskuivanakin on yllä esitetyn suuruisia ylimittoja, on seuraavassa asetelmassa laskettu ylimitta tilavuusprosentteina muutamille tavaran suuruuksille.

| Sahatavarakoko | Liikakuutio |
|---|---|
| ½″ × 3″ | 16.40 % |
| ½″ × 4″ | 16.00 » |
| ¾″ × 4″ | 14.00 » |
| ¾″ × 5″ | 13.73 » |
| 1″ × 4″ | 5.64 » |
| 1″ × 5″ | 5.37 » |
| 1 ¼″ × 4″ | 9.40 » |
| 1 ¼″ × 5″ | 8.13 » |
| 1 ½″ × 5″ | 6.19 » |
| 2″ × 6″ | 5.05 » |
| 2″ × 7″ | 5.72 » |
| 3″ × 8″ | 5.05 » |
| 3″ × 9″ | 4.44 » |

Joskaan edellä esitettyjen pistokokeiden tuloksia ei voi yleistää kaikkia sahoja tai koko maata edustaviksi, osoittavat ne, että Suomessa usein jätetään ylimittaa sahatavaraan aivan liian paljon, etenkin pienen tavaran vahvuuteen. Kun sitä paitsi mittauksissa havait-

tiin, että ainoastaan aivan aniharva kappale oli tarkalleen mitan täyttävä tai alimittainen, voitaisiin ylimitan keskiarvo alentaa, ilman että vielä jouduttaisiin liian suureen alimittaisen tavaran prosenttimäärään.

Suomalaisen sahatavaran ylimittaisuutta todistavat myöskin useiden haastateltujen rahtilaivankapteenien lausunnot. He väittivät yksimielisesti, että heidän lastatessaan Ruotsin satamissa heidän laivoihinsa mahtuu huomattavasti enemmän sahatavaraa kuin Suomessa lastattaessa, etenkin jos sahatavara tulee pieniltä sahoilta. Oman mielipiteensä mukaan kapteenit otaksuivat näiden eroavaisuuksien johtuvan siitä, että suomalainen sahatavara on enemmän ylimittaista kuin ruotsalainen. Vaikkakaan nämä todistukset eivät nojaudu mihinkään tarkkoihin mittauksiin, on niille kuitenkin annettava täysi arvo siitä syystä, että ne perustuvat pitkien aikojen kuluessa tehtyihin ja suuriin tavaraeriin kohdistuviin havainnoihin, ja ne kuvaavat yleistä keskiarvoa varmasti paremmin kuin tarkatkaan erikoistutkimukset, joiden aineistomäärä ei tavallisesti voi olla varsin suuri ja koko maata tai laajaa aluetta edustava.

Laivojen kapteenit olivat havainneet, että varsinkin pienien sahojen tuotanto oli melkoisesti ylimittaista. Saman huomion teki myös kirjoittaja tarkastaessaan useiden pikkusahojen tuotteita. Eräissä tapauksissa mitat olivat niin paljon oikeista poikkeavia, että oli vaikea päätellä, minkä mittaiseksi tavara oli sahattaessa aiottu.

Edellä esitetty viittaa siis siihen, että Suomessa käytetään liian suurta sahatavarain kutistumisvaraa. On näin ollen mielenkiintoista tarkastella, miten esillä olevassa tutkimuksessa saadut kutistumismäärät käyvät yksiin taulukossa 4 esitettyjen kutistumisvarojen kanssa.

Aiemmin esitetyt kutistumismäärät ovat eri lailla ryhmiteltyjen tutkimustulosten aritmeettisia keskiarvoja. Vaihtelu näiden keskiarvojen kahden puolen on, kuten jo on huomautettu, verraten suuri, joten keskiarvoja sinänsä ei voi käyttää kutistumisvaraa määrättäessä, koska silloin huomattava osa tavarasta jäisi vajaamittaiseksi. On siis etsittävä sellainen kutistumisen ylin raja, jonka alapuolelle ainakin suurin osa kaikista tapauksista jäisi. Tällaisissa laskelmissa käytetään tavallisesti matemaattistilastollisia menettelytapoja, joiden avulla lasketaan todennäköiset maksimiarvot.

Sen jälkeen kuin aineisto on sopivasti ryhmitelty, lasketaan kunkin ryhmän kutistumisen aritmeettinen keskiarvo ja sen keskipoikkeama ($\sigma$) kaavan $\sigma = \pm \sqrt{\frac{\Sigma a^2}{n-1}}$ avulla, jossa $a$ = kunkin ha-

vainnon poikkeama keskiarvosta ja n = havaintojen lukumäärä. Niiden rajojen sisälle, jotka saadaan, kun keskiarvosta vähennetään ja siihen lisätään keskipoikkeaman kaksinkertainen määrä, lasketaan jäävän 95 % kaikista tapauksista.

Seuraavassa esitetään muutamia eri tavalla ryhmitellyn aineiston perusteella saatuja kutistumisen todennäköisiä maksimiarvoja.

Kajaanissa kerätty aineisto (tutkimus B) on ryhmitetty vain vuosilustojen vahvuuden mukaan kolmeen luokkaan, joissa luokassa I oli 2—4 vuosilustoa sm:llä, luokassa II 5—9 vl. sm:llä ja luokassa III 10+ vl. sm:llä.

Taulukko 6. **Kutistumisen keskipoikkeamat ja maksimirajat.**
Table 6. *Standard deviation and maximum values of the shrinkage.*

| Luokka *Class* | Sivuajan suuntaan *Tangential* | | | Säteen suuntaan *Radial* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\sigma$ | $m+2\sigma$ | $\frac{m+2\sigma}{3}$ | $\sigma$ | $m+2\sigma$ | $\frac{m+2\sigma}{3}$ |
| I ..... | 0.718 | 7.835 | 2.61 | 0.400 | 4.400 | 1.47 |
| II ..... | 0.541 | 7.482 | 2.49 | 0.513 | 5.426 | 1.81 |
| III ..... | 0.878 | 8.255 | 2.75 | 0.817 | 6.035 | 2.01 |

Taulukoissa 6—8 $\sigma$ = poikkeama aritmeettisesta keskiarvosta ja m = aritmeettinen keskiarvo.

Taulukko osoittaa, että luokassa III, jossa vuosilustojen leveys oli pienin, kutistuminen on suurin. Se näyttää olevan ristiriidassa aiemmin esitetyn väitteen kanssa, nim. että hyvin harva- ja hyvin taajalustoisessa puussa kutistuminen on pieni, mutta kun ottaa huomioon, että kyseessä oleva aineisto ei käsittänyt juuri ollenkaan oikein hidaskasvuisia puita ja luokka III käsitti näin ollen koekappaleita, joissa vuosilustoja oli sm:llä 10 tai ainoastaan hiukan enemmän, vahvistaa tämä tulos vain aiempaa väitettä, jonka mukaan kutistumisen maksimi suurin piirtein sattuu silloin, kun vuosilustoja on 7—10 sm:llä.

Tutkimuksen A aineisto on ryhmitetty kahdella tavalla, toinen kesäpuuprosentin perusteella ja toinen sen perusteella, missä osassa maata puu on kasvanut. Kutistumisen todennäköiset maksimiarvot näkyvät taulukoista 7 ja 8.

Taulukko 7. **Kutistumis- ja kesäpuuprosentti.**
Table 7. *Shrinkage and summerwood percentage.*

| Kesäpuuta % *Summerwood, per cent* | Kutistuminen sivuajan suuntaan *Tangential shrinkage* | | | Kutistuminen säteen suuntaan *Radial shrinkage* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\sigma$ | $m+2\sigma$ | $\frac{m+2\sigma}{3}$ | $\sigma$ | $m+2\sigma$ | $\frac{m+2\sigma}{3}$ |
| 20—25 | 0.858 | 8.32 | 2.77 | 0.672 | 5.04 | 1.68 |
| 25—30 | 0.853 | 9.31 | 3.10 | 0.702 | 5.60 | 1.87 |
| 30—35 | 0.956 | 10.01 | 3.33 | 0.803 | 5.91 | 1.97 |
| 35+ | 0.689 | 9.88 | 3.29 | 0.954 | 6.91 | 2.30 |

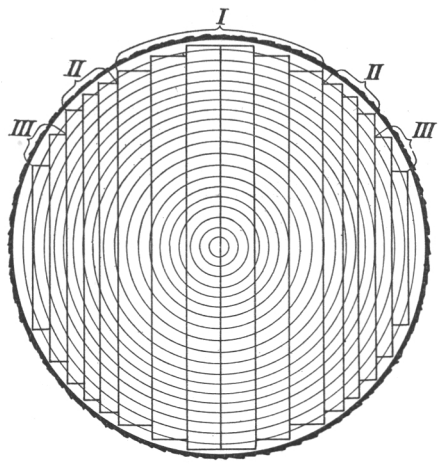
Taulukko 8. **Kutistumisprosentit eri osissa Suomea kasvaneessa puussa.**
Table 8. *Shrinkage of wood from different parts of Finland.*

| Kasvupaikkakunta *Locality* | Kutistuminen sivuajan suuntaan *Tangential shrinkage* | | | Kutistuminen säteen suuntaan *Radial shrinkage* | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\sigma$ | $m+2\sigma$ | $\frac{m+2\sigma}{3}$ | $\sigma$ | $m+2\sigma$ | $\frac{m+2\sigma}{3}$ |
| I Ruotsinkylä | 0.772 | 9.99 | 3.33 | 0.819 | 5.54 | 1.85 |
| II Veikkola | 0.775 | 9.65 | 3.22 | 0.615 | 5.83 | 1.94 |
| III Vilppula | 0.969 | 10.19 | 3.40 | 0.704 | 6.24 | 2.08 |
| IV Kivalo ja Kittilä | 1.000 | 9.20 | 3.10 | 0.657 | 5.21 | 1.75 |

Kaikki aiemmin esitetyt esillä olevan tutkimuksen kutistumismäärät tarkoittavat kutistumista, joka tapahtuu puun kuivuessa tuoreesta absoluuttisen kuivaan tilaan. Kun laivauskuiva sahatavara saa sisältää n. 20 % kosteutta ja jos kutistumisen otaksutaan alkavan 30 %:n kohdalla sekä oletetaan sen kulkevan yhdensuuntaisesti kosteuden kanssa, on sahatavaran kutistuminen laskettava vain $\frac{1}{3}$:ksi siitä kutistumisesta, mikä tapahtuu puun kuivuessa tuoreesta absoluuttisen kuivaan tilaan.[1]) Sen takia taulukkoihin 6—8 onkin laskettu eri sarakkeeseen todennäköisten maksimikutistumien kolmannekset $\frac{m+2\sigma}{3}$, joiden arvojen pitäisi vastata sahatavaran kutistumista.

[1]) Puutekniikan tutkimuksen kannatusyhdistyksen suorittamien tutkimusten mukaan sahatavara, jonka kosteuspitoisuus on enintään 24 %, säilyy hyvin Suomesta Länsi-Euroopan maihin kuljettamisen aikana. Näin ollen »laivauskuivan» sahatavaran kosteuspitoisuus saisi nousta mainittuun prosenttimäärään asti ja silloin riittäisi kutistumisvaraksi vain 1/5 siitä kutistumismäärästä, joka ilmenee puun kuivuessa tuoreesta absoluuttisen kuivaan tilaan. Esillä olevissa laskelmissa on tyydytty kuitenkin 1/3:aan, jottei vain jouduttaisi liian pieniin kutistumisvaroihin.

Tarkasteltaessa esitetyllä tavalla laskettuja kutistumisen todennäköisiä maksimiarvoja havaitaan, että erilaisia puita ja Suomen eri osia koskevat eroavaisuudet ovat siksi pieniä, että käytännössä niitä tuskin voi ottaa huomioon. Mutta sen sijaan sivuajan ja säteen suuntaisen kutistumisen välinen ero on varsin huomattava. Tämä merkitsee sitä, että saman kutistumisasteikon käyttäminen laudan leveydelle ja paksuudelle on oikein ainoastaan siinä tapauksessa, että vuosilustot muodostavat suunnilleen 45°:n kulman laudan poikkileikkauspinnan sivujen kanssa, jolloin kutistuminen on laudan paksuuden ja leveyden suuntaan yhtä suuri, tangentiaalisen ja radiaalisen kutistumisen keskiarvon suuruinen. Vuosilustojen asema on tällainen kuitenkin ainoastaan niissä laudoissa, jotka on sahattu suunnilleen pölkyn sydämen ja pinnan puolivälistä (vrt. kuva 7 II). Pölkyn sydämen kohdalta sahattu tavara kutistuu leveydelleen säteen suuntaan, paksuudelleen sivuajan suuntaan (kuva 7 I), pintalaudoissa asia on päinvastoin (kuva 7 III). Jos siis tahdottaisiin laskea mahdollisimman pieni, mutta kuitenkin riittävä kutistumisvara, olisi se sovitettava erilaiseksi sen mukaan, mistä osasta pölkkyä lautatavara on sahattu.




Kuva 7.
*Fig. 7.*

Tätä seikkaa silmällä pitäen on tutkimuksessa saatujen kutistumismäärien perusteella laskettu sahausmitat ja kutistumisvarat pölkyn pinnasta sekä läheltä sydäntä otetun tavaran leveydelle ja paksuudelle erikseen sekä sydämen ja pinnan puolivälistä otetulle tavaralle yhteinen leveydelle ja paksuudelle. Sivuajan suuntaisen kutistumisen maksimirajaksi on otettu 3.30 %, säteen suuntaisen 2.00 % ja välilaudoille näiden keskiarvo 2.65 %. Tulokset on merkitty taulukkoon 9.

## Taulukko 9. **Sahatavaran kutistumisvara.**

Table 9. *Shrinkage allowance for sawn timber.*

| Nominaali mitta *Nominel measure* | | I Pölkyn sydämestä sahatulle tavaralle *For timber sawn from the center part of log* | | | | II Pölkyn sydämen ja pinnan puolivälistä sahatulle tavaralle *For timber sawn from the middle part between pith and perifery* | | III Pölkyn pinnasta sahatulle tavaralle *For timber sawn from the outer part of log* | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Leveydelle *In width* | | Paksuudelle *In thickness* | | Leveydelle ja paksuudelle *In width and thickness* | | Leveydelle *In width* | | Paksuudelle *In thickness* | |
| Tuumaa *Inches* | mm *mm* | Sahausmitta, mm *Dimension when sawn, mm* | Kutistumisvara, mm *Shrinkage allowance, mm* | Sahausmitta, mm *Dimension when sawn, mm* | Kutistumisvara, mm *Shrinkage allowance, mm* | Sahausmitta, mm *Dimension when sawn, mm* | Kutistumisvara, mm *Shrinkage allowance, mm* | Sahausmitta, mm *Dimension when sawn, mm* | Kutistumisvara, mm *Shrinkage allowance, mm* | Sahausmitta, mm *Dimension when sawn, mm* | Kutistumisvara, mm *Shrinkage allowance, mm* |
| | | Kutistumisprosentti *Shrinkage per cent* | | | | | | | | | |
| | | 2.00 | | 3.30 | | 2.65 | | 3.30 | | 2.00 | |
| 1/2 | 12.7 | — | — | 13.1 | 0.4 | 13.0 | 0.3 | — | — | 13.0 | 0.3 |
| 5/8 | 15.9 | — | — | 16.4 | 0.5 | 16.3 | 0.4 | — | — | 16.2 | 0.3 |
| 3/4 | 19.1 | — | — | 19.7 | 0.6 | 19.6 | 0.5 | — | — | 19.5 | 0.4 |
| 7/8 | 22.2 | — | — | 22.9 | 0.7 | 22.8 | 0.6 | — | — | 22.7 | 0.5 |
| 1 | 25.4 | — | — | 26.2 | 0.8 | 26.1 | 0.7 | 26.2 | 0.8 | 25.9 | 0.5 |
| 1 1/8 | 28.6 | — | — | 29.5 | 0.9 | 29.4 | 0.8 | 29.5 | 0.9 | 29.2 | 0.6 |
| 1 1/4 | 31.8 | — | — | 32.8 | 1.0 | 32.6 | 0.8 | 32.8 | 1.0 | 32.5 | 0.7 |
| 1 1/2 | 38.1 | — | — | 39.4 | 1.3 | 39.1 | 1.0 | 39.4 | 1.3 | 38.9 | 0.8 |
| 1 3/4 | 44.5 | — | — | 46.0 | 1.5 | 45.7 | 1.2 | 46.0 | 1.5 | 45.4 | 0.9 |
| 2 | 50.8 | 51.8 | 1.0 | 52.5 | 1.7 | 52.1 | 1.3 | 52.5 | 1.8 | 51.8 | 1.0 |
| 2 1/2 | 63.5 | 64.8 | 1.3 | 65.6 | 2.1 | 65.2 | 1.7 | 65.6 | 2.1 | — | — |
| 3 | 76.2 | 77.8 | 1.6 | 78.7 | 2.5 | 78.2 | 2.0 | 78.7 | 2.5 | — | — |
| 3 1/2 | 88.9 | 90.7 | 1.8 | 91.8 | 2.9 | 91.3 | 2.4 | 91.8 | 2.9 | — | — |
| 4 | 101.6 | 103.7 | 2.1 | 105.0 | 3.4 | 104.3 | 2.7 | 105.0 | 3.4 | — | — |
| 4 1/2 | 114.3 | 116.6 | 2.3 | — | — | 117.3 | 3.0 | 118.1 | 3.8 | — | — |
| 5 | 127.0 | 129.6 | 2.6 | — | — | 130.4 | 3.4 | 131.2 | 4.2 | — | — |
| 5 1/2 | 139.7 | 142.6 | 2.9 | — | — | 143.4 | 3.7 | 144.3 | 4.6 | — | — |
| 6 | 152.4 | 155.5 | 3.1 | — | — | 156.4 | 4.0 | 157.4 | 5.0 | — | — |
| 6 1/2 | 165.1 | 168.5 | 3.4 | — | — | 169.5 | 4.4 | 170.5 | 5.4 | — | — |
| 7 | 177.8 | 181.4 | 3.6 | — | — | 182.5 | 4.7 | 183.7 | 5.9 | — | — |
| 7 1/2 | 190.5 | 194.4 | 3.9 | — | — | 195.5 | 5.0 | 196.8 | 6.3 | — | — |
| 8 | 203.2 | 207.4 | 4.2 | — | — | 208.6 | 5.4 | 209.9 | 6.7 | — | — |
| 8 1/2 | 215.9 | 220.3 | 4.4 | — | — | 221.6 | 5.7 | 223.0 | 7.1 | — | — |
| 9 | 228.6 | 233.3 | 4.7 | — | — | 234.7 | 6.1 | 236.1 | 7.5 | — | — |
| 10 | 254.0 | 259.2 | 5.2 | — | — | 260.7 | 6.7 | 262.4 | 8.4 | — | — |
| 11 | 279.4 | 285.1 | 5.7 | — | — | 286.8 | 7.4 | 288.6 | 9.2 | — | — |
| 12 | 304.8 | 311.1 | 6.3 | — | — | 312.9 | 8.1 | 314.9 | 10.1 | — | — |

Vertailtaessa taulukon numeroita prof. Levónin julkaisemiin, aiemmin esitettyihin kutistumisvaroihin havaitaan, että varsinkin suuria mittoja koskevat luvut ovat verraten lähellä toisiaan. Pienissäkään mitoissa luvut eivät numeerisesti eroa kovin paljon toisistaan, mutta prosenttinen ero on sentään melkoinen.

Aiemmin jo mainittiin, että käytännössä on havaittu pienimittaiselle sahatavaralle tarvittavan suhteellisesti suurempia kutistumisvaroja. Siinä voi olla jonkin verran perää, etenkin pintalautojen leveyden ollessa kyseessä, mutta ainakaan pintalautojen paksuuteen ei ole mitään syytä jättää niin suurta kutistumisvaraa, kuin yleensä jätetään. Esim. ½″:n tavarassa kutistuminen on taulukon mukaan 0.3 mm, mikä on siksi pieni määrä, että vaikkei kutistumisvaraa jätettäisi ollenkaan, olisi alimittaisuutta tavallisten mittausvälineiden avulla vaikea havaita. Ja se seikka, että juuri pienessä laivauskuivassa tavarassa tavataan suhteellisesti suurin ylimitta, osoittaa, että tälle tavaralle käytetyt kutistumisvarat ovat yleensä liian suuria. Näin ollen taulukossa 9 pienelle tavaralle esitettyjen kutistumisvarojen pitäisi kuitenkin kaikkein useimmissa tapauksissa riittää.

Toinen taulukkoa tarkasteltaessa silmään pistävä seikka on se, että ensimmäisessä ja kolmannessa ryhmässä leveydelle ja paksuudelle (oikeammin sivuajan ja säteen suuntaan) määrätyt kutistumisvarat eroavat verraten paljon, joten tähänastinen tapa käyttää molemmille samoja kutistumisvaroja johtaa melkoisiin virheellisyyksiin.

Taulukossa olevia kutistumisvaroja määrättäessä ei ole ollenkaan otettu huomioon sitä, että paksu sahatavara kutistuu suhteellisesti jonkin verran vähemmän kuin ohut. Vaikkakin tämä ero on varsin pieni, etenkin jos ulkokuivausta käytetään, voidaan sekin kuitenkin ottaa huomioon siten, että suurimittaisen tavaran kutistumisvaroja pienennetään hiukan. L e v ó n in esittämät, yleisesti käytännössä olevat kutistumisvarat ovat siten suurimittaiselle tavaralle nähtävästi hyvinkin sopivat.

Edellä esitettyjä sahatavaran kutistumisvaroja ei tahdota pitää minään ehdottomasti pätevinä ja kaikissa tapauksissa noudatettavina normeina. Pääasiallisena tarkoituksena on vain osoittaa sen käytännössä yleisesti noudatetun menettelytavan periaatteellinen virheellisyys, että kutistumisvaraa jätetään sahatavaran leveyttä ja paksuutta varten eli rungon poikkileikkauspinnan sivuajan ja säteen suuntaan suhteellisesti yhtä paljon. Samalla on myöskin tahdottu osoittaa, ettei pienimittaisen sahatavaran kutistuminen ole niin paljon suurimittaisen tavaran kutistumista suurempaa, kuin yleensä luullaan, ja että sahatavaran kutistumisvaroja määrättäessä päähuomio on pantava suhteellisille, eikä absoluuttisille määrille. Vaikkakin millimetri tai tuuman kuudestoistaosa ovat niin pieniä mittoja, ettei niiden vertaisen ylimitan luulisi paljonkaan vaikuttavan sinne tai tänne, tällaisetkin virheet saattavat olla prosentteina, etenkin pienimittaisessa tavarassa, hyvin suuria. Kun pidetään mielessä, että jokainen ylimääräinen ylimittaprosentti Suomen sahateollisuuden

tuotannossa olisi muutama vuosi sitten vastannut noin 10 000 standartin tavaramäärää, havaitaan, että sahatavaran kutistumisvaraan on todella syytä kiinnittää riittävä huomio.

Jos sahatavarastandartin keskihinnaksi otetaan 2 000 markkaa, havaitaan, että yksi ylimääräinen ylimittaprosentti aiheutti sahatavaratuotannon huippuvuosina Suomelle n. 20 milj. markan vuotuisen tappion. Silmäillessä edellä s. 40 esitettyjä, eräältä uudenaikaisimmista suursahoistamme saatuja tuloksia, olisi taipuvainen uskomaan, että sahatavaramme liiallinen ylimitta ei supistu yhteen eikä kahteenkaan prosenttiin. Tästä voidaan suunnilleen päätellä, kuinka suurista arvoista tässä on kysymys.

Jos taulukossa 9 esitetyt numerot voisivat olla jonkinlaisena ohjeena, joilla käytännössä kokeilemalla päästäisiin oikeisiin kutistumisvaroihin, olisi tutkielman tarkoitus saavutettu.

## Lylyn eli janhuksen ja puun »elon» aiheuttamat koon ja muodon muutokset.

Puussa havaittavat koon ja muodon muutokset eivät kuitenkaan aina johdu puun sisältämän vesimäärän vaihteluista, vaan niihin voivat olla syynä myös puussa ilmenevä lylymuodostuma sekä puun »elo».

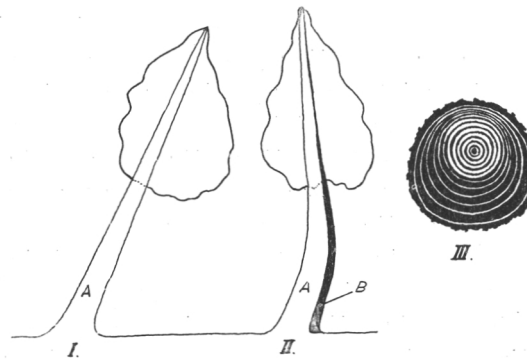
### Lyly.

*Lylypuun esiintyminen.*

Useissa havupuulajeissa tavataan toisinaan epänormaalisesti kehittynyttä puuta, lylyä eli janhusta. Se on tavallista, säännöllisesti kehittynyttä puuta paljon kovempaa, väriltään tummempaa, sen solut ovat erittäin paksuseinäisiä eikä vuosilustoissa ole kevätpuukerrosta sanottavasti ollenkaan. Tällaista puuta syntyy puun rungossa tai oksissa sellaiseen kohtaan, missä puristusjännite on tavallista suurempi (siitä johtuukin lylyn englanninkielinen nimitys »puristuspuu», compression wood). Täten havupuiden oksien alapuoli on tavallisesti lylyä, niin ikään jos runko on jostakin ulkonaisesta vaikutuksesta kallistunut pystysuorasta asennosta, sen alapuolelle syntyy puristusjännitettä ja lylyä. Kun näin kallistunut puu pyrkii kääntämään latvaansa jälleen pystysuoraan asentoon, sen runko kaartuu, ja lyly joutuu silloin kaarron ulkopuolelle. Tästä johtunee se väite, joka esim. E k m a n in ym. metsäteknologian käsikirjassa esitetään, että lylyä syntyy puun rungon mutkakohtiin, mutkan kuperalle puolelle. Tämä ei kuitenkaan pidä sinänsä paikkaansa, vaan lylypuuta syntyy aina siihen kohtaan runkoa, jossa puristusjännite on normaalista suurempi, riippumatta siitä, onko kohta suora vai mutkallinen, mutkan kupera vai kovero puoli. Tämän voi helposti huomata havupuun oksista. Olivatpa ne suorat tai ylös- tai alaspäin taipuneet, lyly on aina alapuolella, siis puristuspuolella, ja niin ollen toisinaan kaaren koverolla, toisinaan kuperalla puolella. Kokeellisesti tämän väitteen voi myös helposti todistaa. Jos kasvava havupuu taivutetaan köyden ja painon avulla väärään, syntyy lylyä koverolle puolelle oikaisemaan runkoa.

Edellä mainitussa käsikirjassa väitetään myöskin, että lehtipuun lyly syntyy päinvastaiselle puolelle kuin havupuussa, siis mutkan koverolle puolelle. Tämän kirjoittaja ei kyllä koskaan vielä ole tavannut lehtipuun lylyä. Jos sellaista on, sen syntyminen on ilmeisesti hyvin harvinaista. Lehtipuu ei tarvitse tällaista erikoista vahvikesolukkoa, koska sen puussa on aina erikoisia soluja, prosenkyymisoluja, joiden tehtävänä on vahvistaa puuta. Mutta jos lehtipuuhun lylyä syntyy, on hyvin vähän todennäköistä, että se syntyisi päinvastaiselle puolelle kuin havupuissa; jos siinä tavataan normaalista poikkeavaa puukudosta tällaisessa kohdassa, täytyy sen ominaisuuksiltaan ja tarkoitukseltaan olla aivan erilaista kuin varsinainen lyly, puristuspuu. Lähinnä sitä voitaisiin nimittää venytyspuuksi.

Vaikka havupuun lyly onkin kovaa ja tiivistä puuta, pidetään sitä teknillisesti varsin huonona. Tämä johtuu useistakin seikoista, mutta pahimpia lylyn vikoja on se, että se halkeilee, kieroilee ja kutistuu sangen pahasti ja paljon epäsäännöllisemmin kuin normaalisesti kehittynyt puu.




Kuva 8.
*Fig. 8.*

Niitä syitä, jotka aiheuttavat edellä mainitut haitat, on tutkittu verraten vähän. Ne voi kuitenkin selittää hyvinkin yksinkertaisella ja luonnollisella tavalla, jos pitää silmällä miten ja minkälaisissa olosuhteissa lylyä kehittyy puuhun.

### *Lylypuun syntyminen.*

Kaikkialla luonnossa havaitaan, että elävän kasvin varsi pyrkii päinvastaiseen suuntaan, kuin mihin maan vetovoima sitä vetää. Jos esim. suorana ja pystyssä asennossa kasvanut puu jonkin ulkoisen voiman vaikutuksesta on kallistunut vinoon asentoon (kuva 8), se alkaa pyrkiä jälleen pystysuoraan asentoon. Mikä tämän nousun saa aikaan?

Kun puu on kallistunut asentoon I (kuva 8), aiheuttaa sen oma paino entistä suurempaa puristusjännitettä rungon alapuolella ja veto-

jännitettä yläpuolella. Tästä johtuu, että puun solut ryhtyvät heti vastatoimenpiteisiin; rungon alapuolelle alkaa kehittyä lujia, vankkaseinäisiä soluja, jotka saavat aikaan puristuksen suhteen päinvastaisen jännitteen. Tämä jännite on niin suuri, että se kykenee voittamaan kallistumisen aiheuttaman puristuksen, se nostaa siis runkoa takaisin pystysuoraan suuntaan päin. Mutta näillä uusilla soluilla on vielä toinenkin vastus voitettavanaan, niiden on myös taivutettava kaarelle se osa runkoa (A kuvassa 8), joka alkujaan kallistui pois pystysuorasta asennosta, ja siihenkin mainitut erikoissolut pystyvät. Alkuperäinen runko taipuu ja nousee lopuksi asentoon II (kuva 8). Kun runko on noussut niin paljon, että puun painopisteen kautta horisontaalitasoa vastaan kohtisuora viiva joutuu puun tukipinnan sisäpuolelle, ei erikoissolujen toiminta ole enää tarpeen, vaan puu alkaa kasvattaa sen jälkeen normaalista solukkoa. — Edellä kuvatulla tavalla ja mainituissa olosuhteissa kehittyvää epänormaalista solukkoa nimitetään lylypuuksi eli janhukseksi.

On täysi syy olettaa, että vinoa puuta nostava voima vaikuttaa vain puristuspuolella eli alapuolella runkoa. Tätä olettamusta tukee se seikka, että vinossa puussa alapuoli kasvaa enemmän (vrt. kuva 8 III), kun taas yläpuolen kasvu on entistä hitaampaa ja siellä kehittyvä puu muuten kaikin puolin normaalista. Tämä johtuu ilmeisestikin siitä, että puun vetolujuus syiden suuntaan on niin suuri, ettei kallistuneen puun yläpuolella esiintyvä ylimääräinen vetojännite sanottavastikaan häiritse sen puolen solujen toimintaa. Ne voivat vielä luopua osastaan yhteisiä rakennusaineita ja luovuttaa ne hädänalaisen alapuolen vahvistamiseksi.

*Lylypuussa olevat sisäiset jännitteet ja niiden vaikutukset.*

Edellisessä on oletettu, että vinon rungon puristuspuolella aikaansaama paine on verrannollinen lylysolujen synnyttämään vastapaineeseen, ts. mitä suurempi edellinen on, sitä suuremmaksi täytyy jälkimmäisenkin kehittyä. Kun kallistumisen aiheuttama puristus on suurin tyvessä, väheten latvaan päin, jossa puristusta ei ole enää ollenkaan, on solujen aiheuttama vastapuristuskin erilainen eri korkeuksilla. Niin kauan kuin puu on kannollaan, nämä molemmat vastakkaiset jännitteet ovat käytännöllisesti katsoen tasapainossa, mutta kun puu kaadetaan, kallistumisen aiheuttama puristus häviää kokonaan. Lylysolujen aikaansaama jännite säilyy kuitenkin edelleenkin, ja jollei tällä olisi ollut mitään muuta vastustusta kuin vasta hävinnyt puun vinouden aiheuttama puristus, lylysolut ponnahtaisivat heti laajempaan kokoon samoin kuin painon alta otettu kumi-

palanen, ja koko runko, etenkin tyviosa, taipuisi heti kaadon jälkeen jyrkempään kaareen. Jossakin määrin tällaista taipumista onkin huomattavissa, mutta sitä vastustaa koko se osa runkoa, mikä puussa oli silloin kuin se kallistui, sekä rungon koverolle puolelle kallistumisen jälkeen kasvanut osa. Nämä kaksi voimaa, lylyttömän puun taivutuslujuus ja lylyn venymispyrkimys, jäävät jatkuvasti vaikuttamaan, ja saattaa kestää vuosikausia, ennen kuin voimat ja niiden vastukset pääsevät jonkinlaiseen tasapainoon keskenään. Jännitteet häviävät kokonaan tuskin koskaan, mikäli lylyttömän osan taivutus ei ole mennyt yli kimmorajan tai lylyosan laajenemispyrkimys tullut täydellisesti tyydytetyksi. Sen takia, jos tällaisesta yhdistetystä kappaleesta toista, esim. lylytöntä, osaa vähennetään, sen puolen vastustus heikkenee, tasapaino voimien ja vastustusten välillä häviää ja kappale muuttaa taas muotoaan jollakin tavoin.

Edellä mainitun kaltaisten sisäisten jännitteiden olemassa olon lylynsekaisessa puussa voi todeta yksinkertaisilla kokeilla. Jos sellaista pölkkyä, jonka toisella sivulla on lylyä, yrittää sahata lylyn puolelta, saha puristuu rakoon niin lujasti kiinni, että sahaaminen käy mahdottomaksi, sillä sahausrakoon rajoittuvat lylyosat paisuvat heti, kun raon kohdalla olleet naapurisolut on poistettu, ja rako pienenee. Jos taas lylynsekainen pölkky halkaistaan pitkittäin pitkin lylyn ja lylyttömän osan rajaa, kumpaisetkin osat taipuvat siten, että rako laajenee pölkyn keskikohdalta. Silloin lylytön osa pyrkii suoristumaan takaisin siihen asentoon, mikä sillä oli ollut ennen rungon kallistumista, ja lylyosa solujensa venymistaipumuksen johdosta taipuu yhä jyrkemmälle kaarelle.

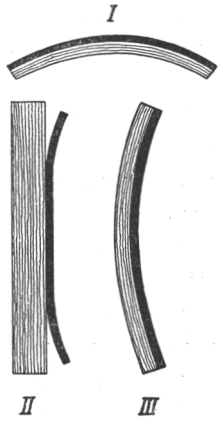
### *Kosteuden vaihtelun vaikutukset lylypuussa.*

Edellä on käsitelty sellaisia lylypuun koon ja muodon muutoksia, jotka johtuvat yksinomaan sisäisistä jännitteistä. Mutta näiden lisäksi kosteuden vaihtelu aiheuttaa lylyssä samanlaisia ilmiöitä kuin normaalisessakin puussa. Esillä olevan tutkimuksen yhteydessä tehtiin muutamia erikoiskokeita tämänkin seikan selvittämiseksi.

Tehdyt kokeet osoittivat lylypuun kutistumisen vaihtelevan erikoisen paljon. Tämän voidaan selittää johtuvan kahdestakin syystä. Ensinnäkin lylymuodostuma saattaa olla kovin eriasteinen, vaihdellen kovasta umpilylystä sellaiseen puuhun, missä on ainoastaan muutamia heikkoja lylysuonia muuten terveessä puussa, tai lylymuodostuma on niin vähäinen, että sitä tuskin huomaakaan. Toiseksi kosteuden vaihtelun aiheuttamien koon ja muodon muutosten lisäksi edellä käsitellyt sisäiset jännitteet voivat samanaikaisesti

aiheuttaa muutoksia, jotka joissakin tapauksissa voivat olla päinvastaisia kuivumisen aiheuttamille muutoksille, ja usein on vaikeaa tai aivan mahdotontakin päätellä, kummat seikat ja missä määrin kummatkin ovat saaneet näitä muutoksia aikaan.

Kun lylysolujen tarkoituksena on saada aikaan jännitystä puun pituussuuntaan, voidaan otaksua, että solun fibrillit ovat, päinvastoin kuin normaalisessa solussa, suurimmaksi osaksi poikittain puun pituussuuntaa vastaan, siis samoin kuin normaalisen puusolun päällimmäinen fibrillikerros. Tämä seikka selittäisi sen omituisen ilmiön, että lylypuu kutistuu kuivuessaan sangen paljon pituussuuntaisesti, hyvin kehittynyt lyly usein huomattavasti enemmän kuin säteen tai sivuajan suuntaan.




Kuva 9. I Laudan poikkileikkaus, II ja III pituusleikkauksia. Tumma osa lylyä.

*Fig. 9. I Cross section of board. II and III longitudinal sections. Dark portion compression wood.*

Mitään täsmällisiä lukuja lylyn kutistumisesta ei voi esittää sen jo edellä mainitun vaihtelevaisuuden takia. Osoitukseksi siitä, miten erilainen samankin kappaleen kutistuminen eri osissaan voi olla, esitetään seuraavassa erään n. $10 \times 3 \times 4$ sm:n suuruisen kappaleen eri kohdilta mitatut kutistumisprosentit:

| Sivuajan suuntaan | Säteen suuntaan | Pituussuuntaan |
|---|---|---|
| 2.6, 3.1, 2.8, 3.5 | 0.9, 1.2, 2.3 | 1.0, 2.2, 2.1, 0.2 |

Pituussuuntaan havaittiin eräissä tapauksissa jopa 5.9 %:n kutistumisia. Samassa kappaleessa sivuajan suuntainen kutistuminen voi olla pienin, säteen suuntainen edellistä suurempi ja pituuden suuntainen kutistuminen suurin. Yleensä voidaan sanoa, että sivuajan ja säteen suuntainen kutistuminen on lylyssä huomattavasti pienempi kuin normaalisessa puussa, pituuden suuntainen taas paljon suurempi.

Edellä esitettyjen seikkojen avulla voidaankin selittää useat lylyn kuivuessa ilmenevät erikoisuudet. Kun kutistuminen saman kappaleen eri osissa on erilaista, aiheutuu siitä halkeilemisia ja kieroilemisia. Jos laudan toisella leveällä sivulla on lylyä, toinen sivu normaalista puuta, kovertuu lauta siten, että lyly jää kuperalle puolelle (kuva 9), koska se kutistuu sivuajan tai säteen suuntaan vähemmän kuin terve puu. Pituussuunnassaan tällainen lauta taas kaartuu siten, että lyly tulee kaaren sisäpuolelle, koska lyly pituudelleen kutistuu enemmän kuin terve puu. Jos laudan tai lankun toisessa reunassa on lylyä, se kaartuu joko sivuttain, jolloin lyly myöskin jää kaaren

sisäpuolelle, tai jos tervettä puuta on niin runsaasti, ettei lylyosa saa sitä taipumaan, tai jos lylyn ja terveen puun raja on jyrkkä, nämä osat repeävät kappaleen päissä erilleen toisistaan (vrt. kuvaa 9).

### Puun »elo».

Identtinen ilmiö edellä puheena olleen lylypuun sisäisten jännitteiden aiheuttamille koon ja muodon muutoksille on ns. puun »elo». Sitä on tuskin koskaan kunnolleen tutkittu, useimmat epäilevät sen olemassa oloa pitäen sitä vanhojen suksi- ja puuseppien mielikuvituksen tuotteena, ja sen aiheuttamat haitat luetaan tavallisesti puutteellisen tai virheellisen puun kuivauksen tilille. Puuteknologiaa käsittelevissä teoksissa sitä ei yleensä vaivauduta edes mainitsemaan.

#### *Puun »elon» esiintyminen.*

Puun »elon» esiintyminen on kuitenkin kieltämätön tosiseikka. Se ilmenee havupuussa, mutta ehkä vielä yleisemmin lehtipuussa siten, että esineet, joiden kosteuspitoisuus ei ole yhtään muuttunut, kuitenkin kieroilevat ja vääntyilevät. Pahimpana tämä ilmiö esiintyy sellaisissa puuesineissä, jotka on valmistettu hiljattain kaadetusta, vaikkapa huolellisestikin kuivatusta puusta.

#### *Puun »elon» aiheuttaja.*

Puun »elon» aiheuttajana ovat puussa olevat sisäiset jännitteet. Lylypuusta puhuttaessa tehtiin jo selkoa siitä miten havupuu eräissä olosuhteissa kasvattaa erikoisluonteista solukkoa, ja miten tässä solukossa syntynyt jännite puun kaatamisen jälkeen vähitellen saa aikaan taipumista ym. muodon muutoksia. Heikotkin puussa ilmenevät puristusjännitteet kehittävät myöskin vastajännitteitä, joskaan niiden syntymiseen ei aina tarvita erityistä, helposti havaittavaa solukkoa. Lehtipuissa suuretkaan puristukset lehtipuun erikoisen rakenteen takia eivät tarvitse erikoissolukkoa vastapainoksi, mutta ne tarvitsevat kyllä vastajännitteen, joka sitten puun kaadon jälkeen vähitellen aiheuttaa muodon muutoksia.

Edellä on pidetty silmällä etupäässä niitä jännitteitä ja vastajännitteitä, jotka aiheutuvat puun rungon vinosta asennosta. Mutta aivan pystysuorassakin rungossa voi ilmetä puristusta toisella ja vetoa vastakkaisella puolella. Toispuoleinen latvus, jokin vallitseva tuulen suunta tai se seikka, että tuuli sopii puuhun ainoastaan yhdeltä suunnalta, kuten metsikön reunassa tai jyrkällä rinteellä kasvaviin puihin, voi saada aikaan mainitunlaista puristusta puun rungossa.

Näiden ulkoisten vaikutteiden lisäksi voi ilmetä vielä sisäisiäkin. Jos jonakin kasvukautena kasvuedellytykset ovat hyvät, muodostuu silloin runsaasti ja lujaa solukkoa, jossa solut joutuvat kovempaan puristukseen kuin epäedullisten kasvukausien lustoissa, ja näin tulee puun runkoon vuorotellen tiiviitä, tiukkaan puristuneita ja löysiä solukkoja.

Vielä puun kaadon jälkeenkin puuhun voi syntyä sisäisiä jännitteitä. Jos esim. hirsi joutuu pitkät ajat olemaan tuettuna vain molemmista päistään, se taipuu keskeltä alaspäin, ja poistettuna tästä asennosta se ei heti ponnahda täysin entiselleen, vaan loppuoikeneminen tapahtuu vasta vähitellen ja hitaasti (jälkikimmoisuus). Vielä huomattavampia sisäisiä jännitteitä syntyy sahatavaraa kuivattaessa. Kun esim. suurimittainen lankku, jonka toinen leveä sivu kulkee pitkin pölkyn ydintä, kuivuu, sen sydämen puoleinen, täysin säteen suuntainen sivu kutistuu paljon vähemmän kuin vastainen, osaksi sivuajan suuntainen sivu. Tämän erilaisen kutistumisen johdosta lankku kovertuu siten, että sydän jää kuperalle puolelle, mutta jos se on suuren lautatapulin sisällä kovan painon alla, kovertumista ei tapahdu, vaan sydämen vastainen puoli kuivuu venytysasemaan. Kun ulkoinen pakko poistetaan — jos lankku esim. otetaan pois tapulista —, pinnan puoleisessa sivussa pakollisen suoraksi jäämisen johdosta syntynyt jännite alkaa vähitellen vääntää lankkua samanlaiseen kovertuneeseen asemaan, jollaiseksi se olisi vapaana kuivuessaankin joutunut.

Samanlaisia jännitteitä aiheuttaa myös sahatavaran erilainen kuivuminen pinta- ja sisäosissa. Jos veden haihtuminen tapahtuu hyvin nopeaan, pinta-osat kuivuvat ensiksi ja pyrkivät kutistumaan, mutta kuivumaton ja vielä kutistumaton sisäosa estää sen, ja pinta siis jää venyttyneeseen asemaan. Pintaosaan syntyy silloin jännitettä, joka osaksi jää tyydyttämättä, osaksi repii soluja irti toisistaan, saaden aikaan joko huomaamattomia pikku rakoja tai selvästi havaittavia halkeamiakin. Jos tällainen lankku halkaistaan leveän sivun suuntaista tasoa myöten, puolikkaat kouristuvat ensin niin, että alkuperäisen lankun leveät sivut tulevat koverolle puolelle, mutta myöhemmin, kun vasta sahatutkin pinnat kuivuvat, kovertuminen kääntyy päinvastaiseen suuntaan sen johdosta, että vanhat venytettyyn asemaan kuivuneet pinnat eivät kutistu ulkoisesta pakosta päästyäänkään niin paljon, kuin ne olisivat kutistuneet saadessaan kutistua koko ajan vapaasti. Tämän taas aiheuttavat edellä mainitut näkyvät tai näkymättömät pikku halkeamat ja repeämät.

Etenkin uunikuivausta käytettäessä edellä käsitelty epäkohta esiintyy usein, ja siitä osaltaan johtuukin uunikuivan sahatavaran huono maine useissa puutavaraa ostavissa maissa.

*Puun »elon» poistaminen.*

Niin pian kuin jännite on saanut suorittaa sen aineen siirron eli työn, jota se pyrkii saamaan aikaan, se laukeaa ja häviää. Samoin on laita puussa olevien sisäisten jännitteiden. Aiemmin on mainittu, että sisäiset jännitteet säilyvät puussa usein vuosikausia,[1]) jopa pysyvästikin, joko siitä syystä, että ne ovat siksi heikkoja, että ne ilman apua ainoastaan hyvin hitaasti saavat puun osasia siirretyksi niihin keskinäisiin asemiin, mihin ne pyrkivät niitä saamaan, tai niillä on voimakkaat ulkoiset vastukset voitettavinaan, kuten esim. suuren tapulin sisällä olevassa laudassa.

Puun sisäisten jännitteiden poistamista auttaa näin ollen kaatamisen ja sahaamisen jälkeinen varastoituna-pito, jos se kestää niin kauan, että jännitteillä on aikaa tasoittua. Puun käyttäminen lopulliseen tarkoitukseen pian kaadon jälkeen usein pakottaa puun nopeaan kuivaamiseen, joka, kuten edellä on mainittu, voi synnyttää uusiakin jännitteitä entisten lisäksi.

Jännitteiden tasaantuminen tapahtuu aikaa myöten kuitenkin vain edellyttäen, ettei niillä ole mitään ulkoisia vastuksia, kuten esim. silloin on asian laita, kun tavara on suurissa tapuleissa. Jos siis jännitteitä halutaan poistaa, on puu säilytettävä irrallaan hyvillä alustoilla tai enintään aivan ohkaisina kerroksina.

Jännitteiden useinkin hyvin hidasta tasaantumista voi vielä jouduttaa siten, että puuta vuoroin kuivatetaan, vuoroin liotetaan vedessä tai haudotaan vesihöyryssä. Silloin vuoroittaisten kutistumisten ja turpoamisten johdosta puun osaset, solut, joutuvat hiukan muuttelemaan keskinäistä asentoaan ja samalla helpommin ikään kuin hinkkautuvat niihin asemiin, joihin sisäiset jännitteet pyrkivät niitä saamaan. Siinä tapahtuu silloin samantapainen ilmiö kuin laatikossa, johon on heitetty sekaisin epäsäännöllisiä kappaleita. Jos laatikko saa olla aivan hiljaa paikallaan, ei kappaleisiin vaikuttava painovoima jaksa voittaa kappaleiden välistä kitkaa, vaan ne jäävät harvaan, epäsäännölliseen asentoonsa, mutta jos laatikkoa hiljalleen ravistellaan, niin että kappaleet joutuvat pieneen liikkeeseen, ne hinkkautuvat tiiviimpään painovoiman vaikutuksesta.

[1]) Erään teollisuusneuvos L. Kuoppamäen lausunnon mukaan vanhat puusepät ovat sitä mieltä, että huonekaluihin ym. hienoihin puutöihin käytettävää koivua on ennen käyttämistä varastoitava jopa 15 vuotta.

Edellä mainitut keinot puun »elon» poistamiseksi vievät kuitenkin paljon aikaa, osaksi ne ovat hankalia käyttää ja aiheuttavat huomattavia kustannuksia. Mutta entistä enemmän sellainenkin ilmiö kuin puun »elo» pitäisi ottaa huomioon. Ne haitat, jotka aiheutuvat puun käyristymisestä ja kieroilemisesta, voitaisiin ainakin osaksi silloin välttää.

## Kirjallisuutta:


Baterden, J. R. 1908. Timber, New York.

Ekman, Wilh. ym. 1922. Handbok i Skogsteknologi, Stockholm.

Gerber, Konrad. 1927. Fachkunde für das Holzgewerbe I, Köln.

Hawley, L. F. and Wise, Louis E. 1926. The Chemistry of Wood, New York.

Helander, A. Benj. 1918. Metsänkäyttö-oppi, Porvoo.

Grossman, Josef. 1928. Gewerbekunde der Holzbearbeitung I, Leipzig.

Koehler, Arthur and Thelen, Rolf. 1926. The Kiln Drying of Lumber, New York.

Levón, Martti. 1928. Puun keinotekoinen kuivaaminen, Helsinki.

Mathewson, J. S. 1930. The Air Seasoning of Wood, Washington D. C.

Moll, Fr. 1930. Künstliche Holztrocknung, Berlin.

Record, Samuel J. 1914. The Mechanical Properties of Wood, New York.

Snow, Charles Henry. 1917. Wood and other Organic Structural Materials, New York.

Tansley, A. G. 1922. Elements of Plant Biology, London.

# CHANGES IN THE MOISTURE CONTENT, VOLUME AND FORM OF WOOD.

## SUMMARY IN ENGLISH.

### Contents.


Page.

**Theoretical review of the changes in the moisture content, volume and form of wood** ..... 61
**The moisture content of wood** ..... 61
The presence of moisture in the cells ..... 61
**Changes in the volume of wood caused by drying** ..... 61
When does the shrinkage of wood begin ..... 61
Shrinkage in different directions ..... 62
What kind of wood shrinks most ..... 62
The disadvantages caused in practice by shrinkage ..... 63
Can the shrinkage or expansion of wood be checked ..... 63
**Experiments for ascertaining the moisture content and shrinkage of wood and characteristics affecting them** ..... 64
**Research A** ..... 64
The testing materials and their treatment ..... 64
The characteristics of heartwood and sapwood ..... 65
*The moisture content of heartwood and sapwood* ..... 65
*The specific gravity of heartwood and sapwood* ..... 65
*The summerwood percentage of heartwood and sapwood* ..... 65
*The shrinkage percentage of heartwood and sapwood* ..... 65
The effect of summerwood on the different characteristics of wood ..... 65
*The proportion of summerwood to the thickness of year-rings* ..... 65
*The proportion of summerwood to the specific gravity* ..... 66
*The proportion of summerwood to the shrinkage percentage* ..... 66
The proportion of the shrinkage percentage to the thickness of year-rings .... 66
The proportion of the shrinkage percentage to the specific gravity ..... 66
**Research B** ..... 66
The materials and their treatment ..... 66
Results of the research ..... 67
*The shrinkage percentage* ..... 67
*The beginning of shrinkage and its proportion to the moisture percentage* 67
**The practical application of the results obtained by the research** .. 67
Allowance for shrinkage in sawn timber ..... 67
**The change in volume and form caused by compression wood and »life» in the wood** ..... 69
Compression wood ..... 69

Page.
*The presence of compression wood* ..... 69
*The origin of compression wood* ..... 69
*The internal strains in compression wood and their effect* ..... 69
*The effects of changes in moisture on compression wood* ..... 70
»Life» in wood ..... 70
*The presence of »life» in wood* ..... 70
*The cause of »life» in wood* ..... 70
*The removal of »life» occurring in wood* ..... 71

# Theoretical Review of the Changes in the Moisture Content, Volume and Form of Wood.

## The moisture content of wood.

In a growing tree there is always water present or more correctly water solution, sometimes equivalent to 2—3 times the dry weight of the wood. In a felled tree and in the dead parts of a growing tree there is less water, though there is always some quantity present, unless it is removed by a special process. This water is not only present in the cell cavities, but also in the walls of the cells.

### *The presence of water in the cells.*

The absorption of water in the cell walls is explained by the fact that the walls do not consist of a uniform, compact mass, but of thin, thready fibrils which the water cannot penetrate.

Science has not yet discovered exactly, how the absorption of water between the fibrils occurs, whether the result is in the nature of dissolution, or chemical changes occur, or it should be considered a capillary phenomenon etc. Experiments have established a circumstance in connection with this phenomen that is important from the practical point of view: the cell walls cannot absorb an unlimited quantity of water, but there is a definite limit beyond which the water cannot be absorbed into the walls of the cells. This limit is called the fibre saturation point and is about 25—30 %; in other words, the saturation point of the fibrils is reached, when the wood has absorbed 25—30 % of water. It varies to a certain extent in different species.

## Changes in the volume of wood caused by drying.

One of the most troublesome characteristics of wood is its shrinkage, while drying. It is all the more disturbing, because no accurate regularity can be discovered; for the changes caused by shrinkage are not similar to the changes in the moisture content; even in the same wood they may vary in different directions and in different parts of the wood; separate parts of the same species shrink in different proportions, and a still greater degree of dissimilarity is found between different species.

### *When does the shrinkage of wood begin?*

The pressure in the walls of the cells of green wood is so considerable that its volume and form do not change, whether there is water in the cell cavities or not. It is not until the water begins to leave the walls of the cells that the fibrils sink closer together and the whole cell diminishes. Consequently this occurs, while the moisture decreases to the fibre saturation point.

The shrinkage line of the wood is not exact in practice, as the shrinkage begins gradually before the moisture of the wood has sunk to the point mentioned. This is due to the fact that it is very difficult in practice to dry the wood so evenly that the water leaves the cell cavities inside the wood before the cells on the surface of the wood begin to shrink, it being usually the case that the cells close to the surface begin to shrink before the water has left the cell cavities of the wood. The slower and more careful the drying of wood, the sharper will be the angle formed by the shrinkage curve of the wood.

*Shrinkage in different directions.*

It has been observed, when drying wood, that the shrinkage differs considerably in a logitudinal, radial and tangential direction. In order to elucidate this question the walls of the cells and the structure of the wood must be examined.

The walls of the cells are considered to be formed of thready fibrils which do not absorb water themselves, so that their volume does not change, whether the walls of the cells are wet or dry. The liquid has been squeezed into the interstices of the fibrils, and when part of them disappears, the fibrils approach each other and the cell becomes attenuated. When the fibrils are long, either parallel to the cell itself — apart from the top layer of fibrils — or winding like a sloping spiral from one end of the cell to the other, the longitudinal shrinkage during the drying of the cell is very small. When the cells have placed themselves mostly parallel to the longitudinal axis, it is due to the small extent of the longitudinal shrinkage of the cells that the wood itself also does not shrink much in that direction, excepting what is called compression wood, to which reference is made later at greater length.

In the same direction as the radius of the cross-section of the tree trunk there are pith rays, the cells of which, like the rest of the cells, do not shrink lengthwise and thus resist the shrinkage of the other cells in a radial direction. There are no transverse cells to prevent shrinkage in a tangential direction and therefore the shrinkage of the wood in that direction is greatest. Thus the longitudinal shrinkage is least and the shrinkage in a radial direction lies between it and the shrinkage in a tangential direction.

*What kind of wood shrinks most?*

It is a general opinion, for instance among men engaged in the sawmill industry, that rapidly growing, porous coniferous wood shrinks more than close grained, slowly growing wood. This opinion is, however, erroneous for two reasons. In the first place, the closeness of the grain of coniferous wood does not depend absolutely on its slow or rapid growth, and in the second, wood that is close grained, consisting to a comparatively large extent of summer wood, heavy and hard wood, shrinks more than porous wood that is rich in spring wood.

This circumstance also depends on the structure of the wood and its cells. As there are more fibrils and interstices in the cells with heavy walls than in those with thin walls, the heavy-walled cell shrinks more, when the water is forced out of the interstices, than the cell with thin walls, as will be seen in fig. 2. The porosity and closeness of grain of the wood, its weakness and strength, its lightness and weight, merely depend on the compara-

tive thickness of the walls of the cells, for which reason close-grained, strong and heavy wood shrinks more than porous and light wood.

*The disadvantages caused in practice by shrinkage.*

It has already been observed that all the changes occurring in wood that are caused by humidity, if they occur below the fibre saturation point, also cause changes in volume. The shrinkage is of itself a troublesome phenomenon — we need only think of leaking boats, leaking wooden vessels, furniture that has shrunk etc. For the same reason the owners of sawmills, for instance, suffer losses through their raw materials, because they purchase the timber in the green state, allowing a few per cent of excess for shrinkage in the sawn timber.

Besides such losses and disadvantages owing to the decrease in volume, shrinkage is also detrimental in other respects. Among the most important of these is the checking of wood and changes in its form (see fig. 3). This is caused by uneven drying or by the fact that the skrinkage is unequal in different directions.

*Can the shrinkage or expansion of wood be checked?*

With reference to the disadvantages caused in practice owing to the changes in the volume of wood, the question arises involuntarily, whether this characteristic of wood can be counteracted or its tendency to vary according to its degree of moisture be removed, which comes to the same thing.

It has already been stated that the volume of wood does not change, if its humidity is above the saturation point. A suitable method of checking the changes in the volume of wood would be to keep it constantly above that point or constantly at the same point below it. It is very difficult, however, to employ such methods for the reason that even out-of-doors the moisture of wood cannot be kept above the saturation point, besides which it constantly varies in accordance with the weather conditions and the relative humidity. The hygroscopicity of wood cannot be removed, on the contrary it remains so stubbornly in wood that cellulose and artificial silk manufactured from wood, still remain hygroscopic. Attempts have also been made to coat the wood with fluids impervious to moisture, such as paint, tar, etc., but even this has not proved thoroughly practicable, as these layers can also not be rendered entirely impervious to moisture.

In order to check the shrinkage a method might be adopted of impregnating the wood with a fluid that prevented moisture. The author has made some experiments with this object. Absolutely dry pieces of wood were boiled for a week in ordinary linseed oil and wood-tar. These substances penetrated thoroughly into the wood, but it was impossible to observe any kind of expansion in them. After being impregnated the pieces of wood were immersed in water, when they swelled to the usual extent.

It might also be possible to check the shrinkage and expansion of wood in spite of the changes in moisture by filling the interstices between the fibrils with some other substance than water. Even if the water were to leave the wood or more water were to accumulate, it would have no effect on the volume of the wood, as the other substance would remain between the fibrils and would keep them at the same distance from each other. The wood would remain unshrinkable at its most expanded volume.

In this respect the experiments with tar and varnish referred to show that these fluids do not penetrate between the fibrils, as no expansion takes place. Some other fluids employed in experiments, such as solutions of copper vitriol and natron silicate, had the same effect upon the wood. They were not able to penetrate between the fibrils, though the salts remained after the water had evaporated in the cell cavities.

So far no suitable method has been discovered for fully checking the shrinkage and expansion of wood. To the more or less futile methods already mentioned some other, so-called coercive methods might be added, such as the use of cross-pieces of iron and the glueing of several layers crosswise, as in the case of plywood.

### Experiments for ascertaining the moisture content and shrinkage of wood and characteristics affecting them.

Although the variations in moisture in wood and the changes in the volume and form of wood have not been checked satisfactorily, at any rate in all respects, they must nevertheless be considered as the stationary characteristics of wood. It would be of great advantage, if it could be ascertained, in what way the humidity in wood and the changes in its volume and form are dependent on each other, what general rules they follow and within what bounds they can occur.

The present work of research may be divided into two main sections, the purpose of the one being to establish the general laws of shrinkage, while the main purpose of the other is to elucidate such circumstances as benefit the sawmill industry in practice, i. e., to determine the shrinkage allowance of sawn timber.

## Research A.

### Testing materials.

The testing materials consisted exclusively of pine *(Pinus silvestris)* and were taken from the dominating tree class of even forests in their natural state. There were 85 trunks of sample trees from different parts of Finland and of different forest site types.

The trees — originally intended for another investigation — were felled in February 1932, from each of them a buttlog was taken, 6 metres in length, and from each log a disc, about 1.5 cm thick, was sawn, which was then used as a test specimen 1.5 × 1.5 × 7—8 cm, the largest dimension being either in the tangential or radial direction, and as far as possible heartwood and sapwood were used separately. The test specimens were weighed with an accuracy of 1/100 gr. and the largest dimension was measured with an accuracy of 1/100 mm, the measuring instruments having been constructed by the author. The specimens were then dried in an electric kiln until they were absolutely dry, when they were measured and weighed again. Subsequently the number of annual rings per centimetre and the percentage of summer wood were measured with the help of instruments constructed by the author. In addition to these test specimens, sector-shaped pieces, were taken from the disc, the heartwood was separated from the sapwood, and the specific gravity of these was determined, when absolutely dry.

## The characteristics of heartwood and sapwood.

*Moisture content.*

The arithmetic means and variation lines of the moisture content of pines grown in different parts of Finland were as follows:

| | Moisture of sapwood | | Moisture of heartwood | |
|---|---|---|---|---|
| | % | Variation lines | % | Variation lines |
| Shipment 1 South-Finland | 119.9 | 106—136 | 31.3 | 28—42 |
| » 2 S E-Finland | 126.1 | 96—165 | 29.6 | 28—36 |
| » 3 Central-Finland | 130.1 | 101—160 | 33.1 | 28—40 |
| » 4 North-Finland | 142.5 | 100—177 | 33.1 | 26—54 |

*Specific gravity.*

The specific gravity of the heartwood and sapwood grown in different parts of Finland was as follows:

| | Specific gravity of sapwood | Specific gravity of heartwood | Specific gravity of whole butt-log |
|---|---|---|---|
| Shipment 1 | .51 | .46 | .488 |
| Shipment 2 | .51 | .48 | .496 |
| Shipment 3 | .48 | .46 | .473 |
| Shipment 4 | .45 | .42 | .441 |

*The summerwood percentage* of the whole material, on an average, was 28.5 in heartwood, 31.5 in sapwood.

*The shrinkage percentage* of the whole material was on an average as follows:

| | in heartwood | in sapwood |
|---|---|---|
| Shrinkage % in tangential direction | 7.3 | 7.8 |
| Shrinkage % in radial direction | 4.2 | 4.5 |

## The effect of summerwood on the different characteristics of wood.

*The proportion of summerwood to the thickness of year-rings.*

It is the common opinion that the slower growing a tree is, the stronger it is and the more summerwood will it contain. The results of the above researches do not, however, bear out this opinion. According to fig. 4 pines that grow very rapidly or very slowly have a very low percentage of summerwood, whereas such trees as have 7—8 year-rings to the centimetre, have the highest percentage of summerwood.

*The proportion of summerwood to the specific gravity.*

The drawing in fig. 5 shows the results obtained on the basis of the material dealt with above. Each point stands for the mean of several observations. The drawing shows that the percentage of summerwood and the specific gravity are in direct proportion to each other, though the latter may vary to a comparatively great extent.

*The proportion of summerwood to the shrinkage percentage* was as follows according to the present investigation:

| Summerwood percentage | Shrinkage percentage | |
|---|---|---|
| | Tangential direction | Radial direction |
| 20—25 | 6.6 | 3.4 |
| 25—30 | 7.6 | 4.2 |
| 30—35 | 8.1 | 4.3 |
| 35—40 | 8.6 | 4.8 |
| 40 and over | 8.6 | 5.8 |

In table 1 on page 29 the summerwood percentage and the shrinkage are given of pine obtained from different parts of Finland and grown on different forest site types (Räme — bog, CT — Calluna type, VT — Vaccinium type, MT — Myrtillus type, OMT — Oxalis-Myrtillus type, CIT — Cladina type and HMT — Hylocomium-Myrtillus type).

In examining this table the most striking fact is that wood in Northern Finland (shipment 4) has a fairly low summerwood percentage and consequently a small shrinkage.

*The proportion of the shrinkage percentage to the thickness of year-rings* was as follows on the basis of the material tested:

| Year-rings per centimetre | Shrinkage percentage | |
|---|---|---|
| | Tangential direction | Radial direction |
| 2—4 | 6.4 | 3.0 |
| 5—9 | 8.0 | 4.1 |
| 10—15 | 8.0 | 4.6 |
| 16 and over | 7.2 | 4.2 |

*The proportion of the shrinkage percentage to the specific gravity* will be seen in table 2 on page 31.

## Research B.

*Materials.*

The materials were collected principally from a sawmill in Northern Finland. The test specimens were cut to the thickness of about 1 cm and a width in the radial or tangential directions varying from 4 to 10 cm, and a length of about 10 cm. All the test specimens were prepared of floated, entirely green pine; the width was measured, the pieces weighed and dried

until they were absolutely dry, after which the measuring and weighing were repeated.

**Results of the research.**

The research was divided into two parts, the radial and tangential shrinkage percentage being investigated in general in the first and the starting point of skrinkage and its relation to the moisture content in the second.

The proportion of the shrinkage percentage to the year-rings will be found in table 3 on page 33.

A graphic drawing in fig. 6 illustrates the starting point of the shrinkage and its progress. In accordance with this the shrinkage begins very sharply, when the moisture has reached about 30 %. As the moisture decreases, the shrinkage runs parallel to the reduction of the moisture.

**The practical application of the results obtained by the research.**

*Allowance for shrinkage in sawn timber.*

When the saw-logs are always sawn in the green state, such excess must be allowed in the sawn timber that, when shipped in a dry state, it nevertheless corresponds to the required measurements.

The simplest method of determining the allowance for shrinkage would, of course, be always to leave so much material over that it would in any case be sufficient, but as this would mean that the loss in raw material would be too heavy, an attempt should be made to regulate the excess, so that it should be just sufficient to make up for the shrinkage caused by drying.

Norwegian inches were formerly used as a measure in the sawing industry, they being 3 % longer than English inches. In using this standard system of measuring it was found that the smaller material was not given sufficient allowance for shrinkage, while the larger sizes were given too much. For this reason the scale was altered in such a manner that the smaller sizes were given a comparatively larger allowance and the larger ones were given less than the usual allowance of 3 %, which is what the Norwegian inch gives. In this way the allowances were obtained which are shown in table 4.

The opinion that small-sized sawn timber shrinks more than timber of a larger size, is based partly on experience and partly upon faulty conclusions. As a matter of fact small timber dries to a lower degree of moisture than is necessary, when shipping dry timber, and therefore shrinks more than large timber, which is still comparatively wet inside, when it is shipped. Besides, small-sized sawn timber is usually sawn from the surface parts of the log and is cut at a tangent to its breadth, so that it shrinks more in this direction than planks of heartwood, the broad side of which runs in a radial direction. In checking the measurements of sawn timber, most attention is usually given to its breadth and therefore in heavy planks the measurements are made in a radial direction, but in small timber in a tangential direction. Besides, in such measurements more attention is paid to absolute figures than to relative ones, and it is often overlooked that, for instance, $^1/_8$" excess per inch makes a 16 times greater difference on $^1/_2$ inch than the same excess per 8 inches.

As a result small timber is often very excessive, especially in regard to its thickness, as is shown in table 5, which is based on the results of measurements made in a sawmill in the North of Finland.

---

The figures for shrinkage that are quoted above form the arithmetic mean of differently grouped results of this investigation. The variations are fairly large above and below the mean, so that the mean cannot be taken by itself for determining the allowance for the shrinkage of sawn timber, as a large part of the timber would in that case be classed as undersized. Consequently the greatest degree of allowance for shrinkage must be found, which would cover the majority of cases. In such calculations statistical methods are generally employed, by which the probable maximum values can be calculated.

After grouping the material correctly the arithmetic mean of each group is calculated and its standard deviation is determined by means of the equation $\sigma = \pm \sqrt{\frac{\Sigma a^2}{n-1}}$, in which a = the deviation from the arithmetic mean of each observation and n = the number of observations. It is estimated that 95 % of all cases examined fall within the lines obtained, after subtracting from the mean and adding to it the double amount of the standard deviation.

Tables 6, 7 and 8 show the probable maximum values of shrinkage calculated on the basis of different groupings of the material.

All the figures for shrinkage quoted above refer to shrinkage that takes place while the wood is drying from the green state until it is absolutely dry. If the dried sawn timber to be shipped is allowed to contain about 20 % of moisture and if shrinkage is supposed to start at a point of 30 % and to proceed parallel to the moisture, the shrinkage of the sawn timber should be calculated as only $^1/_3$ of the shrinkage that occurs while the wood is drying from the green state until it is absolutely dry. Therefore the third part of the probable maximum shrinkage has been calculated in another column of the tables, $\frac{m + 2\sigma}{3}$ the values in which should be equal to the shrinkage of sawn timber.

In examining the probable maximum values of shrinkage, calculated in the manner described, it will be found that the differences between different species of wood and the variations in regard to different parts of Finland are so small, that they need hardly be taken into account in practice. On the other hand the difference in shrinkage between the tangential and radial directions is very considerable. This means that it is only right to employ the same scale of shrinkage for the width and the thickness of boards and planks in such cases, in which the year-rings form an angle of about 45° to the sides of the cross-section, while the shrinkage in the direction of the width and thickness of the board is equally large, i. e. the mean of the tangential and radial shrinkage. The position of the year-rings is at this angle only in boards that have been sawn from approximately halfway between the pith and the surface (see fig. 7, II). Timber sawn from the heart of a log shrinks in breadth in a radial direction and in thickness in a tangential direction (fig. 7, I); in boards sawn from the surface the contrary is the case (fig. 7, III).

In view of this calculations have been made, on the basis of the investigations, of the amount of shrinkage, the sawing scales and the allowance for

shrinkage of sawn timber taken from the surface of the log and close to the pith, separately in regard to width and thickness, and of timber taken halfway between the pith and surface jointly in regard to width and thickness. For the maximum shrinkage in a tangential direction 3.30 % has been taken and in a radial direction 2.00 %, and for the intermediate boards the mean figure of 2.61 %. The results are recorded in table 9.

## The changes in volume and form caused by compression wood and »life» in the wood.

The changes in volume and form noticeable in wood are not always due to changes in moisture, but may also be caused by the formation of compression wood and by »life» in the wood.

### Compression wood.

*The presence of compression wood.*

In most species of coniferous trees abnormally developed wood is found, known as compression wood. It consists of wood which is much harder and darker in colour, its cells have very heavy walls and the year-rings have hardly any layers of springwood at all. This kind of wood grows on the trunk of the tree or on its branches, usually in such parts in which the compression strain is greater than usual.

Even if the compression wood of a coniferous tree is hard and close-grained, it is nevertheless considered technically very poor. This is due to various circumstances, but the worst defect of compression wood is its liability to check, warp and shrink very badly and its greater irregularity than that of normally developed wood.

*The origin of compression wood.*

When a tree has been bent to position I (fig. 8) owing to some external influence, its own weight causes a greater compressive strain than before on the underside of the trunk. In that case the cells of the tree immediately come into action against this: on the underside of the trunk strong, heavily walled cells begin to grow that bring about a strain opposed to the pressure. This pressure is so great that it is capable of counteracting the pressure caused by bending and raising the trunk again into a vertical position. However, these cells have also to overcome another obstacle, they must also bend back that part of the trunk (fig. 8, A) which was originally bent from its vertical position, and these special cells are even capable of this. The original trunk bends and rises finally to position II (fig. 8).

*The internal strains in compression wood and their effects.*

As long as the bent tree remains standing there is a compressive strain on the underside of the trunk caused by the bending and the opposed expansion strain exerted by the cells of the compression wood, the two strains practically balancing each other. When the tree is cut down, the pressure caused by the bending disappears altogether. However, the strain caused by the cells of the compression wood still remains, and if it had no opposition to

contend with except the strain exercised by the bending, the cells of the compression wood would immediately rebound to a wider volume and the whole trunk, especially the base, would bend in a sharper curve after felling. To some extent such an inclination can be observed, but the original part of the trunk before bending opposes this. These two strains, the bending strength of the normal wood and the stretching efforts of the compression wood, remain constantly in force and may last for years until these forces and their resistances attain some measure of equilibrium.

*The effects of changes in moisture on compression wood.*

The effects of moisture on compression wood vary to a great extent. They may be evoked by two causes. In the first place the formation of compression wood may be different in degree, and in the second the effects on the changes in volume and form, in addition to the internal strains previously referred to, may at the same time cause changes which may in some cases be contrary to those caused by drying.

When the object of the cells of the compression wood is to occasion a strain in a longitudinal direction, it may be assumed that the fibrils of the cells, unlike those of normal cells, are mostly situated transversely to the longitudinal direction of the wood, being thus placed in the same way as the outermost layer of fibrils of normal woodcells. This would explain the peculiar circumstance that compression wood, while drying, shrinks very much lengthwise.

It can generally be said that the shrinkage of compression wood in the tangential and radial directions is considerably less than that of normal wood, but that in a longitudinal direction it is very much greater.

On account of the circumstances described the peculiarities can be explained that occur, while the compression wood is drying. When the shrinkage in different parts of the same wood and in different directions is unequal, it will cause checking, warping and hollowing (see fig. 9).

## »Life» in wood.

What is known as »life» in wood is identical with the changes in volume and form described above, caused by the internal strain of compression wood.

*The presence of »life» in wood.*

»Life» in wood shows itself in a coniferous tree, though probably more commonly in deciduous trees, in such a manner that, though the moisture content of an object may not have changed, it nevertheless warps and twists.

*The cause of »life» in wood.*

The internal strains are the cause of »life» in wood. It has already been stated, in connection with compression wood, that the bent position of a trunk may cause strains in the wood. But even in a tree growing vertically it is possible to indicate pressure on one side and pull on the other. A crown growing to one side, the prevailing direction of the wind or some other cause may occasion a special kind of cellular compression in the wood. The same kind of strains will be apparent even after the tree has been cut down, for

instance, when drying the sawn timber. When, for instance, a large-sized plank, the other side of which runs through the pith of the log, dries, the heart-side shrinks much less than the opposite side which runs partly in a tangential direction. If the plank is lying inside a big pile of sawn timber under a heavy weight, it cannot get hollowed, but dries in a stretched position. When the external restraint has been removed, — for instance, if a plank is taken from the pile — the strain caused by the forcible straightening of the other side begins to twist the plank gradually into the same kind of hollowed position that it would have taken, if it had been drying without constraint.

This disadvantage is particularly frequent, when wood is dried in a kiln, and this is one of the reasons for kiln-dried sawn timber having a bad name in some countries that are buyers of such material.

*The removal of »life» occurring in wood.*

As soon as the strain has done its work, it relaxes and disappears.

The removal of internal strains in the wood can be assisted by keeping it in stock after cutting, especially if this can be done long enough to allow the strains sufficient time to neutralise each other. This neutralising effect will, however, not occur, unless there are no external influences. If it is desired to remove the strains, the wood must be kept free on a good foundation or in very thin layers.

The process of neutralising the strains, which is often slow, can be accelerated by drying and soaking the wood in water alternately or by bathing it in steam. In that case the particles of wood, the cells, change their mutual positions on account of alternate shrinking and swelling and at the same time, in a way, force their way into the positions into which the internal strains are trying to get them.

UNTERSUCHUNGEN

ÜBER

# DIE SPÄTQUARTÄRE GESCHICHTE DER WÄLDER AM KARELISCHEN ISTHMUS

## NEBST EINIGEN VERGLEICHEN MIT ANLIEGENDEN GEBIETEN

ESA HYYPPÄ

---

## TUTKIMUKSIA KARJALANKANNAKSEN METSIEN MYÖHÄISKVARTÄÄRISESTÄ HISTORIASTA SEKÄ MUUTAMIA SIIHEN LÄHEISESTI LIITTYVIÄ ALUEELLISIA VERTAILUJA

SUOMENKIELINEN SELOSTUS



HELSINKI 1932
VALTIONEUVOSTON KIRJAPAINO

# Inhalt.


| | Seite |
|---|---|
| **Einleitung** | 5 |
| Die geologische Entwicklung der karelischen Landenge nach der Eiszeit | 8 |
| Untersuchungsmethoden | 9 |
| Die Untersuchungsgebiete | 13 |
| Das Inlandgebiet des karelischen Isthmus | 13 |
| Das Küstengebiet des finnischen Golfes | 18 |
| Das Küstengebiet des Ladoga | 23 |
| Gesamtergebnis | 24 |
| Baltische Eissee- und Yoldiazeit | 24 |
| Anzylusperiode | 25 |
| Litorinaperiode | 27 |
| Die Zeit nach der Litorinaperiode | 29 |
| **Die regionalen Parallelisierungen** | 31 |
| Verbindung mit der Umgebung von Leningrad | 31 |
| Verbindung mit Estland | 32 |
| Verbindung mit dem See Höytiäinen | 36 |
| Verbindung mit Westfinnland | 38 |
| Andere in Finnland ausgeführte Pollenuntersuchungen | 38 |
| Verbindung mit Schweden | 40 |
| Gesamtergebnis | 40 |
| **Literatur** | 44 |
| **Suomenkielinen selostus** | 46 |


3639—32

# Einleitung.

Die bisherige Kenntnis der Paläoflora auf der finnischen Seite des karelischen Isthmus gründet sich auf die von G. Andersson (1898) und H. Lindberg (1910) veröffentlichten Untersuchungen. Diese phytopaläontologischen Arbeiten beschäftigen sich mit den in Sedimenten (vornehmlich in Torfschichten) vorkommenden makro-, wie auch mikroskopischen Pflanzenresten. Sie behandeln in grossen Zügen beinahe unser ganzes geographisches Gebiet, und ihr Hauptproblem ist das Zeugnis der Paläoflora für die Klimaveränderungen nach der Eiszeit. Bei der Erhellung dieser weittragenden Frage fällt die Entwicklung der Wälder stark ins Gewicht, wie z. B. das häufigste Auftreten der edlen Laubbäume gerade zu einer bestimmten postglazialen Klimaperiode zeigt. So auch vermitteln die oben erwähnten Untersuchungen bereits ein verhältnismässig gutes Bild von der allgemeinen Entwicklung der Wälder am karelischen Isthmus nach der Eiszeit.

Nach den genannten Forschern ist das Gesamtergebnis hinsichtlich der Geschichte der Wälder am karelischen Isthmus folgendes. Nachdem sich das Eis von der karelischen Landenge zurückgezogen hatte, herrschte auf ihrem supraaquatischen Boden eine arktische *Dryas*-Vegetation, zu deren charakteristischen Vertretern folgende gehören: *Dryas octopetala*, *Salix polaris*, *Betula nana*. Irgendeine Baumart war noch nicht eingetroffen. Während das Klima einwenig besser wurde, trafen Kiefer und Birke ein und gleich nach ihnen Espe, Grau- und Schwarzerle. Kiefer und Birke traten als Leitbäume auf, so dass diese waldhistorische Periode als Kiefer-Birkenzeit oder auch nur als Kiefernzeit bezeichnet worden ist. Während der nächsten Periode erreichte die stetig zunehmende Temperatur ihr Maximum, was den erheblichen Anteil der edlen Laubbäume *(Ulmus, Tilia, Quercus)* am Waldbestande zur Folge hatte. Um dieselbe Zeit tritt nunmehr auch die Fichte in reichlicherem Masse auf und erobert sich auf Kosten der anderen Baumarten rasch das Feld. Diese Zeit ist als Periode der edlen Laubbäume und der beginnenden Fichte unterschieden. Während das Klima einigermassen schlechter wurde und sich die Fichte immer mehr Vegetationsgebiete

eroberte, fingen die edlen Laubbäume an, sich zurückzuziehen, und die Zusammensetzung der Wälder wurde allmählich so, wie sie heute ist. Die so gewonnenen waldgeschichtlichen Perioden sind kurz wiederholt folgende: 1. die Periode der arktischen Flora, 2. die Kiefern-Birkenperiode, 3. die Periode der beginnenden Fichte und der edlen Laubbäume, 4. die Zeit der Vorherrschaft von Fichte, Kiefer und Birke. Diese waldhistorischen Zeiträume hatte A n d e r s s o n schon früher (1896) in Schweden festgestellt, allerdings mit dem Unterschiede, dass er dort zwischen die Dryas- und Kiefernzeit noch eine besondere Birkenperiode einschob.

A n d e r s s o n versucht die oben genannten Perioden auch chronologisch zu begrenzen, indem er sie (gleichzeitig auch die des karelischen Isthmus) in die postglazialen Niveauverschiebungsperioden verlegt. Die arktische Flora (L i n d b e r g s Fund von Kivennapa) würde der Yoldiazeit entsprechen, die Kiefern-Birkenzeit dem Anzylus, das Maximum der beginnenden Fichte und der edlen Laubbäume der Litorinazeit, die Zeit der Fichten-, Kiefern- und Birkenwälder der Periode nach dem Litorina bis in die Gegenwart. Die spätere Forschung hat auch gezeigt, dass diese Koordination neben die Entwicklungsphasen der Ostsee wenigstens in grossen Zügen richtig ist.

Die späteren schwedischen Forscher haben schon seit langem in ihren waldhistorischen Darstellungen das bekannte B l y t t-S e r n a n d e r sche Klimawechselschema angewandt. Die einzelnen Klimaperioden dieses Schemas werden, soweit es möglich ist, mit den Niveauverschiebungen und den archäologischen Funden verbunden. Diese Art der Konnektierung hat immermehr an Bedeutung gewonnen, nachdem gelernt worden ist, die quantitative Pollenuntersuchung als Hilfsmethode zu benutzen.

Allerdings versteht sich von selbst, dass das genannte Klimawechselschema, wenngleich es in Skandinavien auch chronologisch immer festeren Boden gewinnt, nicht ohne weiteres auf uns übertragen oder, anders gesagt, nicht synthetisch angewandt werden kann. Bedeutend zuverlässiger ist es, bei jedem Untersuchungsgebiet von den festgestellten Niveauverschiebungen auszugehen, wobei herauszustellen ist, was für eine Paläoflora während einer jeden Entwicklungsphase der Ostsee jeweilig herrschend gewesen ist. Erst hiernach können auf sicheren chronologischen Grundlagen Konnektierungen von grösserer Ausdehnung unternommen werden. Dieses setzt natürlich voraus, dass die einzelnen Entwicklungsphasen der Ostsee für das jeweils in Frage stehende Untersuchungsgebiet möglichst gut bekannt sind.

Der Verfasser dieses hat Gelegenheit gefunden, jene verdienstvollen Niveauverschiebungsuntersuchungen, die früher zu wiederholten Malen am karelischen Isthmus unternommen worden sind, zu ergänzen. Bei dem gegenwärtigen Stand der Forschung ist auch die Entwicklungsgeschichte der Ostsee hinsichtlich der karelischen Landenge so weit klargestellt, dass sie eine ziemlich zuverlässige chronologische Grundlage für die waldhistorische Untersuchung dieses Gebietes liefert. Die vorliegende Untersuchung stützt sich auch auf die so gewonnene lokale Chronologie.

Die in dieser Arbeit darzustellenden waldhistorischen Ergebnisse gründen sich auf Mooruntersuchungen, die in den Sommern 1928, —29, —30 am karelischen Isthmus ausgeführt worden sind, und deren eigentlicher Zweck ist, das verwickelte Problem der Niveauverschiebungen am karelischen Isthmus aufzuklären. Da sich die untersuchten Moore im ganzen auf c. 70 belaufen und sie verschiedenen Höhen ü. M., bis zu den höchsten Gebieten an der karelischen Landenge, angehören, bietet dieses verhältnismässig umfangreiche Material einige Ergänzungen zu der Kenntnis, über die wir jetzt schon hinsichtlich der spätquartären Geschichte der Wälder am karelischen Isthmus verfügen.

## Die geologische Entwicklung der karelischen Landenge nach der Eiszeit.

Zur Grundlage der waldhistorischen Übersicht des Untersuchungsgebietes sei ein kurzer Blick auf seine geologische Entwicklung geworfen. Nach Ailio, Ramsay u. a., wie auch nach den Untersuchungen des Verfassers dieser Darlegung ist die spätquartäre Entwicklung der karelischen Landenge, wie folgt.

Während das ganze übrige Finnland noch vereist war, traten die höchsten Stellen am karelischen Isthmus bereits als Nunatakker hervor. Damals bildeten sich Eisstauseen, deren Lage und Form sich veränderten, jenachdem sich der Eisrand zurückzog. Schliesslich entstand im Ostseebecken der grosse Baltische Eissee, zu dessen verschiedenen Perioden der Eisrand in den beiden Salpausselkä gelegen war. Während der letzten Periode des Baltischen Eissees lag ein ziemlich grosser Teil des karelischen Isthmus bereits als trockenes Land da. Das damalige Ufer ist um den mittleren Teil der kare-

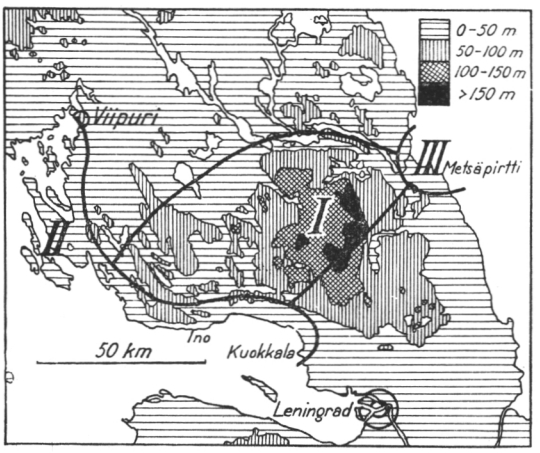



Abb. 1. Untersuchungsgebiete.

I. Inlandgebiet des karelischen Isthmus. II. Küstengebiet des finnischen Golfes. III. Küstengebiet des Ladoga. Die hypsometrischen Beziehungen des karelischen Isthmus nach W. Ramsay.

lischen Landenge 40—50 m ü. M. gelegen. Das folgende, das Yoldiaufer, erreicht in der entsprechenden Gegend nur noch 15—20 m ü. M. Zur Yoldiazeit war somit der grösste Teil des karelischen Isthmus bereits trockenes Land, auf dem sich eine Vegetation ungehindert ansiedeln konnte. Zur Anzylus- und Litorinazeit hat sich das Ufer nicht wesentlich horizontal verschoben, ebensowenig nach der Litorinazeit, als sich das Ufer in seine gegenwärtige Lage zurückzog. Von der Yoldiazeit an bis in die Gegenwart hat sich das Ufer an der karelischen Landenge nur unerheblich horizontal bewegt, so dass sog. Verlandungsgebiet nur in ganz geringem Masse entstanden ist. Hieraus geht hervor, dass, theoretisch gesehen, an der Küste Vermoorung und Verwaldung ungefähr ebenso zeitig haben einsetzen können wie an den allerhöchsten Stellen des Gebietes. Dieses ist auch tatsächlich der Fall, wie wir weiter unten sehen werden.

Während der Litorinazeit sind die Uferverschiebungen am karelischen Isthmus sehr abwechslungsreich und verwickelter gewesen, als man bisher angenommen hat. Die Litorinazeit dieser Untersuchung umfasst ausser der eigentlichen Litorinatransgression auch gewisse spätere Meeresphasen, von denen die letzte ungefähr an das Ende unserer Steinzeit fällt (etwa 1 500 vor Chr.). In dieser Begrenzung entspricht die Litorinazeit der vorliegenden Untersuchung zeitlich ungefähr der atlantischen Klimaperiode.

## Untersuchungsmethoden.

Bei der Untersuchung der Paläoflora ist die bekannte durch von Post entwickelte quantitative Pollenmethode angewandt worden. Die Proben sind mit Hillers Moorbohrer (50 cm — Kapsel) in Entfernungen von 10 cm entnommen. An analysierten Probenserien liegen c. 70 vor. Die zahlreichen Pollendiagramme, welche auf die Ergebnisse dieser Analysen führen, sind unmöglich in diesem Zusammenhang darzustellen, und es ist auch gar nicht erforderlich, da auch auf anderem Wege zu dem durch das Untersuchungsmaterial gegebenen Resultat zu gelangen ist. Ausserdem ist das benutzte Material in seiner Gesamtheit veröffentlicht in einer Untersuchung, welche die Niveauverschiebungen des karelischen Isthmus behandelt, E. Hyyppä (1932 a). Dem Zweck dieser Darlegung entsprechen zwei Durchschnittsdiagramme, die nach folgenden Prinzipien aufgestellt worden sind.

Bei der Pollenuntersuchung zeigte sich deutlich, dass die Zusammensetzung der Pollenflora innerhalb der schmalen Küsten-

zone am finnischen Golf in mancher Hinsicht von der für das Inland gewonnenen abweicht, so dass sich die Unterscheidung dieser Gebiete voneinander als notwendig erweist. Ebenso zeigt auch die Küste des Ladoga in diesem Sinne Eigentümlichkeiten, so dass auch diese gesondert behandelt wird, obgleich die Pollenuntersuchungen über das genannte Gebiet vorläufig für die Aufstellung eines zuverlässigen Durchschnittsdiagramms unzureichend sind.

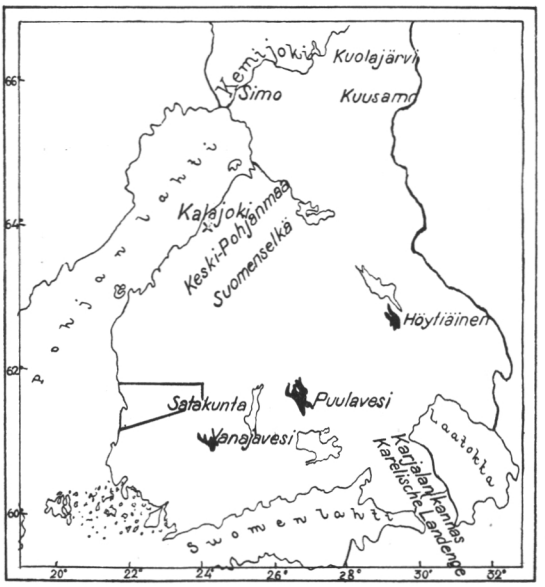



Abb. 2.

Das eine der Durchschnittsdiagramme ist über das Küstengebiet des finnischen Golfes, das andere über das Inlandgebiet aufgestellt worden. Diese Gebietsbezeichnungen sind in diesem Fall nicht geographisch aufzufassen, da die Grenze zwischen dem Küsten- und dem Inlandgebiet ungefähr an derjenigen Stelle gezogen ist, von welcher ab die Pollenflora anfängt, bleibend in den anderen Typ überzugehen. Durch eine solche Abgrenzung spaltet das Küstengebiet des finnischen Golfes einen durchschnittlich nur 5 km breiten Streifen längs der Küste von Kuokkala bis Viipuri ab. Das Untersuchungsgebiet am Ladoga beschränkt sich lediglich auf das kleine Gebiet beim Kirchdorf Metsäpirtti, über das der Verfasser eigene Beobachtungen angestellt hat. Der ganze übrige Teil des Untersuchungsgebietes umfasst in diesem Zusammenhang das Inlandgebiet des karelischen Isthmus. Die Untersuchungsgebiete sind in

die Skizze eingetragen, Abb. 1, S. 8, die gleichzeitig auch die hypsometrischen Verhältnisse der karelischen Landenge darstellt.

Die chronologischen Fixpunkte der Durchschnittsdiagramme werden durch die Stratigraphie derjenigen Moore des Küstengebietes am finnischen Golf gewonnen, in denen deutliche Anzeichen von Niveauverschiebungen zu erkennen sind. Das Diagramm, Abb. 3, unten, stellt einen solchen Fall in Ino dar. Das Diagramm nebst seinem Profil ist etwas schematisiert, damit die methodische Seite, die es in diesem Fall zu beleuchten hat, deutlicher hervortritt. Das Profil des Diagramms stellt ein Moor dar, an dessen Boden die Tongyttja des Baltischen Eissees auftritt. Diese geht weiter oben in Yoldiatongyttja über, die ihrerseits zu Anzylustongyttja wird. Dann folgt ein während der Anzylusregression entstandener Bruchmoortorf mit seiner Stubbenschicht, bis die Litorinatransgression das Bruchmoor mit einer dicken Gyttjaschicht überlagert. Nach der Litorinaperiode vermoorte die Meeresbucht bis auf die gegenwärtige Zeit. Die Altersbestimmung der verschiedenen Horizonte des Profils gründet sich auf das gemeinsame Zeugnis der Diatomeen- und Pollenanalysen. In diesem Zusammenhang braucht nicht näher hierauf eingegangen zu werden. Da mehrere solcher Transgressionsprofile

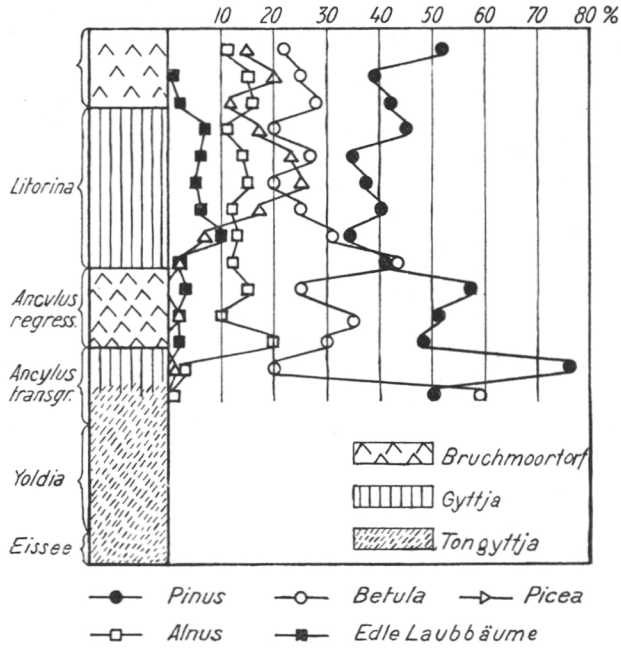



Abb. 3. Das Profil von Ino mit seinem Pollendiagramm.

vorliegen, von Kuokkala bis in die Nähe von Viipuri, und da sie besonders deutlich miteinander konnektiert werden können, gelangt man durch sie auf die Pollenflora der Gegend, wie sie jeweilig während der einzelnen Entwicklungsstufen der Ostsee auftrat. Wenn man nun alle Diagramme des Untersuchungsgebietes, die nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit den Niveauverschiebungen stehen, mit diesen chronologischen Grunddiagrammen verbindet, gelingt es, die Pollenflora des ganzen Untersuchungsgebietes in die im Umkreise des karelischen Isthmus erkennbaren Entwicklungsstufen der Ostsee einzureihen. Die Verbindung ist in einem so abgegrenzten Gebiet durchaus zuverlässig.

Wenn auf diese Weise die relative Chronologie der Durchschnittsdiagramme ermittelt worden ist, werden nunmehr die prozentualen Durchschnittswerte für die Pollenfrequenz der verschiedenen Baumarten während der verschiedenen Entwicklungsstufen der Ostsee berechnet. Vor der Berechnung der Durchschnittswerte sind alle diejenigen Diagramme zu eliminieren, bei denen der Einfluss lokaler Faktoren deutlich zu erkennen ist. Die Ordinate der Durchschnittsdiagramme wird in Zeitrubriken eingeteilt, welche die einzelnen Entwicklungsstufen der Ostsee angeben, und in jede Zeitrubrik werden die durch Verbindung und Berechnung erhaltenen prozentualen Mittelwerte für den Pollenstaub der einzelnen Baumarten eingetragen. Die Zeit des Baltischen Eissees und die des Yoldiameeres sind in derselben Rubrik untergebracht, da diese bis auf weiteres nicht pollenfloristisch voneinander unterschieden werden können. Die Grenze nach dem Anzylus hin ist auch nicht ganz genau. Diese mangelhafte Altersbestimmung der ältesten Schichten ist darauf zurückzuführen, dass sie, wenn sie auch auf Grund der Diatomeenvegetation mit ziemlicher Sicherheit der Eissee- oder der Yoldiazeit zugeschrieben werden könnten, vorläufig keinen Pollenstaub aufzuweisen hatten, wie es z. B. bei dem Profil von Ino der Fall ist.

Die Ordinatenlänge der Durchschnittsdiagramme stellt ungefähr die gegenwärtige relative Mächtigkeit der zu verschiedenen Perioden entstandenen Torfschichten dar (die Schichten, die älter als das Anzylus sind, sind aus Klarheitsrücksichten des Diagramms dicker als in Wirklichkeit eingetragen), allerdings nicht die relative Länge der verschiedenen Perioden. Chronologisch geben die Zeitrubriken die sukzessive Altersfolge der verschiedenen Perioden an, und gleichzeitig grenzen sie eine jede Periode pollenfloristisch ab. Das absolute Alter dieser Zeitrubriken wird durch die jeweils geltende spätquartäre Chronologie bestimmt.

In den Durchschnittsdiagrammen stellt die Kurve der edlen Laubbäume den gemeinsamen prozentualen Mittelwert für *Tilia*, *Ulmus*, *Quercus* und *Corylus* dar. Ausserdem ist in die Diagramme die Pollenfrequenz für eine jede Baumart an der entsprechenden Stelle gesondert eingetragen, wenn die Frequenz $< 1\ \%$ ist. Diese Eintragungen geben gleichzeitig das früheste Auftreten des Pollens einer jeden Baumart innerhalb des Untersuchungsgebietes an. Entgegen dem allgemeinen Gebrauch ist *Corylus* mit den edlen Laubbäumen zusammen in dieselbe Kurve aufgenommen worden. Dieses erscheint als berechtigt, da *Corylus* auf dem Untersuchungsgebiet sehr unzusammenhängend und spärlich auftritt und somit nicht erheblich auf den Verlauf der Durchschnittskurve einwirkt. Ferner dürfte *Corylus* derselben Gruppe wie *Tilia*, *Ulmus* und *Quercus* klimatisch zugerechnet werden. Die Teilkurven der letztgenannten Baumarten sind ebenfalls nicht in den Durchschnittsdiagrammen vermerkt worden, da sie ausser *Tilia* innerhalb des Untersuchungsgebietes spärlich auftreten. Die Kurve der edlen Laubbäume verläuft somit an der karelischen Landenge in unmittelbarer Nähe der Kurve für *Tilia*. Durch diese Vereinfachung erstrebt man in der Diagrammdarstellung grössere Klarheit. Ausserdem treten die edlen Laubbäume bei der eigentlichen Behandlung deutlicher hervor.

## Die Untersuchungsgebiete.

### Das Inlandgebiet des karelischen Isthmus.

Dieses Untersuchungsgebiet umfasst den wichtigsten und wesentlichsten Teil der ganzen Zone, innerhalb welcher die Geschichte der Wälder am karelischen Isthmus erforscht werden kann. Hier sind die ältesten supra-aquatischen Gegenden Finnlands und, wie man erwarten darf, somit auch die ältesten Wälder gelegen. Diesem Gebiet entstammt L i n d b e r g s berühmter *Dryas*-Fund, welcher beweist, dass hier wenigstens gewisse Zeit nach dem Rücktritt des Eises eine Tundrenvegetation herrschend gewesen ist. Nach L i n d b e r g war damals noch keine einzige Baumart bis in diese Gegend vorgedrungen. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass der *Dryas*-Fund einer Sandschicht entstammt, die Pollen immer nur in spärlichem Masse enthält. Es erscheint nicht ausgeschlossen, dass bei Anwendung des Fluorwasserstoff-Aufbereitungsverfahrens Pollenstaub zum Vorschein gekommen wäre. Das genannte Aufbereitungsverfahren war damals allerdings noch nicht bekannt.

Abb. 4, S. 15, stellt das Durchschnittsdiagramm der Pollenflora des Inlandgebietes an der karelischen Landenge dar. Der älteste Teil des Diagramms vertritt die Pollenflora während der Zeit des Baltischen Eissees. Diese Flora besteht in beinahe reiner *Betula*-Flora. Auf die Kiefer entfallen nur c. 10 %, was für sie besonders wenig ist, da gerade diese Baumart am allermeisten Pollen hervorbringt und diesen durch den Wind am allerweitesten zu verbreiten vermag. Auf Grund der geringen Pollenfrequenz der Kiefer muss gefolgert werden, dass die genannte Baumart zur Zeit des Baltischen Eissees an der karelischen Landenge noch nicht besonders allgemein gewesen ist. Wenn man lediglich auf Grund des Verhältnisses, das durch das Diagramm dargestellt wird, die Zusammensetzung der Wälder dieser Zeit beurteilt, ergibt sich, dass die ersten Wälder am karelischen Isthmus beinahe reine Birkenwälder gewesen sind, so dass man hier mit gutem Grunde von einer besonderen Birkenperiode reden kann. Nun können allerdings die Pollen von *B. nana* nicht von denjenigen der wälderbildenden Arten dieser Gattung unterschieden werden, so dass es unmöglich ist, zu sagen, in welchem Masse die hohe Prozentanzahl der Birke auf *B. nana* zurückzuführen ist. Zweifellos ist die Zwergbirke damals an der karelischen Landenge allgemeiner gewesen als gegenwärtig, da das Klima noch streng war. Auf die Unwirtlichkeit des Klimas weist u. a. das häufigste Auftreten des Pollens von *Salix* gerade in den ältesten Schichten hin, was wohl auf die alpinen Arten der *Salix*-Gattung zurückzuführen ist.

Bei diesem nahezu arktischen Klima ist das häufigere Auftreten der Birke, im Vergleich zur Kiefer, als Baumart immerhin verständlich. Ursprüngliche Vegetationsstandorte für die Birke sind ja solche Gegenden, in denen das Klima den Nadelbäumen den Eintritt verwehrt, wie z. B. die Gehänge von Fjelden. Somit ist zu verstehen, dass gerade die Birke in den von Eis und Wasser befreiten Gebieten Fuss fasste, soweit das Klima in dem Masse milder geworden war, dass nicht einzig und allein öde Tundra herrschte. Ausserdem bildet die Birke bedeutend mehr Samen als die Kiefer, und dieser verbreitet sich leichter mit dem Wind. Vornehmlich in öden Gegenden kann diese Samenverbreitung besonders gut vorsichgehen. Auch war der Erdboden damals noch nicht von so starkem Unterwuchs bedeckt, dass dieser imstande gewesen wäre, die Birkenkeime ebenso wirksam wie in späterer Zeit zu ersticken. Damals lagen die Verhältnisse für die Birke relativ günstiger als später, wo die biologisch stärkeren Baumarten (auch die Kiefer) im allgemeinen die reinen Birkenwälder verdrängt haben. Auf diesen Grundlagen erweist sich die

durch das Diagramm belegte Periode mit vorherrschender Birke während der ersten Entwicklungsstufe der Wälder an der karelischen Landenge als sehr wahrscheinlich, wenngleich sie einzig und allein durch die Pollenflora nicht zwingend bewiesen werden kann.

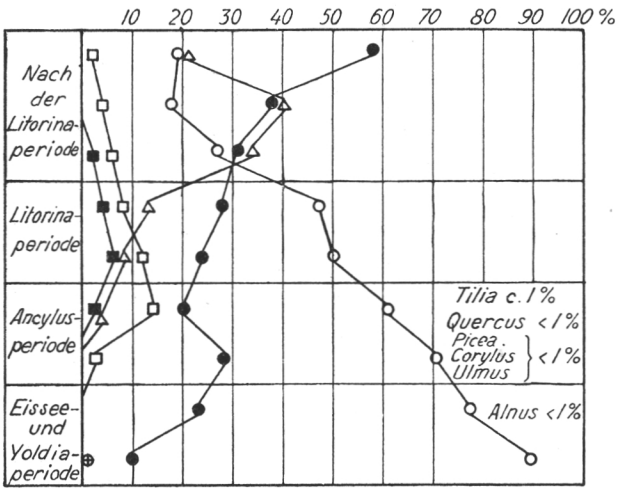



Abb. 4. Durchschnittsdiagramm für das Inlandgebiet am karelischen Isthmus.

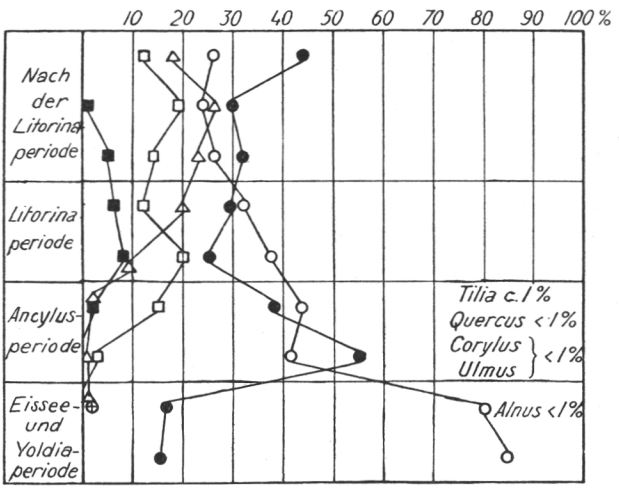



Abb. 5. Durchschnittsdiagramm für das Küstengebit am finnischen Golf (am karelischen Isthmus).

Während der späteren Hälfte dieses ersten waldhistorischen Zeitraums, genauer gesagt, während der Yoldiaperiode, verändert

sich die Zusammensetzung der Wälder nur unerheblich. Allerdings bemächtigt sich die Kiefer auf Kosten der Birke neuen Gebietes. Immerhin ist der Abstieg der Birkenkurve kein plötzlicher, wie man annehmen könnte, wenn die starke Pollenfrequenz der Birke, die sich zu Beginn dieser Periode zeigt, zur Hauptsache auf *B. nana* zurückzuführen wäre. Das Klima nämlich hat damals der raschen Verbreitung der Kiefer nicht mehr hinderlich sein können. Viel wahrscheinlicher ist, dass die Birkenwälder, die festen Fuss gefasst hatten, als Hindernis wirkten und in ihrem geschlossenen Auftreten imstande waren, der Kiefer zähen Widerstand zu leisten.

Mit dem ausgehenden Yoldia trifft auch *Alnus* schon ein, vermutlich hier wie im allgemeinen auch an anderer Stelle die Grauerle *(A. incana)* vor der Schwarzerle *(A. glutinosa)*. Die Pollenfrequenz für *Alnus* beträgt während des ganzen Yoldia $< 1$ %. *Alnus* trat damals noch sehr spärlich auf, doch erscheint als sicher, dass sie innerhalb des Untersuchungsgebietes überhaupt schon gedieh, da das Vorhandensein von *Alnus*-Pollen ein ziemlich sicheres Zeugnis für das Vegetieren der Baumart selber in nächster Umgebung ist (Auer 1925, G. Lundqvist 1928).

In der nächsten waldhistorischen Periode, während des Anzylus, tritt in der Zusammensetzung der Wälder eine plötzlichere Veränderung ein. Das Klima hat bereits auch seinen subarktischen Charakter verloren und neue Baumarten die Wälder bereichern lassen. Nach dem Zeugnis der Pollenflora dieser Zeit treffen damals bereits alle Baumarten ein, denen man noch jetzt innerhalb des Untersuchungsgebietes begegnet, wenngleich manche bedeutend seltener als früher geworden sind. Wichtige Ankömmlinge der Anzylusperiode sind die edlen Laubbäume und die Fichte. In folgender Reihenfolge treffen die edlen Laubbäume ein: *Ulmus*, *Corylus*, die sich ungefähr um dieselbe Zeit niederlassen, *Quercus* und *Tilia*, die bald den vorhergehenden auf den Fersen folgen. Die Gesamtmenge der edlen Laubbäume übersteigt allerdings erst gegen das Ende dieser Periode 1 %. Ebenso setzt die *Picea*-Kurve erst beim Ausgange dieser Periode ein. Am schroffsten steigt um diese Zeit die Kurve von *Alnus* an, die am Schluss der Anzylusperiode kulminiert. Dieses bedeutende Steigen von *Alnus* geschieht auf Kosten sowohl von *Pinus*, als auch von *Betula*. Das lebhafte Ansteigen von *Alnus* hat eine endgültige Klimaverbesserung zu bedeuten und gleichzeitig, dass die Schwarzerle bereits Zeit gefunden hat, sich in ihrer ganzen Ausdehnung über die Gegend zu verbreiten, und der Kiefer, Birke und auch der Grauerle ihre besten Vegetationsstandorte, die Ufer, zu entreissen.

Die folgende Periode, die Litorinazeit, bedeutet eine Optimumperiode des Klimas nach der Eiszeit. Die verschiedenen Forscher haben die Wärmeoptimumzeit in etwas voneinander abweichender Weise untergebracht. Nach G. Andersson und auch vielen anderen Gelehrten begann das Wärmeoptimum schon mit dem ausgehenden Anzylus und setzte sich bis um die Mitte der Litorinaperiode fort. R. Sernander dagegen hat das Wärmeoptimum in die subboreale Periode nach dem eigentlichen Litorina (der atlantischen Zeit) verlegt. Gegenwärtig scheinen sich die schwedischen Forscher der neuen Auffassung L. von Posts angeschlossen zu haben, nach welcher das Wärmeoptimum vor der subborealen Periode gelegen ist, wenn auch immerhin später, als Andersson angenommen hat, ungefähr während der letzten Hälfte der atlantischen Zeit.

Die Pollenflora des Inlandgebietes der karelischen Landenge zeigt, wie das Durchschnittsdiagramm darstellt, dass das Maximum der edlen Laubbäume in die erste Hälfte der Litorinazeit fällt. Das Wärmeoptimum der Litorinaperiode wäre somit am karelischen Isthmus um dieselbe Zeit herrschend gewesen oder ungefähr um die von Andersson angesetzte Zeit. Nach dem Ende der Litorinazeit hin haben sich die edlen Laubbäume schon merklich zurückgezogen, was auf eine Klimaverschlechterung hindeuten mag. Allerdings ist zu bemerken, dass die Fichte schon damals unter den Waldbäumen in erheblichem Masse Fuss gefasst und wenigstens in gewissem Grade die Laubwälder beiseite gedrängt hat. Wenn nun die starke Verbreitung der Fichte gar nicht mit der Klimaverschlechterung in ursächlichem Zusammenhang steht, braucht die Kulmination der edlen Laubbäume zu Beginn der Litorinazeit nicht auf ein gleichzeitiges Klimaoptimum hinzuweisen.

Allerdings hat es den Anschein, dass die Konkurrenzfähigkeit der Laubwälder neben den reinen Nadelwäldern während der letzten Hälfte der Litorinazeit schwächer wird, da die Kiefernkurve zusammen mit derjenigen der Fichte steigt und die Kurve aller Laubbäume abfällt. Dieses Verhältnis ist am besten so aufzufassen, dass sich das Klima während der letzten Hälfte der Litorinazeit wirklich etwas verschlechtert hat, was sehr empfindlich auf die Widerstandsfähigkeit der edlen Laubbäume einwirkte. Dieser geringe Vorteil reichte für die Fichte aus, sich auf Kosten der Laubbäume rasch neuer Vegetationsstellen zu bemächtigen. Edaphischen Faktoren ist wohl in diesem Fall keinerlei Bedeutung beizumessen, da ja die karelische Landenge zum grössten Teil ursprünglich unfruchtbar ist.

Die Zeit nach dem Litorina schliesst diejenige waldhistorische Entwicklung ab, die schon am Ende der Litorinazeit einsetzt. Die Pollenfrequenz der Fichte steigt plötzlich an und kulminiert ungefähr um die Mitte dieser Periode, wonach ein schroffer Abfall bis auf die Gegenwart eintritt. Die Kiefer steigt gleichmässig während der ganzen Zeit und erreicht in der Gegenwart ihre grösste Frequenz. Die edlen Laubbäume verschwinden schon zu Beginn dieser Periode, und ebenso nimmt auch *Alnus* gleichmässig ab. Die Birke fällt ab, während die Fichte ansteigt, bemüht sich allerdings beim Rücktritt der Fichte, abermals etwas anzusteigen. Die Entwicklung der Wälder ist in der Zeit nach der Litorinaperiode im Inlandgebiet des karelischen Isthmus ganz dieselbe wie zu entsprechender Zeit auch im übrigen Finnland gewesen. Die auf diese Entwicklung wirksamen Faktoren sind schon von jeher die erwähnte Klimaverschlechterung und die Kultur gewesen, die auch hier, was den Entwicklungsverlauf anbetrifft, am besten zu verstehen sind.

Auch in seiner Gesamtheit stimmt das Durchschnittsdiagramm des Inlandgebietes an der karelischen Landenge mit dem allgemeinen Ergebnis überein, das schon früher über die spätquartäre Geschichte unserer Wälder gewonnen worden ist. Im Einzelnen ergänzt und bestätigt es diese Kenntnis in einigen Spezialfragen. In diesem Sinne richtet sich das Interesse auf eine schon früher berührte Tatsache. Das Diagramm zeigt in durchaus überzeugender Weise, dass hier die Birkenwälder vor der Litorinaperiode eine bedeutend grössere Ausdehnung gefunden hatten als nach der erwähnten Zeit. Dieses steht in Widerspruch mit der allgemeinen Auffassung, dass die Birkenwälder bei uns von Anfang an höchst unbedeutend gewesen wären und ihre hauptsächlichste Ausbreitung erst durch den Einfluss des Menschen gefunden hätten (Waldbrände und Schwenden, A. K. Cajander 1916).

Obgleich die Pollenfrequenzen nur die relative Menge der entsprechenden Baumarten angeben und auch diese noch auf verschiedene Art, ist das Ergebnis in vorliegendem Fall doch zuverlässig, da die Pollenergibigkeit (Pollenerzeugnis + Ausbreitungsfähigkeit) der Kiefer grösser ist als die der Birke. Die Menge der Birke als Waldelement wird zweifellos durch *B. nana* fehlerhaft vergrössert, wenngleich dieser Umstand nicht in erheblicherem Masse auf die Tendenz, welche die Birkenkurve zeigt, einwirken kann.

## Das Küstengebiet des finnischen Golfes.

Abb. 5, S. 15, stellt das Durchschnittsdiagramm für die Pollenflora des Küstengebietes am finnischen Golf dar. Dieses Diagramm

ist in grossen Zügen dem vorhergehenden ähnlich und bedarf keiner eingehenderen Texterklärung für die einzelnen Perioden. Dagegen erweist sich die Verbindung beider Diagramme als lehrreich. Das Diagramm des Küstengebietes unterscheidet sich von dem über das Inland gewonnenen in folgender Hinsicht.

An edlen Laubbäumen gibt es im Küstengebiet etwas mehr, ebenso kommt *Alnus* reichlicher vor, deren Kurve sich bis auf die Gegenwart nicht annähernd so stark senkt wie im Inlandgebiet. Die Fichtenkurve setzt im Küstengebiet schon mit der Yoldiazeit ein, und die Kiefer ist gegenüber der Birke kräftiger als im Inlandgebiet.

Bei Prüfung der Eigentümlichkeiten des Küstengebietes wendet sich die Aufmerksamkeit zuerst der Fichte zu. Nach dem Zeugnis der Pollenflora hat die Fichte das Küstengebiet etwas früher besiedelt als das Inlandgebiet, wenngleich sie auch hier die Vegetationsstandorte erst zu Beginn der Litorinazeit merklich beherrscht. Diese sind innerhalb des Küstengebietes im Vergleich zu denen des Inlandes für die Fichte nicht ganz so günstig. In letzterem kommen in reichlicherem Masse für Wasser schwer durchlässige Moränen vor, auf denen die Fichte besser gedeiht als auf den biologisch trockenen Heiden, die im Küstengebiet allgemeiner sind. Dieses wird auch dadurch bewiesen, dass sich die Fichte in der Zeit nach dem Litorina im Inland bedeutend stärker verbreitet als im Küstengebiet. Edaphische Faktoren haben also auf das frühere Erscheinen der Fichte im Küstengebiet nicht einwirken können. Hier sind somit klimatische Ursachen in Betracht zu ziehen.

Während der Yoldiazeit ist das Klima am karelischen Isthmus noch ziemlich strenge gewesen. Dieses wird eben vor allem dadurch bewiesen, dass die Birke beinahe allein die damalige Pollenflora ausmacht. Wenn man erwägt, dass das Inlandgebiet zum grossen Teil durchschnittlich 100 m höher über dem Meere gelegen ist als das Küstengebiet, hat dieses strenge Klima im Inlandgebiet einen weit stärker arktischen Charakter gezeigt als im Küstengebiet. Aus diesem Grunde ist auch durchaus zu verstehen, dass sich die Fichte an der karelischen Landenge zunächst in dem klimatisch günstigsten Küstengebiet am finnischen Golf ausgebreitet hat.

Über das Verhältnis zwischen Birke und Kiefer gibt das Diagramm zu erkennen, dass auch im Küstengebiet bis in die Anzyluszeit Wälder mit Birkendominanz vorherrschend waren. Während der Anzylusperiode allerdings wird die Birke durch die Kiefer verdrängt, wenngleich letztere am Schluss dieser Periode wieder etwas unter die Birke sinkt. Derselbe Ansturm der Kiefer ist, wenn auch be-

deutend schwächer, im Durchschnittsdiagramm des Inlandgebietes zu sehen. Bis in die Litorinazeit hinein tritt die Birke im Inlandgebiet bedeutend häufiger auf als im Küstengebiet. In der Zeit nach dem Litorina ist das Verhältnis teilweise umgekehrt, was auf die verschiedenartige Verbreitung der Fichte auf beiden Gebieten zurückzuführen ist.

Dieses auf Grund der Pollenflora erkennbare Auftreten von Birkenwäldern, das im Inlande häufiger ist als an der Küste, kann klimatisch nicht erklärt werden. Während der Anzyluszeit, als sich die Kiefer im Küstengebiet viel stärker als im Inlandgebiet verbreitete, war das Klima am karelischen Isthmus schon so günstig, dass es auf die Zunahme so nördlicher Arten nicht einwirken konnte. Gewiss war das Klima auch damals im Küstengebiet etwas ozeanischer als im Inlandgebiet, wenngleich auch dieser Unterschied auf das erwähnte Verhältnis von Kiefer und Birke nicht von Einfluss gewesen ist, da ja gerade angenommen wird, dass die Birke gegenüber der Kiefer in höherem Grade ozeanischer Art ist. In dieser Hinsicht müsste das Verbreitungsverhältnis der erwähnten Baumarten um die Anzyluszeit dem bestehenden gerade entgegengesetzt sein.

Diese Frage ist auf anderem Wege zu entscheiden. Hierbei ist zunächst zu bemerken, dass die Birkenwälder im Inlandgebiet etwas älter sind als die im Küstengebiet, da während der aufeinanderfolgenden Phasen des Baltischen Eissees die hochgelegenen Gegenden eher als die im Verhältnis zum Meeresspiegel niedrigeren Küstengebiete der Vegetation zugänglich waren. Dieser Altersunterschied ist nicht gross, auch hat er im Diagramm nicht zum Ausdruck gebracht werden können. Doch mag er immerhin ausreichend gewesen sein, der Birke gegenüber der Kiefer im Inlandgebiet einen grösseren Vorsprung zu geben als im Küstengebiet.

Als grösserer Faktor mag bei diesem Kiefern-Birkenverhältnis wohl der Boden selber wirksam gewesen sein. Wie bereits oben erwähnt, gibt es im Inlandgebiet mehr für Wasser schwer durchlässige Moränen als im Küstengebiet. Was den Vegetationsstandort anbetrifft, stellt die Birke grössere Anforderungen als die Kiefer, die auf trockenen und unfruchtbaren Heideböden besser gedeiht als die Birke, ja, sogar in der Lage ist, diese von solchen Vegetationsstandorten zu verdrängen. Die Birke hat somit an den biologisch trockeneren Vegetationsstellen (Küstengebiet) schlechter als an den biologisch feuchtereren (Inlandgebiet) dem Angriff der Kiefer widerstehen können.

Die etwas grössere Verbreitung der edlen Laubbäume im Küstengebiet im Vergleich zum Inlandgebiet ist am besten klimatisch zu erklären. Was den Boden anbetrifft, ist gewiss das Inlandgebiet, wie bereits oben erwähnt, etwas vorteilhafter für die anspruchsvolleren Baumarten als das Küstengebiet. Allerdings ist der Unterschied nicht gross, und wenn man in Betracht zieht, dass die edlen Laubbäume am karelischen Isthmus, ebensowenig wie im übrigen Finnland, niemals zusammenhängende Wälder gebildet, sondern überall immer die fruchtbarsten Areale geringeren Umfanges als Vegetationsgebiete ausgesucht haben und auf diese Weise höchstens als lokale Haine aufgetreten sind, ist wohl zu verstehen, dass die erwähnte auf grössere Regionen bezügliche Bodenverschiedenheit auf derartige verstreute, bessere Vegetationstandorte kaum eingewirkt hat.

Dagegen ist der Einfluss des Klimas auf die Ausbreitung der edlen Laubbäume empfindlicher gewesen, da sich eben deren häufigeres Auftreten auch während der Litorinaperiode auf Südfinnland beschränkt hat, so dass auch die karelische Landenge damals jener klimatischen Grenzzone angehört hat, ausserhalb welcher in nördlicher Richtung edle Laubbäume in grösserer Menge nur an edaphisch ausserordentlich günstigen Vegetationsstandorten anzutreffen waren. Innerhalb einer solchen Kältegrenzzone ist die tägliche Minimumtemperatur der Vegetationszeit von entscheidender Bedeutung für das Gedeihen der betreffenden Pflanzen. Auch die geringen Unterschiede in den Minimumtemperaturen der zu dieser Zone gehörigen verschiedenen Gegenden können an den Pflanzenarten, die diesem Einfluss gegenüber empfindlich sind, hier an dem reichlichen Auftreten der edlen Laubbäume, zu erkennen sein. Für die Entscheidung dieser Frage sind als Hilfsmittel in Finnland angestellte meteorologische Beobachtungen benutzt worden. Diese beziehen sich auf die karelische Landenge, auf die Küsten und das Inlandgebiet, und gehören der gleichen Zeit an, den Jahren 1924—28 (von J. Keränen besorgt). Tabelle I, S. 28, zeigt, welcher Art in den verschiedenen Teilen des Untersuchungsgebietes während der Zeit von Mai bis September die Durchschnittswerte der täglichen Minimumtemperaturen in den einzelnen Monaten sind. Hier sind der Kürze wegen diese Durchschnittswerte angewandt worden, da auch sie schon die klimatische Tendenz zwischen den einzelnen Gegenden angeben.

Bei der Durchsicht der Tabelle richtet sich die Aufmerksamkeit auf den Mai und den September. Obgleich diese keine eigentlichen Vegetationsmonate sind, sind sie immerhin von grosser Bedeutung für diejenigen Arten, die eine längere Vegetationszeit verlangen, wie

Tabelle I.

| Untersuchungsgebiet | Ort | Mai | Juni | Juli | August | September |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Inlandgebiet | Rautu ..... | — 3.7 ° C | 1.8 ° C | 7.7 ° C | 7.6 ° C | 0.9 ° C |
| | Halila ..... | — 3.9 ° C | 1.3 ° C | 6.2 ° C | 6.3 ° C | — 1.8 ° C |
| | Viipuri .... | — 3.2 ° C | 3.1 ° C | 6.9 ° C | 7.3 ° C | 1.1 ° C |
| Küstengebiet | Seivästö.... | — 0.7 ° C | 5.2 ° C | 10.0 ° C | 8.5 ° C | 2.7 ° C |
| Küstengebiet des Ladoga | Sortanlahti . | — 0.4 ° C | 4.5 ° C | 9.9 ° C | 9.8 ° C | 5.0 ° C |

z. B. die edlen Laubbäume. Die Tabelle zeigt, wie im Mai zwischen den Minimumtemperaturen im Küsten- und Inlandgebiet ein Unterschied von c. 3° C zugunsten des Küstengebietes besteht, wo der Durchschnitt der Minimumtemperaturen nicht ganz 1° C unter Null liegt. Das Verhältnis ist dasselbe im September, wenn auch nicht so schroff. Der Unterschied der eigentlichen Sommermonate ist geringer, und hinsichtlich dieser Frage sind sie nur von untergeordneter Bedeutung, da sich die Temperatur innerhalb beider Gebiete im allgemeinen über Null hält. Allerdings liegt die Tendenz auch während der Sommermonate für das Küstengebiet zum Vorteil. Dieser Vergleich zwischen den Temperaturen des Küsten- und Inlandgebietes zeigt, mit anderen Worten, dass an der Küste (auch an der Küste des Ladoga) das Klima ozeanischer ist als im Inlandgebiet.

Wie nun kann dieses damit übereinstimmen, dass z. B. *Tilia* (die am karelischen Isthmus gewissermassen die edlen Laubbäume vertritt) als relativ kontinentale Art häufiger im ozeanischen Gebiet auftritt. Das Verhältnis ist hier so aufzufassen, dass die Ozeanität in der Kältegrenzzone der Pflanze die Vegetationszeit verlängert und besonders die geschlechtliche Erneuerung der Pflanze fördert. Vegetativ mag vielleicht dieser Unterschied kaum von grösserer Bedeutung für *Tilia* sein, wenn auch zweifellos für die geschlechtliche Vermehrung der erwähnten Baumart. Wenn wir uns daran erinnern, dass die Samen von *Tilia* frühestens Anfang Oktober reifen (M. Hertz 1925), ist zu verstehen, dass das Küstengebiet mit seiner längeren Vegetationszeit für die geschlechtliche Vermehrung von *Tilia* günstiger gewesen ist als das Inlandgebiet, wo bereits im September die strengen und sich oft wiederholenden Fröste schlimmstenfalls die geschlechtliche Erneuerung von *Tilia* haben ganz und gar verhindern können, was wiederum seinerseits die Verbreitung der erwähnten Art abgeschwächt hat.

Die oben dargestellte Erklärung für das etwas häufigere Auftreten der edlen Laubbäume im Küstengebiet im Vergleich zum Inlandgebiet, setzt zunächst voraus, dass dieser klimatische Faktor in der Litorinazeit auf dieselbe Weise wirksam gewesen ist wie gegenwärtig, und ferner, dass er auch auf die anderen edlen Laubbäume ähnlich eingewirkt hat wie auf *Tilia*. Vorläufig wird diesen Voraussetzungen durch keinerlei Umstände widersprochen.

Ausserdem wurde darauf hingewiesen, dass die Durchschnittsdiagramme des Küsten- und des Inlandgebietes eine bedeutend grössere Menge von *Alnus* im Küstengebiet des finnischen Golfes zu erkennen geben. Zur Erklärung dieses Umstandes genügt die bekannte Tatsache, dass *Alnus* (beide Arten) lieber gerade an Ufern wächst. Wenn wir uns ausserdem aus der Geschichte des karelischen Isthmus daran erinnern, dass das Küstengebiet am finnischen Golf schon seit dem Y o l d i a beinahe seine gegenwärtige Lage einnimmt, (das Ufer hat sich horinzontal kaum bewegt), ist wohl zu verstehen, dass dieser Einfluss des Ufers auf die Verbreitung von *Alnus* aufs deutlichste sichtbar wird.

## Das Küstengebiet des Ladoga.

Hinsichtlich dieses Untersuchungsgebietes beschränken sich die Kenntnisse auf ein sehr geringes Mass, da hier quantitative Pollenuntersuchungen nur in der Gegend von Metsäpirtti angestellt worden sind. Aus diesem Grunde ist es auch nicht gut möglich, über die Entwicklung der Wälder innerhalb dieses Gebietes sichere Schlüsse zu ziehen. In klimatischer Hinsicht ist das Küstengebiet des Ladoga am besten mit dem Küstengebiet des finnischen Golfes zu vergleichen. Auch zeigt der Boden, wenigstens bis an das Nordende des Ladoga, keinerlei nennenswerte Unterschiede. Daher könnte angenommen werden, dass die Entwicklung der Wälder nahezu dieselbe wäre wie im Küstengebiet des finnischen Golfes. Soweit aus dem Material dieser Untersuchung Folgerungen gezogen werden können, ist auch die Entwicklung in ihren Hauptzügen dieselbe gewesen. Den einzigen Unterschied bilden die edlen Laubbäume, die im Gebiet von Metsäpirtti in seltener Weise spärlich sind, spärlicher als im Inlandgebiet. Dieses mag auf lokale Faktoren zurückzuführen sein, obgleich die Untersuchungen H. L i n d b e r g s (A i l i o 1915) längs der ganzen Küste in dieselbe Richtung weisen. Diese Untersuchungen sind allerdings nur qualitativer Art, so dass sie nicht neben die Pollen-

diagramme gestellt werden können. Da aber in den von Ailio aufgenommenen Profilen z. B. *Tilia* ebenso wie die anderen edlen Laubbäume ziemlich spärlich auftritt, kann es möglich sein, dass das durch Metsäpirtti veranlasste Ergebnis in gewissem Masse die Entwicklung der Wälder in der ganzen nach dem karelischen Isthmus zu gelegenen Küste des Ladoga wiederspiegelt. In gewisser Hinsicht wäre ein solches Ergebnis gar nicht so schwer zu verstehen. Wenn man die Karte der karelischen Landenge, auch den in Russland gelegenen Teil, betrachtet, zeigt sich, wie gerade das nach dem Ladoga hinüber gelegene Küstengebiet in der Gegend der Grenze bedeutend grössere Moorgebiete aufzuweisen hat als das am finnischen Golf. Ausserdem sind diese Moore alt, die meisten von ihnen haben schon vor der Litorinaperiode eine beträchtliche Ausdehnung erlangt. Aus diesem Grunde liegt der Gedanke nahe, dass sie natürliche Hindernisse für die Verbreitung der edlen Laubbäume längs der nach dem Ladoga hin gelegenen Küste nach der karelischen Landenge hin gewesen sind. Diese Ausdehnung wäre zur Hauptsache längs der Küste am finnischen Golf vor sich gegangen und vielleicht teilweise, wie auch aus den früheren Untersuchungen zu schliessen ist, ebenfalls längs der Nordseite des Ladoga, von den Laubwaldzentren von Sortavala und Aunus ausgehend.

## Gesamtergebnis.

Nach der oben unternommenen regionalen Prüfung erscheint es angebracht, ihre Haubtergebnisse über die Geschichte der Wälder an der karelischen Landenge ins Gedächtnis zurückzurufen. (Vergleich Tab. II S. 30).

Baltische Eissee- und Yoldiazeit. Zu Beginn dieser Periode findet sich *Betula*-Pollen mit so dominierendem Anteil in der damaligen Pollenflora, dass man waldgeschichtlich wohl wenigstens von einer birkenbeherrschten Zeit reden muss, allerdings mit dem Vorbehalt, dass *B. nana* das Mengenverhältnis zwischen Birke und Kiefer pollenfloristisch übertreiben kann. Die Mengenverhältnisse innerhalb der Pollenflora sind folgende: *Betula* 90—95 %, *Pinus* 10—15 % und *Salix* durchschnittlich 1 %. Diese älteste Phase der Wälder am karelischen Isthmus kann nicht viel jünger sein als Lindbergs arktische Flora (der Fund von Kivennapa). Allerdings sind die Verhältnisse wohl nicht mehr durchaus arktisch gewesen, da die Torfbildung schon kräftig eingesetzt hatte und die Birke zusammen

mit der Kiefer Wälder bildete. Die genauere Altersbestimmung des Fundes von Kivennapa würde dessen abermalige gründliche Untersuchung erforderlich machen.

Während der zweiten Hälfte dieses Zeitraumes gestaltet sich das Verhältnis für die Kiefer vorteilhafter, und von *Alnus* treten die ersten Anzeichen auf, wodurch bezeugt wird, dass sich das Klima schon etwas verbessert hat. Bemerkenswert ist ebenfalls, dass bereits *Picea* an der Küste des finnischen Golfes aufgetaucht ist, wo ihre Pollenmenge bis 1 % erreicht. Es kann also gesagt werden, dass die Fichte schon während der Yoldiazeit die karelische Landenge erreicht hat, obgleich sie hier erst viel später, in der Litorinazeit, allgemein wird. V. A u e r (1928) hält es nicht für ausgeschlossen, dass es während der Salpausselkäphasen oder also zur Zeit des Baltischen Eissees an den inneren Teilen der karelischen Landenge schon eine üppige Vegetation gegeben haben könnte, die ausser der Fichte auch edle Laubbäume enthalten hätte. Eine solche Annahme erscheint auch als durchaus verständlich, da ja der Eisrand damals schon in ziemlich weiter Entfernung von diesem Gebiet lag. Allerdings spricht die damalige Pollenflora der karelischen Landenge dafür, dass das Klima damals auch hier noch nahezu arktisch war. Dieses strenge Klima herrschte auch noch während der Yoldiazeit, als sich der Eisrand zu Beginn der finiglazialen Wärmeperiode von dem inneren Salpausselkä zurückzog. Dieses wird für die karelische Landenge durch die Yoldia-Pollenflora bezeugt, die ihre älteste Zusammensetzung nicht viel verändert hat. Es hat den Anschein, wie wenn sich das Klima in Südfinnland selbst zu Beginn der finiglazialen Wärmeperiode nicht erheblich verbessert hätte, wenigstens nicht in so geschwindem Tempo, wie im allgemeinen angenommen wird. Die abkühlende Wirkung der grossen Eismassen hat sich damals noch weit über den Gletscherrand hinaus erstreckt.

A n z y l u s p e r i o d e. Zu Beginn dieser Periode vollzieht sich in der Zusammensetzung der Wälder eine grosse Erweiterung. Zu dieser Zeit treffen schon alle edlen Laubbäume ein, und *Alnus* erreicht am Schluss dieses Zeitraumes hinsichtlich des ganzen Gebietes ihre grösste Ausdehnung. Besonders hervorzuheben ist der in dieser Zeit eintretende starke Angriff der Kiefer gegen die Birke, der im Küstengebiet die Kiefer zu einem Siege führt, der zweifellos grösser ist, als die Pollenkurven zu erkennen geben, da in Betracht zu ziehen ist, dass jedenfalls die Pollenmenge der Birke durch *B. nana* vergrössert wird. Unter den edlen Laubbäumen haben sich zunächst *Ulmus* und *Corylus* an der karelischen Landenge angesiedelt. Beide sind sogleich *Alnus* auf den Fersen gefolgt, ungefähr um dieselbe

Zeit, zu Beginn der Anzylusperiode. Der prozentuale Anteil der erwähnten Baumarten steigt allerdings erst am Ende dieser Periode über 1 %. Etwas später als die vorhergehenden, um die Mitte des Anzylus, treffen *Tilia* und *Quercus* ein, von denen *Tilia* schon am Schluss dieser Periode c. 1 % erreicht. Die Menge von *Quercus* ist im Untersuchungsgebiet sehr gering. Dieses ist zum Teil darauf zurückzuführen, dass es schwierig ist, den Pollen der erwähnten Baumarten in zweifelhaften Fällen mit voller Sicherheit zu bestimmen. Deshalb ist in unsicheren Fällen die Bestimmung besser weggelassen worden. Als Hauptgrund für das spärliche Auftreten von *Quercus*-Pollen ist naturgemäss der Umstand anzusehen, dass diese Baumart niemals besonders reichlich an der karelischen Landenge gewachsen ist.

Während der Anzylusperiode ist, wenn auch ausserordentlich spärlich während der ganzen Zeit, die Fichte anzutreffen. Ihre langsame Verbreitung ist nicht ganz einfach zu erklären. Gewiss kann angenommen werden, dass die rasche Verbreitung von *Alnus* ein zu grosses Hindernis für die Fichte bedeutet hat, und zweifellos war es auch zum Teil der Fall. Andererseits aber setzt die Fichte gleich in der nächsten Periode, während der Litorinazeit, mit einem mächtigen, beinahe im ganzen Lande spürbaren Angriff auf die Vegetationsstandorte ein, ganz unabhängig davon, dass nun im Verein mit *Alnus* auch die edlen Laubbäume ihre Konkurrenten sind. Auch klimatisch ist diese Verzögerung der Fichte während der Anzyluszeit nicht leicht verständlich, weil ja damals das Klima schon so günstig war, dass es die Verbreitung der Fichte nicht behindern konnte. Auch an anderen Stellen in Finnland ist allgemein bekannt, dass die Fichte lange Zeit vor ihrer eigentlichen weiten Verbreitung sporadisch auftreten kann, V. A u e r (1928). In Russland liegt nach A n u f r i e w (1931) u. a. in den Schichten, die älter sind als das Anzylus, eine Fichtenperiode vor, bei welcher der Prozentsatz für die Fichte 10—12 % beträgt. In der Anzyluszeit ist die Fichte so gut wie verschwunden, und erst während der Litorinaperiode tritt sie wieder auf. Auch in Schweden ist die Fichte im spätglazialen Ton anzutreffen. Ebenso nach P. W. T h o m s o n (1929) im östlichen Estland. Auf Grund dieser Beobachtungen erscheint es auch als sicher, dass sich die Fichte ursprünglich vom Osten aus, vielleicht nach Schweden auch vom Süden her (L. v. P o s t 1916), zusammen mit der Kiefer und Birke schon zur Zeit des Baltischen Eissees und der Yoldiaperiode nach Westen, in die von Wasser und Eis befreiten Gebiete, verbreitet hat. Aus diesem oder jenem Grunde hat das erste Vorrücken der Fichte immerhin schon vor dem Anzylus Halt

gemacht und erst zu Beginn der Litorinazeit wieder eingesetzt. In denjenigen Gegenden, die schon vor dem Anzylus trockenes Land waren, mag dieser erste Vorstoss der Fichte zu spüren sein, wie an der karelischen Landenge.

Auch erscheint als sicher, dass die Fichte bei ihrer Verminderung während der Anzylusperiode nicht ganz und gar die von ihr gewonnenen Vegetationsstandorte verlassen hat, sondern hier und dort reliktartig verstreut aufgetreten ist, wie das spärliche und sporadische Vorkommen des Fichtenpollens in den Schichten der Anzylusperiode ausweist. Unter dieser Voraussetzung ist zu verstehen, dass sich die Fichte an der karelischen Landenge erst zu Beginn der Litorinazeit verallgemeinert hat. Dieses geschah auf die Art, dass die Fichte, die nach dem ersten missglückten Vorstoss wieder angefangen hatte, sich westwärts fortzubewegen, zum zweiten Male erst zur Litorinazeit an die karelische Landenge gelangte und unmittelbar ihr siegreiches Vorrücken weiter nach Finnland hinein fortsetzte. Die über die karelische Landenge vorgedrungene Front bewegte sich anscheinend längs der Küste am finnischen Golf vorwärts.

Der Einzug der Fichte in Finnland wäre somit in zwei Anläufen vor sich gegangen: zum ersten Mal in spätglazialer Zeit, als freilich erst nur die verstreuten Vortruppen Zeit fanden, den supraaquatischen Boden Südfinnlands zu erreichen, das zweite Mal zur Litorinazeit, als sich die Fichte über ganz Finnland ausbreitete, eine Bewegung, die sich noch heute in Norwegen fortsetzt. Die Ankunftszeit der Fichte ist bei uns auf Grund dieses letzten Vordringens berechnet, und das vor ihrer Pollengrenze angetroffene Vorkommen ihres Pollens hat man im allgemeinen als Wirkung von Fernflug oder lokalen Faktoren zu erklären versucht. In seiner Untersuchung über den Einzug der Fichte in Finnland nimmt allerdings A u e r (1928) auf Grund ihres frühen sporadischen Auftretens an, dass sie bereits in Südostfinnland eingetroffen war, als der Eisrand noch im Suomenselkä lag.

Wenn die Verbreitungsgeschichte der Fichte in ihren Hauptzügen so gewesen ist, wie der Verfasser an dieser Stelle darzulegen gewagt hat, bleibt die Frage offen, worauf der Rückzug der Fichte im Osten nach ihrem ersten Vorstossversuch zurückzuführen ist, und was wiederum den mächtigen Ansturm der Fichte auf Fennoskandien gerade zu Beginn der Litorinaperiode bewirkte.

L i t o r i n a p e r i o d e. Um diese Zeit erreichen die edlen Laubbäume ihre grösste Ausdehnung. Ihre Kurve kulminiert in der ersten Hälfte der Litorinaperiode, was darauf hinweist, dass das Optimum der Wärmeperiode in dieselbe Zeit fällt. Dieses ist

ein Ergebnis, auf welches G. Andersson und viele andere Forscher schon früher gekommen sind. Andererseits erscheint es allerdings als sicher, dass auf das Sinken der Kurve der edlen Laubbäume, das zum Schluss dieser Periode eingetreten ist, ausser einer möglichen Klimaverschlechterung auch um dieselbe Zeit das Vordringen der Fichte als mächtige Front auf die karelische Landenge eingewirkt hat. Aus diesem Grunde kann wohl die Zeit des Wärmeoptimums am karelischen Isthmus nicht genau bestimmt werden, vielmehr sind z. B. die in Schweden angestellten Zeitbestimmungen zuverlässiger, da dort die eigentliche Ausbreitung der Fichte erst an das Ende der Litorinazeit fällt. Immerhin ist die Frage auch unter den schwedischen Gelehrten noch strittig, ferner ist sie von untergeordneter Bedeutung neben dem Ergebnis, das gegenwärtig überall anerkannt ist, dass nämlich das Optimum der Wärmeperiode während der eigentlichen Litorinazeit (atlantischen Zeit) stattgehabt hat und nicht während der nach dieser eintretenden subborealen Periode, wie z. B. Sernander früher dargestellt hat.

Unter den edlen Laubbäumen des karelischen Isthmus sind die wichtigsten *Ulmus* und *Tilia*. *Ulmus* ist allgemeiner zur Anzyluszeit, während dagegen *Tilia* in der Litorinaperiode oft beinahe ausschliesslich dominiert. *Corylus* kommt höchst ungleichmässig vor. Oft kann sie ganz und gar fehlen, bisweilen steigt sie wiederum über 10 %. Als Vegetationsstandorte scheint *Corylus* besonders die Gestade der Seen vorgezogen zu haben. Die übrigen edlen Laubbäume treten pollenfloristisch in der Litorinazeit ebenso wie in der vorhergehenden Periode sehr spärlich auf.

Bei der Darlegung der litorinazeitlichen Ausbreitungsverhältnisse der edlen Laubbäume an der karelischen Landenge ergibt sich als notwendig, auch die Transgressionen und Regressionen als pflanzengeographische Faktoren zu berücksichtigen. Bei uns haben A. Palmgren (1925) und M. Kotilainen (1929) in verdienstvoller Weise den Einfluss der Niveauverschiebungen auf die Vegetation der Uferzonen untersucht. Palmgren hebt den vorteilhaften Einfluss der ungestört sukzessiven Regression auf das Auftreten edlerer Vegetationselemente hervor (Entstehung der artreichen Waldungen auf Ahvenanmaa, auf früherem Meeresboden, der durch eine verhältnismässig späte Regression freigelegt worden ist). Nach Kotilainen wiederum versucht die Transgression, in ihrem Einflussbereich die weniger konkurrenzfähigen, edleren Pflanzenbestände zu zerstören. Auf diese Weise ist z. B. einleuchtend zu erklären, dass *Hippophaës rhamnoides* in den Süd- und Ostteilen des Ostseekreises oder der Transgressionsgebiete regelmässig fehlt.

während sie dagegen ziemlich allgemein in den Regressionsgebieten auftritt. Wenngleich hiergegen einzuwenden wäre, dass die Uferverschiebungen z. B. im Bereich des bottnischen Meerbusens vorläufig unzureichend bekannt sind, erscheint es doch durchaus glaubhaft, dass dieses wichtige Ergebnis Kotilainens, das sich auf zahlreiche Beobachtungen gründet, wenigstens in grossen Zügen zutreffend ist.

Wenn obige pflanzengeographische Faktoren auf die Verhältnisse an der karelischen Landenge angewandt werden, ist zunächst in Betracht zu ziehen, dass sich das Ufer an der karelischen Landenge von der Yoldiazeit bis auf die Gegenwart sehr wenig horizontal bewegt hat. Auf ausgedehnten Strecken ist die Uferzone so gut wie unverschoben geblieben. Dieses ist sowohl auf die geringe absolute Grösse der Regressionen und Transgressionen, als auch darauf zurückzuführen, dass der Uferhang besonders am finnischen Golf steil und meist höher als z. B. die Maximalgrenze der Litorinatransgression ist. Das Ufer hat sich hier also zur Zeit der grössten Ausdehnung der edlen Laubbäume hauptsächlich nur vertikal bewegt, und die Transgressionen können nicht von offensichtlich hinderndem Einfluss auf die Ausbreitung der genannten Baumarten gewesen sein. Auf die Ausbreitung der edlen Laubbäume zur Litorinazeit hat auf der karelischen Landenge das Klima bestimmend eingewirkt, was auch durch die Tatsache bestätigt wird, dass die edlen Laubbäume gerade zur Zeit der Litorinatransgressionen (L I und L III, vgl. E. Hyyppä 1932 a) am häufigsten auftraten, als also die Uferverschiebung an sich wenigstens nicht fördernd auf die Widerstandsfähigkeit der erwähnten Baumarten eingewirkt hat.

Die Zeit nach der Litorinaperiode. Diese Zeit ist im allgemeinen als Zeit der Klimaverschlechterung bekannt. Die damalige Pollenflora der karelischen Landenge bezeugt ihrerseits, dass unter den Vegetationsfaktoren eine Veränderung eingetreten ist, welche die anspruchsvolleren Pflanzenarten zwingt, sich von ihren früheren Vegetationsstandorten zurückzuziehen. Hierfür spricht vor allem der rasche Rückzug der edlen Laubbäume und der Einzug von Fichte und Kiefer als Leitbäume. Um die Mitte dieses Zeitraums kulminiert die Pollenkurve der Fichte, nachdem sie auf c. 35 % gestiegen ist, wodurch bezeugt wird, dass die Fichte zu dieser Zeit der wichtigste Waldbaum gewesen ist. Auf die Verminderung der Fichte am Schluss dieser Periode oder zu historischer Zeit haben hier wie auch anderswo die Waldbrände und die Kultur eingewirkt, die besonders Kiefern- und teilweise auch Birkenwälder vorgezogen haben.

Auf die Klimawechseltheorie der Schweden in diesem Zusammenhang näher einzugehen, ist nicht beabsichtigt, da man nicht alle von ihr dargestellten Perioden an der karelischen Landenge, ebensowenig wie anderswo in Finnland, mit voller Sicherheit hat feststellen können. Auch was die karelische Landenge anbetrifft, ist gewiss verständlich, dass auf die Wärmeperiode nach der Eiszeit, die während des Litorina ihr Optimum erreichte, eine leichte Klimaverschlechterung folgte. Die Anfangsphase dieser Klimaverschlechterung, nach der Theorie die subboreale Periode mit ihren Austrocknungshorizonten, liegt in den Mooren des karelischen Isthmus nicht so überzeugend zusammenhängend und synchron vor, dass das Vorhandensein der erwähnten Austrocknungsperiode als sicher erschiene. Die auf die subboreale Zeit folgende kaltfeuchte subatlantische Klimaperiode erhält durch den karelischen Isthmus insofern eine Stütze, als hier die Vermoorung zu jener Zeit besonders intensiv gewesen ist, was durch die dicken und beinahe unzersetzten *Sphagnum-Eriophorum*-Torfschichten bezeugt wird, die sich damals gebildet hatten.

## Tabelle II.

Übersicht über die Vegetations- und Klimaperioden auf der karelischen Landenge seit der letzten Eiszeit.

| Geochronologie | Perioden nach De Geer | Die Entwicklung der Ostsee | Vegetationsperioden auf der karel. Landenge | Klimaperioden |
|---|---|---|---|---|
| 1932 | Postglazial | Nach der Litorinaperiode | Kiefern—Fichten—Birkenwälder | Postglaziale Klimaverschlechterung |
| 1 000 | | | | |
| Chr. Geb. | | | Fichten—Kiefern—Birkenwälder und spärlich edle Laubbäume | |
| 1 000 | | | | |
| 2 000 | | Litorinaperiode | Kiefern—Birken—Fichtenwälder und Maximum der edlen Laubbäume | Wärmeoptimum |
| 3 000 | | | | |
| 4 000 | | | | |
| 5 000 | | | | |
| 6 000 | | Anzyluszeit | Kiefern—Birkenwälder + Alnus, Ulmus, Corylus; spärlich Picea, Tilia, Quercus | Beginnende Wärmezeit |
| 7 000 | Finiglazial | | | |
| 8 000 | | Yoldiazeit | Birken—Kiefernwälder mit dominierender Birke | Subarktische Zeit |
| 9 000 | Gotiglazial | Eisseezeit | Dryas-Flora | Arktische Zeit |
| 10 000 | | | | |

## Die regionalen Parallelisierungen.

### Verbindung mit der Umgebung von Leningrad.

Nach den oben dargelegten Untersuchungsergebnissen zeigt sich die Notwendigkeit, diese mit entsprechenden Forschungen, die in den Nachbargebieten des karelischen Isthmus angestellt worden sind, zu vergleichen. Hier kommt zunächst der in Russland gelegene Teil der karelischen Landenge in Frage. Darüber haben auch einige Forscher ihre Untersuchungen über die Paläoflora veröffentlicht, die sich vornehmlich auf die Umgebung von Leningrad beschränken. In allerletzter Zeit haben die russischen Gelehrten W. S. Doktu-rowsky und G. J. Anufriew (1931) dort auch eine Menge von Pollendiagrammen veröffentlicht, die nach Finnland hinüber konnektiert werden können. Hier ist nicht der geeignete Ort, eine eingehendere Verbindung zu unternehmen, die ausserdem sehr erschwert wird durch das von den russischen Forschern angewandte Klimawechselschema, das nach dem aus Schweden erhaltenen Muster aufs sorgfältigste den dortigen Mooren angepasst ist. Dieses Schema steht wenigstens in einigen Fällen, von den Russen bearbeitet, in chronologischem Widerspruch mit dem über die karelische Landenge erhaltenen Ergebnis, wie z. B. bei dem Moor von Lachta, wo die atlantische Periode in die Zeit der Anzylusregression geraten zu sein scheint und nicht in das Litorina, wie wohl die Absicht der betreffenden Gelehrten gewesen sein mag. Die subboreale Periode verschiebt sich wohl entsprechend zu weit an die Stelle der eigentlichen Litorinatransgression. Wenn man das auf die Diagramme abgestimmte Klimawechselschema vollkommen ausser acht lässt, kann immerhin die gewünschte Konnektierung in ihren Hauptpunkten ausgeführt werden. Das Ergebnis der Konnektierung ist, dass die Entwicklung der Wälder in der Umgebung von Leningrad in höchstem Masse dieselbe gewesen ist wie auf der finnischen Seite der karelischen Landenge. Die ältesten Wälder sind auch hier von der Birke beherrscht, wenn auch nicht so überzeugend wie im finnischen Teil. Neben Birke und Kiefer umfasst die älteste Pollenflora auch hier *Salix* und daneben *Picea*, oft in ausserordentlich hohen Prozentsätzen (10—12 %). Dieses zeitige Auftreten von *Picea* ist schon früher erwähnt worden (S. 26), so dass hier nicht weiter darauf eingegangen zu werden braucht. Die edlen Laubbäume treten hier ungefähr in denselben Mengenverhältnissen auf wie innerhalb des finnischen Teiles, nur mit dem Unterschiede, dass *Ulmus* häufiger als *Tilia* gewesen zu sein scheint, also in umgekehrtem Verhältnis wie auf der finnischen Seite.

Auf die Entwicklung der in Russland gelegenen Wälder des karelischen Isthmus kann erst dann näher eingegangen werden, wenn man auf Grund der Niveauverschiebungen bei einer gemeinsamen Chronologie angelangt ist.

## Verbindung mit Estland.

In Estland hat P. W. Thomson schon seit einigen Jahren pollenanalytische Untersuchungen angestellt. Sein ausgedehntes Untersuchungsmaterial hat er zusammenfassend in einer regionalen Entwicklungsgeschichte der Wälder Estlands herausgegeben (1929). In dieser Untersuchung stellt er u. a. zwei Durchschnittsdiagramme über die Pollenflora Estlands dar. Das eine Diagramm ist über die unter dem höchsten Ufer (letzte Phase des Baltischen Eissees) gelegenen Moore oder über das ausgewaschene Gebiet ausgeführt worden und das andere über die oberhalb dieser Grenze liegenden Moore oder das nicht ausgewaschene Gebiet. Ersteres entspricht also der Küstenregion der karelischen Landenge, letzteres dem Inlandgebiet. Es ist besonders interessant, diese aus beiden Gebieten erhaltenen Durchschnittsdiagramme miteinander zu vergleichen. Abb. 6 und Abb. 7, S. 33, geben die von Thomson aufgestellten Durchschnittsdiagramme wieder. Bei diesen Diagrammen ist die auf das Klimawechselschema zurückgehende pollenfloristische Periodeneinteilung angewandt, weswegen in diesem Zusammenhang zur Erleichterung der Verbindung die bei den Durchschnittsdiagrammen der karelischen Landenge benutzten Zeitrubriken in die Diagramme eingetragen sind.

Die Koordination der Zeitabschnitte der karelischen Landenge neben Thomsons Diagramme gründet sich auf die Maxima der Anzylus- und Litorinatransgressionen, deren Lage Thomson in seinen Diagrammen bestimmt hat.

Wenn wir nun zunächst das Durchschnittsdiagramm des Inlandgebietes der karelischen Landenge, Abb. 4, mit dem Diagramm des nicht ausgewaschenen Gebietes Estlands vergleichen, Abb. 6, so bemerken wir, dass die Gleichartigkeit dieser Diagramme auffallend deutlich ist. Diese Gleichartigkeit geht so weit, dass die einzelnen Kurven besonders in den älteren Schichten nahezu denselben Verlauf nehmen. Die Kurven der Birke und der Kiefer z. B. verlaufen in beiden Diagrammen beinahe bis auf die kleinsten Windungen auf dieselbe Weise.

Auch in Estland sind die ältesten Wälder auf Grund der Pollenflora als von der Birke beherrscht anzusehen, beinahe in ebenso

hohem Grade wie am karelischen Isthmus, und neben der Kiefer tritt auch hier *Salix*-Pollen spärlich auf. Das Eintreten einer von der Birke beherrschten Periode innerhalb der zuerst vom Eise befreiten Gebiete erhält hierdurch weitere Bestätigung.

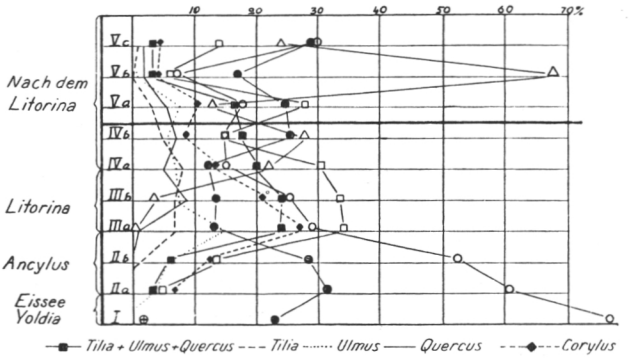



Abb. 6. Durchschnittsdiagramm des nicht ausgewaschenen Gebietes (Inlandgebietes) in Estland nach Thomson. In das Diagramm hat der Verfasser die in dieser Untersuchung angewandten Zeitabschnitte eingetragen.

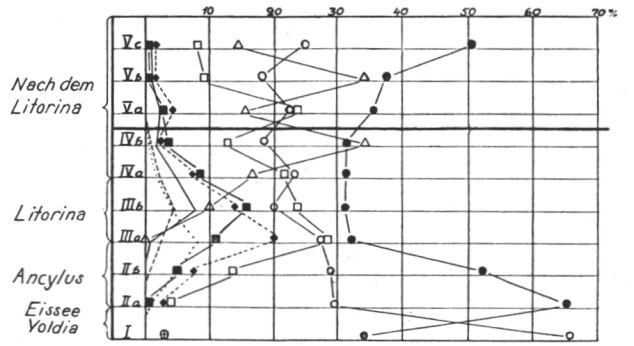



Abb. 7. Durchschnittsdiagramm des ausgewaschenen Gebietes (Küstengebietes) in Estland nach Thomson. In das Diagramm hat der Verfasser die in dieser Untersuchung angewandten Zeitabschnitte eingetragen.

Während des folgenden Zeitraums, im Anzylus, sind die ersten edlen Laubbäume, *Ulmus* und *Corylus*, schon in Estland eingewandert. *Alnus* ist schon etwas früher als die vorhergehenden eingetroffen. Um dieselbe Zeit unternimmt die Kiefer jenen für die Anzyluszeit typischen Ansturm, bleibt aber auch hier wie am karelischen Isthmus mit seiner Pollenfrequenz unterhalb der Birke. Am Ende der Anzyluszeit treffen *Tilia* und *Quercus* ebenso wie an der karelischen Landenge ein, während *Alnus* plötzlich ansteigt.

Bemerkenswert ist, dass die edlen Laubbäume im Inlandgebiet Estlands schon in der Anzyluszeit verhältnismässig reichlich auftreten, bedeutend häufiger als an der karelischen Landenge. Dieses ist teils auf den fruchtbaren, kalkhaltigen Boden Estlands, teils darauf zurückzuführen, dass die edlen Laubbäume etwas früher nach Estland als an die karelische Landenge gekommen sind. Dieses ist auch verständlich, da der abkühlende Einfluss des Eisrandes besonders zu Beginn der Anzyluszeit am karelischen Isthmus stärker zu spüren gewesen ist als in dem bedeutend südlicher gelegenen Estland.

Während der Litorinazeit ist die Entwicklung der Wälder in beiden zum Vergleich herangezogenen Gebieten ganz dieselbe gewesen: die edlen Laubbäume erreichen ihr Maximum, und die Verallgemeinerung der Fichte beginnt. Als Verschiedenheit untergeordneter Art sei das mehrfach häufigere Auftreten der edlen Laubbäume (hier: *Tilia* + *Ulmus* + *Quercus)* und besonders von *Corylus* erwähnt, das hier viele Male häufiger ist als an der karelischen Landenge. Dieser Unterschied ist durch den fruchtbareren Boden und das südlichere Klima Estlands zu erklären.

Die Entwicklung der Wälder nach der Litorinaperiode ist im Inlandgebiet Estlands ebenfalls dieselbe gewesen wie im Inlandgebiet der karelischen Landenge: anfangs Dominanz der Fichte und Rückzug der edlen Laubbäume, zum Schluss Birke und Kiefer bevorzugender Einfluss der Kultur auf Kosten der Fichte.

Als Ergebnis des ausgeführten Vergleiches zeigt sich, dass nach dem Zeugnis der Pollenflora die Entwicklung der Wälder in den Inlandgebieten der karelischen Landenge und Estlands in auffallendem Masse dieselbe gewesen ist. Der sukzessive Rhythmus der Entwicklung ist in beiden Gebieten derselbe gewesen, dessenungeachtet, dass die edlen Waldbäume etwas früher nach Estland als an die karelische Landenge gekommen sind.

Ebenso auffallend gut lassen sich das Durchschnittsdiagramm über das Küstengebiet des karelischen Isthmus, Abb. 5, und das Durchschnittsdiagramm, das über die unterhalb des höchsten Ufers in Estland gelegenen Schichten ausgeführt ist, Abb. 7, untereinander verbinden. Auch in den unterhalb des höchsten Ufers Estlands liegenden Gegenden sind die ältesten Wälder von der Birke beherrscht gewesen, wenn auch nicht so überzeugend wie oberhalb des höchsten Ufers. Das Verhältnis ist zwischen dem Küsten- und Inlandgebiet der karelischen Landenge ganz dasselbe. In der Anzyluszeit steigt im Küstengebiet (unterhalb des höchsten Ufers gelegen) die Kiefer kräftig an und gelangt in ihrer Pollenfrequenz weit vor

die Birke. Am karelischen Isthmus ist das Verhältnis um die entsprechende Zeit ganz dasselbe. Das Verhältnis zwischen Kiefer und Birke setzt sich dann in beiden Diagrammen höchst gleichartig fort.

Diese weitgehende Ähnlichkeit in dem Birken-Kiefernverhältnis ist am besten als Wirkung des gleichen vegetativen Faktors aufzufassen, der in beiden Gebieten von Einfluss gewesen ist. Hinsichtlich des karelischen Isthmus haben wir das häufigere Auftreten der Birke im Inland auf den Einfluss edaphischer Faktoren zurückgeführt. Der Boden ist im Binnenland weniger wasserdurchlässig und in grossen Zügen auch etwas fruchtbarer als die biologisch trockenen und unergibigen Landstrecken des Küstengebietes. T h o m s o n erklärt das Überwiegen der Birke im nicht ausgewaschenen Gebiet prinzipiell ganz auf dieselbe Weise. Dieses ist edaphisch vorteilhafter für die Birke als das nahrungsärmere ausgewaschene Gebiet.

Das Verhältnis der edlen Laubbäume ist am karelischen Isthmus und in Estland zwischen den Küsten- und den Inlandgebieten allerdings ganz entgegengesetzt, ebenso das Verhältnis von *Alnus*. An der karelischen Landenge sind die edlen Laubbäume und *Alnus* am häufigsten im Küstengebiet anzutreffen, in Estland dagegen oberhalb des höchsten Ufers oder im Inlandgebiet. Betreffs der karelischen Landenge haben wir bei unserer Erklärung dieses Verhältnis hinsichtlich der edlen Laubbäume auf das Klima zurückgeführt, das im Küstengebiet im Vergleich zum Inland um soviel südlicher ist, dass die in seiner Kältegrenzzone wachsenden edlen Laubbäume es kräftiger spüren als den Einfluss der edaphischen Faktoren, der im Inlandgebiet für die edlen Laubbäume etwas günstiger ist als an der Küste. In Estland liegt das Verhältnis entgegengesetzt. Die edaphischen Faktoren wirken bestimmend auf die edlen Laubbäume und nicht die klimatischen. Dieses ist auch verständlich, wenn man die Verhältnisse zwischen der karelischen Landenge und Estland miteinander vergleicht. Das durch die Wasserdecke hervorgerufene Auswaschen, das im ursprünglich schon steinigen Sandboden der karelischen Landenge kaum zu erkennen ist, wirkt auf die kalkreichen Bodenarten (Estland), die leicht verwittern, offenbar stärker ein. T h o m s o n s Auswaschungstheorie scheint in diesem Fall ihrerseits das verschiedene Verhalten erklären zu können, das in Estland Küsten- und Inlandgebiet denjenigen Baumarten gegenüber gezeigt haben, die einen besseren Vegetationsstandort verlangen.

Ausserdem ist das Klima in Estland schon südlicher als am karelischen Isthmus, und während in letztgenannter Gegend das Inland nördlich von der Küste liegt, erstreckt es sich in Estland

südlich davon. Hieraus geht hervor, dass das estnische Inlandgebiet klimatisch in bedeutend vorteilhafterer Lage der Küste gegenüber ist als das Inland des karelischen Isthmus.

Was die besondere Verbreitung von *Alnus* angeht, so ist beim Vergleich in Betracht zu ziehen, dass sich das ausgewaschene Gebiet in Estland weiter landeinwärts erstreckt als am karelischen Isthmus, auch hat sich das Ufer in spätquartärer Zeit horizontal bedeutend mehr verschoben als an der karelischen Landenge. Der unmittelbare Einfluss des Ufers auf die Häufigkeit von *Alnus* ist, was das ganze ausgewaschene Gebiet Estlands angeht, nicht ebenso stark positiv wie in der entsprechenden schmalen Zone an der karelischen Landenge. Die oben erwähnte edaphische Ursache hat auch bestimmend auf die Ausbreitung von *Alnus* gewirkt.

Die eigentliche Vorwärtsbewegung der Fichte in Estland geschieht zur Litorinazeit, wie auch am karelischen Isthmus. Der erste spätglaziale Vorstoss der Fichte nach Westen ist, wie bereits S. 26 erwähnt wurde, nur in den östlichen Teilen Estlands zu bemerken. Dieses ist vielleicht darauf zurückzuführen, dass Estland westlicher gelegen ist als der karelische Isthmus, so dass die Fichte als Ankömmling aus dem Osten während ihres ersten kurzandauernden Vordringens nur die östliche Grenze dieses Gebietes erreicht hat. Bei dieser Schlussfolgerung bleibt allerdings bis auf weiteres unerklärt, wie die Fichte in spätglazialer Zeit so weit westlich, wie Schweden gelegen ist, auftritt.

### Verbindung mit dem See Höytiäinen.

Die nächste in Finnland gelegene Gegend, mit der die an der karelischen Landenge gewonnenen Ergebnisse konnektiert werden können, ist bis auf weiteres der See Höytiäinen in Nordkarelien. In die Karte, Abb. 2, S. 10, sind die vorkommenden Untersuchungsgebiete eingetragen. Sauramo und Auer (1928) haben bei der Darlegung der Entwicklungsgeschichte des Sees auch die Geschichte der Wälder dieser Gegend auf Grund der Pollenflora untersucht. Die älteste untersuchte Pollenflora gehört hier dem Anzylus an und entspricht ihrer Zusammensetzung nach der Pollenflora der Baltischen Eissee- und Yoldiazeit des karelischen Isthmus. Am Höytiäinen sind also die Wälder des Anzylus noch von der Birke beherrscht gewesen, und neben der Birke ist nur die Kiefer bei der Bildung der Wälder spärlich aufgetreten. Daneben kommt *Salix*-Pollen wie in den ältesten Moorschichten des karelischen Isthmus ziemlich reichlich vor. Nach diesem Ergebnis ist das Klima in der

Gegend des Höytiäinen während der Anzyluszeit noch subarktischen Charakters gewesen, obgleich der Eisrand schon in einer Entfernung von c. 200 km im Suomenselkä lag.

Um dieselbe Zeit fangen die edlen Laubbäume an, sich nach der karelischen Landenge zu verbreiten, wodurch bezeugt wird, dass das Klima dort in der Anzyluszeit günstiger als in der Gegend des Höytiäinen war. Es hat auch den Anschein, wie wenn das Inlandeis noch während der Anzyluszeit fähig gewesen wäre, weit über den Eisrand hinaus ungünstig auf das Klima einzuwirken, obgleich die postglaziale Wärmeperiode schon begonnen hatte. Die Periode der Birkendominanz ist somit, genau genommen, nicht synchron in Finnland, sondern hat sich nach dem Gletscherrand gerichtet, und die Ausdehnung der Birke ist immer geringer geworden, jenachdem das allmählich besser werdende Klima fähig gewesen ist, den unvorteilhaften Einfluss des abschmelzenden Inlandeises zu reduzieren. Auf ein derartiges Ergebnis ist Auer (1927) schon früher hinsichtlich Lapplands gekommen, wo er am zurücktretenden Gletscherrand eine alpine und eine subalpine Phase unterschieden hat. In diesem Zusammenhang allerdings hebt Auer hervor, dass in Lappland der nördliche Charakter des Klimas an sich auf die Entstehung der lokalen kalten Zone am Rande des Gletschers erheblich eingewirkt hat.

Nach der Anzyluszeit ist die Entwicklung der Wälder am Höytiäinen in ihren Hauptzügen auf ganz dieselbe Weise vor sich gegangen wie an der karelischen Landenge. Die von der Birke beherrschte Zeit ist sehr kurz, und darauf folgt das Aufsteigen der Kiefer zum wichtigsten Waldbaum. Gleichzeitig trifft *Alnus* in der Gegend ein und bald danach die Fichte und die edlen Laubbäume in derselben Ordnung wie am karelischen Isthmus. Am Höytiäinen wird die Fichte in der letzten Hälfte der Anzyluszeit allgemein und erreicht ihr Maximum in der Zeit nach der Litorinaperiode, wie auch am karelischen Isthmus.

Die edlen Laubbäume treten ebenfalls am Höytiäinen während des Allgemeinwerdens der Fichte am häufigsten auf, oder also ungefähr um dieselbe Zeit wie an der karelischen Landenge. Doch ist die Pollenfrequenz der erwähnten Baumarten am Höytiäinen bedeutend spärlicher als am karelischen Isthmus, wodurch bezeugt wird, dass das Klima selbst während der Wärmeperiode in der Gegend des Höytiäinen den edlen Laubbäumen nicht so günstig gewesen ist wie an der karelischen Landenge. Die spätere Entwicklung der Wälder führt am Höytiäinen wie an der karelischen Landenge auf die gegenwärtige Zeit mit ihren von der Kiefer beherrschten Wäldern.

## Verbindung mit Westfinnland.

Die in Westfinnland ausgeführten Pollenuntersuchungen beschränken sich vorläufig auf die von Auer (1924) in der Gegend des Vanajavesi angestellten Beobachtungen und die von L. Aario (1932) in Satakunta ausgeführte umfassende Untersuchung. Die älteste Pollenflora dieser Untersuchungen gehört dem Anzylus an und umfasst dieselbe Artzusammensetzung wie zu entsprechender Zeit am karelischen Isthmus. Das Klima ist somit in Satakunta und in der Gegend des Vanajavesi günstiger gewesen als um dieselbe Zeit am Höytiäinen, ungefähr gleicher Art wie an der karelischen Landenge. Die Fichte wird am Vanajavesi während der ersten Hälfte der Litorinazeit allgemein und in Satakunta in der letzten Hälfte derselben Periode. Die Konzentration der edlen Laubbäume fällt wie auch anderswo in die Litorinazeit. Es ist besonders zu erwähnen, dass in der Gegend des Vanajavesi die edlen Laubbäume ungefähr ebenso reichlich wie an der karelischen Landenge auftreten, in Satakunta dagegen bedeutend spärlicher, durchschnittlich mit 2 %. Dieses spricht dafür, dass beide Gebiete zur Zeit des Wärmeoptimums klimatisch für die edlen Laubbäume unvorteilhafter als die karelische Landenge gewesen sind, während jedoch die Gegend des Vanajavesi edaphisch für die genannten Baumarten so günstig war, dass sie dort in reichlicherem Masse gewachsen sind, als das damalige Klima an sich vorausgesetzt hätte. Die Feststellung dieser Tatsache ist insofern wichtig, als sie ihrerseits den grossen Anteil der edaphischen Faktoren an der Verbreitung der edlen Laubbäume während der Wärmezeit unterstreicht, und dieser Einfluss ist genau zu eliminieren, wenn man es unternimmt, aus den Klimaveränderungen Schlüsse zu ziehen. Das Verhältnis von Kiefer und Birke ist zu den verschiedenen Perioden in Westfinnland ungefähr dasselbe gewesen wie an der karelischen Landenge. Über diejenigen Schichten, die älter als das Anzylus sind, liegen hinsichtlich Westfinnlands vorläufig noch keine Pollenanalysen vor, so dass über ein möglicherweise stattgehabtes Eintreten einer von der Birke beherrschten Zeit nichts Sicheres gesagt werden kann. Auf das ehemalige Dasein einer Birkenperiode in dieser Gegend weisen allerdings die von Herlin (1896) ausgeführten pflanzenpaläontologischen Untersuchungen hin.

## Andere in Finnland ausgeführte Pollenuntersuchungen.

Weiterhin sei noch auf einige in den verschiedenen Gegenden Finnlands ausgeführte Pollenuntersuchungen hingewiesen. A. Hel-

laakoski (1928) hat eine Menge von Pollendiagrammen über Puulavesi herausgegeben, auf Grund deren sich die Fichte dort als fast ebenso alt wie am Höytiäinen und am karelischen Isthmus erweist. Besonders auffällig ist das frühe Auftreten der edlen Laubbäume. Diese sind nach Hellaakoski in die Gegend von Puulavesi zum mindesten ebenso zeitig gekommen wie an die karelische Landenge, die frühesten schon mit dem ausgehenden Yoldia. Diese Altersbestimmung erscheint etwas befremdend, wenn man in Betracht zieht, dass am Höytiäinen um dieselbe Zeit noch eine Periode mit der Birke als Leitbaum herrschte, die auf ein kühles Klima hinweist. Gewiss liegt Puulavesi südlicher als der Höytiäinen, doch sind beide Gegenden hinsichtlich des damaligen im Suomenselkä gelegenen Eisrandes ungefähr in derselben Lage gewesen. Auf keinen Fall ist die Lage von Puulavesi, die südlicher ist als die des Höytiäinen, ausreichend, das dortige frühe Auftreten der edlen Laubbäume zu erklären.

Hinsichtlich des mittleren Pohjanmaa (Keski-Pohjanmaa) hat Backman (Auer 1928) über die Pollengrenze der Fichte Kenntnisse vermittelt, auf Grund deren Auer die Zeit berechnet hat, zu welcher die Fichte in jene Gegend gekommen ist. Seiner Meinung nach ist die Fichte an das Ende des bottnischen Meerbusens c. 3 000 v. Chr. oder später als an das Vanajavesi, wenn auch früher als nach Satakunta, gekommen. Das Tal des Kalajoki-Flusses hat die Fichte nach seiner Auffassung später als Simo erreicht, oder nach der Berechnung Auers c. 2 000 v. Chr., was nahezu der Ankunftszeit der Fichte in Satakunta entspricht. Nach dem mittleren Pohjanmaa ist nach Auer die Fichte durch Kuusamo gekommen. Nach dort wiederum ist sie aus Russland etwas später als nach dem Vanajavesi gekommen. In Lappland ist nach der Auffassung Auers (1927 a) die Fichte erst ziemlich spät oder c. 1000—500 v. Chr. eingetroffen.

Nach Auer haben die Gegenden der Wasserscheide das Fortkommen der Fichte erschwert. So hätte der Suomenselkä diesen Baum gezwungen, durch das Tal des Kemijoki-Flusses nach dem mittleren Pohjanmaa auf einem Umwege zu gelangen, der gerade das frühere Auftreten der Fichte in Simo als im Tal des Kalajoki-Flusses veranlasst hätte. Ebenso hat der Saariselkä das Vordringen der Fichte nach Inari—Lappland verhindert. Auf diese Weise hebt Auer auch die grosse Bedeutung lokaler Faktoren für die Verbreitung der Fichte hervor.

### Verbindung mit Schweden.

Selbstverständlich kann die karelische Landenge nicht im Einzelnen mit ganz Schweden verglichen werden. Eine derartige Parallelisierung kann erst dann unternommen werden, wenn die Entwicklung der Wälder in unserem ganzen Lande befriedigend klargestellt ist. Doch können wir schon einige gemeinsame Züge, die wir bereits bei allen vorhergehenden Gebieten festgestellt haben, zwischen der Entwicklungsgeschichte der Wälder in Schweden und der am karelischen Isthmus erkennen.

Als Vergleichsobjekt bieten sich hier zunächst die östlichen Teile von Mittel- und Südschweden. In der Entwicklung der Wälder zeigt sich hier im grossen und ganzen derselbe Rhythmus wie an der karelischen Landenge. Es ist besonders zu beachten, dass die ältesten Schichten, die oberhalb des Anzylusufers gelegen sind und chronologisch ungefähr der Zeit des Baltischen Eissees und dem Yoldiameer der karelischen Landenge entsprechen, auch in Schweden eine Pollenflora mit Birkendominanz aufweisen. Die edlen Laubbäume haben sich in Schweden in derselben Reihenfolge wie am karelischen Isthmus ausgebreitet, sind jedoch nach allem zu schliessen dort schon ganz zu Beginn der Anzyluszeit oder etwas früher als am karelischen Isthmus eingetroffen. Dieses mag darauf hinweisen, dass die Wärmeperiode wenigstens in Südschweden schon etwas früher als an der karelischen Landenge eingesetzt hat. Dieses ist auch der südlicheren und mehr ozeanischen Lage Südschwedens wegen wohl zu verstehen.

Zur Litorinazeit erscheinen die edlen Laubbäume in Südschweden in bedeutend reichlicherem Masse als an der karelischen Landenge, was teils auf das günstigere Klima, teils auf den nahrhafteren Boden Südschwedens zurückzuführen ist. Insbesondere ist hier ebenso wie in Estland auf das im Vergleich zur karelischen Landenge und überhaupt zum ganzen südlichen Finnland überaus häufige Vorkommen von *Corylus* zu achten. Die Fichte wird in Süd- und Mittelschweden gleich nach der Litorinazeit allgemein oder also bedeutend später als am karelischen Isthmus und etwas später als in Satakunta. Das erste, spätglaziale Eintreffen der Fichte macht sich allerdings auch hier, wie schon früher erwähnt, bemerkbar.

## Gesamtergebnis.

Oben sind in grossen Zügen die Entwicklungen folgender Wälder auf Grund von Pollenuntersuchungen verglichen worden: der Wäl-

der in den um das Ende des finnischen Golfes gelegenen Gegenden, am Höytiäinen, am Puulavesi, am Vanajavesi, in Satakunta und im mittleren Pohjanmaa, wie auch in Süd- und Mittelschweden. Es ist festgestellt worden, wie in allen diesen Gegenden der sukzessive Rhythmus in der Entwicklung der Wälder derselbe gewesen ist. Das Zeitmass für diesen Rhythmus hat das nacheiszeitliche Klima angegeben, das sich progressiv verbessert hat, wenn auch in der Weise, dass sich der abkühlende Einfluss des Eisrandes noch ziemlich spät weit über seinen Bereich hinaus bemerkbar gemacht hat. Hierdurch ist bewirkt worden, dass die in ältester, spätglazialer Zeit vorherrschenden Wälder mit dominierender Birke den Eisrand als stetig schmaler werdende Zone noch bis in ziemlich späte Zeit hinein begleitet haben, als die nacheiszeitliche Wärmeperiode bereits begonnen hatte.

Diese älteste von der Birke beherrschte Zeit ist also nicht in der Bewegungsrichtung des Eises auf längeren Strecken synchron. Doch war der Einfluss der Wärmeperiode schon zu Beginn des Anzylus so stark, dass sich das Auftreten der Wälder mit dominierender Birke bald auf eine verschwindende schmale Zone in unmittelbarer Nähe des Eisrandes beschränkte. Man kann wohl sagen, dass die von der Birke beherrschte Zeit, als eigentliche waldgeschichtliche Periode aufgefasst, in den einer Prüfung unterzogenen Gebieten sich nur in denjenigen Gegenden rechtzeitig genug bemerkbar machen konnte, welche schon vor dem Anzylus trockenes Land waren. Hier mag sie, in groben Zügen genommen, als besondere spätglaziale Periode von Wäldern mit dominierender Birke synchronisiert werden.

In diesem Zusammenhang sei noch erwähnt, dass auch in Mitteleuropa (Gross-Allenstein 1930), ja selbst in Norditalien (P. Keller 1931) die ersten postarktischen Wälder in manchen Fällen mit dominierender Birke gewesen sind. Diese Wälder mit dominierender Birke fallen auch in Mitteleuropa chronologisch am besten in die Yoldia-Zeit.

Ohne weiter auf die Arbeiten anderer süd- und mitteleuropäischer Forscher einzugehen, sei in diesem Zusammenhang noch auf die sowohl zahlreichen, als auch verdienstvollen Untersuchungen von H. Gams hingewiesen, die sich auf die Entwicklungsgeschichte von Mooren und Seen beziehen, und deren Ergebnisse er unter Anwendung der Klimawechseltheorie als Vergleichsbasis bis in den Ostseebereich koordiniert hat, wobei er z. B. mit Rücksicht auf die Entwicklungsgeschichte der Wälder in den Hauptpunkten auf dieselben Resultate wie in Fennoskandien kommt.

Bei den in Frage stehenden Gebieten beginnt die Wärmeperiode auf die Zusammensetzung der Wälder durchschnittlich erst zur Anzyluszeit zu wirken, in den allersüdlichsten Gebieten vielleicht schon etwas früher und in den nördlichsten erst am Schluss dieser Periode. Das Wärmeoptimum fällt auf Grund des häufigsten Auftretens der edlen Laubbäume in die Litorinazeit und ist in dem ganzen erwähnten Gebiet synchron. Auf die Häufigkeit der edlen Laubbäume sind die edaphischen Faktoren von grossem Einfluss gewesen, der besonders in den nördlicheren Gebieten beim Vergleich des Klimas zur Litorinazeit mit dem der Gegenwart auf zu grosse Unterschiede führen kann.

Die Fichte ist schon vor dem Anzylus, als die Wälder mit Birkendominanz in solche mit vorherrschender Kiefer übergingen, zum ersten Mal nach Fennoskandien und in die baltischen Lande gekommen und mit ihren ersten verstreuten Vortruppen bis nach Schweden gelangt. Die eigentliche Front der Fichte ist allerdings noch gar nicht bis nach Finnland gekommen, als sie sich aus diesem oder jenem Grunde wieder nach Osten zurückzog. Von den bereits eroberten, verstreuten Vegetationsstandorten allerdings hat sich die Fichte nicht ganz und gar zurückgezogen, vielmehr erscheint sie hier und dort sporadisch während des ganzen Anzylus, bis sie in der Litorinazeit abermals in Fennoskandien und den baltischen Ländern eindringt, diesmal vermutlich mit einer relativ dichten Front, die schon am Schluss der Litorinaperiode bis in die östlichen Teile Skandinaviens vorgerückt war.

Bis auf weiteres bleibt unentschieden, welcher eigentümliche Vegetationsfaktor das erste Vordringen der Fichte im Osten verhinderte. Hier handelt es sich wohl nicht um eine lokale einzigartige Erscheinung, da beispielsweise Auer (1927) in Kanada ein ähnliches Verhältnis festgestellt hat. Weiterhin bleibt auch die Frage offen, ob diese spätglaziale Vorwärtsbewegung der Fichte lediglich vom Osten her geschah, oder ob die Fichte damals vom Süden aus nach Südschweden gelangte, wie man aus dem Grunde gern annehmen möchte, dass die Fichte in spätglazialer Zeit in Schweden schon ebenso früh wie an der karelischen Landenge auftrat. Die zweite Ankunft der Fichte und ihr eigentliches Allgemeinwerden hingegen ist mit Sicherheit von Osten aus vor sich gegangen, wie bereits frühere Untersuchungen zu wiederholten Malen festgestellt haben.

Die sonderbare Verbreitungsgeschichte der Fichte legt einen bis auf weiteres hypothetischen Erklärungsversuch nahe. Die Fichte (*P. excelsa*) ist eine relativ ozeanische Art, gedeiht aber gegenwärtig nicht in

der eigentlich ozeanischen Gegend Europas (Pyrenäische H.-I.—Frankreich—England—Dänemark—Südschweden—atlantisches Norwegen). Während der Litorinaperiode drang die Fichte nur in Ostfinnland stärker vor. Erst nach der Litorinaperiode begann sie in Westfinnland und Schweden allgemein zu werden. Zwischen der allgemeinen Ausbreitung der Fichte am Vanajavesi und in Satakunta liegt ein grösserer Zeitunterschied als zwischen letzterem und Mittelschweden, obgleich man das Verhältnis eher für umgekehrt halten könnte. Deswegen mag der Gedanke nahe liegen, dass die Litorinatransgression in der Umgebung des bottnischen Meerbusens die allgemeine Verbreitung der Fichte verlangsamt hat, obgleich sie schon zu beiden Seiten des bottnischen Meerbusens eingetroffen war. Dagegen ist z. B. am Vanajavesi das Klima nicht mehr so maritim gewesen wie in Satakunta, so dass die Fichte dort früher als in Satakunta allgemein wurde. Diese Hypothese würde, was das Allgemeinwerden der Fichte in Fennoskandien angeht, die grosse Bedeutung der Niveauverschiebungen unterstreichen. Die eigentliche Front der Fichte hätte sich weiter nach Westen vorgeschoben in demselben Tempo, in welchem sich das atlantische Küstengebiet westwärts bewegt hat. Diese möglicherweise schon früher in dieser oder jener Form dargelegte Hypothese habe ich in der Literatur bisher noch nicht angetroffen.

Die späte Ankunft der Fichte im mittleren Pohjanmaa (Keski-Pohjanmaa) stimmt ebenfalls mit dieser Hypothese vollkommen überein. Selbstverständlich wirft sie A u e r s Erklärung nicht um, dass die Wasserscheide des Suomenselkä ebenfalls das Eindringen der Fichte im mittleren Pohjanmaa verlangsamt hätte.

Was die Richtung angeht, den die einzelnen Baumarten benutzt haben, so kann auf Grund dieser Untersuchung nicht von besonderen östlichen und westlichen Ankömmlingen die Rede sein. Eher hat es den Anschein, wie wenn die meisten Baumarten wenigstens nach Fennoskandien auf zwei Wegen gekommen sind: durch Südschweden und Ostfinnland. Dieses mag durch das ungefähr gleichzeitige pollenfloristische Auftreten unserer wichtigsten Waldelemente in den westlichen und östlichen Teilen Fennoskandiens bezeugt sein. Nicht einmal die Östlichkeit der Fichte erscheint so schematisch sicher, wie im allgemeinen angenommen wird.

## Literatur.


Aario, L. 1932. Pflanzentopographische und paläogeographische Mooruntersuchungen in N-Satakunta. Comm. Inst. Forest. Fenn. 17. 1. Helsinki.

Ailio, J. 1915. Die geographische Entwicklung des Ladogasees in postglazialer Zeit. Fennia 38. Nr. 3.

Andersson, G. 1896. Svenska växtvärldens historia. Från Stockholms högskolans populära föreläsningar. Stockholm.

—»— 1898. Studier öfver Finlands torfmossar och fossila kvartärflora. Bull. de la Comm. Geolog. de Finlande. Helsingfors.

Auer, V. 1924. Die postglaziale Geschichte des Vanajavesisees. Comm. ex Inst. Quaest. Forest. Finl. ed. 8, und Bull. de la Comm. Geolog. de Finlande nr. 69. Helsinki.

—»— 1927 a. Untersuchungen über die Waldgrenzen und Torfböden in Lappland. Comm. ex inst. Quaest. Forest. Finl. ed., 12.

—»— 1927 b. Stratigraphical and Morphological Investigations of Peat Bogs of Southeaster Canada. Comm. ex Inst. Quaest. Forest. Finl. ed., 12.

—»— 1928. Über die Einwanderung der Fichte in Finnland. Comm. ex Inst. Quaest. Forest. Finl. ed., 13. Helsinki.

Cajander, A. K. 1917. Metsänhoidon Perusteet 2 = Grundlagen der Forstpflege 2. W. Söderström. O. Y. Porvoo.

Dokturowsky, W. S. und Anufriew, G. J. 1931. Beiträge zur Kenntnis der Stratigraphie der Leningrader Torfmoore. Moskau.

Gams, H. 1926. Aus der Geschichte der Flora und Fauna am Bodensee. Schr. Ver. Gesch. d. Bodensees 53.

—»— 1927, Die Ergebnisse der pollenanalytischen Forschung in bezug auf die Geschichte der Vegetation und des Klimas von Europa. Sonderabdruck aus »Zeitschrift für Gletscherkunde» Band XV. Berlin.

—»— 1930, Die Bedeutung der Paläobotanik und Mikrostratigraphie für die Gliederung des mittel-, nord-, und osteuropäischen Diluviums. Sonderabdruck aus der »Zeitschrift für Gletscherkunde, Band XVIII. Berlin.

Gross-Allenstein, H. 1930. Das Problem der nacheiszeitlichen Klima- und Florenentwicklung in Nord- und Mitteleuropa. Sonderabdr. aus Beihefte zum Bot. Centralbl. Bd. XLVII, Abt. II. Prag.

Hellaakoski, A. 1928. Puulan järviryhmän kehityshistoria. Fennia 51. Helsinki.

Herlin, R. 1896. Paläontologisk-växtgeografiska studier i norra Satakunta. Vetensk. medd. af Geogr. För. i Finland, III.

Hertz, M. 1925. Niinipuun uudistumisesta Suomessa = Die Erneuerung der Linde in Finnland. Acta Forest. Fenn. 29. Helsinki.

Hyyppä, E. 1932a. Die postglazialen Niveauverschiebungen auf der karelischen Landenge. Annal. Acad. Scient. Fenn. Ser. A. Tom. XXXVII, N:o 31. Helsinki, und Fennia 56, n:o 1.

Keller, P. 1931. Die postglaziale Entwicklungsgeschichte der Wälder von Norditalien. Veröffentl. des geobotan. Inst. Rübel in Zürich. 9 Heft.

Keränen, J. 1924—28. Ilmatieteelliset havainnot Suomessa = Meteorologische Beobachtungen in Finnland. Suomen meteorologinen vuosikirja = Meteorologisches Jahrbuch Finnlands. Helsinki.

Kotilainen, M. J. 1929. Über das boreale Laubmooselement in Ladoga-Karelien. Annales Societatis Zoolog.-Botanicae Fennicae Vanamo Tom. 11. N:o 1. Helsinki.

Lindberg, H. 1910. Phytopaläontologische Beobachtungen als Belege für postglaziale Klimaschwankungen in Finnland. Sonderabdruck aus »Postglaziale Klimaveränderungen». Stockholm.

Lundqvist, G. 1928. Studier i Ölands myrmarker. Sver. Geol. Unders. nr. 353. Stockholm.

Munthe, H., Hede, J., v. Post, L. 1925. Gotlands geologi. Sver. Geol. Unders. Stockholm.

Palmgren, A. 1925. Die Artenzahl als pflanzengeographischer Charakter sowie der Infall und die säkulare Landhebung als pflanzengeographische Faktoren. Acta Botanica Fennica 1. N:o 1. Helsingfors.

v. Post, L. 1924. Ur de sydsvenska skogarnas regionala historia under postarktisk tid. Geol. Fören. Förhandl. Bd. 46. Stockholm.

Ramsay, W. 1928. Eisgestaute Seen und Rezession des Inlandeises in Südkarelien und im Newatal. Fennia 50. Helsinki.

Sauramo, M., Auer, V. 1928. On the development of lake Höytiäinen in Carelia and its ancient flora. Comm. ex inst. Quaest. Forest. Finl. ed. 13.

Thomson, P. W. 1929. Die regionale Entwicklungsgeschichte der Wälder Estlands. Dorpat.

# Tutkimuksia Karjalankannaksen metsien myöhäiskvartäärisestä historiasta sekä muutamia siihen läheisesti liittyviä alueellisia vertailuja.

## Johdanto.

Karjalankannaksen metsien historian varhaisempi tuntemus perustuu G. Anderssonin (1898) ja H. Lindbergin (1910) julkaisemiin tutkimuksiin. Heidän tutkimuksensa kohdistuivat sedimenteissä (etupäässä turvekerrostumissa) löytyviin sekä makro- että mikroskooppisiin kasvinjätteisiin.

Mainittujen tutkijain mukaan vallitsi Karjalankannaksen supra-akvaattisella maalla jään peräydyttyä arktinen *Dryas*-kasvillisuus *(Dryas octopetala, Salix polaris, Betula nana)*. Ilmaston parantuessa saapuivat koivu ja mänty sekä näitten kintereillä haapa *(Populus tremula)*, harmaaleppä *(Alnus incana)* ja tervaleppä *(A. glutinosa)*. Mänty ja koivu olivat valtapuina (mänty-koivukausi). Seuraavalla kaudella yhä kohoava lämpötila saavutti maksiminsa, josta oli seurauksena jalojen lehtipuiden *(Ulmus, Tilia, Quercus)* näkyvä osuus metsäpuina. Tällä kaudella alkaa myöskin kuusi esiintyä runsaammin (jalojen lehtipuiden ja kuusen tulon kausi). Kasvutekijöiden jossain määrin huonotessa (ilmaston huononemiskausi) ja kuusen vallatessa yhä uusia kasvupaikkoja, alkoivat jalot lehtipuut taantua ja metsien kokoomus muuttui vähitellen nykyiselleen.

## Karjalankannaksen geologinen kehitys jääkauden jälkeen.

Tutkimusalueen metsähistoriallisen katsauksen pohjaksi luodaan lyhyt silmäys alueen geologiseen kehitykseen. Koko muun Suomen ollessa vielä mannerjäätikön peitossa pistivät Karjalankannaksen korkeimmat kohdat jo nunatakkeina esiin. Näiden rinteille muodostui jäänpatoamia järviä, joiden asema ja muoto muuttuivat sitä myöten kuin jäänreuna peräytyi luoteeseen. Lopulta syntyi Itämeren altaaseen suuri Baltilainen jääjärvi, jonka eri vaiheitten aikana jäätikön reuna sijaitsi Salpausselillä. Baltilaisen jääjärven viimeisen vaiheen aikana oli melkoinen osa Karjalankannasta jo kuivana maana. Silloinen ranta sijaitsee Karjalankannaksen keskivaiheilla 40—50 m m. p. y. Seuraava nuorempi, Yoldiaranta, on vastaavalla seudulla enää 15—20 m m. p. y. Yoldiakaudella oli siis suurin osa Karjalankannasta jo kuivana maana, jolle kasvillisuus saattoi siirtyä. Aina Yoldiakaudesta nykyaikaan saakka ei merenranta ole Karjalankannaksella siirtyillyt horisonttaalisesti kovinkaan paljon. Tästä johtuu, että soistuminen ja metsittyminen on voinut alkaa rannikolla lähimain yhtäaikaa kuin alueen kaikkein korkeimmilla kohdilla, mikäli muut olosuhteet sen ovat tehneet mahdolliseksi. Asianlaita onkin todellisuudessa näin kuten tässä tutkimuksessa esitettävät tulokset todistavat.

## Tutkimusmetodit.

Muinaisfloran tutkimuksessa on käytetty tunnettua L. von Postin kehittämää kvantitatiivista siitepölymetodia. Analysoituja näytesarjoja on n. 70 ja edustavat ne eri korkeuksilta m. p. y. tutkittuja soita aina Karjalankannaksen korkeimmille maille saakka. Yksityisten diagrammien antamat tulokset (diagrammit on julkaistu K-kannaksen nivoonsiirtymisiä käsittelevässä tutkimuksessani, E. Hyyppä, 1932 a) esitetään kahdessa keskiarvodiagrammissa, joista toinen edustaa Karjalankannaksen sisämaa-aluetta, toinen Suomenlahden rannikkoaluetta. Laatokan rannikkoalue on vielä kolmantena, joskin sieltä on materiaalia niin pieneltä alueelta, ettei keskiarvodiagrammia ole ollut syytä laatia (Abb. 1. siv. 8, esittää mainittuja alueita). Aluetermejä ei voi tässä yhteydessä käsittää maantieteellisesti, sillä esim. raja rannikko- ja sisämaa-alueen välille on vedetty siihen kohtaan, josta alkaen siitepölyflora alkaa pysyväisesti muuttua toisen tyyppiseksi.

Keskiarvodiagrammien kronologiset kiintopisteet saadaan niiden Suomenlahden rannikkoalueen soiden stratigrafiasta, joissa näkyy nivoonsiirtymisien selvät merkit. Diagrammi, Abb. 3, siv. 11, esittää tällaisen tapauksen Inosta. Profiilin eri kerroksien ikämääräys perustuu siitepöly- ja piileväanalyysien yhteiseen todistukseen. Kun tällaisia transgressioprofiileja on useampia, Kuokkalasta alkaen lähelle Viipuria, päästään niistä kunkin Itämeren kehitysvaiheen aikaiseen seudun siitepölyfloraan. Rinnastamalla nyt kaikki sellaiset tutkimusalueen siitepölydiagrammit, jotka eivät ole nivoonsiirtymisien välittömässä yhteydessä näihin kronologisiin perusdiagrammeihin, saadaan Karjalankannaksen piirissä koko tutkittu siitepölyflora kronologisesti sijoitetuksi Itämeren kehitysvaiheisiin. Ennenkuin eri puulajien siitepölymäärien prosenttiset keskiarvot on laskettu, on kaikki sellaiset diagrammit eliminoitu pois, joissa näkyy paikallisten tekijäin poikkeuksellinen vaikutus.

Keskiarvodiagrammeissa esittää jalojen lehtipuiden käyrä *Tilian*, *Ulmus*en, *Quercus*en ja *Corylus*en yhteistä prosentista keskiarvoa. *Corylus* on vastoin yleistä tapaa viety jalojen lehtipuiden käyrään. Tämä näyttää oikeutetulta, koska *Corylus* esiintyy tutkimusalueella hyvin niukasti. Toisekseen voitaneen *Corylus* viedä ilmastollisesti samaan ryhmään kuin edelliset.

## Tutkimusalueet.

### Karjalankannaksen sisämaa-alue.

Tämä tutkimusalue käsittää metsähistorialliselta kannalta katsoen Karjalankannaksen tärkeimmän osan. Abb. 4, siv. 15, esittää tämän alueen siitepölyfloran keskiarvodiagrammia. Vanhimmat metsät (Baltilainen jääjärvi- ja Yoldiakausi) ovat siitepölyfloran todistuksen perusteella olleet selvästi koivuvaltaisia. Koska kuitenkin on mahdoton tietää missä määrin *B. nana* osaltaan aiheuttaa tämän suhteen, ei voi täydellä varmuudella puhua varsinaisesta koivukaudesta, vaan koivuvaltaisten metsien ajasta. Ilmasto on tämän vanhimman metsähistoriallisen kauden lopussa ollut vielä subarktista. Tällöin alkaa kuitenkin jo mänty valloittaa itselleen koivun kustannuksella uutta alaa ja *Alnus* saapuu, luultavasti täällä niinkuin yleensä muuallakin harmaaleppä *(A. incana)* ennen tervaleppää *(A. glutinosa)*. *Alnus*en siitepölymäärä on kuitenkin koko Yoldiakauden $< 1$ %.

Seuraavalla metsähistoriallisella kaudella (Ancyluskausi) tapahtuu metsien kokoomuksessa jyrkempi muutos. Ilmasto on jo menettänyt subarktisenkin luonteensa ja sallinut uusien puulajien rikastuttaa metsiä. Tärkeinä tulokkaina ovat jalot lehtipuut ja kuusi. Jalot lehtipuut saapuvat järjestyksessä: *Ulmus*, *Corylus*, jotka saapuvat suunnilleen yht'aikaa sekä *Quercus* ja *Tilia*, jotka tulevat pian edellisten jälkeen. Uudet tulokkaat esiintyvät kuitenkin keskimäärin $< 1$ % Ancyluskauden loppuun saakka. *Alnus*sen käyrä kulminoi tämän kauden lopulla.

Seuraava kausi (Litorina) on ilmaston optimikausi. Jalojen lehtipuiden maksimi sattuu Litorinakauden alkupuoliskolle. Tämän kauden lopulla ovat jalot lehtipuut jo selvästi taantuneet, mikä saattaa merkitä ilmaston lievää huononemista. On kuitenkin huomattava, että kuusi on jo tällöin saanut huomattavan jalansijan metsäpuiden joukossa ja ainakin jossain määrin työntänyt lehtometsiä syrjään. Jos nyt kuusen voimakas leviäminen Litorinakauden lopulla ei ole syy-yhteydessä ilmaston huononemiseen, ei jalojen lehtipuiden kulmination Litorinakauden alkupuoliskolla tarvitse merkitä samanaikaista ilmaston optimia. Käytettävissä olevan ainehiston perusteella on kuitenkin parhaiten ymmärrettävissä, että ilmasto Litorinakauden loppupuoliskolla todellakin hiukan huononi mikä hyvin herkästi vaikutti jalojen lehtipuiden kilpailukykyyn. Edafisilla tekijöillä ei voi olla, katsoen Karjalankannaksen jo alunperin karuun maaperään, tässä suhteessa suurtakaan merkitystä.

Litorinakauden jälkeinen aika päättää sen metsähistoriallisen kehityksen, joka alkaa jo Litorinakauden lopulla. Kuusi pääsee, siitepölymääränsä perusteella arvostellen, tämän kauden puolivälissä yhtä yleiseksi kuin mänty, paikoin valtapuuksi, mutta taantuu nykyaikaan tultaessa. Jalot lehtipuut häviävät jo tämän kauden alkupuoliskolla ja *Alnus* laskee tasaisesti. Metsien kehitys Litorinakauden jälkeisenä aikana on ollut Karjalankannaksen sisämaa-alueella aivan samallaista kuin vastaavana aikana muuallakin Suomessa. Tähän kehitykseen vaikuttavina tekijöinä on jo vanhastaan esitetty ilmaston huononeminen ja kulttuuri, jotka tekijät ovat täälläkin kehityksen kulkuun nähden parhaiten ymmärrettävissä. Koivuun nähden huomautettakoon, että se, siitepölymääränsä perusteella arvostellen, on ennen Litorinakautta ollut Karjalankannaksella yleisempi kuin mainitun kauden jälkeen. Tämä osottaa poikkeuksellista suhdetta siihen yleiseen sääntöön, jonka mukaan koivumetsät ovat Suomessa alunperin olleet vähäpätöiset ja saaneet pääasiallisimman laajuutensa vasta ihmisen vaikutuksesta (vrt. kulot ja kaskenpoltto, Cajander 1916).

### Suomenlahden rannikkoalue.

Abb. 5, siv. 15, esittää Suomenlahden rannikkoalueen siitepölyfloran keskiarvodiagrammia. Diagrammi osottaa metsien kehityksen olleen täällä pääpiirteissään samanlaisen kuin edelliselläkin alueella. Pikkupiirteisiä eroavaisuuksia ovat: 1. Kuusen tulo rannikkoalueelle hiukan aikaisemmin kuin sisämaa-alueelle, 2. Mänty on suhteessa koivuun voimakkaampi täällä kuin sisämaa-alueella, 3. Samoin jalot lehtipuut ja *Alnus* esiintyvät täällä hiukan runsaammin kuin sisämaa-alueella.

Kuusen varhaisempi saapuminen Suomenlahden rannikkoalueelle selittyy parhaiten ilmastollisesti. Yoldiakauden vielä sangen kylmä ilmasto vaikutti ymmärrettävästi sisämaa-alueen korkeilla mailla (50—100 m m. p. y.)

paljon epäedullisemmin kuusen leviämiseen kuin alavammalla ja lauhkeammalla rannikolla. Tämä selitys näyttää sitäkin vakuuttavammalta kun sisämaa-alue on muuten edafisesti kuuselle edullisempaa kuin rannikkoalue.

Männyn (lähinnä Ancyluskaudella) runsaampi esiintyminen rannikkoalueella sisämaahan verrattuna, johtuu taasen edafisista tekijöistä. Mänty on biologisesti kuivemmilla kasvupaikoilla (rannikkoalueen kangasmaat) kyennyt voittamaan koivun helpommin kuin biologisesti kosteimmilla kasvupaikoilla (sisämaa-alueen vaikeammin vettäläpäisevät, moreenirikkaammat maat).

Jalojen lehtipuiden erilaiseen levenemiseen kummallakin alueella ei tämä suuralueellinen maaperäeroavaisuus ole saattanut sanottavasti vaikuttaa, sillä jalot lehtipuut eivät ole täällä koskaan, enempää kuin muuallakaan Suomessa, muodostaneet yhtäjaksoisia metsiä, vaan valinneet aina edafisesti parhaat pienoisalueet kasvupaikoikseen. Ilmaston vaikutus on sen sijaan ollut herkempi, sillä Karjalankannaskin kuuluu siihen jalojen lehtipuiden kylmyysrajavyöhykkeeseen, jonka pohjoispuolella mainitut puulajit eivät kasva runsaammin muuta kuin edafisesti erittäin edullisilla kasvupaikoilla. Tällaisessa kylmyysrajavyöhykkeessä on kasvukauden vuorokautisilla minimi. lämpötiloilla ratkaiseva merkitys asianomaisten kasvien viihtymiselle. Esillä olevan kysymyksen ratkaisemiseksi on käytetty apuna Suomessa tehtyjä ilmatieteellisiä havaintoja. Niitä on Karjalankannakselta, rannikoilta ja sisämaa-alueilta yht'aikaisina v:lta 1924—28 (J. Keräsen toimittamia). Taulukko I, siv. 22, osoittaa minkälaiset Karjalankannaksen eri osissa ovat toukok.—syysk. eri kuukausien vuorokautisten minimilämpötilojen keskiarvot. Lyhykäisyyden vuoksi on käytetty keskiarvoja, koska nekin jo ilmaisevat ilmastollisen tendenssin eri seutujen välillä. Taulukko osottaa, että ilmasto rannikkoalueella on selvästi merellisempää kuin sisämaa-alueella. Puulajien kylmyysrajavyöhykkeessä tämä rannikkoalueen merellisyys sisämaa-alueeseen verrattuna, merkitsee rannikkoalueen pitempää kasvukautta, joka taasen vuorostaan edistää varsinkin puulajin suvullista uudistumista. Rannikkoalueen ilmastollisesti suotuisampaa ja pidempää kasvukautta sisämaa-alueeseen verrattuna täytyy näinollen pitää pääsyynä jalojen lehtipuiden runsaampaan esiintymiseen edellä mainitulla alueella.

*Alnus*sen runsaampaan esiintymiseen rannikkoalueella on vaikuttanut sen (molemmat lajit) viihtyminen parhaiten juuri rannoilla.

### Laatokan rannikkoalue.

Tällä alueella on tutkimuksia suoritettu ainoastaan Metsäpirtin seudulla. Näiden perusteella näyttää Laatokan rannikkoalue olevan verrattavissa lähinnä Suomenlahden rannikkoalueeseen, johon se myöskin ilmastollisesti liittyy.

## Yhteistulos.

Tässä kappaleessa kerrataan lyhyesti edellä saadut tulokset, jotka yleissilmäyksellisesti näkyvät taulukosta II, siv. 30. Erikoisesti kiintyy huomio Yoldiakauden ilmastoon, joka siitepölyfloran todistuksen perusteella oli Karjalankannaksellakin vielä subarktista. Näyttääkin siltä, ettei ilmasto finiglasiaalisen lämpökauden alussa etelä-Suomessa sanottavasti parantunut, ei ainakaan niin ripeässä tahdissa kuin on otaksuttu. Suurien jäämassojen kyl-

määvä vaikutus on tällöin vielä ulottunut suhteellisen kauaksi jäätikön reunan ulkopuolelle. Kuusen tuloon nähden herättää huomiota sen varhainen myöhäisglasiaalinen esiintyminen ja varsinainen yleistyminen vasta Litorinakaudella, joka vie siihen ajatukseen, että kuusen ensimäinen eteneminen myöhäisglasiaalisella ajalla syystä tai toisesta pysähtyi ja pääsi uudelleen vauhtiin vasta Litorinakaudella.

Mitä tulee laajakantoiseen Blytt-Sernanderin ilmastonvaihteluteoriaan, jota varsinkin ruotsalaiset tutkijat käyttävät jääkauden jälkeisten tapahtumien lähtökohtana, ei siihen tämän tutkimuksen yhteydessä ole tahdottu lähemmin puuttua, koska sen edellyttämiä kausia ei ole niin kaavamaisesti voitu Karjalankannaksella enempää kuin muuallakaan Suomessa varmuudella todeta. Karjalankannakseenkin nähden on kuitenkin ymmärrettävissä, että jääkauden jälkeistä lämpökautta, joka Litorinakaudella saavutti optiminsa, seurasi ilmaston lievä huononeminen.

## Alueelliset vertailut.

Tässä kappaleessa verrataan metsien kehitystä siitepölytutkimuksien perusteella: Suomenlahden perukan ympärillä olevilla seuduilla, Höytiäisellä, Puulavedellä, Vanajavedellä, Satakunnassa, keski-Pohjanmaalla sekä etelä- ja keski-Ruotsissa keskenään. Siitepölydiagrammien alueellisessa rinnastuksessa herättää yksityiskohtaisempaa huomiota Eestin siitepölyfloran keskiarvodiagrammit, Abb. 6 ja 7, siv. 33, (Thomson 1929), jotka sangen yksityiskohtaisesti vastaavat Karjalankannaksen keskiarvodiagrammeja.

Kaikilla tarkastelun alaisina olleilla alueilla on metsien historian perättäinen kehitysjaksoisuus ollut sama. Tämän kehityksen rytmin on säätänyt jääkauden jälkeinen ilmasto, joka asteettain on parantunut, kuitenkin niin, että jäätikön reunan kylmäävä vaikutus on tuntunut vielä sangen myöhään suhteellisen kauaksi sen ulkopuolelle.

Metsähistoriallisesti vanhin, koivuvaltainen kausi, on tarkastelun alaisilla seuduilla ehtinyt vallita ainoastaan niillä alueilla, jotka jo ennen Ancyluskautta olivat kuivana maana. Lämpökausi alkaa vaikuttaa metsien kokoomukseen puheena olevilla alueilla vasta Ancyluskaudella, kaikkein eteläisimmillä alueilla jo hiukan aikaisemmin ja pohjoisimmilla vasta tämän kauden lopulla. Lämpöoptimi sijoittuu jalojen lehtipuiden runsaimman esiintymisen perusteella Litorinakaudelle. Jalojen lehtipuiden runsauteen on edafisilla tekijöillä ollut huomattava vaikutus, joka varsinkin pohjoisemmilla alueilla saattaa litorinakautisen ja nykyisen ilmaston vertailussa johtaa liian suureen eroavaisuuteen.

Kuusi on jo ennen Ancylusta, koivuvaltaisten metsien muuttuessa mäntyvaltaisiksi, tullut ensimmäisen kerran Fennoskandiaan ja Baltian maihin, Ruotsiin mahdollisesti tällöin etelästä käsin. Kuusi kuitenkin perääntyi jo valtaamiltaan kasvupaikoilta idemmäksi, mutta esiintyi kuitenkin koko Ancyluskauden esim. Suomessa harvakseen siellä täällä, kunnes se Litorinakaudella eteni uudelleen Fennoskandiaan ja Baltian maihin.

Kuusen merkillinen levenemishistoria tuo myöskin erään toistaiseksi vain hypoteettisen selitysyrityksen esiin. Olkoonpa, että kuusi *(P. excelsa)* on suhteellisesti merellinen laji, ei se kuitenkaan viihdy Europan varsinaisella merellisellä alueella (Pyreneitten niemimaa—Ranska—Englanti—Tanska —etelä- ja keski-Ruotsi, atlantinen Norja). Litorinakaudella kuusi eteni voi-

makkaammin vain itä-Suomessa. Vasta Litorinakauden jälkeen se alkoi huomattavammin yleistyä länsi-Suomessa ja Ruotsissa. Kuusen yleistymisen välillä Vanajavedellä ja Satakunnassa on suurempi aikaero kuin sen yleistymisen välillä viimemainitulla alueella ja keski-Ruotsissa, vaikka suhteen olettaisi olevan päinvastaisen. Tähän perustuen saattanee ajatella, että Litorinatransgressio on Pohjanlahden piirissä hidastuttanut kuusen yleistymistä, vaikka mainittu puulaji oli jo saapunut Pohjanlahden molemmille puolille. Kuusen yleistyminen länteenpäin olisi siis tapahtunut samassa tahdissa kuin atlantinen rannikkoalue on siirtynyt lännemmäksi.

Mitä eri puulajien käyttämiin kulkusuuntiin tulee, ei tämän tutkimuksen perusteella voi puhua erikoisista itäisistä ja läntisistä tulokkaista. Pikemminkin näyttää siltä, että useimmat puulajit ovat ainakin Fennoskandiaan saapuneet kahta tietä: etelä-Ruotsin ja itä-Suomen kautta. Tätä todistaa tärkeimpien metsäpuittemme lähimain yhtäaikainen siitepölyfloristinen esiintyminen Fennoskandian länsi- ja itäosissa. Ei edes kuusen itäisyys näytä niin kaavamaisen varmalta kuin yleensä otaksutaan.

# ÜBER DIE POSTGLAZIALEN, NATÜRLICHEN VERÄNDERUNGEN DES WALDBODENS IN FINNLAND

VON

*V. T. AALTONEN*

---

SUOMEN METSÄMAAPERÄN LUONTAISISTA MUUTOKSISTA JÄÄKAUDEN JÄLKEEN

*V. T. AALTONEN*

SUOMENKIELINEN SELOSTUS

---

HELSINKI 1933

Helsinki 1933. Valtioneuvoston kirjapaino.

# Über die postglazialen, natürlichen Veränderungen des Waldbodens in Finnland

## Vorläufige Mitteilung

Bodengeographisch gehört Finnland zu der humiden Zone. Der herrschende Bodentyp der finnischen Wälder ist Podsol und die natürlichen Veränderungen des Waldbodens in Finnland sind hauptsächlich durch die Vorgänge der Podsolierung bestimmt. Wenn ich im folgenden diese Erscheinung näher behandele, beschränke ich mich auf das Aussehen des Bodenprofils in den Grus- und Sandböden unserer gewöhnlichen Heidewälder und auf die Veränderungen im Boden, die sich mit Hilfe seines äusseren Aussehens feststellen lassen. Die chemische und physikalische Seite der Podsolierung wird in diesem Zusammenhang nur gestreift; auch die Veränderungen im Boden infolge Versumpfung, Entwässerung, Anbau u. a. fallen ausserhalb des Rahmens dieser Mitteilung.

Die drei Hauptfaktoren der Podsolierung sind:

1) das Klima,
2) die Bodenbeschaffenheit (einschl. Vegetation) und
3) die Zeit, oder m. a. W. das Alter des Bodens.

Vergleicht man gleichartige, gleichalte Böden in verschiedenen Klimaten miteinander, so gewinnt man eine Vorstellung von der Bedeutung des Klimas und ebenso kann man — mutatis mutandis — den Einfluss der beiden übrigen Faktoren bestimmen. Wenn in dem zu untersuchenden Gebiet einer dieser Faktoren konstant ist, lässt sich natürlich nur die Bedeutung der beiden übrigen feststellen, bzw. nur eines derselben, wenn zwei Faktoren konstant sind. Diese Frage lässt sich also nur dann beantworten, wenn gleichartige und gleichalte Böden in verschiedenartigen Klimaten auftreten oder im gleichen Klima Böden, die gleichaltrig, aber verschiedenartig sind und umgekehrt.

Wenn wir uns fragen, welche Möglichkeiten Finnland in dieser Beziehung für die Klärung des Phänomens der Podsolierung bietet, so ergibt sich, dass alle drei Faktoren zwar variieren und zwar teil-

weise sogar recht bedeutend, dass sich aber doch der Untersuchung gewisse Schwierigkeiten entgegenstellen, die teils daher rühren, dass die erwähnten Kombinationen nicht immer vorhanden sind oder dass die Veränderungen der Faktoren nicht ausreichen, teils durch andere Gründe bedingt sind.

Die wichtigste Eigenschaft des Klimas vom Standpunkt der Podsolierung aus ist seine Humidität. Wenn man die Humidität des finnischen Klimas nach der Methode von Martonne berechnet (indem man die jährliche Niederschlagsmenge durch die mittlere Jahrestemperatur + 10 dividiert), stellt man fest (Abb. 1), dass sie im allgemeinen an den Küsten am niedrigsten ist und nach dem Binnenlande zu steigt, dass aber die Veränderungen innerhalb Finnlands doch nicht sehr gross und schroff sind.[1]) Ausserdem ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der meteorologischen Beobachtungsstationen in Finnland verhältnismässig gering ist und infolgedessen das Bild der Humiditätsverhältnisse ziemlich allgemein wird.

Die petrographische Zusammensetzung der Grus- und Sandböden der finnischen Wälder wechselt nicht wesentlich, dagegen variieren die physikalischen Eigenschaften des Bodens, die vom Standpunkt der Podsolierung am wichtigsten sind, fast zu stark, wie schon die Verbreitung der verschiedenen Bodenarten zeigt. Doch kann man diesen Faktor natürlich nur dann berücksichtigen, wenn er sich irgendwie messen lässt. Da die Podsolierungsfähigkeit und -Schnelligkeit des Bodens offenbar in erster Linie durch seine Feuchtigkeit bedingt wird, muss man diese bestimmen. Dabei ergibt sich meines Erachtens keine andere Möglichkeit als der Klassifizierung die Cajanderschen Waldtypen zu Grunde zu legen. Es gibt jedoch Fälle, wo sich die Waldtypen für diesen Zweck nicht eignen und ausserdem ist zu beachten, dass die Abhängigkeit der Waldtypen von den Feuchtigkeitsverhältnissen des Bodens nicht genügend klargelegt ist. So kann z. B. der gleiche Waldtyp ausser auf verschiedenartigen Mineralböden auch auf Torfböden auftreten.

Was den dritten Faktor, das Alter des Bodens betrifft, so ist darauf hinzuweisen, dass in Finnland infolge der Niveauveränderungen

[1]) Die Niederschlagsmengen und Temperaturen sind folgenden Veröffentlichungen entnommen:

W. W. Korhonen, Niederschlagskarten aus Finnland. Mitteil. d. Meteorolog. Zentralanstalt d. finnischen Staates. N:o 1, 1925.

J. Keränen, Temperaturkarten von Finnland. ebd. N:o 17, 1925.

Die Karte mit den Linien, welche die gleiche Humidität angeben, ist nach meinen Berechnungen vom Direktor der Meteorologischen Zentralanstalt Dr. Keränen gezeichnet.

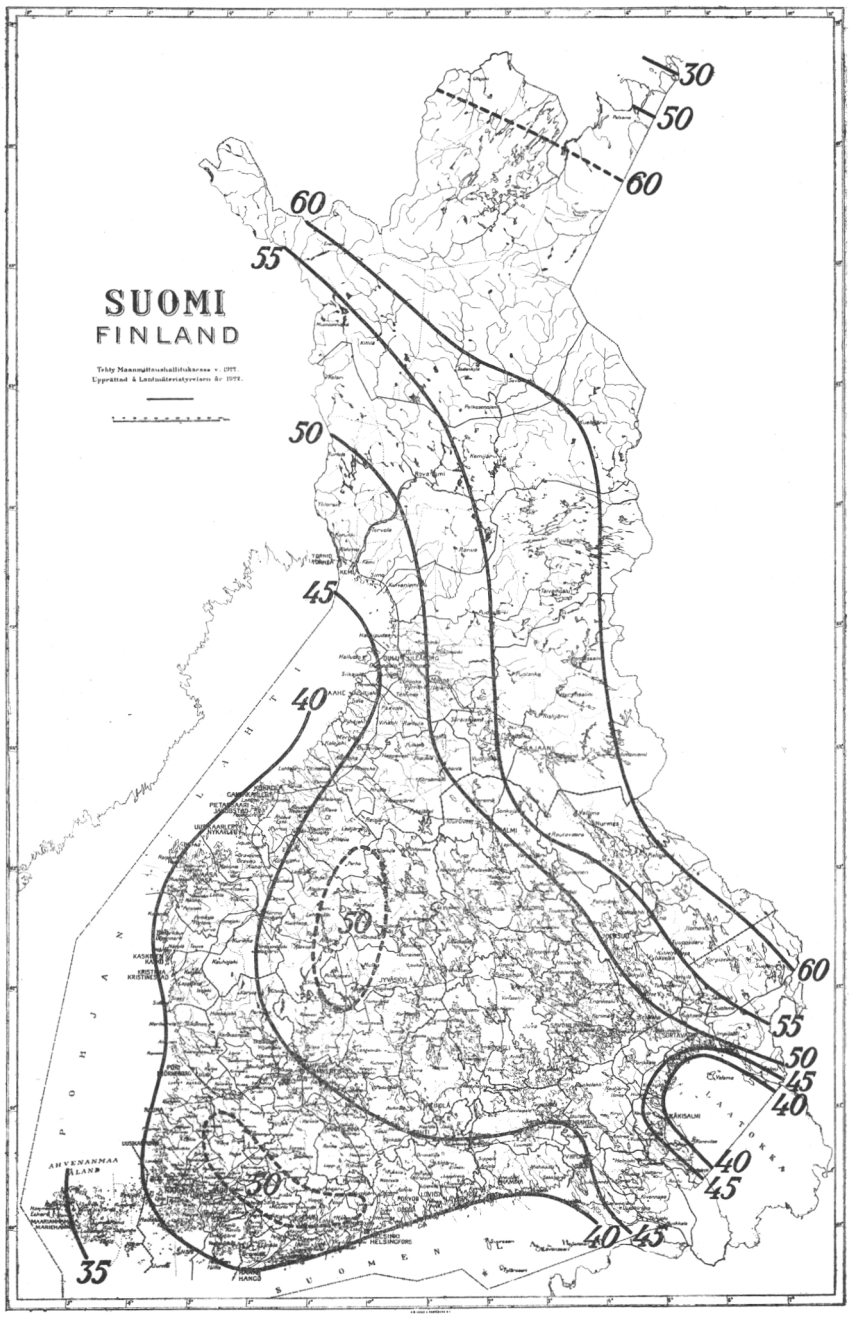



Abb. 1. Die Humidität des Klimas in Finnland (berechnet nach Martonne).
*Kuva 1. Suomen ilmaston humiditeetti (laskettu Martonnen muk.)*

der grossen Meere und Seen, die früher hier stattgefunden haben, sowie infolge der heute noch wirksamen Landhebung verschiedenaltrige Böden für einen Zeitraum von ca. 10,000 Jahren, von der Gegenwart aus gerechnet, der Untersuchung zugänglich sind. Auf Grund der geologischen Untersuchungen in Finnland kennt man heute im grossen und ganzen die Altersunterschiede in den verschiedenen Teilen des Landes.[1]) Von diesem Standpunkt aus bietet Finnland also geradezu einzigartige Möglichkeiten den Verlauf der Podsolierung zu verfolgen. Für einen Nichtgeologen kann jedoch die genauere Altersbestimmung in einzelnen Fällen Schwierigkeiten bereiten.

Um den Einfluss des Klimas feststellen zu können, wäre gleichaltriger Boden desselben Waldtyps in den verschiedenen Klimagebieten zu vergleichen. Dabei ist jedoch zunächst zu beachten, dass in stärker voneinander abweichenden Klimaten nicht mehr die gleichen Waldtypen vorkommen und dass auch dann, wenn diese in weniger verschiedenen Klimaten in bezug auf ihre Pflanzendecke nicht wesentlich voneinander abweichen, damit doch noch nichts für ihr Verhalten gegenüber der Podsolierung des Bodens gesagt ist. Es scheint fast, als ob die Waldtypen umso unabhängiger wenigstens von den physikalischen Eigenschaften des Bodens wären und damit also die Bedeutung des Klimas umso entscheidender würde, je weiter nach Norden man kommt.[2]) In Lappland, Perä-Pohjola und schon auf dem Suomenselkä habe ich häufig festgestellt, dass u. a. der Boden des Cladina- und Calluna-Typs bedeutend feinkörniger und damit auch feuchter war als weiter südlich. Da die Standortsansprüche der Pflanzen somit von der Humidität des Klimas abhängig zu sein scheinen, können wohl die Waldtypen in den verschiedenen Klimaten nicht als einwandfreie Indikatoren der Podsolierungsfähigkeit des Bodens gelten. In bezug auf das Alter des Bodens ist festzustellen, dass sich in Finnland in den verschiedenen Klimagebieten verhältnismässig wenig gleichaltrige Böden finden, ganz abgesehen davon, dass, wie schon oben erwähnt wurde, die Verschiedenheiten des Klimas an sich nicht sehr gross sind. Die Zuverlässigkeit der Schlüsse betr. die Einwirkungen des Klimas wird darum durch mehrere Einschränkungen verringert.

[1]) Für die Angaben über das Alter des Bodens ist Verf. Prof. Sauramo zu Dank verpflichtet.

[2]) Es sei hier auch auf die von Lakari festgestellte Erscheinung hingewiesen, dass der Zuwachs in den einzelnen Waldtypen in Finnland von Süden nach Norden abnimmt. Vgl. O. J. Lakari, Untersuchungen über die Waldtypen in N-Finnland. Acta Forest. Fenn. 14, 1920.

Wenn es sich darum handelt die Bedeutung der Bodenbeschaffenheit zu ermitteln, sind gleichaltrige, aber verschiedenartige Böden in dem gleichen Klima zu untersuchen. Zur Charakterisierung der Bodenbeschaffenheit können dabei die Waldtypen verwendet werden, und die Untersuchungen lassen sich ohne nennenswerte Schwierigkeiten ausführen, wenn nur genügend gleichaltrige Böden verschiedener Waldtypen in dem gleichen Klima vorhanden sind. Im allgemeinen ist dies auch der Fall und so lassen sich über die Einwirkung der Bodenbeschaffenheit genügend zuverlässige Angaben erhalten.

Wenn man die Bedeutung des dritten Hauptfaktors, der Zeit, oder m. a. W. des Alters des Bodens, ermitteln will, sind gleichartige, aber verschiedenaltrige Böden desselben Klimas zu untersuchen. Als Indikator der Bodenbeschaffenheit kann man auch in diesem Falle die Waldtypen verwenden, aber es ist unsicher, inwieweit sich die verschiedenaltrigen Böden des gleichen Waldtyps identifizieren lassen. Im allgemeinen kann man in Finnland verschiedenaltrige, gleichartige Böden in ungefähr dem gleichen Klima finden. Eine einwandfreiere Grundlage bieten in dieser Beziehung natürlich die jüngeren Böden, deren Alter sich, da der Betrag der Landhebung bekannt ist, ungefähr aus der Höhe der betr. Stelle über dem Meeresspiegel berechnen lässt. Je älter die Böden sind, umso unsicherer werden die Altersbestimmungen; diese lassen sich ausserdem überhaupt, wie gesagt, nur ca. 10,000 Jahre zurück vornehmen und zwar nur in verhältnismässig begrenzten Gebieten des südlichsten Teiles von Finnland.

Ich habe im vorigen auf einige Schwierigkeiten hingewiesen, welche die Erforschung der Veränderungen des Waldbodens in Finnland erschweren. Dazu kommt noch eine Frage, welche diese Untersuchungen besonders schwierig gestaltet, nämlich die Klimaveränderungen in spätquartärer Zeit.

Bekanntlich haben wir in Finnland, wenn nicht mehrere trockenere und feuchtere Klimaperioden, jedenfalls eine lange warme Periode gehabt, auf welche die subatlantische feuchte und kühle Periode folgte, deren Beginn mit dem Übergang von der Bronze- zur Eisenzeit zusammenfällt und die bis zur Gegenwart andauert. Ein Boden, der älter als ca. 2,500 Jahre ist, war also früher einem Klima ausgesetzt, dessen Einfluss die jüngeren Böden nicht erfahren haben. Welcher Art der Boden früher war und in welchem Umfang das heutige Klima die Einflüsse der früheren Klimate paralysiert hat, ist eine Frage, die sich bei der Untersuchung der Podsolierung wenigstens in den südlichsten, am frühesten aus dem Meere emporgehobenen Gegenden Finnlands nicht übergehen lässt.

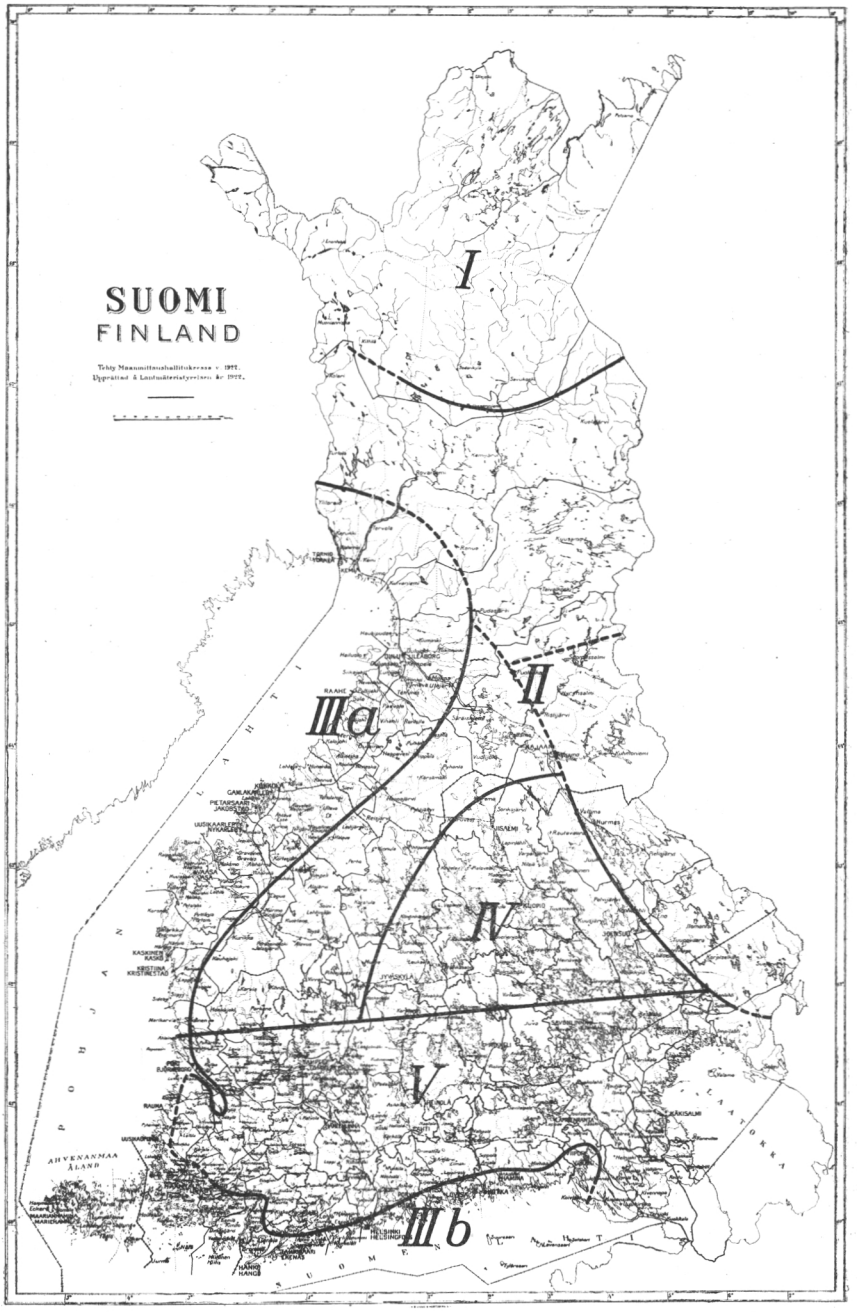



Abb. 2. Die Podsolgebiete Finnlands.
*Kuva 2. Suomen podsolialueet.*

Ein weiterer Faktor, der die betr. Untersuchungen erschwert und gleichzeitig erweitert, ist das S c h w e n d e n des Waldbodens, das früher in Finnland in grossem Umfang üblich war. Die Brandwirtschaft hat in vielen Fällen sozusagen die jahrtausendelange Arbeit der Natur zerstört und das Bodenprofil ganz verwischt. Im Zusammenhang mit der Brandwirtschaft und mit Waldbränden erfolgte ausserdem häufig eine Wechsel der Holzart, der bekanntlich auch auf die Podsolierung einwirken soll.

Weiter ist vielleicht auch zu beachten, dass seinerzeit ein Teil von Finnland vom Eise, ein anderer Teil vom Wasser frei wurde, und zwar im letzteren Falle teils vom Süss-, teils vom Salzwasser.

Die Frage der Veränderungen des Waldbodens in Finnland bildet so ein umfangreiches Problem, bei dessen Untersuchung nicht nur die heute im Boden vor sich gehenden chemischen, physikalischen u. a. Veränderungen, sondern auch die geologische Entwicklung sowie die Geschichte des Klimas und der Pflanzenwelt in postglazialer Zeit zu beachten sind. Wahrscheinlich lässt sich dieses Problem auch nicht allein mit Hilfe von Untersuchungen in Finnland lösen, sondern man müsste die Untersuchungen auf solche Gegenden des zuletzt vereisten Gebietes ausdehnen, deren Böden älter als die finnischen sind. Auch wechselt in Finnland, wie schon erwähnt wurde, das Klima in ziemlich engen Grenzen.

Da die Frage von grundlegender Bedeutung für die forstliche Bodenforschung ist, habe ich ihr in den letzten Jahren meine Aufmerksamkeit gewidmet. Schon 1921 machte ich einige Beobachtungen, aber erst 1931—32 konnte ich mich wieder eingehender mit ihr beschäftigen. Im ganzen habe ich bisher ungef. 600 Stellen oder Bestände und in ihnen ca. 3,000 Bodenprofile über ganz Finnland verstreut untersucht. Die Untersuchungen sind insofern noch unvollständig, als die hainartigen und mehr oder minder nassen Böden nicht untersucht und chemische Analysen vorläufig nur in recht geringem Umfang vorgenommen sind. Da die Untersuchungen aber schon jetzt zu einigen, wie ich glaube, bleibenden Ergebnissen geführt haben und da die planmässige Durchführung der Arbeit noch längere Zeit in Anspruch nehmen dürfte, gebe ich im folgenden eine kurze Übersicht über die bisherigen Ergebnisse.

Ich habe zunächst Finnland nach der Mächtigkeit des A-Horizontes in sechs Zonen, I, II, III a, III b, IV und V eingeteilt (vgl. Abb. 2).[1]) Diese Einteilung ist ganz skizzenhaft und provisorisch

[1]) A-Horizont = Bleicherde oder Auslaugungsschicht, B-Horizont = Orterde oder Anreicherungsschicht.

und wird wahrscheinlich bei weiteren Untersuchungen hie und da zu korrigieren sein.[1]) Die Abgrenzung dieser Gebiete ist in einigen Fällen leichter, in anderen schwerer. So konnte ich für die Mächtigkeit des A-Horizontes von der Küste des Bottnischen Meerbusens nach dem Binnenlande zu keine deutliche Grenze feststellen und das Küstengebiet wurde hauptsächlich auf Grund der Färbung des A-Horizontes und des schwach gefärbten und gewöhnlich etwas fleckenhaften B-Horizontes abgegrenzt.

Wenn man die Karte der Podsolgebiete Finnlands mit der Humiditätskarte vergleicht, kann man feststellen, dass der Humiditätsgrad in den Küstengebieten am niedrigsten, 40—45, ist; im Gebiet V beträgt er ungef. 45, im Gebiet IV 45—50, im Gebiet II 50—60 und im Gebiet I 60 oder weniger. In bezug auf die Altersverhältnisse sind die Gebiete III a und III b am jüngsten, I und V am ältesten, während II und IV zwischen ihnen liegen. Die Höhe über dem Meeresspiegel beträgt für die einzelnen Gebiete im allgemeinen:

| | | |
|---|---|---|
| Gebiet | III a | 0— 30 m |
| | III b | 0—100 » |
| | V | 30—150 » |
| | IV | 100—150 » |
| | II | 150—250 » |
| | I | (0) 200—300 » |

Die Abbildungen 3—6 geben eine allgemeine Vorstellung von den Bodenprofilen in den verschiedenen Waldtypen und in den einzelnen Gebieten.

Zusammenfassend kann man kurz feststellen:

1) dass die Humusschicht und der A-Horizont bei Zunahme der Bodenfeuchtigkeit oder von den Waldtypen trockener Heiden nach den frischen Waldtypen hin zunimmt, und dass der B-Horizont in den trockensten und feuchtesten Böden wahrscheinlich die geringste Mächtigkeit aufweist;

2) dass der A- und B-Horizont und wahrscheinlich auch die Humusschicht bei zunehmendem

[1]) Die unsichersten Stellen der Grenzen sind auf der Karte (Abb. 2) durch unterbrochene Linien bezeichnet. Gebiet II ist durch unterbrochene Linien in drei Teile geteilt, obgleich diese Einteilung bei der Behandlung des Materiales noch nicht beachtet war. Die kahlen Fjelde und Fjeldbirkenbestände im nördlichsten Teile Lapplands sind vorläufig noch nicht untersucht.

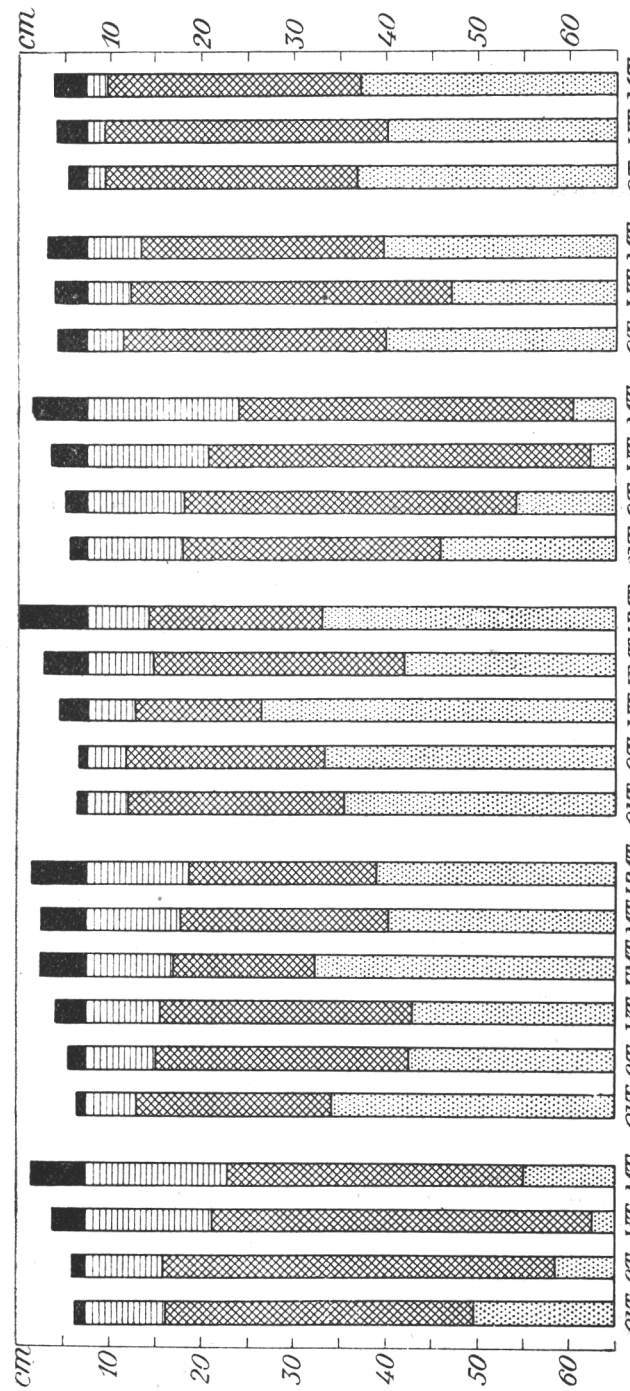



Abb. 3. Bodenprofile für die einzelnen Podsolgebiete. Zuoberst die Humusschicht, dann der A-Horizont, darunter der B-Horizont und zuunterst der unverwitterte Grundboden. — CIT = Cladina-Typ, CT = Calluna-Typ, VT = Vaccinium-Typ, MT = Myrtillus-Typ, EMT = Empetrum-Myrtillus-Typ, HMT = Dickmoosiger Typ.

*Kuva 3. Podsolialueiden maaperäprofiilit. Ylinnä (musta) on humuskerros, sitten A-horisontti (vaakasuoraviivoitus), sen alla B-horisontti (ristikkoviivoitus) ja alinna pohjamaa. CUT = jäkälätyyppi, CT = k:nervatyyppi, VT = puolukkatyyppi, MT = mustikkatyyppi, EMT = variksenmarja-mustikkatyyppi, HMT = paksusammaleinen tyyppi.*

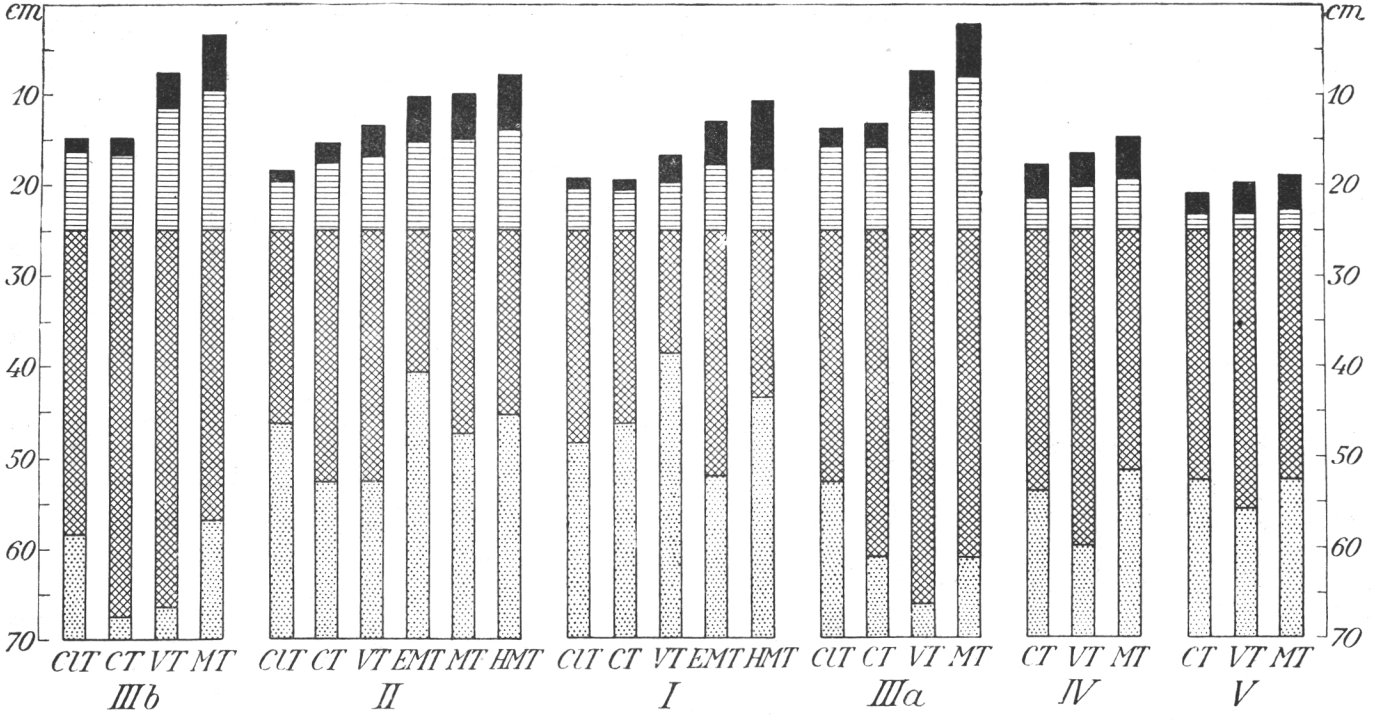



Abb. 4. Bodenprofile für die einzelnen Podsolgebiete. (Zum Unterschied von Abb. 3 ist der obere Rand der B-Horizonte hier in gleicher Höhe angegeben. Dasselbe ist bei Abb. 6 auf der folgenden Seite der Fall.)

*Kuva 4. Podsolialueiden maaperäprofiilit. (Eroaa kuvasta 3 ainoastaan sikäli, että B-horisonttien yläreunat ovat asetetut samalle tasolle. Sama on huomattava verrattaessa toisiinsa kuvia 5 ja 6 viereisellä sivulla.)*

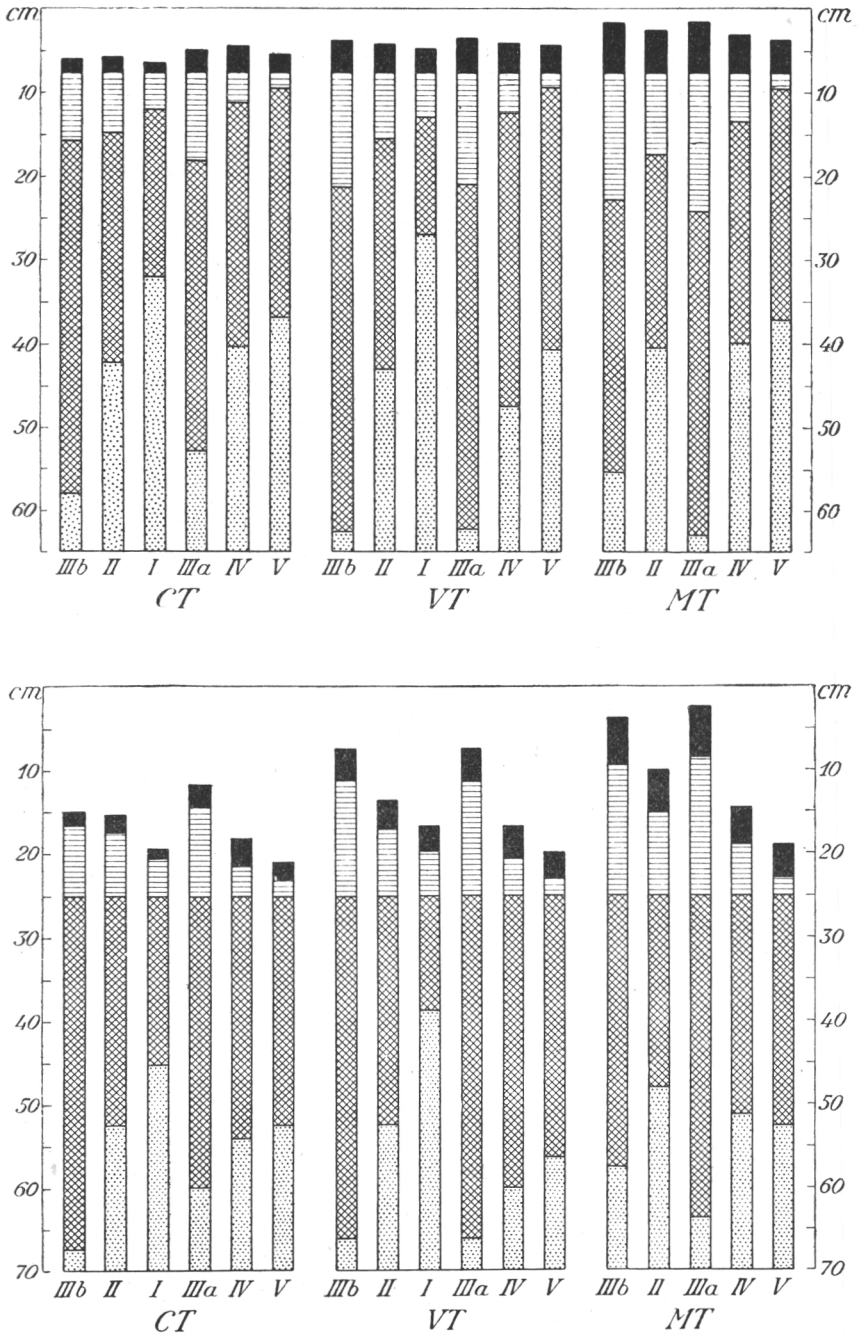



Abb. 5—6. Bodenprofile für die CT-, VT- und MT-Wälder.
*Kuvat 5—6. CT-, VT- ja MT-metsien maaperäprofiilit.*

Alter des Bodens an Mächtigkeit abnehmen, was im allgemeinen auch eine Zunahme der Humidität und der Höhe über dem Meeresspiegel bedeutet.

Von diesen beiden Feststellungen bietet die erste nichts Unerwartetes, die zweite verlangte jedoch eigentlich eine viel ausführlichere Behandlung als in diesem Zusammenhang möglich ist. Ich gehe hier nur auf eine Erscheinung näher ein, mächtiger A-Horizont in jungen Böden, die sich — so eigenartig das auch erscheinen mag — verhältnismässig einfach erklären lässt.

Zunächst ist zu beachten, dass unverwitterter, aus dem Wasser aufsteigender Boden im allgemeinen mehr oder weniger hell ist. Wenn die oberen Schichten des Bodens zu verwittern beginnen, wandert aus ihnen u. a. Eisen als kolloidale Lösung fort um früher oder später in den von den Bodenteilchen gebildeten Kapillaren zu koagulieren. Die Adsorptionsfähigkeit des unverwitterten Bodens ist schwach und die Koagulationstiefe des Eisens hängt somit in der Hauptsache von den physikalischen Eigenschaften des Bodens (Korngrösse und Feuchtigkeit) ab.[1]) Der Boden über der Koagulationszone ist darum zunächst nicht typischer ganz ausgewaschener A-Horizont; er ist teils infolge der Verwitterung, teils aber infolge seiner Jugend hell. Das Eisen, das sich in der obersten Bodenschicht immer neu löst, trifft beim Sinken in tieferen Schichten auf Stellen, die schon vorher mehr oder minder angereichert waren, und setzt sich in der Hauptsache auf diesen ab. Während die oberste Schicht immer stärker ausgewaschen wird und eine immer hellere Färbung annimmt, steigt der obere Rand der Anreicherungszone nach oben. Theoretisch könnte dieser Vorgang solange weitergehen, bis über dem B-Horizont alles Eisen gelöst ist. Das tiefer sickernde Wasser wirkt jedoch lösend auch auf den B-Horizont und zwar um so stärker, je näher dieser der Oberfläche liegt. So kann die Mächtigkeit des A-Horizontes wachsen und der obere Rand des B-Horizontes nach unten sinken, auch wenn sich im A-Horizont noch Eisen löst. Die Schnelligkeit der Entwicklung und damit die jeweilige Mächtigkeit der Schichten dürfte in erster Linie durch die Bodenbeschaffenheit und das Klima bestimmt werden.

Unmittelbar nach dem Freiwerden eines Bodens vom Wasser kann natürlich auch kapillares Steigen des Wassers vom Grundwasserspiegel und Koagulation des mit dem Wasser steigenden Eisens

[1]) Ich habe das früher auch experimentell nachgewiesen. Vgl. V. T. Aaltonen »Zur Kenntnis der Ausfällung des Eisens im Boden» in Acta Forest. Fenn. 25, 1923.

in einer bestimmten Höhe in Frage kommen, wobei ein Podsoltyp entsteht, der von den russischen Bodenforschern Gleypodsol genannt wird. Eigentliche Bedeutung hat dieser Vorgang jedoch nur in Böden, wo das Grundwasser dauernd hoch steht. In den Böden der von mir unterschiedenen Küstenzone in Finnland — besonders in den jüngeren — lassen sich deutlich solche Gley-Bildungen feststellen, diese verschwinden aber, wenn der Boden älter wird, und ausserdem zeigen schon die Analysen, dass es sich um Normalpodsol handelt, in dem die oberste Schicht deutlich ausgewaschen und der darunter liegende Boden angereichert ist.

Ich habe im vorigen nur die Auswaschung und Koagulation des Eisens behandelt, da sich die Bewegungen des Eisens im allgemeinen ohne chemische Analyse verfolgen lassen und da sie eine wichtige Rolle beim Podsolierungsprozess spielen. Bekanntlich kommen hierbei auch viele andere Stoffe in Frage.

In Fällen, wo schon vorher verwitterter und mehr oder weniger angereicherter Boden, z. B. der B-Horizont, aus dem einen oder anderen Grund freigelegt und dem Einfluss der klimatischen Faktoren ausgesetzt wird, entwickelt sich das Bodenprofil natürlich anders. Der Boden wird dann von der Oberfläche des Mineralbodens an allmählich ausgebleicht und der A-Horizont nimmt an Mächtigkeit mit einer Schnelligkeit zu, die durch die Verhältnisse bedingt ist. Solche Fälle können z. B. bei Bodenausschachtungsarbeiten, bei Besandung von Mooren, bei der Aufforstung alter Äcker, auf Schwendflächen usw. vorkommen. Diese Podsolierungsart habe ich, abgesehen von einigen Beobachtungen über die Einwirkung der Brandwirtschaft auf das Bodenprofil, noch nicht genauer studieren können.

Für die Küstengebiete muss man wohl annehmen, dass der A-Horizont hier im Durchschnitt vorläufig an Mächtigkeit abnimmt und zwar im nördlichen Gebiete vielleicht etwas schneller als im südlichen, obwohl die heutigen mittleren Werte für beide ungefähr gleich sind.[1]) Wie lange jedoch dieser Prozess in dieser Richtung weitergeht, lässt sich nicht mit Bestimmtheit sagen.

Was die übrigen Gebiete betrifft, so haben sie, wie wir sahen, u. a. die Eigenschaft gemeinsam, dass der A-Horizont in ihnen geringere Mächtigkeit besitzt als in den Küstengebieten.

Am grössten und schärfsten ist der Unterschied im südlichsten Teil von Finnland, zwischen den Gebieten III a und V, was übrigens ganz natürlich erscheint, da es sich hier um die jüngsten und ältesten

[1]) Ein bedeutender Teil von Gebiet III b ist älter als 2,500 Jahre, was übrigens schon aus der Meereshöhe des Gebietes hervorgeht.

vom Wasser freigewordenen Böden unseres Landes handelt. Wie ist aber dieser Unterschied und überhaupt die schwache Podsolierung in Gebiet V zu erklären? Wie ist es möglich, dass in einem zum grossen Teil schon ca. 10,000 Jahre alten Boden der A-Horizont höchstens 1—2 cm mächtig ist? Ausser den in Abb. 3—6 dargestellten Mittelwerten sei noch erwähnt, dass sich in einem Drittel bis der Hälfte der Fälle ein eigentlicher A-Horizont überhaupt nicht unterscheiden liess und dass man Ortstein, der in N-Finnland und Lappland verhältnismässig häufig ist, hier nur ausnahmsweise angetroffen hat. Wenn wir eine Antwort auf diese Frage geben wollen, ergeben sich drei Möglichkeiten:

1) der Boden dieses Gebietes hat ursprünglich unter dem Einfluss eines anderen Klimas gestanden als des heutigen und dieses hat die Spuren des früheren noch nicht vernichten können.

2) die Brandwirtschaft hat die oberste Bodenschicht in diesem Gebiet verändert;

3) da die Humidität dieses Gebietes verhältnismässig niedrig ist, hat die Podsolierung hier langsame Fortschritte gemacht und der Boden in diesem Gebiet befindet sich heute in einem Entwicklungsstadium, wo der B-Horizont sich fast bis zur Oberfläche erstreckt (in den anderen Gebieten hat die Podsolierung infolge der grösseren Humidität dieses Stadium schon überschritten);

Ich will hier nicht näher diese verschiedenen Möglichkeiten behandeln, sondern beschränke mich auf den Hinweis, dass man hier wahrscheinlich teils die erste, teils die letzte Möglichkeit berücksichtigen muss.

Das hier in Frage kommende Gebiet (V) ist zum grössten Teil vor der subatlantischen Klimaperiode entstanden: der Boden hat hier — und zwar längere Zeit als in den anderen Gebieten — durch ein Klima sein Gepräge erhalten, das mindestens wärmer war als das heutige. Da wir über die Art dieses Klimas nichts Genaueres wissen, können wir uns auch kein deutliches Bild von der Beschaffenheit des damaligen Bodens machen. Wahrscheinlich war dieser jedoch mehr braunerdeartig als podsolartig. Darauf weist besonders die Geschichte der Pflanzenwelt Finnlands hin, wonach hier früher Vegetation, die für Braunerde oder Hainboden charakteristisch ist, viel reichlicher vorkam als heute. Für die heutigen Klimaverhältnisse sei erwähnt, dass z. B. im nordostdeutschen Braunerdegebiet die Niederschlagsmenge 500—600 mm und die mittlere Temperatur im Juli 17.5° oder mehr beträgt, während die entsprechenden Zahlen in dem hier in Frage stehenden Gebiete ca. 600 und ca. 16 sind. Besonders ist darauf hinzuweisen, dass die Farbe unserer ältesten Böden unbe-

stimmt schmutzig ist, wahrscheinlich infolge des reichlicheren Humusgehalts, während die jüngeren Böden eine klare und helle Färbung zeigen. Nach der Verschlechterung des Klimas konnte ein solcher Boden offenbar erfolgreicher der Podsolierung widerstehen, als ein Boden, der in einem veränderten Klima entstanden war. Wenn man ausserdem die verhältnismässig niedrige Humidität des betr. Gebietes berücksichtigt, kann man die schwache Podsolierung des Bodens in diesem verstehen.

Die kräftigere Podsolierung in Gebiet II und in den anderen Gegenden Finnlands nördlich von Gebiet V lässt sich ähnlich erklären. Weiter nördlich war die frühere warme Klimaperiode kürzer und die heutige länger, ausserdem ist die Humidität des heutigen Klimas dort höher als weiter südlich. Dass die Podsolierung weiter nördlich wirklich am weitesten fortgeschritten ist und dass es sich also dort nicht um eine Verschmälerung des A-Horizontes handeln kann, geht nicht nur aus der Farbe des A-Horizontes und des ganzen Profils, sondern auch aus dem Auftreten von Ortstein hervor. In Gebiet V tritt dieser nur in Ausnahmefällen auf,

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| in | Gebiet | III b | in | 4 % | der | Fälle |
| » | » | II | » | 14 % | » | » |
| » | » | I | » | 18 % | » | » |

Zu beachten ist übrigens, dass in Finnland dort, wo das Inlandeis am spätesten verschwand, der A-Horizont gewöhnlich am mächtigsten ist und am stärksten ausgewaschen erscheint.

Bei der Podsolierung des finnischen Bodens ist also zu unterscheiden:

1) die Podsolierung des im Naturzustand befindlichen, vom Wasser oder Eis freigewordenen Bodens; diese geschieht wahrscheinlich in verschiedener Weise, je nachdem ob der Boden vor — und zwar wie lange vor — oder während der subatlantischen Periode entstanden ist;

2) die Podsolierung des nicht direkt aus dem Wasser emporgestiegenen — gewöhnlich durch den Einfluss der Kultur freigelegten — schon mehr oder weniger verwitterten, aber nicht ausgewaschenen Bodens.

Ob die Podsolierung des vom Eise frei gewordenen Bodens vielleicht in irgend einer Beziehung anders vor sich geht als bei aus dem Wasser gehobenen Boden, ist vorläufig noch nicht bekannt.

Ohne in diesem Zusammenhang auf die zahlreichen, in verschiedenen Ländern ausgeführten, besonders die Chemie der Podsolierung betreffenden Untersuchungen über die Veränderungen des Bodens im humiden Klimagebiet einzugehen, erwähne ich im folgenden nur einige Arbeiten aus Finnland und Schweden, die sich mit meinen eigenen eng berühren.

In Finnland hat Frosterus auf diesem Gebiete die Hauptarbeit geleistet. Von seinen Untersuchungen, die — ebenso wie die Aarnios — hauptsächlich die chemische Seite der Podsolierung betreffen, sei erwähnt, dass er das Podsol in Eisen-, Humus- und Grundwasserpodsol einteilte.[1]) Von diesen vertritt das erstere gewöhnliches Waldbodenpodsol, wo sich im B-Horizont vor allem Eisen abgelagert hat. Das Humuspodsol ist ein Podsoltyp versumpfter Böden, dessen B-Horizont durch hohen Aluminium- und Humusgehalt charakterisiert wird. Im Grundwasserpodsol wiederum weist der B-Horizont Rostflecke und -Streifen auf, die auf das im Boden aufwärts steigende Wasser zurückzuführen sind. Das Hauptverbreitungsgebiet des Eisenpodsols ist das südliche Finnland bis zum 62. Breitengrade, das des Humuspodsols die Landrücken Maanselkä und Suomenselkä sowie Lappland, während das Grundwasserpodsol im Küstengebiet von Pohjanmaa vorkommt. (So ähnelt die auf Grund der Verbreitung der Frosterusschen Podsoltypen entworfene Karte einigermassen der entsprechenden von mir gezeichneten Karte.[2]) Frosterus misst dem Alter des Bodens keine besondere Bedeutung bei und geht in seinen Untersuchungen davon aus, dass das letzte rauhe, humide Klima sehr wahrscheinlich die Einwirkungen einiger postglazialer Perioden mit wärmerem und vielleicht kontinentalerem Klima auf den Boden paralysiert hat.

In Schweden ist dieses Problem in Verhältnissen, die den unseren in mancher Beziehung ähneln, ausführlich von Tamm untersucht

---

[1]) Benj. Frosterus, Versuch einer Einteilung der Böden des finnländischen Moränengebietes. Geolog. Kommission Finnlands, Geotechnische Mitteilungen N:o 14, 1914.

[2]) Später erwähnt jedoch Frosterus, dass sich auf Grund seiner Untersuchungen geographische Gebiete mit bestimmten Podsoltypen nicht unterscheiden liessen. Benj. Frosterus, Die Klassifikation der Böden und Bodenarten Finnlands. Comité internat. de Pédologie. IV Commission, N:o 9.

[3]) Olof Tamm, Markstudier i det nordsvenska barrskogsområdet. Meddel. fr. stat. skogsförsöksanst., Heft 17, 1920.

—»—, Studier över jordmånstyper och deras förhållande till markens hydrologi i nordsvenska skogsterränger. Ebd. Heft 26, N:o 2, 1931.

worden. Dieser ging dabei allerdings wesentlich anders vor als Verf. der vorliegenden Arbeit. Ich selbst versuchte zunächst mir in grossen Zügen ein allgemeines Bild der Podsolierung bei wechselndem Klima, Bodenbeschaffenheit und Alter des Bodens zu machen, da ich auf diese Weise die Spezialfragen und Einzelheiten soweit klären zu können glaubte, dass sich entscheiden liess, welche von ihnen mehr und welche minder wichtig waren, um dann von dieser Grundlage aus weitere Erkenntnisse zu gewinnen. T a m m dagegen beschränkte sich auf einige wenige Beobachtungsstellen, untersuchte aber gründlich besonders die Chemie der Podsolierung, die Entstehung von Ortstein u. a. Spezialfragen ohne u. a. dem Klima und den früheren Klimaschwankungen Beachtung zu schenken. Vom Standpunkt meiner eigenen Untersuchungen aus ist die Feststellung T a m m s von Interesse, dass der Podsolierungsgrad von Boden, der jünger als 2,000—3,000 Jahre ist, deutlich nach dem Waldtyp variiert, dass aber die Mächtigkeit des A-Horizontes bei älterem Boden nicht nennenswert zunimmt und nur wenig variiert. Die letztere Erscheinung rührt nach T a m m daher, dass auf älteren Böden die einzelnen Waldtypen — besonders infolge von Waldbränden — im Laufe der Zeit gewechselt haben und jeder an der Entwicklung des Bodenprofils beteiligt gewesen ist (eine besondere Stellung nehmen nur die trockensten Flechtenheiden ein). Ich möchte jedoch glauben, dass in den in Frage stehenden höher gelegenen Gegenden das Klima eine entscheidendere Rolle spielt als in den jüngeren tiefer gelegenen Böden. Auch ist meines Erachtens der Anteil des Rohhumus und Trockentorfs am Podsolierungsprozess noch nicht so weit geklärt, dass man — wenigstens so kategorisch wie T a m m — von schwach oder stark podsolierenden Pflanzengesellschaften oder Waldtypen sprechen könnte. Sowohl schnelle Podsolierung des Bodens wie dicker Rohhumus sind eine Folge reichlicher Bodenfeuchtigkeit, letzterer vielleicht noch besonders der starken Auswaschung der oberflächlichen Bodenschichten. Merkwürdigerweise ist nach T a m m auch in den jungen, aus dem Wasser emporgehobenen Böden der A-Horizont anfangs ganz dünn — 0.5—1.0 cm — um dann verhältnismässig schnell bis zu der erwähnten Grenze an Mächtigkeit zuzunehmen.

Durch Ausdehnung meiner Untersuchungen auf die Hainböden und nassen Böden und Analysierung des Probematerials dürfte diese Frage neue Beleuchtung erfahren. Vielleicht lässt sich mit Hilfe des Bodenprofils u. a. das Alter des Bodens einigermassen bestimmen. Auch für die Pflanzengeographie dürfte die Untersuchung der Veränderungen des Bodens neue Gesichtspunkte ergeben. Wahrscheinlich hatten und haben auch heute noch diese

Veränderungen grosse Bedeutung u. a. in dem Konkurrenzkampf unserer gewöhnlichsten Holzarten, der seit dem Freiwerden des Bodens vom Wasser bzw. Eise herrscht, bei dessen Erforschung man jedoch bisher im allgemeinen nur dem Klima Beachtung geschenkt hat.

# SUOMEN METSÄMAAPERÄN LUONTAISISTA MUUTOKSISTA JÄÄKAUDEN JÄLKEEN

Suomen metsien vallitseva maaperätyyppi on podsolimaaperä, jonka profiilissa pinnalla on raakahumuskerros, sen alla enemmän tahi vähemmän huuhtoutunut valkomaa l. A-horisontti, sitten rikastunut punertava tahi ruskeahko ruostemaa l. B-horisontti ja syvempänä jotensakin muuttumaton pohjamaa (C). Metsiemme maaperän muutokset ovat tapahtuneet ja tapahtuvat edelleen podsoloitumisen merkeissä ja tätä ilmiötä tavallisimmissa kangasmaissamme koskevat ne tutkimukset, joita tässä julkaisussa lyhyesti selostetaan edeltävän tiedonannon muodossa.

Podsoloitumisen kolme päätekijää ovat:

1) i l m a s t o,

2) m a a n l a a t u (siihen luettuna kasvillisuus) ja

3) a i k a, ts. m a a n i k ä.

Ilmaston suhteen on tärkeintä sen humiditeetti l. suhde sateen ja haihtumisen välillä. Tämä suhde l. humiditeettiluku voidaan laskea esim. M a r t o n n e n mukaan siten, että vuoden sademäärä jaetaan vuoden keskilämmöllä +10:llä. Kuva 1 esittää maamme humiditeettisuhteita tällä tavalla laskettuna. Humiditeetti on siis yleensä alhaisin rannikoilla ja nousee sisämaahan päin.

Jos muut tekijät eivät vaihtelisi, olisi podsoloituminen voimakkainta siellä, missä humiditeettiluku on korkein. Podsoloitumiseen vaikuttavat kumminkin myös maan ominaisuudet, pääasiassa sen kosteussuhteet ja — kuten tunnettua on — ne vaihtelevat paljon. Maan iän suhteen on huomattava, että osa metsämaistamme on maankohoamisen johdosta aivan nuoria ja vanhimmat maat ovat n. 10,000 vuotta vanhoja. Tutkittaessa jonkin mainitun päätekijän vaikutusta maan podsoloitumiseen saa tietenkin vain tämä yksi tekijä vaihdella muiden pysyessä muuttumattomina. Käytännössä kohtaa tämän vaatimuksen noudattaminen kumminkin melkoisia vaikeuksia syystä, ettei tarvittavia kombinatioita ole riittävästi tarjolla puhumatta siitä, että itse tekijät ovat vaikeasti luonnehdittavissa ilman erikoistutkimuksia. Lisäksi on maassamme aikoinaan laajalti harjoitettu kaskeaminen varsinkin Savossa ja Karjalassa sotkenut maaperäprofiilin alkuperäiset kasvot tuntemattomiksi. Kuka sanoo, eikö myös jääkauden jälkeen maassamme todettuja ilmaston vaihteluita ole otettava huomioon metsämaaperämme muutoksia tutkittaessa? Ennen nykyistä ns. subatlantista suhteellisen kylmää ja kosteaa ilmastoa, joka alkoi pronssi-rautakauden vaihteessa, on täällä vallinnut ainakin yksi pitkä lämpökausi ja maaperä silloin siis on ollut toisenlaisten ilmastollisten vaikutteiden alaisena kuin myöhemmin. On olemassa mahdollisuus, että tämän ilmaston vaikutukset tuntuvat maaperässä vieläkin, sillä maaperän muutokset tapahtuvat perin hitaasti.

Kun kysymyksellä on perustavaa laatua oleva merkitys maamme metsämaaperän tutkimuksen kannalta yleensä, on sitä koetettava mainituista vaikeuksista huolimatta selvitellä olkoonpa, että maaperän muutoksista saatava kuva joissakin kohdissaan vielä toistaiseksi jäisi hämäräksi. Tässä mielessä on tähän mennessä tutkittu n. 600 metsikköä eri tahoilla kautta maan ja niissä n. 3,000 maaperäprofiilia.

Tutkimusten perusteella on maa ensinnäkin jaettu A-horisontin paksuuden mukaan kuuteen alueeseen I, II, III a, III b, IV ja V kuvan 2 esittämällä tavalla.[1]) Kuvissa 3, 4, 5 ja 6 on esitetty eri alueille ja metsätyypeille keskimääräiset kaavamaiset profiilit. Niiden mukaan voidaan lyhyesti todeta:

1) että humuskerros ja A-horisontti paksunevat maan kosteuden lisääntyessä eli kuivien kankaiden metsätyypeistä tuoreisiin ja B-horisontti on kuivimmissa sekä kosteimmissa maissa todennäköisesti ohuin;

2) että A-horisontti, B-horisontti ja todennäköisesti humuskerroskin ohenevat maan iän kasvaessa, mikä yleensä merkitsee myös ilmaston humiditeetin kasvua ja korkeuden lisääntymistä meren pinnasta.

Näistä tuloksista ei ensiksimainittu esitä mitään odottamatonta, mutta toisessa kohdassa mainittu todento ei ole selitettävissä yhtä helposti. Huomiota herättää varsinkin maan eteläisimmän osan 1. alueen V heikko ja rannikkoalueiden (III a, III b) paksu A-horisontti, sillä alue V on vanhinta ja III a sekä III b ovat nuorinta maatamme.

Todennäköisintä on, että alueen V maaperään vielä painaa leimansa aikaisemmin vallinnut lämpimämpi ilmasto, joka ei ole ollut podsoloitumisen kannalta yhtä edullinen kuin myöhempi ja sitäpaitsi on tämän alueen nykyinenkin humiditeetti suhteellisen alhainen. Rannikkoalueiden paksun A-horisontin suhteen taas on huomattava, ettei se ole huuhtoutunut samassa määrässä kuin vanha maa. Lisäksi on näiden alueiden maaperä syntynyt ja muuttunut vasta ilmaston tultua humidisemmaksi.

Havainnot viittaavat siihen, että maamme maaperän podsoloitumisessa on erotettava toisistaan:

1) luonnontilaisen vedestä tahi jään alta paljastuneen maan podsoloituminen, joka todennäköisesti tapahtuu eri tavalla riippuen siitä, onko maa syntynyt ennen — ja kuinka kauan ennen — subatlantista kautta vai sen aikana;

2) muuten kuin suoraan vedestä — tavallisesti kulttuurin vaikutuksesta — paljastuneen, jo enemmän tahi vähemmän rapautuneen, mutta huuhtoutumattoman maan podsoloituminen.

Näistä eri podsoloitumistavoista ei viimeksimainittua ole vielä tarkemmin tutkittu ja podsoloitumisen kemiallisen puolen valaisemiseksi tarpeellisia maa-analyysejä on toistaiseksi voitu tehdä vain vähäinen määrä. Selvittämättä ovat myös vesiperäisten maiden sekä lehtometsien maan muutokset. Jos jatkettavat tutkimukset lisäksi voidaan ulottaa vanhempiin ja toisenlaisen ilmaston maihin, kuin mihin omassa maassamme on mahdollisuuksia, mikä varsinkin lehtomaiden tutkimuksen kannalta näyttää suotavalta, voitaneen kyseessä oleva laaja probleema vähitellen saada ainakin suurin piirtein selvitetyksi.

[1]) Rajojen epävarmimmat kohdat ovat kartassa esitetyt katkonaisella viivalla. Alue II on samanlaisin viivoin jaettu kolmeen osaan, vaikka tätä jakoa ei aineistoa käsiteltäessä ole vielä otettu huomioon. Paljaat tunturit ja tunturikoivikot pohjoisimmassa Lapissa ovat toistaiseksi tutkimatta.

# METSÄTYYPPIEN ESIINTYMINEN ERI MAALAJEILLA

*YRJÖ ILVESSALO*

---

## OCCURRENCE OF FOREST TYPES ON THE DIFFERENT SOILS

SUMMARY IN ENGLISH

---

HELSINKI 1933
VALTIONEUVOSTON KIRJAPAINO

## Sisällysluettelo.


| | Sivu |
|---|---|
| Johdanto | 3 |
| Tutkimusaineisto | 7 |
| Kasvullisten kovien metsämaitten maalajisuhteet | 10 |
| Metsätyyppien jakaantuminen eri maalajien osalle | 15 |
| Maalajien jakaantuminen eri metsätyyppien osalle | 21 |
| Metsien puulajisuhteet eri maalajeilla | 24 |
| Kallioitten ja louhikoitten esiintyminen | 28 |
| Luettelo kirjallisuudesta, johon on viitattu | 30 |
| *Summary in English* | 31 |

## Johdanto.

Maamme kallioperusta pistää vain paikoitellen, runsaimmin yleensä rannikkoseuduilla, paljaina kallioina näkyviin. Muualla sitä peittävät ns. irtaimet maalajit, jotka tarjoovat pohjan kasvillisuudelle. Näistä irtaimista maalajeista ovat n. $^2/_3$ maamme pinnasta peittävät kivennäismaalajit sekä nykyisen että vastaisenkin metsätaloudellisen tuotantomme kannalta paljon tärkeämmät kuin irtaimien maalajien toisen suuren ryhmän muodostavat turvekerrostumat. Viimeksi mainitut, jotka käsittävät n. $^1/_3$ maamme pinta-alasta, saattavat keskimäärin edellisiä viljelyskelpoisempina maataloudelliselle tuotannollemme vastaisuudessa muodostaa yhtä tärkeän pohjan kuin kivennäismaalajit.

Kuvattaessa maalajejamme ja niiden esiintymistä on käytetty useanlaisia ryhmittelyjä. Tässä tutkimuksessa, jossa tarkoituksena ei ensinkään ole itse maalajien selvittely, on noudatettu seuraavanlaista meikäläisessä metsätieteellisessä kirjallisuudessa yleisesti esiintyvää kivennäismaalajien ryhmitystä: moreeni- l. murtosora, harjusora, hiekkamaa, hietamaa, hiesumaa ja savimaa sekä metsätaloudelliselta kannalta hyvin vähän merkitsevät kivikko- ja somerikkomaa ja louhikko. Ennen kuin tutkimusta ja sen tuloksia käydään tarkastelemaan kuvataan nämä maalajit aivan lyhyesti.[1])

Kivennäismaalajeista on *moreenisora* maassamme yleisin. Se muodostaa enimmäkseen verraten ohuita, vain joitakin metrejä vahvoja peitteitä. Rakenteeltaan se on lajittumatonta sekoitusta, joten siinä ei yleensä ole mitään eri kerroksia erotettavissa. Kokoomukseltaan se on soran luontoista ja ainekset ovat tavallisesti vain vähän pyöristyneitä. Erikokoisia aineksia on keskimäärin seuraavassa suhteessa: n. 40—45 % lohkareita, kiviä ja soraa, jonka hiukkaset ovat läpimitaltaan yli 2 mm, n. 40 % hiekkaa sekä n. 16 % hietaa ja hiesua. Toisinaan kivet ovat vallitsevina, toisinaan taas hienot ainekset; useimmiten ehkä karkeat ja hienot ainekset ovat likipitäen tasaväkisiä.

Moreenisora on maamme tärkein metsämaalaji. Se esiintyy ylivoimaisesti vallitsevana suurimmassa osassa maatamme, mutta

[1]) Kuvaus perustuu pääasiallisesti Cajanderin (1916) ja Sauramon (1925 ja 1928) esityksiin.

muutamissa melko laajoissakin seuduissa kuitenkin toiset maalajit anastavat ensi sijan. Moreenisora tarjoo metsäkasvillisuudelle yleensä kohtalaisen runsaasti ravintoaineita ja pidättää myöskin tyydyttävästi kosteutta. Hienorakeisilla ja tasaisilla moreenisoramailla on soistumisvaara huonon vedenläpäisykyvyn takia suuri. Moreenisoramailla esiintyvät kaikki tavalliset puulajit metsää muodostavina ja parhailla niistä ns. jalojakin puulajeja.

*Harjusora* käsittää myöskin kaiken kokoisia aineksia: järkäleitä, mukulakiviä, soraa ja hiekkaa, mutta ainekset ovat yleensä enemmän pyöristyneitä ja sileitä kuin moreenisorassa ja hienoin saviaines on siitä huuhtoutunut kokonaan pois. Harjusora on lajittunutta päällekkäisiksi, vahvuudeltaan vaihteleviksi kerroksiksi, joissa pääaineksena on jokin mainituista raesuuruuksista.

Harjusora on myöskin tärkeä metsämaalaji, mutta se ei ole yleensä metsän kasvulle niin edullista kuin moreenisora, sillä vähemmän hienoja aineksia sisältävänä se on ravintoaineista köyhempää ja pidättää vähemmän kosteutta kuin viimeksi mainittu. Harjusoramaat ovatkin pääasiallisesti mäntymaita, mutta varsinkin sekapuina esiintyy muitakin tavallisia puulajeja. Harjusora on usein kasaantunut korkeiksi, pitkiksi harjanteiksi, mutta monesti se matalahkoinakin harjuina tai selänteinä katkoo muiden maalajien muodostamia maisemia. Toisin paikoin maatamme harjusoramaat ovat verraten harvinaisia, mutta toisille seuduille ne taas ovat hyvinkin luonteenomaisia.

*Hiekkamaa*, jonka pääaineksena on raesuuruusaste 2—0.2 mm, muodostaa varsinkin harjujen yhteydessä yleensä verraten tasaisia kankaita ja toisin paikoin laajahkoja nummimaita. Lisäksi sitä esiintyy virtaavan veden kasaamina kerrostumina jokien tulva-alueilla ja jokien suun seuduissa järvien ja meren rantamilla sekä tyrskyjen keräämänä etenkin aikaisemmin meren tai järvien peitossa olleilla alueilla. Vielä tavataan meilläkin hiekkakerrostumia tuulen aikaan saamina lentohietikkoina meren ja välistä suurehkojen järvienkin rannoilla. Hiekka käsittää pääasiallisesti kvartsia ja maasälpää, joiden ohella muut mineraalit, kuten sarvivälke, kiille ym. jäävät hyvin vähään.

Hiekka on metsämaittemme kolmas yleinen irtain maalaji. Joissakin tapauksissa, esim. rinteiden aliosissa ym. missä kosteutta ja ravintoaineita on riittävästi, hiekkakin saattaa edustaa hyvää metsämaata. Mutta useimmiten hiekkamaat ovat laihoja, ne kun läpäisevät helposti vettä ja pysyvät kuivina. Tästä syystä hiekkamaat ovat useimmiten metsäkasvillisuudellekin laihoja kasvupaikkoja, joilla pääasiallisesti vain mänty muodostaa metsiä.

*Hietamaa* nimityksellä ymmärretään tavallisesti samaa kuin hiekalla. Mutta useissa seuduissa sillä tarkoitetaan erikoisesti hyvin hienoa hiekkaa. Tällainen hiekka, jonka rakeitten läpimitta on pääasiallisesti vain 0.2—0.02 mm, on fysikaalisessa suhteessa kylläkin hyvin toisenlaista kuin karkeampi hiekka, varsinkin sikäli että se pysyy hiuspillivoiman vaikutuksesta viimeksi mainittua kosteampana. Metsämaista puhuttaessa harvoin tehdään eroa hiekan ja hiedan välillä.

*Hiesumaa* on hiekkaa (ja hietaa) yhä hienorakeisempaa maalajia; sen raesuuruus vaihtelee n. 0.02—0.002 mm:n välillä. Se on jo saven kaltaista, mutta liittyy kuitenkin kemialliselta kokoomukseltaan lähinnä hietaan eikä ole plastillista 1. muovailtavaa kuten savi. Hiesumaa laskee huonosti vettä lävitsensä, mutta imee sitä runsaasti; kuivana se on jokseenkin tiivistä, helposti murenevaa. Metsämaana hiesu on verraten niukasti esiintyvä ja vähän merkitsevä maalaji. Hiesumaat kasvavat luonnostaan kuusta, mutta kuivemmilla kohdilla mäntykin saattaa olla alkuperäinen puulaji.

*Savimaa* on maalajeista hienointa, sen hiukkasista on näet pääosa läpimitaltaan vielä 0.002 mm:kin pienempiä. Se on muodostunut vedestä kerrostuneista hienoista lieteaineksista. Se sisältää alkuperäisesti runsaasti vettä ja on muovailtavaa, mutta kuivuessaan se tulee kovaksi. Savimaa laskee hyvin huonosti vettä lävitsensä, sitä huonommin mitä enemmän siinä on hienoimpia aineksia, so. mitä tiiviimpää 1. jäykempää se on. Ilmanvaihto on samoin sitä huonompaa mitä tiiviimpää savi on; mureisrakenteisessa savessa ilmanvaihto on hyvä. Savimaa sisältää runsaasti kasvien ravintoaineita, joten se on sekä viljelykseen että metsämaaksi hyvä maalaji. Kun jäykkä savi kuitenkin vain muokkauksen avulla saadaan pysymään niin kuohkeana, että siinä ilmanvaihto ja veden läpäisy on riittävää, ei se ole metsämaaksi yhtä sopivaa kuin runsashietainen, kevyt savi.

Kivennäismaista ovat vielä jääneet mainitsematta rakenteeltaan karkeimmat, ns. *kivikko- ja somerikkomaat.* Näissä ovat pääaineksena läpimitaltaan 20—2 cm:n suuruiset kivet ja mukulat; hienot maa-ainekset puuttuvat usein kokonaan, josta johtuu että tällaiset »maat» tarjoovat hyvin vähän edellytyksiä kasvillisuuden menestymiselle. Näitä ovat Pohjois-Suomen korkeitten vaarojen ja tunturien laelle pakkasrakoilun vaikutuksista syntyneet kivikkoiset alat sekä kivivallit ja »kivipellot» entisten rantojen paikkeilla ym. Välisti on kivikon ja somerikon väleissä sen verran hienoa ainesta, että siellä täällä kasvaa kituvia puita. — Kivikkomaista erotetaan aineksiltaan vieläkin karkeammat *louhikot,* jotka ovat muodostuneet yleensä yli 20 cm:n vahvuisista järkäleistä.

*Suoturve*, joka kuten jo edellä mainittiin peittää n. kolmanneksen Suomen maa-alasta, on vain osaksi hajaantuneista kasvien jätteistä veteen tai kostealle paikalle syntynyt, pääasiallisesti eloperäinen maalaji. Suoturvetta erotetaan useita eri lajeja, jotka tarjoovat kasvillisuudelle yleensä ja erityisesti myös metsälle hyvin erilaisia kasvumahdollisuuksia.

Edellisessä lyhykäisesti kuvatut Suomen irtaimet maalajit ovat jo pitkään olleet perusteellisen tutkimuksen kohteena, ja niiden esiintyminen on tullut melko tarkoin selvitetyksi. Myöskin eri maalajien merkitys viljelyksen kannalta on saanut paljon huomiota osakseen. Mutta niiden merkitys metsätaloudellisen tuotantomme tärkeänä pohjana sitä vastoin on vielä jäänyt hyvin vähäisen tutkimuksen varaan.

Metsätieteellemme vankkaa pohjaa luovassa runsaassa metsätyyppitutkimuksessa on kuitenkin miltei poikkeuksetta kiinnitetty huomiota myöskin kasvupaikan irtaimeen maalajiin. Niinpä A. K. Cajander jo metsätyyppitutkimuksen urat uurtaneessa perusteoksessaan »Ueber Waldtypen» (1909) metsätyyppejä kuvatessaan tarkastelee myöskin näiden ja maalajien keskinäistä suhdetta. Jo siitä ilmenee pääpiirtein, minkälaisilla maalajeilla tärkeimmät metsätyypit yleensä esiintyvät.

Samaten jo tästä perustutkimuksesta selviää, että sama metsätyyppi saattaa esiintyä mitä erilaisimmilla maalajeilla (s. 94) Tämä onkin luonnollista, kun muistetaan että saman maalajin kemiallinen ja fysikaalinen kokoomus saattavat huomattavasti vaihdella sekä että kasvillisuuden kokoonpanoon vaikuttavat paljon ilmasto, maaston viettävyys, korkeus meren pinnasta ym. tekijät.

Myöhemmissä tutkimuksissa on kuvauksia metsätyyppien esiintymisestä eri maalajeilla täydennetty. Tärkeimpinä näistä mainittakoon Lakarin Pohjois-Suomessa sekä Lukkalan ja Multamäen yhteisesti Savossa ja Karjalassa suorittamat tutkimukset.

Lakari on Pohjois-Suomen metsätyyppejä koskevia tutkimuksiaan varten ottanut 166 koealaa ja selvittänyt niillä myöskin maalajin. Näitten havaintojen perusteella hän on tarkastellut, mitenkä eri tyyppien koealat jakaantuvat eri maalajien: murto- (moreeni-) soran, vierinkivi- (harju-) soran ja hienon hiekan kesken. Lehto-, mustikka-, paksusammal- ja variksenmarja-mustikkatyyppien koealat ovat olleet pääasiallisesti murtosoramaalla, mustikkatyypin koealoista jo muutama vierinkivisoralla, paksusammal- ja variksenmarja-mustikkatyyppien koealoista samoin ja sitä paitsi jotkut myöskin hiekkamaalla. Kuivien kangasmetsien metsätyypeiltä otetuista

koealoista enimmät ovat olleet hiekkamaalla, miltei yhtä paljon vierinkivisoralla ja likimain saman verran myös murtosoramaalla. Puhtaan jäkälätyypin 10 koealasta 9 on ollut hiekkamaalla ja 1 murtosoralla.

Lukkala ja Multamäki suorittivat v. 1917 linja-arvioimiseen perustuvia laajoja tutkimuksia metsien tilasta sekä viljavan maa-alan jakaantumisesta Savossa ja Karjalassa, kiinnittäen huomiota muiden seikkojen ohella myös maalajiin. Näitten havaintojen perusteella Lukkala (1919 ss. 189—191) on laatinut kuvauksen mm. metsätyyppien ja maalajien keskinäisestä suhteesta tutkitulla alueella. Siitä ilmenee, että kaikki tavalliset metsätyypit esiintyvät usealla eri maalajilla. Neljän yleisimmän metsätyypin suhteen tulokset tutkimusalueelta ovat olleet seuraavat:

| | Maalaji | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Metsätyyppi | murto-sora | kivi-peräinen murto-sora | kallio-peräinen murto-sora | vierinkivi-sora | hiekka | hieta | hiesu | savi |
| OMT ..... | 75.2 | 13.3 | — | — | — | 1.2 | 3.7 | 6.6 |
| MT ..... | 69.3 | 19.0 | 2.6 | 0.3 | 3.4 | 2.8 | 1.4 | 1.2 |
| VT ..... | 46.5 | 12.4 | 8.3 | 4.9 | 15.4 | 12.5 | — | — |
| CT ..... | 17.6 | 4.2 | 4.8 | 17.3 | 46.2 | 9.9 | — | — |

Edellisten lisäksi sangen useissa muissakin metsätyyppejä koskevissa tutkimuksissa, varsinkin koealoista tehdyissä kuvauksissa, on mainintoja myöskin kasvupaikan maalajista, mutta irrallisina havaintoina ne eivät ole voineet antaa pohjaa edes yleispiirteisellekään yhtenäiselle tarkastelulle metsätyyppien esiintymisestä eri maalajeilla. Tämä kysymys, puhumattakaan muista maalajien metsätaloudellista merkitystä koskevista tutkimuksista, on siis yhä ollut liian vaillinaisesti selvitetty.

Oli näin ollen luonnollista, että kun Suomessa vv. 1921—1924 suoritettiin koko maan metsiä koskeva yleinen arvioiminen ja siinä tarjoutui muun ohella hyvä tilaisuus metsämaitten maalajien selvittelyyn, myös tämä sisällytettiin tutkimusohjelmaan. Näin saatiinkin muutaman vuoden aikana kerätyksi tasaisesti maan kaikista osista laaja aineisto, jonka perusteella tässä julkaisussa kuvataan metsätyyppien esiintymistä eri maalajeilla.

## Tutkimusaineisto.

Edellisessä mainitussa ns. valtakunnan metsien arvioimisessa kuljettiin poikki maan lounaasta koilliseen 39 arvioimislinjaa 26 km:n välimatkoin ja keskenään yhdensuuntaisina. Näillä linjoilla tehtiin

jokaisesta eteen sattuneesta maakuviosta erikseen monenlaisia maata ja metsikköä koskevia muistiinpanoja, joihin metsämailla sisältyi myöskin merkintä irtaimesta maalajista. Kaikkiaan n. 60 000—70 000 maakuviolla tuli näin maalaji selvitetyksi. Maalajin tarkka määrääminen oli tietenkin useasti vaikeata, eikä kerääntynyt aineisto ole likimainkaan niin varmaa kuin se olisi ollut, jos maalaji olisi ollut tutkimuksen pääkohteena. Mutta muutamista seikoista, joista lähemmin jäljempänä, on kuitenkin voitu vakuuttavasti päättää maalajin määräämisen siinä määrin onnistuneen, että aineistoa saatetaan pitää riittävän luotettavana metsätyyppien esiintymistä eri maalajeilla koskevaa yleispiirteistä selvittelyä varten.

Tutkittaviksi otettiin vain ns. *kasvulliset kovat metsämaat*, so. lehtometsät ynnä tuoreet ja kuivat kangasmetsät, joita varsinaisesti m e t s ä tyypeillä tarkoitetaan. Käsittelyn ulkopuolelle jäivät siis kaikki suot, syystä että eri turvelaatuja ei tutkimuksessa erotettu, samoin kivikko- ja somerikkomaat sekä louhikko- ja kalliomaat,[1]) joiden metsätaloudellinen merkitys on pieni, ja vielä metsätalouteen kuulumattomina kaikki viljelysmaat ynnä tontti- ja tiealueet. Tutkitut metsätyypit käsittävät Suomen koko maa-alasta 47.4 %, ns. kovien maiden (suomaiden vastakohtana) koko alasta 73.7 %, koko metsäalasta 66.7 % ja kasvullisen metsämaan koko alasta 80.7 % eli kaikkiaan 16.3 milj. ha.

Tutkimuksessa erotetut *metsätyypit* luetellaan seuraavassa, samalla mainiten kuinka suuren osan koko maan kovien kasvullisten metsämaitten, so. tässä tutkimuksessa tarkastettavien metsämaitten, alasta ja kuinka suuren määrän tämän tutkimuksen pohjana olevia arvioimislinjoja kukin tyyppi käsittää:[2])

| Metsätyyppi | Tyypin osuus koko maan kovien kasvullisten metsämaitten alasta, % | Tyypin osalle sattuneiden arvioimislinjojen pituus yhteensä, m |
|---|---|---|
| Lehdot | 0.9 | 47 220 |
| Käenkaali-mustikkat. (OMT) | 3.9 | 191 624 |
| Talvikkityyppi (PyT) | 0.2 | 13 179 |
| Mustikkatyyppi (MT) | 29.4 | 1 599 376 |
| Paksusammaltyyppi (HMT) | 5.3 | 321 154 |
| Puolukkatyyppi (VT) | 31.1 | 1 805 097 |
| Variksenmarja-mustikkat. (EMT) | 13.9 | 844 252 |
| Kanervatyyppi (CT) | 10.4 | 587 386 |
| Jäkälätyyppi (ClT) | 4.9 | 327 796 |

[1]) Kallio- ja louhikkomaista on kuitenkin lyhyt selvittely liitetty tämän tutkimuksen loppuun.

[2]) Metsätyyppien kuvausta ei ole katsottu tässä tarpeelliseksi, vaan viitataan niitä koskevaan kirjallisuuteen (kts. kirjallisuusluetteloa).

Sen johdosta että lehtoja on kaikkiaan kovin vähän, ei eri lehtotyyppejä ole erotettu toisistaan. Jäkälätyypin alamuotoja ei ole tutkimuksessa alkuaankaan voitu käsitellä niin erillään, että ne olisi saatettu tässä toisistaan erottaa. Kuten tunnettua ovat käenkaalimustikka- ja talvikki- (Pyrola-) tyyppi jotakuinkin yksinomaan maan eteläpuoliskon metsätyyppejä, kun taas paksusammal-, variksenmarja-mustikka- ja pääasiallisesti myös jäkälätyyppi esiintyvät miltei yksinomaan maan pohjoispuoliskossa.

Tutkimuksessa erotetut *irtaimet maalajit* ja niille sattuneiden arvioimislinjojen pituudet ovat seuraavat:

| | Maalajin osalle sattuneiden arvioimislinjojen pituus yhteensä, m | |
|---|---|---|
| Savimaa | | 146 943 |
| Hiesumaa | | 72 036 |
| Vähäkivinen moreenisora | 1 530 470 | |
| Kivikkoinen » | 2 880 432 | |
| Kalliokkoinen » | 193 125 | |
| Moreenisora, kaikkiaan | | 4 604 027 |
| Harjusora | | 269 862 |
| Hiekkamaa | | 644 216 |

Maalajit on edellisessä lueteltu siinä järjestyksessä kuin yleisesti lienee käsitetty niiden metsäntuottokyvyn vähenevän. Samaa järjestystä käytetään jäljempänä tutkimuksen tuloksia selviteltäessä, eikä siis luonnollista, pääaineksen raesuuruuden mukaista järjestystä.

Moreenisora on jaettu kolmeen alaryhmään: vähäkivinen, jossa kivet eivät yleensä vielä sanottavasti haittaa esim. alan viljelykseksi raivaamista; kivikkoinen moreenisora, jossa runsas kivisyys yleensä suuresti vaikeuttaa alan raivaamista viljelykseksi, mutta metsän kasvu ei siitä ainakaan varsin huomattavasti kärsi, sekä kalliokkoinen moreenisora, jossa siellä täällä esiintyy metsän tuottoa selvästi vähentävää kalliota tai louhikkoa.

Tutkimusaineiston perusteella on laadittu useita yhdistelmiä, jotka kuvaavat, mikä merkitys eri maalajeilla on metsätaloudellisen tuotantomme pääasiallisen pohjan muodostavilla kasvullisilla kovilla metsämailla, mitenkä eri metsätyypit jakaantuvat eri maalajeille ja mitenkä eri maalajit eri metsätyyppien osalle sekä vielä eri puulajien esiintymistä eri maalajeilla. Aineistoa on käsitelty myöskin ns. viljavuusalueitten puitteissa, jotta selviäisi ovatko saadut suhdeluvut samanlaisia maan eri osissa vai onko ehkä tähän nähden eroavaisuuksia havaittavissa. Koko tämä tarkastelu on suoritettu samoihin 77:ään L i n k o l a n muodostelemaan viljavuusalueeseen

ryhmitellen kuin ns. valtakunnan metsien arvioimisen tuloksiin perustuva Suomen metsien viljavuusalueittainen kuvaus. Mutta esityksen supistamiseksi ja helpomman yleiskatsauksen saamiseksi tarkastellaan tässä julkaisussa vain seuraavia 13 pääviljavuusaluetta, joiksi edellä mainitut 77 aluetta voidaan suurin piirtein verraten luontevasti yhdistellä:

I. *Lounais-eteläinen rannikkoalue*, joka käsittää n. 4—8 penikulman levyisenä kaistaleena Kokemäenjoen ja Kymijoen välisen rannikkomaan saaristoineen ynnä Ahvenanmaan.

II. *Kaakkoiset rannikkotienoot*, joihin paitsi Suomenlahden rantamaita edellisestä alueesta itään päin ja Laatokan rannikkoalueita on luettu Karjalan kannas.

III. *Etelä-Häme*, siihen luettuna Kuloveden puoleinen kulmaus Satakunnasta, mutta pois jätettynä eräitä Hämeeseen kuuluvia lounaisia seutuja, jotka on viety I:een alueeseen.

IV. *Etelä-Savo*, siihen luettuna pieniä osia muualtakin, etenkin Etelä-Karjalasta.

V. *Pohjanmaan rannikkotasanko*, joksi on yhdistetty Pohjanlahdesta vaihdellen n. 5—9 penikulman etäisyydelle sisämaahan levenevä, Kokemäenjoen tienoista aina Iijoen suun tienoille ulottuva alue.

VI. *Suomenselän vedenjakajaseutu*, n. 4—8 penikulman levyinen kaistale Pohjois-Satakunnasta Oulujärveen saakka.

VII. *Sisä-Suomen järvialueen pohjoispuolisko*, laaja, suurin piirtein Pohjois-Hämeen, Pohjois-Savon ja läntiset osat Pohjois-Karjalaa käsittävä alue.

VIII. *Raja-Karjala*, aluksi kapeana sitten melko leveänä ja lopuksi taas verraten kapeana Laatokan rannikolta pohjoiseen Suomenselän vedenjakajaseudulle saakka ulottuva alue.

IX. *Kainuun alue*, laajennettuna lännessä lähelle meren rannikkoa.

X. *Perä-Pohjola*, otettuna verraten ahtaana, ainoastaan Tornio-, Kemi- ja Simojokien alajuoksujen seudut sekä Pohjanlahden perimmäisen rannikon käsittävänä.

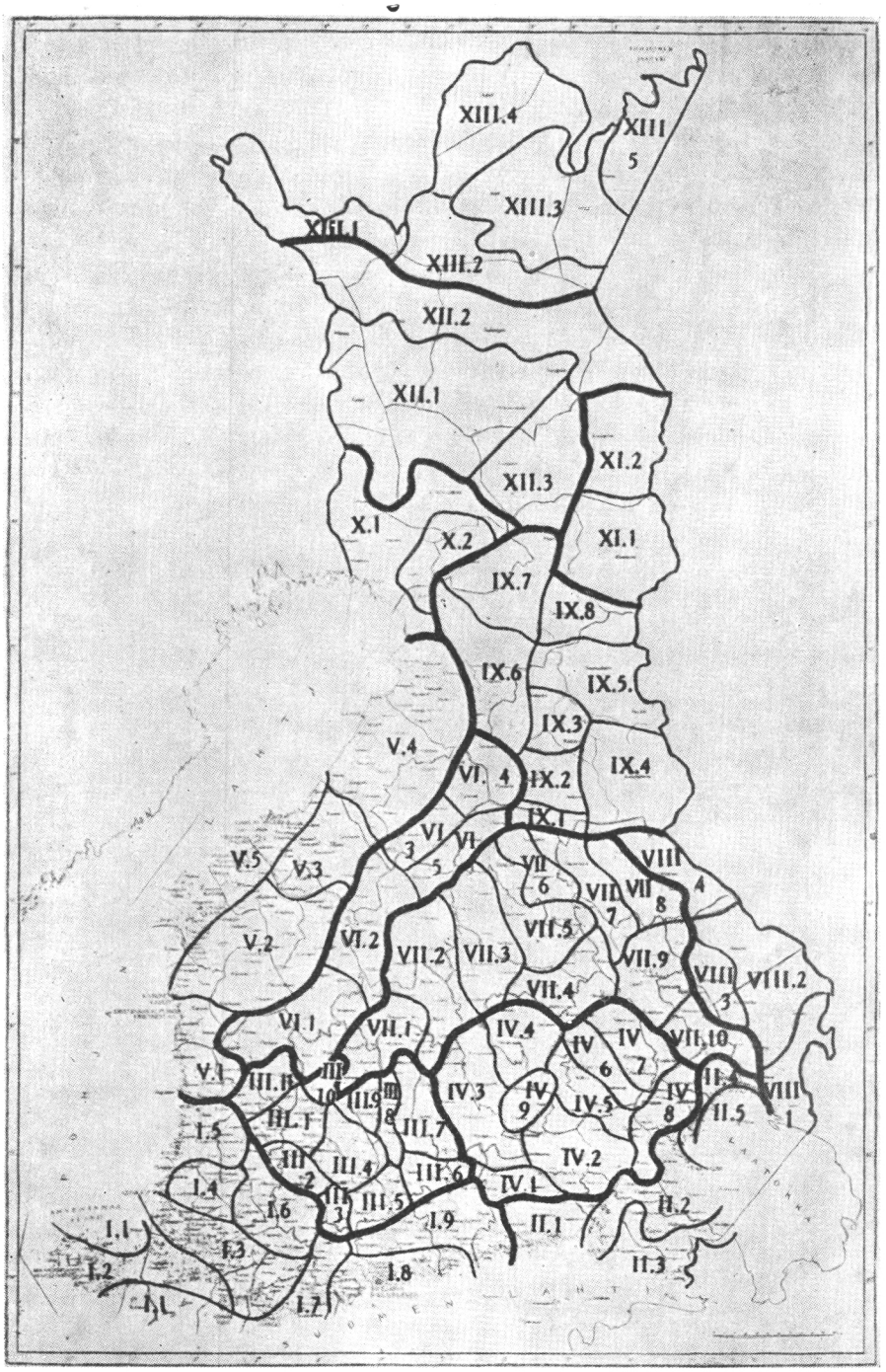
XI. *Kuusamon alue*, johon on luettu myös eteläosa Kuolajärveä.

XII. *Etelä-Lappi*, johon on viety myöskin tavallisesti Perä-Pohjolan nimellä käyvän alueen pohjoiset osat.

XIII. *Pohjois-Lappi*, joka käsittää Enontekiön (paitsi eteläisintä osaa), Inarin, Utsjoen ja Petsamon pitäjät ynnä vielä pohjoisimmat osat Kittilän ja Sodankylän pitäjistä.

## Kasvullisten kovien metsämaitten maalajisuhteet.

Aiemmin mainittu Suomen kasvullisten kovien metsämaitten ala 16.3 milj. ha jakaantuu eri maalajien kesken siten (taulukko 1), että siitä valtava pääosa, 80.2 % eli 13.1 milj. ha, on moreenisoraa, 11.2 % eli 1.8 milj. ha on hiekkamaata ja 4.7 % eli 0.8 milj. ha harjusoraa sekä vain 2.6 % eli 0.4 milj. ha savimaata ja 1.3 % eli 0.2 milj. ha hiesumaata. Epävarmin on hiesumaata koskeva luku, sillä hiesun




Viljavuusalueet. — *The areas of fertility.*

erottaminen sille läheisimmistä maalajeista on usein ollut vaikeaa. Myös harjusoran tarkka erottaminen moreenisorasta ja hiekasta on välisti ollut epävarmaa. Moreenisorasta on miltei $^2/_3$ kivikkoista, n. $^1/_3$ vähäkivistä ja vain pieni osa kalliokkoista (vrt. s. 9).

Maan etelä- ja pohjoispuoliskoissa metsämaitten maalajisuhteet ovat osaksi huomattavasti erilaisia. Niinpä savimaat käsittävät eteläpuoliskossa 4.3 %, mutta pohjoispuoliskossa aivan mitättömän pienen osan kasvullisten kovien metsämaitten alasta. Hiesumailla on kummassakin metsämaana pieni merkitys. Moreenisora valtaa molemmissa n. $^4/_5$, mutta eteläpuoliskossa tämä maalaji on merkitty paljon yleisemmin kivikkoiseksi kuin pohjoispuoliskossa, mikä johtunee mm. siitä, että edellisessä vähäkivisiä moreenisoramaita on monin verroin enemmän raivattu viljelyksiksi. Harjusoramaita on maan molemmissa puoliskoissa likimain saman verran ja kummassakin suhteellisen vähän. Hiekkamaita on pohjoispuoliskossa jonkin verran enemmän kuin eteläpuoliskossa.

Taulukko 1. **Kasvullisten kovien metsämaitten maalajisuhteet.**
Table 1. *Distribution of firm (dry) productive forest lands among different soils.*

| Viljavuusalueen n:o *Number of the area of fertility* | Kasvullisten kovien metsämaitten maalaji *Soils of the firm (dry) productive forest lands* | | | | | | | | Yhteensä *Total* | Arvioimislinjaa kaikkiaan *Total length of survey line* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Savimaa *Clay* | Hiesumaa *Silt* | Moreenisora — *Morainic gravel* | | | | Harjusora *Esker-gravel* | Hiekkamaa *Sand* | | |
| | | | vähäkivinen *slightly stony* | kiveräinen *stony* | kallionkoinen *rocky* | yhteensä *total* | | | | |
| | prosenttia — *per cent* | | | | | | | | | metriä *metres* |
| I | 11.4 | 2.7 | 18.5 | 49.0 | 8.7 | 76.2 | 2.7 | 7.0 | 100 | 440 946 |
| II | 5.3 | 0.8 | 14.9 | 49.0 | 3.7 | 67.6 | 0.8 | 25.5 | 100 | 290 137 |
| III | 8.9 | 1.2 | 10.8 | 63.4 | 5.6 | 79.8 | 5.8 | 4.3 | 100 | 363 413 |
| IV | 2.8 | 2.0 | 20.6 | 49.1 | 5.8 | 75.5 | 11.6 | 8.1 | 100 | 504 418 |
| V | 1.2 | 1.7 | 19.8 | 64.0 | 3.2 | 87.0 | 0.9 | 9.2 | 100 | 448 271 |
| VI | 1.2 | 1.4 | 30.8 | 42.8 | 3.1 | 76.7 | 8.4 | 12.3 | 100 | 327 495 |
| VII | 3.4 | 1.3 | 18.8 | 62.6 | 2.4 | 83.8 | 5.3 | 6.2 | 100 | 761 284 |
| VIII | 0.2 | 0.4 | 13.4 | 67.2 | 1.6 | 82.2 | 3.5 | 13.7 | 100 | 309 218 |
| IX | 0.2 | 1.7 | 40.8 | 33.2 | 1.1 | 75.1 | 2.0 | 21.0 | 100 | 646 529 |
| X | — | 2.6 | 36.5 | 42.1 | 2.1 | 80.7 | 0.7 | 16.0 | 100 | 177 840 |
| XI | — | 0.3 | 35.7 | 34.0 | 3.8 | 73.5 | 14.3 | 11.9 | 100 | 262 400 |
| XII | — | 0.5 | 40.3 | 41.0 | 1.3 | 82.6 | 4.9 | 12.0 | 100 | 788 797 |
| XIII | — | 0.2 | 38.6 | 51.2 | 3.7 | 93.5 | 0.8 | 5.5 | 100 | 419 410 |
| Keskimäärin — *Average* | | | | | | | | | | |
| I—VIII[1]) | 4.3 | 1.5 | 18.3 | 57.0 | 4.2 | 79.5 | 5.1 | 9.6 | 100 | 3 445 182 |
| IX—XIII[2]) | — | 0.9 | 39.3 | 40.0 | 2.0 | 81.3 | 4.1 | 13.7 | 100 | 2 294 976 |
| Koko maassa — *In the whole country* | 2.6 | 1.3 | 26.7 | 50.1 | 3.4 | 80.2 | 4.7 | 11.2 | 100 | 5 740 158 |
| | milj. hehtaaria — *mill. hectares* | | | | | | | | | |
| | 0.4 | 0.2 | 4.3 | 8.2 | 0.6 | 13.1 | 0.8 | 1.8 | 16.3 | |

[1]) Suurin piirtein Suomen eteläpuolisko. — *Southern half of Finland.*
[2]) » » » pohjois » *Northern* » » »

Taulukosta 1 ilmenevät metsämaitten maalajisuhteet vielä vähäisempiinkin maan osiin, nimittäin edellä lueteltuihin 13 pääviljavuusalueeseen nähden (vrt. siv. 11 olevaa karttaa). Seuraavassa mainitaan näiden perusteella muutamia pääpiirteitä eri maalajeista.

*Savimaalla* on metsämaana tärkein merkityksensä I:ssä viljavuusalueessa. Pääosa tämän maamme tiheimmin asutun seudun savimaista on tietenkin jo joutunut viljelykselle, mutta vieläkin on 11.4 % kasvullisten kovien metsämaitten alasta savimaita. Lähinnä runsaimmin, 8.9 %, tavataan savea metsämaana III:ssa viljavuusalueessa. II:ssa viljavuusalueessa on myös 5.3 % ja VII:ssä 3.4 % sekä IV:ssä viljavuusalueessa 2.8 % kasvullisista kovista metsämaista savimaita. Pohjanmaan rannikkotasangolla, V:ssä viljavuusalueessa, lienee savikkomaat jo siinä määrin otettu viljelykseen, että enää vain 1.2 %, so. sama määrä kuin VI:ksi viljavuusalueeksi luetussa Suomenselän vedenjakajaseudussa, kasvullisista kovista metsämaista on savimaita. VIII:ssa ja sen pohjoispäästä jatkuvassa IX:ssä viljavuusalueessa savella on metsämaana aivan pieni merkitys sekä yhä mitättömämpi merkitys vieläkin pohjoisemmissa X, XI, XII ja XIII:ssa viljavuusalueessa.

*Hiesumaalla*, joka kuten edellisessä jo mainittiin on välisti ollut epävarmasti erotettavissa lähimaalajeista, ei ole missään viljavuusalueessa metsämaana sanottavaa merkitystä.

*Moreenisora* on kaikissa viljavuusalueissa ylivoimaisesti vallitseva maalaji. Pohjoisimmassa, XIII:ssa alueessa sen osalla on kasvullisten kovien metsämaitten alasta yli 90 %, V, VII, VIII, X ja XII:ssa alueessa sen osuus on 80—90 %:n välillä, II:ssa alueessa se jää hieman alle 70 %:n, kaikissa muissa se vaihtelee 70—80 %:n välillä. Yleensä eri alueissa vähintäänkin puolet moreenisoramaista on luettu kivikkoisiksi, vähimmin Pohjois-Suomen itäosat käsittävissä IX ja XI:ssä alueessa. Kalliokkoisia moreenisoramaita esiintyy enimmin lounais-eteläisellä rannikolla sekä Päijänteen ja Saimaan seuduilla.

*Harjusoran* osuus kovien kasvullisten metsämaitten alasta kohoaa vain IV ja XI:ssä alueessa jonkin verran yli 10 %:n, muualla se on pienempi ja erittäin vähäinen Pohjanmaalla, Kaakkoisessa rannikkoalueessa ja Pohjois-Lapissa.

*Hiekkamaa* on metsämaana hyvin yleinen Kaakkoisessa rannikkoalueessa, jossa hiekkamaat käsittävät n. neljänneksen, jopa Karjalan kannaksella n. puolet kovista kasvullisista metsämaista. Kainuussa niitä näyttää olevan paikoitellen yhtä runsaasti kuin Kaakkoisessa rannikkoalueessa ja siellä täällä Pohjois-Suomessa likimain saman verran. Muualla niiden esiintymistä osoittava prosenttiluku jää n. 10:n vaiheille tai useissa seuduissa paljon sitäkin alhaisemmaksi.

Hyvin huomattaviakin poikkeuksia esiintyy kuitenkin useilla paikkakunnilla, mutta nämä seudut ovat yleensä alaltaan niin vähäisiä, että ne eivät pääse vaikuttamaan kokonaisten alueitten keskiarvoihin.

Maalajien esiintymisestä saatuja tuloksia on verrattu *Suomen Maantieteellisen Seuran Suomen kartastossa* esitettyyn *maalajikarttaan*. Vaikkakin vertauksia haittaa se, että mainittu maalajikartta käsittää myöskin viljelysmaat ja tämä tutkimus taas ainoastaan kasvulliset metsämaat, niin molemmat käyvät kuitenkin yleispiirtein, jopa usein yksityiskohdissaankin hyvin yksiin.

Kartaston mukaan esim. savea on runsaimmin I, II, III ja VII:ssä alueessa, joissa se nyt selostettavien tulosten mukaan metsämaanakin on yleisempi kuin muissa alueissa. Lähemmin tarkasteltaessa on huomattu ala-alueisiinkin nähden saadut tulokset yhtä pitäviksi. V:ssä alueessa on kuitenkin kartaston mukaan huomattavasti enemmän savimaita kuin mitä nyt on saatu, mutta Pohjanmaan savikot näyttävätkin olevan pääasiallisesti viljeltyjä jokivarsia, eivätkä ne siis sisälly tähän tutkimukseen, jossa vain metsämaat ovat kyseenä. Sama on asian laita Kemi- ja Torniojokien suupuolen savikkoseutujen suhteen.

Myöskin hiekkamaiden esiintyminen käy nyt suoritettujen tutkimusten osoittamana yleensä hyvin yksiin kartaston antaman kuvan kanssa. Molempien mukaan hiekkamaita on erikoisen runsaasti Karjalan kannaksella (ala-alueet II. 2 ja II. 3), Rauman—Pyhäjärven—Kokemäenjoen seudussa (alue I. 5), Hämeen—Pohjankankaitten tienoilla (alueiden III. 11, V. 1 ja VI. 1 rajaseuduilla), Pohjanmaan pohjoisella rannikkoseudulla (alue V. 4 ja osaksi X. 1), Raja-Karjalassa jne. Poikkeuksen tekee Kainuu, jossa nyt suoritettujen tutkimusten mukaan näyttäisi olevan enemmän hiekkamaita kuin mitä kartasto osoittaa. Syytä tähän erilaisuuteen on vaikea selittää, mutta kun kyseenä olevassa seudussa on hyvin runsaasti kuivanpuoleisia ja kuivia kangasmetsiä, voinee hiekkamaita todella olla melkoisesti.

Harjusoran esiintymiseen nähden yhtäläisyydet ovat myöskin todettavissa ilman mitään vaikeuksia. Niinpä Salpausselän vaikutukset näkyvät selvästi koko suuren IV:n alueen keskiarvossakin, mutta miltei kaksinkertaisiksi kohoavat harjusoran prosenttiluvut useissa tämän pääviljavuusalueen ala-alueissa. Salpausselän pohjoispään ja Jaamankankaan vaikutuksesta on harjusoraa runsaasti Rääkkylän—Liperin—Kontiolahden seudut käsittävässä ala-alueessa VII. 9. Vielä ilmenee Salpausselän sekä sen sivu- ja jatkoharjujen vaikutuksia selvästi eräissä I ja III:n pääviljavuusalueen ala-alueissa,

varsinkin Tammelan ylänköseudulla sekä Lohjan—Hankoniemen, Hämeenlinnan—Kangasalan, Lopen—Kosken ja Vesijärven—Pohjois-Iitin seuduissa. Vielä ovat esim. Kuusamon—Etelä-Kuolajärven alueen ja Etelä-Lapin sekä Suomenselän eteläosan (Kankaanpään—Ähtärin seudun) harjut tulleet tutkimusaineistossa selvästi näkyviin.

Vertailut tämän tutkimuksen antamien tulosten ja kartaston maalajikartan välillä osoittavat siis, että maalaji on suoritetussa linja-arvioinnissa yleensä onnistuttu määräämään oikein. Näyttää siis siltä, että kerätyn aineiston pohjalla voidaan luotettavasti selvitellä metsätyyppien esiintymistä eri maalajeilla.

## Metsätyyppien jakaantuminen eri maalajien osalle.

Tarkasteltaessa taulukon 2 perusteella metsätyyppien jakaantumista eri maalajien osalle huomataan ensinnäkin yleisenä piirteenä, että sama metsätyyppi esiintyy useilla maalajeilla, joten siis maalaji ei suinkaan ilman muuta ilmaise kasvupaikan hyvyyttä. Mutta tavallisesti ilmenee ainakin jonkinlaista saman metsätyypin keskittymistä määrätyille maalajeille, ja muutamat maalajit taas ovat tyypille vähän merkitseviä. Seuraavassa kuvataan tässä suhteessa eri metsätyyppejä, ensiksi niiden keskiarvoja koko maahan sekä sen etelä- ja pohjoispuoliskoihin nähden ja sitten taulukon 3 perusteella eri pääviljavuusalueita erikseen. Jotta samalla olisi selvillä kunkin metsätyypin merkitys eri viljavuusalueissa, on näiden metsätyyppisuhteitten valaisemiseksi esitetty taulukko 4.

*Lehdoista* on miltei $^3/_4$ tavattu moreenisoramailla, likimain puoleksi vähäkivisillä ja kivikkoisilla, mutta vain nimeksi kalliokkoisilla moreenisoramailla. Huomattava määrä, nimittäin 13.7 %, lehdoista on myöskin savimaita sekä 7.0 % hiekka- ja 5.5 % hiesu-, mutta ei juuri ensinkään harjusoramaita.

Maan etelä- ja pohjoispuoliskoiden lehtojen välillä on maalajeihin nähden suuri ero. Kummassakin pääosa lehdoista on moreenisoramailla, pohjoispuoliskossa vielä melkoista suurempi osa kuin eteläpuoliskossa ja samalla vähemmän kivisillä moreenisoramailla kuin viimeksi mainitussa. Savimaita on lehdoista maan eteläpuoliskossa lähes kolmannes, mutta tuskin ensinkään taas pohjoispuoliskossa, jossa sen sijaan huomattava määrä lehtoja on varsinkin rinteitten hiekkamaita.

Kun lehtojen ala on kaiken kaikkiaankin pieni ja niiden osalle sattuneiden arvioimislinjojen määrä eri viljavuusalueissa yleensä hyvin vähäinen, on lehtojen maalajien tarkastelu tällaisten suppeampien alueitten puitteissa epävarmaa. Lounais-eteläisessä ja kaakkoi-

## Taulukko 2. Metsätyyppien jakaantuminen eri maalajien osalle.

Table 2. *Distribution of forest types among the different soils.*

| Metsätyyppi *Forest type* | Maan osa *Part of country* | Maalaji — *Soil* | | | | | | | | Yhteensä *Total* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Savimaa *Clay* | Hiesumaa *Silt* | Moreenisora — *Morainic gravel*: vähäkivinen *slightly stony* | kivikoinen *stony* | kalliokoinen *rocky* | Yhteensä *Total* | Harjusora *Esker-gravel* | Hiekkamaa *Sand* | |
| | | prosenttia — *per cent* | | | | | | | | |
| Lehto *Grass-herb forests* | 1. Suomen eteläpuolisko *1. Southern half of Finland* | 29.2 | 3.7 | 19.9 | 42.4 | 2.9 | 65.2 | — | 1.9 | 100 |
| | 2. Suomen pohjoispuolisko *2. Northern half of Finland* | — | 6.7 | 47.2 | 33.5 | 0.3 | 81.0 | 0.6 | 11.7 | 100 |
| | 3. Koko maa *3. Whole country* | **13.7** | **5.5** | **34.1** | **37.8** | **1.5** | **73.4** | **0.4** | **7.0** | **100** |
| OMT | 1.[1]) | **18.0** | **6.2** | **24.4** | **48.2** | **0.6** | **73.2** | **0.6** | **2.0** | **100** |
| PyT | 1.[1]) | **84.0** | **6.0** | — | — | — | **10.0** | — | — | **100** |
| MT | 1. | 6.2 | 1.9 | 25.7 | 60.8 | 0.5 | 87.0 | 2.0 | 2.9 | 100 |
| | 2. | 1.2 | 2.6 | 63.5 | 21.5 | — | 85.0 | 0.4 | 10.8 | 100 |
| | 3. | **5.8** | **1.9** | **28.2** | **58.2** | **0.5** | **86.9** | **2.0** | **3.4** | **100** |
| HMT | 2.[2]) | **0.1** | **1.1** | **48.4** | **34.8** | **0.9** | **84.1** | **0.7** | **14.0** | **100** |
| VT | 1. | 0.1 | 0.7 | 12.3 | 63.1 | 5.2 | 80.6 | 7.6 | 11.0 | 100 |
| | 2. | — | 2.5 | 50.2 | 35.9 | 1.1 | 87.2 | 1.3 | 9.0 | 100 |
| | 3. | **0.1** | **1.1** | **21.2** | **56.7** | **4.2** | **82.1** | **6.1** | **10.6** | **100** |
| EMT | 2.[2]) | — | **0.2** | **36.8** | **43.8** | **2.8** | **83.4** | **7.3** | **9.1** | **100** |
| CT | 1. | — | — | 6.6 | 22.4 | 19.7 | 48.7 | 11.8 | 39.5 | 100 |
| | 2. | — | — | 16.5 | 38.2 | 2.8 | 57.5 | 6.4 | 36.1 | 100 |
| | 3. | — | — | **11.0** | **29.4** | **12.2** | **52.6** | **9.4** | **38.0** | **100** |
| ClT | 1. | — | — | 8.3 | 20.6 | 28.9 | 57.8 | 3.1 | 39.1 | 100 |
| | 2. | — | — | 31.6 | 49.5 | 2.5 | 83.6 | 2.3 | 14.1 | 100 |
| | 3. | — | — | **31.3** | **49.2** | **2.8** | **83.3** | **2.3** | **14.4** | **100** |

sessa rannikkoalueessa sekä Etelä-Hämeessä, joissa savea on runsaimmin, näyttää lehdoista sangen huomattava osa olevan savimaita, jota vastoin niistä kaikissa muissa alueissa n. $^4/_5$ tai vieläkin suurempi osa on moreenisoramaita. Hiekka- (ja hiesu-) peräisiä lehtoja on pääasiallisesti Tornio—Kemi—Simojokien alajuoksujen seuduissa (X:ssä alueessa), nähtävästi sikäläisten lukuisien vaarojen rinteissä.

[1]) Tyyppi esiintyy pääasiallisesti vain maan eteläpuoliskossa. — *The type only occurs in the southern half.*

[2]) Tyyppi esiintyy pääasiallisesti vain maan pohjoispuoliskossa. — *The type only occurs in the northern half of the country.*

*Käenkaali-mustikkatyyppi* esiintyy myöskin n. $^3/_4$:ksi moreenisoramailla, enimmäkseen kivikkoisilla, sillä vain kolmannes on merkitty vähäkivisiksi. Savimaita on tyypin alasta 18.0 % ja hiesumaita 6.2 %, harjusora- ja hiekkamaita aivan vähän. Kun käenkaali-mustikkatyyppi on miltei yksinomaan maan eteläpuoliskon metsätyyppi, ovat sen maalajisuhteet koko maan keskiarvoina samat kuin eteläpuoliskossa.

Tarkasteltaessa eri viljavuusalueita erikseen ilmenee pääasiallisena eroavaisuutena, että edellä mainituissa savesta rikkaimmissa alueissa myös käenkaali-mustikkatyypin maalaji on savi yleisemmin kuin muissa alueissa. Ensiksi mainittuihin alueisiin on tässä suhteessa luettava Etelä-Pohjanmaa. Hämeenlinnan—Kangasalan—Tampereen ja välisti Salpausselänkin harjumailla näyttää käenkaali-mustikkatyyppi silloin tällöin esiintyvän myös harjusoramaalla. Mm. näitä seutuja käsittävissä viljavuusalueissa I ja III käenkaali-mustikkatyyppi onkin yleisempi kuin muissa alueissa.

*Talvikkityyppi* on kuvaajansa K. Linkolan (1919) mukaan savimaan metsätyyppi. Nyt suoritetut tutkimukset vahvistavat tämän käsityksen, sillä 84.0 % tyypistä on tavattu savimailla ja 6.0 % hiesumailla. Vain 10.0 % on ollut moreenisoralla, usein ehkä savensekaisella tai savimaahan rajoittuvalla moreenisoramaalla. Kuten taulukosta 4 ilmenee, tyypin merkitys on vielä paljon pienempi kuin lehtojen; pääasiallinen levenemisalueensa sillä on maan eteläosissa. Tästä syystä ei ole tarkasteltu sen maalajisuhteita eri viljavuusalueissa.

*Mustikkatyyppi* keskittyy vielä enemmän kuin lehdot ja käenkaali-mustikkatyyppi moreenisoramaille. 86.9 % mustikkatyypistä on näet tavattu moreenisoramaalla, n. $^2/_3$ kivikkoisella ja $^1/_3$ vähäkivisellä sekä aivan mitätön osa kalliokkoisella moreenisoralla. Savimaitten osalla tyypistä on 5.8 % ja hiesumaitten 1.9 % sekä harjusoran 2.0 ja hiekkamaitten osalla 3.4 %.

Maan etelä- ja pohjoispuoliskoissa tyypistä on jotakuinkin yhtä suuri osa moreenisoramailla, mutta edellisessä pääosa kivikkoisella ja jälkimmäisessä taas vähäkiviseksi luetulla moreenisoralla. Savimailla tyyppiä esiintyy pääasiallisesti maan eteläpuoliskossa — pohjoispuoliskossahan savimaita ei sanottavasti olekaan—, hiekkamailla sitä taas on yleisimmin Pohjois-Suomessa.

Mustikkatyyppiäkin on tavattu savimailla enimmin samoissa runsaimmin savimaita käsittävissä eteläisimmissä viljavuusalueissa kuin edellisessä mainittuja tyyppejä. Moreenisora valtaa kuitenkin kaikissa viljavuusalueissa yli $^3/_4$, jopa muutamissa yli $^9/_{10}$ mustikkatyypin alasta. Maan eteläpuoliskon viljavuusalueissa — vain Suo-

menselän karun vedenjakajaseudun käsittävää VI:tta aluetta lukuun ottamatta — suuri pääosa moreenisoramaista on luettu kivikkoisiksi, Pohjois-Suomen alueissa taas vähäkivisiksi. Harjusora- ja hiekkamailla mustikkatyyppiä on tavattu keskimäärää enemmän varsinkin äsken mainitussa Suomenselän alueessa sekä hiekkamailla erittäinkin maan pohjoispuoliskon eteläosissa, missä mustikkatyyppi kuitenkin kaiken kaikkiaankin supistuu verraten vähään.

*Paksusammaltyypistä* esiintyy 84.1 % moreenisoramaalla ja vähäkiviseksi merkityllä tuntuvasti suurempi osa kuin kivikkoisella. Hiekkamaitten osalle tyypistä on tullut 14.0 %, Kuusamon—Etelä-Kuolajärven ja Pohjois-Lapin alueissa kuitenkin aivan vähän. Muiden maalajien merkitys on kaikkialla hyvin pieni.

*Puolukkatyypinkin* alasta moreenisoramaat käsittävät pääosan, nimittäin 82.1 %, ja ne ovat maan molemmissa puoliskoissa vielä yleisemmin kivikkoisia ja erittäinkin kalliokkoisia kuin mustikkatyypin peittämät moreenisoramaat. Harjusoramailla puolukkatyypistä on 6.1 % ja hiekkamailla 10.6 %; hiesumailla sitä on tavattu aivan vähän ja savimailla vain nimeksi.

Maan etelä- ja pohjoispuoliskoiden välillä on pääeroavaisuutena, että edellisessä puolukkatyyppi esiintyy yleisemmin harjusoramailla kuin jälkimmäisessä, jossa taas tyypistä suurempi osa on moreenisoramailla ja erittäinkin vähäkivisillä moreenisoramailla.

Tarkasteltaessa eri viljavuusalueita huomataan muutamia mainitsemisen arvoisia erilaisuuksia. Niinpä maan eteläpuoliskoon kuuluvissa III, IV, VI ja VII:ssä alueessa, joissa jo edellisessä havaittiin olevan harjusoramaita keskimäärää enemmän, tavataan puolukkatyyppiä harjusoralla melkoista runsaammin kuin muissa alueissa. Varsinkin hiekkaperäisessä Kannaksen alueessa on taas sangen huomattava osa puolukkatyypistä hiekkamaalla.

*Variksenmarja-mustikkatyyppi* esiintyy eri maalajeilla hyvin saman tapaisesti kuin sille läheinen puolukkatyyppi, erittäinkin maan eteläpuoliskon puolukkatyyppi. Harjusoramaita se käsittää erityisen runsaasti Kuusamon—Etelä-Kuolajärven alueessa, miltei pelkästään moreenisoramaita taas Pohjois-Lapissa, jossa m e t s ä n p e i t t ä m i ä harjusoramaita on hyvin niukasti.

*Kanervatyypin* metsämaista on huomattavasti pienempi osa moreenisoramaita kuin — talvikkityyppiä lukuun ottamatta — muista metsätyypeistä, mutta kuitenkin niistäkin yli puolet, 52.6 %. Hiekkamaitten osalla kanervatyypistä on 38.0 % ja harjusoran 9.4 %. Savi- ja hiesumailla kanervatyyppiä ei ole tavattu.

Kanervatyypin peittämät moreenisoramaat ovat maan eteläpuoliskossa pääasiallisesti kivikkoisia ja kalliokkoisia, siis kiviperäi-

syydenkin takia tuottokyvyltään heikoimpia moreenisoramaita. Pohjoispuoliskossa niistä on suurempi osa vähäkivisiä ja paljon pienempi osa kalliokkoisia kuin eteläpuoliskossa.

## Taulukko 3. Metsätyyppien jakaantuminen eri maalajien osalle viljavuusalueittain.

Table 3. *Distribution of forest types among different soils (in different areas of fertility).*

| Metsätyyppi *Forest type* | Viljavuusalueen n:o *Number of the area of fertility* | Maalaji — *Soil* | | | | | | | | Yhteensä *Total* | Arvioimislinjaa kaikkiaan *Total length of survey line* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Savimaa *Clay* | Hiesumaa *Silt* | Moreenisora — *Morainic gravel*: vähäkivinen *slightly stony* | kivikoinen *stony* | kalliokoinen *rocky* | yhteensä *total* | Harjusora *Esker-gravel* | Hiekkamaa *Sand* | | |
| | | prosenttia — *per cent* | | | | | | | | | metriä *metres* |
| Lehto *Grass-herb forests* | I | 82.4 | 3.8 | | | | 10.2 | — | 3.6 | 100 | 3 206 |
| | II | 26.5 | — | | | | 73.1 | — | 0.4 | 100 | 8 215 |
| | III | 55.0 | — | | | | 45.0 | — | — | 100 | 1 957 |
| | IV | 10.5 | 5.4 | | | | 84.1 | — | — | 100 | 4 142 |
| | V, VI | (4.5) | (21.7) | | | | (73.8) | — | — | 100 | (1 105) |
| | VII, VIII | 6.5 | 6.2 | | | | 80.8 | — | 6.5 | 100 | 3 695 |
| | IX, XI | — | 2.5 | | | | 97.5 | — | — | 100 | 3 390 |
| | X | — | 11.2 | | | | 78.6 | — | 10.2 | 100 | 13 720 |
| | XII | — | 0.7 | | | | 83.4 | 3.3 | 12.6 | 100 | 4 290 |
| | XIII | — | 3.1 | | | | 93.9 | — | 3.0 | 100 | 19 815 |
| OMT | I | 39.8 | 11.8 | 21.8 | 23.7 | — | 45.5 | 0.8 | 2.1 | 100 | 33 788 |
| | II | 16.6 | 1.4 | 7.7 | 68.5 | 3.4 | 79.6 | 1.0 | 1.4 | 100 | 21 616 |
| | III | 24.7 | 3.6 | 7.0 | 58.2 | 0.4 | 65.6 | 3.2 | 2.9 | 100 | 29 616 |
| | IV | 9.8 | 7.0 | 45.7 | 34.9 | 0.4 | 81.0 | — | 2.2 | 100 | 22 008 |
| | V | 16.7 | 1.2 | 14.9 | 66.1 | — | 81.0 | — | 1.1 | 100 | 12 725 |
| | VI | 3.9 | 5.8 | 47.2 | 38.7 | — | 85.9 | — | 4.4 | 100 | 7 502 |
| | VII, VIII | 8.5 | 6.8 | 29.4 | 53.5 | 0.1 | 83.0 | — | 1.7 | 100 | 57 628 |
| | IX—XIII | 11.4 | | 51.7 | 36.9 | — | 88.6 | — | — | 100 | 1 587 |
| PyT | I—VII | 84.0 | 6.0 | — | — | — | 10.0 | — | — | 100 | 3 625 |
| MT | I | 11.5 | 3.2 | 27.9 | 49.8 | 0.5 | 78.2 | 2.7 | 4.4 | 100 | 168 393 |
| | II | 9.0 | 1.8 | 26.4 | 58.4 | 0.6 | 85.4 | 0.1 | 3.7 | 100 | 98 688 |
| | III | 11.0 | 1.3 | 13.4 | 70.2 | 0.5 | 84.1 | 1.8 | 1.8 | 100 | 197 947 |
| | IV | 5.1 | 3.0 | 33.6 | 51.1 | 1.8 | 86.5 | 3.7 | 1.7 | 100 | 191 039 |
| | V | 2.2 | 2.8 | 26.8 | 66.7 | 0.3 | 93.8 | — | 1.2 | 100 | 140 763 |
| | VI | 2.4 | 0.9 | 45.4 | 38.6 | — | 84.0 | 6.0 | 6.7 | 100 | 121 522 |
| | VII | 4.7 | 1.3 | 22.6 | 67.5 | 0.1 | 90.2 | 1.7 | 2.1 | 100 | 425 664 |
| | VIII | 0.5 | 1.0 | 29.1 | 64.4 | 0.2 | 93.7 | 0.3 | 4.5 | 100 | 103 730 |
| | IX | 1.8 | 3.5 | 63.5 | 20.9 | — | 84.4 | — | 10.3 | 100 | 70 250 |
| | X | — | 1.2 | 59.6 | 22.0 | — | 81.6 | — | 17.2 | 100 | 21 502 |
| | XI—XIII | — | — | 70.0 | 23.6 | — | 93.6 | 3.2 | 3.2 | 100 | 13 015 |
| HMT | IX | 0.1 | 1.2 | 44.8 | 29.3 | 0.6 | 74.7 | 1.0 | 23.0 | 100 | 71 546 |
| | X | — | 5.1 | 58.2 | 20.4 | 1.6 | 80.2 | — | 14.7 | 100 | 28 323 |
| | XI | — | — | 41.3 | 52.7 | 3.3 | 97.3 | 2.6 | 0.1 | 100 | 37 030 |
| | XII | 0.1 | 0.4 | 51.5 | 33.2 | 0.5 | 85.2 | 0.2 | 14.1 | 100 | 161 990 |
| | XIII | — | 3.1 | 37.7 | 56.2 | — | 93.9 | — | 3.0 | 100 | 19 815 |

| Metsätyyppi *Forest type* | Viljavuusalueen n:o *Number of the area of fertility* | Maalaji — *Soil* | | | | | | | | Yhteensä *Total* | Arvioimislinjaa kaikkiaan *Total length of survey line* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Savimaa *Clay* | Hiesumaa *Silt* | Moreenisora — *Morainic gravel*: vähäkivinen *slightly stony* | Moreenisora — *Morainic gravel*: kivikkoinen *stony* | Moreenisora — *Morainic gravel*: kalliokkoinen *rocky* | Moreenisora — *Morainic gravel*: Yhteensä *Total* | Harjusora *Esker-gravel* | Hiekkamaa *Sand* | | |
| | | prosenttia — *per cent* | | | | | | | | | metriä *metres* |
| VT | I | 0.2 | 0.7 | 7.0 | 67.0 | 10.0 | 84.0 | 6.3 | 8.8 | 100 | 104 939 |
| | II | 0.3 | 0.1 | 10.3 | 52.5 | 4.4 | 67.2 | 0.7 | 31.7 | 100 | 119 094 |
| | III | 0.2 | 0.6 | 5.3 | 65.3 | 12.5 | 83.1 | 12.9 | 3.2 | 100 | 110 634 |
| | IV | — | 0.8 | 10.0 | 53.6 | 6.8 | 70.4 | 17.0 | 11.8 | 100 | 248 339 |
| | V | 0.1 | 1.5 | 19.3 | 68.2 | 2.0 | 89.5 | 1.1 | 7.8 | 100 | 250 301 |
| | VI | 0.4 | 1.9 | 23.9 | 52.7 | 2.5 | 79.1 | 9.3 | 9.3 | 100 | 137 697 |
| | VII | — | 0.1 | 12.3 | 64.1 | 4.8 | 81.2 | 9.4 | 9.3 | 100 | 232 070 |
| | VIII | — | — | 6.0 | 78.7 | 1.7 | 86.4 | 3.3 | 10.3 | 100 | 169 962 |
| | IX | — | 2.6 | 50.2 | 37.2 | 0.7 | 88.1 | 0.8 | 8.5 | 100 | 291 400 |
| | X | — | 1.0 | 35.0 | 45.4 | 0.2 | 80.6 | — | 18.4 | 100 | 37 180 |
| | XI | — | 1.3 | 63.6 | 28.3 | 3.5 | 95.4 | 1.1 | 2.2 | 100 | 67 100 |
| | XII, XIII | — | 6.5 | 38.8 | 28.0 | — | 66.8 | 8.4 | 18.3 | 100 | 29 182 |
| EMT | IX | — | — | 25.9 | 49.1 | 2.1 | 77.1 | 6.3 | 16.6 | 100 | 109 995 |
| | X | 0.1 | 1.6 | 25.6 | 55.2 | 4.6 | 85.4 | — | 12.9 | 100 | 57 881 |
| | XI | — | — | 20.4 | 36.4 | 4.7 | 61.5 | 25.2 | 13.3 | 100 | 127 525 |
| | XII | — | 0.2 | 44.3 | 39.5 | 1.5 | 85.3 | 5.7 | 8.8 | 100 | 382 026 |
| | XIII | — | — | 44.8 | 50.2 | 4.5 | 99.5 | — | 0.5 | 100 | 159 145 |
| CT | I | — | — | 8.9 | 20.2 | 49.5 | 78.6 | 2.8 | 18.6 | 100 | 37 257 |
| | II | — | — | 5.2 | 5.5 | 9.7 | 20.4 | 3.1 | 76.5 | 100 | 42 194 |
| | III | — | — | 9.2 | 19.0 | 25.7 | 53.9 | 10.2 | 35.9 | 100 | 21 124 |
| | IV | — | — | 0.2 | 16.4 | 28.8 | 45.4 | 30.0 | 24.6 | 100 | 30 714 |
| | V | — | — | 7.0 | 36.6 | 16.6 | 60.2 | 2.4 | 37.4 | 100 | 56 947 |
| | VI | — | — | 14.8 | 29.9 | 11.5 | 56.2 | 12.3 | 31.5 | 100 | 57 290 |
| | VII | — | — | 1.7 | 21.2 | 13.7 | 36.6 | 26.4 | 37.0 | 100 | 43 730 |
| | VIII | — | — | 1.0 | 18.5 | 5.5 | 25.0 | 14.8 | 60.2 | 100 | 32 508 |
| | IX | — | — | 11.2 | 16.6 | 2.5 | 30.3 | 2.5 | 67.2 | 100 | 96 441 |
| | X | — | — | 13.6 | 46.7 | 3.2 | 63.5 | 7.9 | 28.6 | 100 | 15 434 |
| | XI | — | — | 8.4 | 6.7 | 1.4 | 16.5 | 15.5 | 68.0 | 100 | 18 515 |
| | XII | — | — | 23.1 | 55.6 | 2.7 | 81.4 | 9.0 | 9.6 | 100 | 114 144 |
| | XIII | — | — | 14.3 | 73.1 | 6.8 | 94.2 | — | 5.8 | 100 | 15 390 |
| ClT | IX | — | — | — | 1.4 | — | 1.4 | — | 98.6 | 100 | 4 345 |
| | X, XI | — | — | — | 78.0 | — | 78.0 | 9.0 | 13.0 | 100 | 3 510 |
| | XII | — | — | 23.8 | 49.0 | 0.8 | 73.6 | 3.9 | 22.5 | 100 | 93 775 |
| | XIII | — | — | 36.1 | 50.1 | 3.3 | 89.5 | 1.6 | 8.9 | 100 | 221 930 |

Harjusoramailla kanervatyyppiä on tavattu suhteellisesti runsaimmin IV ja VII:ssä alueessa, nähtävästi Salpausselän ja sen jatkoharjujen karuimmissa osissa. Hiekkamailla sitä taas esiintyy keskimäärää paljon yleisemmin Kannaksella ja Raja-Karjalassa sekä Pohjois-Suomen itäosassa. Lounais-eteläisen rannikkoalueen sekä myöskin Etelä-Hämeen ja Etelä-Savon järviseutujen kanervatyypin maista on hyvin huomattava osa kalliokkoisia moreenisoramaita. Vähäkivisiä moreenisoramaita on useissa maan eteläpuoliskon viljavuusalueissa niukasti kanervatyypin hallussa.

## Taulukko 4. Kovien kasvullisten maiden metsätyyppien esiintyminen eri viljavuusalueissa.

Table 4. *Occurrence of productive forest types in the different areas of fertility.*

| Viljavuusalueen n:o *Number of the area of fertility* | Lehdot *Grass-herb forests* | Käenkaalimustikkatyyppi *(OMT)* | Talvikkityyppi *(PyT)* | Mustikkatyyppi *(MT)* | Paksusammaltyyppi *(HMT)* | Puolukkatyyppi *(VT)* | Varsinaismaria-mustikkat. *(EMT)* | Kanervatyyppi *(CT)* | Jäkälätyyppi *(ClT)* | Yhteensä *Total* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | % kovien kasvullisten metsämaiden alasta *percentage of the total area of firm (dry) productive forest lands* | | | | | | | | | |
| I | 0.9 | 13.8 | 0.8 | 48.0 | — | 28.8 | — | 7.7 | — | 100 |
| II | 2.8 | 7.5 | 0.1 | 34.0 | — | 41.0 | — | 14.4 | 0.2 | 100 |
| III | 0.7 | 11.8 | 0.5 | 53.6 | — | 28.4 | — | 5.0 | — | 100 |
| IV | 0.8 | 5.4 | 0.6 | 37.9 | — | 49.2 | — | 6.1 | — | 100 |
| V | — | 2.8 | — | 31.4 | — | 51.4 | 1.7 | 12.7 | — | 100 |
| VI | 0.3 | 2.3 | 0.1 | 37.1 | 0.6 | 42.0 | 0.1 | 16.9 | 0.6 | 100 |
| VII | 0.5 | 7.2 | 0.1 | 55.8 | 0.1 | 30.5 | — | 5.7 | 0.1 | 100 |
| VIII | 0.1 | 0.8 | — | 33.5 | 0.1 | 55.0 | — | 10.4 | 0.1 | 100 |
| IX | 0.2 | 0.2 | — | 10.9 | 11.1 | 45.1 | 17.0 | 14.9 | 0.6 | 100 |
| X | 7.0 | 0.9 | — | 12.1 | 16.0 | 20.9 | 32.5 | 8.7 | 1.9 | 100 |
| XI | 0.8 | — | — | 3.7 | 14.1 | 25.6 | 48.5 | 7.1 | 0.2 | 100 |
| XII | 0.5 | — | — | 0.4 | 20.6 | 3.7 | 48.4 | 14.5 | 11.9 | 100 |
| XIII | 0.8 | — | — | — | 4.7 | — | 37.9 | 4.5 | 52.1 | 100 |
| Keskimäärin — *Average* | | | | | | | | | | |
| I—VIII[1]) | 0.8 | 6.3 | 0.4 | 43.4 | — | 39.4 | 0.1 | 9.5 | 0.1 | 100 |
| IX—XIII[2]) | 1.1 | 0.1 | — | 4.5 | 13.9 | 18.5 | 36.5 | 11.3 | 14.1 | 100 |
| Koko maa — *Whole country* | 0.9 | 3.9 | 0.2 | 29.4 | 5.3 | 31.1 | 13.9 | 10.4 | 4.9 | 100 |

*Jäkälätyyppi* esiintyy pääasiallisesti maan pohjoispuoliskon karuimmilla, tunturialueisiin liittyvillä moreenisoramailla. Kaikkiaan 83.3 % jäkälätyypistä on näet tavattu moreenisoramaalla. Hiekkamailla on 14.4 % ja harjusoramaalla 2.3 %, savi- ja hiesumailla ei ensinkään. Maan eteläpuoliskossa sekä myöskin pohjoispuoliskon itäosassa yleensä hyvin niukasti tavattavat jäkäläkankaat ovat paljon suuremmalta osalta hietikkomaita kuin tyypin varsinaisessa levenemisalueessa pohjoisimmassa Suomessa.

### Maalajien jakaantuminen eri metsätyyppien osalle.

Edellisestä ilmeni, että sama metsätyyppi saattaa esiintyä useilla jopa hyvin erilaisillakin maalajeilla. Kuten taulukosta 5 käy selville, jakaantuvatkin kaikki maalajit useitten metsätyyppien osalle, mutta sittenkin eräillä maalajeilla tavataan pääasiallisesti hyviä ja muutamilla taas yleisimmin keskinkertaisia ja karuja mesätyyppejä.

[1]) Suurin piirtein Suomen eteläpuolisko. — *Southern half of Finland.*
[2]) » » » pohjois » . — *Northern* » » » .

*Savimaista* käsittävät lehdot 4.5 %, käenkaali-mustikkatyyppi 23.4, talvikkityyppi 7.4 ja mustikkatyyppi 63.6 %, siis yhteensä nämä keskinkertaista paremmiksi luettavat metsämaat 98.9 %. Pieni loppuosa on puolukkatyyppiä, jota on tavattu savimaalla pääasiallisesti Jalasjärven ja Alajärven seutujen savikkoalueilla Pohjanmaalla. Suomen pohjoispuoliskossa savi on niin harvoin metsämaan maalajina, että eteläpuoliskon prosenttiluvut täydellisesti määräävät äsken mainitut koko maan keskiarvot.

*Hiesumaan* jakaantuminen eri metsätyyppien osalle muistuttaa savimaan jakaantumista, mutta puolukkatyyppi ottaa kuitenkin hiesumaista jo 28.5 %, paksusammaltyyppi 5.0 % ja variksenmarja-mustikkatyyppikin 2.7 %. Tämä johtuu pääasiallisesti Pohjois-Suomesta, jossa varsinkin käenkaali-mustikka- ja mustikkatyyppejä on niin paljon vähemmän kuin maan eteläpuoliskossa.

*Moreenisoramaitten* alasta on usean metsätyypin hallussa huomattavia osia. Mustikkatyyppi käsittää 30.3 ja puolukkatyyppi 32.2 %, variksenmarja-mustikkatyyppiä on 15.3, kanervatyyppiä 6.7, jäkälä- ja paksusammaltyyppejä kumpaakin 5.9 % sekä käenkaali-mustikkatyyppiä 3.0 % ja lopuksi lehtojakin 0.7 %. Pohjois-Suomessa moreenisoramaat ovat paljon suuremmalta osalta karuja metsämaita kuin maan eteläpuoliskossa. Niinpä puolukka- ja mustikkatyypit ja niitä paremmat metsätyypit käsittävät pohjoispuoliskossa ainoastaan 25.8 %, mutta eteläpuoliskossa 93.8 % moreenisoramaitten alasta. Pohjois-Suomessa yli puolet moreenisoramaista on variksenmarja-mustikka-, kanerva- ja jäkälätyyppien hallussa.

Moreenisoramaan alaryhmät: v ä h ä k i v i n e n, k i v i k k o i n e n ja k a l l i o k k o i n e n moreenisora, jakaantuvat melkoisesti eri tavalla eri metsätyyppien osalle, erittäinkin jos tarkastellaan metsätyyppisuhteiltaan jyrkästi erilaisia maan etelä- ja pohjoispuoliskoja erikseen.

Vähäkiviset moreenisoramaat käsittävät yleisemmin lehtoja ynnä tuoreita kangasmetsiä (käenkaali-mustikka-, talvikki-, mustikka- ja paksusammaltyyppejä) kuin kivikkoiset moreenisoramaat ja nämä vuorostaan paljon enemmän kuin kalliokkoiset moreenisoramaat. Kivikkoiset ja kalliokkoiset moreenisoramaat käsittävät taas yleisemmin kuivanpuoleisia kangasmetsiä (puolukka- ja variksenmarja-mustikkatyyppejä) kuin vähäkiviset. Vihdoin on kalliokkoisista moreenisoramaista paljon suurempi osa luettu kuiviin kangasmetsiin kuin muista moreenisoramaista.

*Harjusoramaista* on puolukkatyypin osalla 40.9 %, variksenmarja-mustikkatyypin 22.7, kanervatyypin 20.5 ja jäkälätyypin osalla 2.8 %, joten kuivanpuoleiset ja kuivat kangasmetsät käsittävät

## Taulukko 5. Maalajien jakaantuminen eri metsätyyppien osalle.

Table 5. *Distribution of soils among the different forest types.*

| Maalaji *Soil* | Maan osa *Part of the country* | Lehdot *Grass-herb forests* | Käenkaali-mustikkatyyppi *(OMT)* | Talvikki-tyyppi *(PyT)* | Mustikka-tyyppi *(MT)* | Paksusammal-tyyppi *(HMT)* | Puolukka-tyyppi *(VT)* | Varsikenmarja-mustikkatyyppi *(EMT)* | Kanerva-tyyppi *(CT)* | Jäkälä-tyyppi *(ClT)* | Yhteensä *Total* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | % maalajin muodostamasta metsäalasta *percentage of the forest area of the soil* | | | | | | | | | |
| Savimaa *Clay* | 1. Suomen eteläpuolisko *1. Southern half of Finland* | 4.5 | 23.6 | 7.5 | 63.3 | — | 1.1 | — | — | — | 100 |
| | 2. Suomen pohjoispuolisko *2. Northern half of Finland* | — | (5.8) | — | (83.3) | (10.9) | — | — | — | — | 100 |
| | 3. Koko maa *3. Whole country* | **4.5** | **23.4** | **7.4** | **63.6** | — | **1.1** | — | — | — | **100** |
| Hiesumaa *Silt* | 1. | 1.6 | 22.9 | 1.0 | 55.1 | — | 19.4 | — | — | — | 100 |
| | 2. | 8.0 | 0.4 | — | 13.1 | 17.3 | 51.7 | 9.5 | — | — | 100 |
| | 3. | **3.6** | **16.5** | **0.7** | **43.0** | **5.0** | **28.5** | **2.7** | — | — | 100 |
| Vähäkivinen moreenisora *Morainic gravel, slightly stony* | 1. | 0.7 | 7.3 | 0.2 | 61.3 | — | 26.9 | — | 3.5 | 0.1 | 100 |
| | 2. | 1.3 | 0.1 | — | 7.4 | 17.2 | 23.6 | 34.3 | 4.8 | 11.3 | 100 |
| | 3. | **1.1** | **3.1** | **0.1** | **29.4** | **10.1** | **25.0** | **20.3** | **4.2** | **6.7** | **100** |
| Kivikkoinen moreenisora *Morainic gravel, stony* | 1. | 0.5 | 4.7 | — | 46.4 | — | 44.4 | 0.3 | 3.7 | — | 100 |
| | 2. | 0.9 | 0.1 | — | 2.5 | 12.1 | 16.6 | 39.6 | 10.8 | 17.4 | 100 |
| | 3. | **0.6** | **3.2** | — | **32.3** | **3.9** | **35.5** | **12.9** | **6.0** | **5.6** | **100** |
| Kalliokkoinen moreenisora *Morainic gravel, rocky* | 1. | 0.3 | 0.8 | — | 5.2 | 0.1 | 48.8 | — | 44.1 | 0.7 | 100 |
| | 2. | — | — | — | — | 6.3 | 9.9 | 51.1 | 15.4 | 17.3 | 100 |
| | 3. | **0.2** | **0.6** | — | **3.9** | **1.5** | **39.4** | **12.4** | **37.2** | **4.8** | **100** |
| Kaikkiaan moreenisora *Total of morainic gravel* | 1. | 0.5 | 5.1 | — | 47.6 | — | 40.6 | 0.3 | 5.8 | 0.1 | 100 |
| | 2. | 1.1 | 0.1 | — | 4.8 | 14.4 | 19.8 | 37.3 | 8.0 | 14.5 | 100 |
| | 3. | **0.7** | **3.0** | — | **30.3** | **5.9** | **32.2** | **15.3** | **6.7** | **5.9** | **100** |
| Harjusora *Esker-gravel* | 1. | 0.2 | 0.7 | — | 17.7 | 0.1 | 59.3 | 0.1 | 21.9 | — | 100 |
| | 2. | 0.2 | — | — | 0.4 | 2.2 | 6.0 | 65.3 | 17.9 | 8.0 | 100 |
| | 3. | **0.2** | **0.5** | — | **11.7** | **0.7** | **40.9** | **22.7** | **20.5** | **2.8** | **100** |
| Hiekkamaa *Sand* | 1. | 0.1 | 1.1 | — | 13.1 | 0.3 | 45.9 | — | 39.1 | 0.4 | 100 |
| | 2. | 0.9 | — | — | 3.6 | 14.2 | 12.2 | 24.5 | 30.0 | 14.6 | 100 |
| | 3. | **0.5** | **0.6** | — | **8.1** | **7.0** | **29.6** | **11.9** | **34.7** | **7.6** | **100** |

yhteensä 86.9 % ja ovat siis tällä maalajilla ylivoimaisesti vallitsevina. Mustikkatyyppiä on kuitenkin myös huomattavasti harjusoramaalla, nähtävästi etenkin harjujen rinteissä. Pienessä määrässä esiintyy vielä paksusammaltyyppiä, käenkaali-mustikkatyyppiä ja lehtojakin.

Tarkasteltaessa viljavuusalueittain harjusoramaitten jakaantumista eri metsätyyppien osalle on ilmennyt, että mustikkatyyppiä esiintyy tällä maalajilla erittäinkin Salpausselän länsiosissa ja muuallakin Salpausselän laiteilla, Hämeenlinnan—Kangasalan sekä Tamme-

lan ja Lopen seutujen harjumailla, Leivonmäen—Hartolan kapeilla harjuilla, Hämeen- ja Pohjankankaiden liepeillä, Jyväskylän pohjoispuolisilla sekä Iisalmen—Kuopion ja edelleen Joensuun seutujen kapeahkoilla harjumailla.

*Hiekkamaat* tarjoovat metsäkasvillisuudelle keskimäärin vieläkin kuivempia ja laihempia kasvupaikkoja kuin harjusoramaat, sillä kanerva- ja jäkälätyypit käsittävät hiekkamaiden alasta yhteensä 42.3 %, edellinen 34.7 ja jälkimmäinen 7.6 %. Puolukkatyypillä on myös huomattava osuus, nimittäin 29.6 %, ja variksenmarja-mustikkatyypillä 11.9 %. Hiekkamaatkaan eivät kuitenkaan ole aina yhtä kuivia ja laihoja, sillä 8.1 % niiden alasta on mustikkatyypin ja 7.0 % paksusammaltyypin hallussa; onpa niillä käenkaali-mustikkatyyppiä ja lehtojakin, jopa hieman enemmän kuin harjusoramailla.

Mustikkatyyppiä ja osaksi sitä parempiakin metsämaita tavataan hiekkamaalla etenkin Porin seudusta Pyhäjärven tienoille ulottuvalla laajalla hiekka-alueella, paikoin Uudenmaan rannikolla, Hämeen- ja Pohjankankaitten laiteilla, muutamilla Pohjois-Hämeen hietikkomailla sekä paikoitellen Karjalassakin.

## Metsien puulajisuhteet eri maalajeilla.

Ns. valtakunnan metsien arvioimisessa saadut tulokset osoittivat, että kaikki tavalliset puulajimme, mänty, kuusi, koivu, leppä ja haapa, esiintyvät metsiä muodostavina useilla metsätyypeillä. Kun metsätyypit vuorostaan esiintyvät useilla eri maalajeilla, on siis seurauksena, että mänty-, kuusi- ja lehtipuuvaltaiset metsät ovat kaikki levinneet hyvinkin erilaisille maalajeille. Taulukosta 6 ilmenee, että asian laita on todella näin, mutta muutamia erilaisuuksia havaitaan kuitenkin eri puulajien suhteen.

Pääosa sekä mänty-, kuusi- että lehtipuuvaltaisista metsistä on maalajeistamme valtavasti yleisimmällä moreenisoramaalla. Mäntyvaltaisista metsistä jää 23.8 %, kuusivaltaisista vain 14.8 % ja lehtipuuvaltaisista 14.6 % yhteensä kaikkien muiden maalajien osalle. Kuusi- ja lehtipuuvaltaisista metsistä on suurempi osa savi- ja hiesumailla kuin mäntyvaltaisista, jotka taas ovat levinneet hiekka- ja harjusoramaille paljon yleisemmin kuin kuusi- ja lehtipuuvaltaiset metsät. Moreenisoramaitten mäntyvaltaiset metsät ovat pienemmässä määrässä vähäkivisillä ja enemmältä osaltaan kivikkoisilla ja varsinkin kalliokkoisilla moreenisoramailla kuin kuusi- ja lehtipuuvaltaiset metsät.

## Taulukko 6. Puulajien jakaantuminen eri maalajeille.

Table 6. *Distribution of species of trees among the different soils.*

| Vallitseva puulaji *Predominating species of tree* | Maalaji — *Soil* | | | | | | | | Yhteensä *Total* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Savimaa *Clay* | Hiesumaa *Silt* | Moreenisora — *Morainic gravel*: vähäkivinen *slightly stony* | kivikkoinen *stony* | kalliokkoinen *rocky* | yhteensä *Total* | Harjusora *Esker-gravel* | Hiekkamaa *Sand* | |
| | prosenttia — *per cent* | | | | | | | | |
| Mänty — *Pine* .. | 1.5 | 0.9 | 21.2 | 50.0 | 5.0 | 76.2 | 6.5 | 14.9 | 100 |
| Kuusi — *Spruce* . | 3.4 | 1.6 | 35.5 | 48.7 | 1.0 | 85.2 | 2.8 | 7.0 | 100 |
| Lehtipuut — *Broadleaf trees*.. | 5.0 | 2.1 | 30.9 | 53.1 | 1.4 | 85.4 | 1.8 | 5.7 | 100 |
| Yhteensä — *Total* | 2.6 | 1.3 | 26.7 | 50.1 | 3.4 | 80.2 | 4.7 | 11.2 | 100 |

Tarkasteltaessa taulukon 7 perusteella metsien puulajisuhteita eri maalajeilla huomataan myös, että kaikilla maalajeilla esiintyy mänty-, kuusi- ja lehtipuuvaltaisia metsiä, mutta melkoisia erojakin on tässä suhteessa eri maalajien välillä.

Savimaista on mänty-, kuusi- ja lehtipuuvaltaisilla metsillä kaikilla n. $^1/_3$. Hiesumailla ovat jo mäntyvaltaiset metsät tuntuvasti yleisempiä kuin kuusivaltaiset ja näitä on vuorostaan enemmän kuin lehtipuuvaltaisia. Moreenisoramaista on vähän yli puolet, 53.5 %, mäntyvaltaisten, 28.5 % kuusi- ja 18.0 % lehtipuuvaltaisten metsien hallussa. Hiekkamaista mäntyvaltaiset metsät peittävät

## Taulukko 7. Metsien puulajisuhteet eri maalajeilla.

Table 7. *Composition of forests on the different soils.*

| Maalaji *Soil* | Metsistä on — *Of the area*: mäntyvaltaisia *the forests dominated by pine* | kuusivaltaisia *the forests dominated by spruce* | lehtipuuvaltaisia *the forests dominated by broadleaf trees* | Yhteensä *Total* |
|---|---|---|---|---|
| | prosenttia — *represent a percentage of* | | | |
| Savimaa — *Clay* | 31.5 | 35.4 | 33.1 | 100 |
| Hiesumaa — *Silt* | 38.7 | 33.1 | 28.2 | 100 |
| Moreenisora, vähäkivinen — *Morainic gravel, slightly stony* | 44.6 | 35.7 | 19.7 | 100 |
| Moreenisora, kivikkoinen — *Morainic gravel, stony* | 56.0 | 26.1 | 17.9 | 100 |
| Moreenisora, kalliokkoinen — *Morainic gravel, rocky* | 85.1 | 8.2 | 6.7 | 100 |
| Moreenisora, kaikkiaan — *Morainic gravel, total* | 53.5 | 28.5 | 18.0 | 100 |
| Harjusora — *Esker-gravel* | 77.4 | 16.0 | 6.6 | 100 |
| Hiekkamaa — *Sand* | 74.7 | 16.7 | 8.6 | 100 |

n. $^3/_4$ ja harjusoramaista vielä vähän suuremman osan. Kuusivaltaisia metsiä on vuorostaan sekä hiekka- että harjusoramailla n. kaksi kertaa niin paljon kuin lehtipuuvaltaisia. Moreenisoramaista ovat kalliokkoiset pääosaltaan mäntyvaltaisilla metsillä ja kivikkoisistakin runsas puolet, mutta vähäkivisistä vajaa puolet. Viimeksi mainituista kuusivaltaisten metsien osuus kohoaa yli kolmanneksen ja lehtipuuvaltaistenkin n. $^1/_5$:aan.

Taulukko 8 osoittaa vielä, minkälaiset metsien puulajisuhteet ovat eri maalajeilla metsätyypeittäin ryhmiteltyinä.

Lehdot ovat savi- ja hiekkamailla sekä kivikkoisilla moreenisoramailla — nähtävästi entisiä kaskimaita — nykyisin yli puoleksi lehtipuuvaltaisten metsien hallussa. Savimailla on mänty kuusta yleisempi, mutta muilla äsken mainituilla maalajeilla asian laita on päinvastoin. Hiesumaitten ja vähäkivisten moreenisoramaitten lehdoissa on taas kuusi yleisin ja lehtipuuvaltaisia metsiä on paljon enemmän kuin mäntyvaltaisia.

Käenkaali-mustikkatyyppi käsittää hiesu- ja moreenisoramailla likimain puoleksi lehtipuuvaltaisia metsiä. Savi- ja hiekkamailla taas kuusivaltaiset metsät ovat yleisimpiä. Mäntyvaltaiset metsät jäävät kaikilla maalajeilla vähimmälle osalle.

Talvikkityypillä mäntyvaltaiset metsät ovat yleisimpiä sekä savimailla että myöskin moreenisoramailla, joilla tyyppiä esiintyy

Taulukko 8. **Metsien puulajisuhteet**

Table 8. *Composition of forests on different*

| Maalaji *Soil* | Metsätyyppi — Lehto *Grass-herb forests* | | | OMT | | | PyT | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Vallitseva puulaji — Mänty *Pine* | Kuusi *Spruce* | Lehtipuut *Broadleaf trees* | M. *P.* | K. *S.* | L. *B. t.* | M. *P.* | K. *S.* | L. *B. t.* |
| | prosenttia — | | | | | | | | |
| Savimaa — *Clay* | 25 | 18 | 57 | 29 | 44 | 27 | 48 | 15 | 37 |
| Hiesumaa — *Silt* | 9 | 60 | 31 | 25 | 33 | 42 | — | — | — |
| Moreenisora, vähäkivinen — *Morainic gravel, slightly stony* | 6 | 53 | 41 | 28 | 25 | 47 | 66 | 13 | 21 |
| Moreenisora, kivikkoinen — *Morainic gravel, stony* | 15 | 26 | 59 | 27 | 30 | 43 | — | — | — |
| Moreenisora, kalliokkoinen — *Morainic gravel, rocky* | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Moreenisora, kaikkiaan — *Morainic gravel, total* | 11 | 39 | 50 | 27 | 28 | 45 | — | — | — |
| Harjusora — *Esker-gravel* | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Hiekkamaa — *Sand* | 4 | 43 | 53 | 22 | 46 | 32 | — | — | — |

aivan vähän; koivuvaltaisia metsiä on vuorostaan enemmän kuin kuusivaltaisia.

Mustikkatyypillä on kuusivaltaisia metsiä enemmän kuin mänty- ja lehtipuuvaltaisia kaikilla muilla maalajeilla, paitsi aivan vähän merkitsevillä hiesumailla. Savimailla lehtipuuvaltaiset metsät ovat mäntyvaltaisia yleisempiä, mutta muilla maalajeilla mäntyvaltaiset metsät ovat toisella sijalla, kalliokkoisilla moreenisoramailla ne vievät voiton kuusivaltaisistakin.

Paksusammaltyypillä ovat kuusivaltaiset metsät kaikilla maalajeilla muita yleisempiä; hiesumailla ja kalliokkoisilla moreenisoramailla on huomattavammin mäntyvaltaisiakin ja hiekkamailla sekä mänty- että koivuvaltaisia metsiä.

Puolukkatyypillä mäntyvaltaiset metsät käsittävät kaikilla maalajeilla vähintäänkin puolet, jopa harjusora- ja hiekkamailla sekä moreenisoramaillakin, vähäkivisiä lukuun ottamatta, n. $^3/_4$ tahi sitäkin suuremman osan alasta. Kuusi- ja myöskin koivuvaltaisia metsiä esiintyy huomattavimmin hiesumailla ja vähäkivisillä moreenisoramailla.

Variksenmarja-mustikkatyypillä on kaikilla maalajeilla männyn ohella enemmän muita puulajeja, varsinkin kuusta, kuin puolukkatyypillä.

Kanerva- ja jäkälätyypeistä on kaikilla maalajeilla vähintäänkin n. 90 % mäntyvaltaisten metsien hallussa.

**eri maalajeilla metsätyypeittäin.**

*soils, grouped according to forest types.*

| *Forest type* | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| MT | | | HMT | | | VT | | | EMT | | | CT | | | CIT | | |
| *Predominating species of tree* | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M. *P.* | K. *S.* | L. *B. t.* | M. *P.* | K. *S.* | L. *B. t.* | M. *P.* | K. *S.* | L. *B. t.* | M. *P.* | K. *S.* | L. *B. t.* | M. *P.* | K. *S.* | L. *B. t.* | M. *P.* | K. *S.* | L. *B. t.* |
| *per cent* | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | 36 | 34 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 40 | 30 | 30 | 17 | 83 | — | 51 | 27 | 22 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 29 | 43 | 28 | 3 | 92 | 5 | 56 | 30 | 14 | 55 | 22 | 23 | 93 | 3 | 4 | 91 | — | 9 |
| 31 | 40 | 29 | 1 | 97 | 2 | 72 | 15 | 13 | 67 | 21 | 12 | 97 | — | 3 | 91 | — | 9 |
| 51 | 26 | 23 | 15 | 85 | — | 82 | 10 | 8 | 85 | 7 | 8 | 98 | — | 2 | 100 | — | — |
| 31 | 41 | 28 | 3 | 94 | 3 | 69 | 18 | 13 | 62 | 21 | 17 | 97 | — | 3 | 92 | — | 8 |
| 21 | 58 | 21 | — | — | — | 89 | 4 | 7 | 71 | 26 | 3 | 97 | 1 | 2 | 93 | — | 7 |
| 29 | 53 | 18 | 11 | 79 | 10 | 79 | 11 | 10 | 71 | 18 | 11 | 96 | 1 | 3 | 89 | — | 11 |

## Kallioitten ja louhikoitten esiintyminen.

Edellisessä mainittiin, että kiinteä, irtainta maalajipeitettä vailla oleva kallioperusta pistää maassamme vain paikoitellen näkyviin. Kun tähän tutkimukseen käytetty aineisto tarjosi pohjaa myöskin kallioitten ja louhikoitten esiintymisen selvittelyyn, katsottiin sopivaksi esittää näiden suhteen saadut tulokset liitteenä maalajeja koskevaan tutkimukseen. Tämä tarkastelu on kuitenkin rajoitettava suurin piirtein Suomen eteläpuoliskon muodostaviin viljavuusalueisiin I—VIII [1]) (vrt. karttaa s. 11), syystä että Pohjois-Suomen tunturi- ja vaaranlakimailla metsien arvioimisessa ei erotettu kallio- ja louhikko-osia muusta aukeasta tai kituvaa metsää kasvavasta alasta.

Aivan täydellistä kuvaa kallioitten ja louhikoitten alasta ja esiintymisestä ei aineiston perusteella saada maan eteläpuoliskostakaan, sillä kalliokkoiset moreenisoramaat, joissa siellä täällä pistää esiin kalliota ja louhikkoa, luettiin irtaimiin maalajeihin. Mutta kun tähän ryhmään vietyjä moreenisoramaita on suhteellisen vähän ja niissä on kalliota ja louhikkoa niin pieniä aloja, että nämä maat kokonaisuudessaan on saatettu lukea kasvullisiin metsämaihin, ei tästä aiheutune suurta virhettä. Tämä supistuu yhäkin pienemmäksi sen johdosta, että kallio- ja louhikkomailla vuorostaan on usein väliköissä niin paljon irtaimen maalajin peittämiä aloja, että ne pystyvät kasvamaan kituvaa metsää.

Edellisessä mainitulla tavalla rajoitetussa Suomen eteläpuoliskossa on koko maa-alasta kituvaa metsää kasvavia kallioita ja louhikoita 1.6 % eli n. 308 000 ha sekä aivan metsättömiä kallioita ja louhikoita 0.4 % eli n. 77 000 ha, siis molempia yhteensä 2.0 % eli n. 385 000 ha.

Kallio- ja louhikkoaloja esiintyy melkoisen vaihtelevasti Suomen eteläpuoliskon eri osissa, kuten taulukosta 9 käy ilmi. Tarkasteltaessa ensinnäkin pääviljavuusalueita kokonaisina huomataan, että suhteellisesti enimmin, 6.1 % koko maa-alasta, kallioita ja louhikoita on Lounais-eteläisessä rannikkoalueessa. Kaakkoisessa rannikkoalueessa, Etelä-Hämeessä, Etelä-Savossa ja Pohjanmaalla niitä on 1—1.5 %, Suomenselän vedenjakajaseudulla hieman vähemmän, 0.9 %, Sisä-Suomen järvialueen pohjoispuoliskossa 0.6 % ja Raja-Karjalassa ainoastaan 0.1 %.

[1]) Alueesta V. 4 on kuitenkin Oulujoen pohjoispuoli jätetty pois, jolloin Suomen eteläpuoliskon pohjoisrajaksi on tullut jotenkin tarkalleen Oulun läänin raja Kajaanin seudulle saakka sekä siitä lähtien Oulujärvi ja Oulujoki. Näin rajoitetun Suomen eteläpuoliskon maapinta-ala on n. 19.4 milj. ha.

## Taulukko 9. Kallioitten ja louhikoitten esiintyminen eri viljavuusalueissa.

Table 9. *Occurrence of rocks in the different areas of fertility.*

| Viljavuusalueen n:o *Number of the area of fertility* | Koko maa-alasta *Of the total land area* | | |
|---|---|---|---|
| | Kituvaa metsää kasvavaa *Poor forest growing* | Metsätöntä *Open* | Kaikkiaan *In all* |
| | kalliota ja louhikkoa *rock (and jagged rocks)* | | |
| | prosenttia — *represents per cent* | | |
| I. 1—I. 2 | 20.5 | 7.9 | 28.4 |
| I. 3 | 8.7 | 2.8 | 11.5 |
| I. 4 | 3.8 | 0.1 | 3.9 |
| I. 5 | 1.4 | 0.1 | 1.5 |
| I. 6 | 1.9 | 0.7 | 2.6 |
| I. 7 | 1.8 | 1.4 | 3.2 |
| I. 8 | 3.9 | 1.7 | 5.6 |
| I. 9 | 1.2 | 0.2 | 1.4 |
| I | 4.5 | 1.6 | 6.1 |
| II. 1 | 2.1 | — | 2.1 |
| II. 2 | 1.4 | — | 1.4 |
| II. 3 | — | — | (0.01) |
| II. 4—II. 5 | 3.7 | | 3.7 |
| II | 1.4 | (0.01) | 1.4 |
| III. 1 | 1.7 | — | 1.7 |
| III. 2—III. 5 | 0.5 | — | 0.5 |
| III. 6 | 1.3 | 0.5 | 1.8 |
| III. 7 | 3.4 | 0.8 | 4.2 |
| III. 8—III. 11 | 0.3 | 0.1 | 0.4 |
| III | 1.1 | 0.2 | 1.3 |
| IV. 1 | 1.1 | — | 1.1 |
| IV. 2 | 2.9 | 0.1 | 3.0 |
| IV. 3 | 1.5 | 0.1 | 1.6 |
| IV. 4 | 0.3 | 0.1 | 0.4 |
| IV. 5 | 3.0 | 0.1 | 3.1 |
| IV. 6 | 0.4 | — | 0.4 |
| IV. 7 | 1.9 | 0.1 | 2.0 |
| IV. 8 | 0.6 | — | 0.6 |
| IV. 9 | 0.4 | 0.1 | 0.5 |
| IV | 1.4 | 0.1 | 1.5 |
| V. 1 | 1.3 | 0.6 | 1.9 |
| V. 2 | 1.5 | 0.1 | 1.6 |
| V. 3 | 1.2 | 0.4 | 1.6 |
| V. 4 | 0.1 | — | 0.1 |
| V. 5 | 1.4 | 0.2 | 1.6 |
| V | 0.9 | 0.2 | 1.1 |
| VI. 1 | 1.2 | 0.1 | 1.3 |
| VI. 2—VI. 4 | 0.6 | 0.3 | 0.9 |
| VI. 5 | 0.1 | — | 0.1 |
| VI | 0.7 | 0.2 | 0.9 |
| VII. 1 | 0.4 | 0.2 | 0.6 |
| VII. 2 | 1.3 | 0.2 | 1.5 |
| VII. 3—VII. 7 | 0.4 | — | 0.4 |
| VII. 8 | 0.6 | 0.1 | 0.7 |
| VII. 9—VII.10 | 0.1 | — | 0.1 |
| VII | 0.5 | 0.1 | 0.6 |
| VIII | 0.1 | — | 0.1 |

Eroavaisuudet ilmenevät vielä paljon selvempinä, kun tarkastellaan eri ala-alueita erikseen. Erittäin runsaasti, 28.4 % koko maa-alasta, kallioita ja louhikoita esiintyy Ahvenanmaalla ja lounaisessa saaristossa sekä (11.5 %) lounaisella rannikolla. Näitten jälkeen seuraa Uudenmaan rannikko (5.6 %), sitten Päijänteen ympäristö (4.2 %), Saimaan seutu (n. 3 %) ja Laatokan pohjoisrannikko (3.7 %). Varsinais-Suomessa prosenttiluku kohoaa vielä parissa ala-alueessa yli 2:n tai 3:nkin, mutta suurimmassa osassa Suomen eteläpuoliskoa se jää alle 2:n, jopa hyvin laajoilla alueilla alle 1:n.

Mainittakoon vielä edellisessä tarkasteltua maan eteläpuoliskoa pohjoisemman Pohjois-Suomen suhteen, että siellä näyttää kallioita ja louhikoita olevan korkeintaan puolet siitä kuin eteläpuoliskossa. Runsaimmin niitä esiintyy Inarijärven ympäristössä, Kuolajärvellä ja Perä-Pohjolaksi nimitetyssä X:ssä viljavuusalueessa.

Pyöreänä lukuna otettuna koko maan kallio- ja louhikkoala on 500 000—600 000 ha, josta n. $^1/_4$ on aivan metsätöntä sekä $^3/_4$ kituvaa ja yleensä harvaa metsää kasvavaa.

## Luettelo kirjallisuudesta.


Cajander, A. K., Ueber Waldtypen. (Acta forestalia fennica 1, 1909).

—»— Metsänhoidon perusteet. I. Kasvibiologian ja kasvimaantieteen pääpiirteet. Porvoo 1916.

—»— Metsätyyppiteoria. — The Theory of Forest Types. (Acta forest. fenn. 29, 1925).

Ilvessalo, Yrjö, Suomen metsät. Tulokset vuosina 1921—1924 suoritetusta valtakunnan metsien arvioimisesta. (Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen julkaisuja 11, 1927).

—»— Suomen metsät viljavuusalueittain kuvattuina. (Metsätiet. tutkimuslait. julk. 15, 1930).

Lakari, O. J., Tutkimuksia Pohjois-Suomen metsätyypeistä. (Acta forest. fenn. 14, 1920).

Linkola, K., Muistiinpanoja kasvillisuudesta talvikkityypin (Pyrolatyypin) metsiköissä. (Metsätaloudellinen Aikakauskirja 1919).

—»— Kasvillisuus ja kasvisto. (Teoksessa »Suomen maatalous». I. Porvoo 1922).

Lukkala, O. J., Tutkimuksia viljavan maa-alan jakautumisesta etenkin Savossa ja Karjalassa. (Acta forest. fenn. 9, 1919.)

Multamäki, S. E., Tutkimuksia metsien tilasta Savossa ja Karjalassa. (Acta forest. fenn. 9, 1919.)

Sauramo, Matti, Irtaimet maalajit. (Suomen Maantieteellisen Seuran Suomen kartaston teksti, Helsinki 1929).

—»— Jääkaudesta nykyaikaan. Porvoo 1928.

*Suomen Maantieteellisen Seuran Suomen kartasto. (Atlas of Finland by the Geographical Society of Finland).* Helsinki 1925—1928.

## OCCURRENCE OF FOREST TYPES ON DIFFERENT SOILS


Summary.

### Introduction.

Rock only protrudes in the form of bare rock in comparatively small areas in Finland, mostly along the coasts. Elsewhere it is covered by so-called loose soils (superficial deposits on the ancient rocks). Of the latter mineral soils covering about two-thirds of the land area of the country are much more valuable from the point of view of forest production than the peat layers of swamps that cover about one-third of the land area of the country.

Of the mineral soils *morainic gravel* is the most general in Finland. It is of unsorted mixture as regards structure, so that in it different layers cannot generally be distinguished. As regards its composition it is gravel-like and the materials are usually only slightly rounded. Morainic drift also forms the most general forest soil. It generally provides fair nourishment for forest vegetation and also contains sufficient moisture.

The materials of *esker- (glaci-fluvial) gravel* are more rounded and even than in the morainic mass and in structure they are usually sorted in superincumbent layers, in which the fine and coarse materials alternate. Esker-gravel is also an important forest soil, but it is as a rule not as favourable to forest growth as morainic gravel, because it contains less fine materials and consequently its nourishment is poorer and it retains less moisture than morainic gravel. Esker-gravel frequently forms long eskers.

*Sand* is the third general soil of forest lands in Finland. In some cases, e. g., at the foot of slopes etc., where there is sufficient moisture and nourishment, sand also can form good forest soil. But mostly sandy soils are poor, because they allow water to percolate easily and remain dry. For this reason sandy soils are mostly a poor locality also for forest vegetation.

*Silt* is still finer-grained soil than sand. It is similar to clay, but in its chemical composition it resembles sand, nor is it pliable like clay. As forest soil silt is a rare form of soil in Finland.

*Clay*, the finest soil, allows less water to percolate, the finer its materials are, i. e., the closer bound it is. Besides, there is worse ventilation, the closer bound the clay is. As clay soil contains a plentiful measure of nourishment, it is a good soil for both grain growing and as forest land. But as closely bound clay can only be maintained fairly loose by means of land improvement, it is not so suitable as forest soil as light clay that is rich in sand.

Of mineral soils those have still to be mentioned that are coarsest in structure, the so-called *stony soils*, in which the principal materials consist of

stones and lumps of 20—2 cm in diameter. These »soils», like the *jagged rocks* composed of large stones, offer very small opportunities for forest growth, so that they are not of any importance worth mentioning.

*Peat* is principally organic soil, formed of only partly decomposed remains of vegetation in water or in a wet place. There are several different kinds of swamp peat that provide very varied conditions for forest growth.

The loose soils of Finland described briefly above have already for a long time been the object of thorough research and their occurrence has been established with a good deal of accuracy. Their importance from the point of view of cultivation has also received much attention, but their significance as an important basis for forest production has, on the contrary, remained at a stage of very slight research.

However, in the extensive researches into forest types that form a firm foundation for Finnish forest science, attention has also been devoted to the loose soils of sites. Thus, in the pioneer fundamental work on forest type research »Ueber Waldtypen» (1909) its author, A. K. Cajander, explains the mutual relations of forest types and soils. From this it is evident in main outline, on what kind of soils the most important forest types generally occur, and that a forest type is by no means solely dependent on the soils, but that the same forest type may occur on the most varied soils.

The descriptions of the occurrence of forest types on different soils have been supplemented in subsequent researches. They have, however, been rather scattered observations and have not been able to afford a basis for a comprehensive, uniform survey. Under such circumstances it was natural that, when a general survey of the forests of the whole country was made in Finland in 1921—1924 and a good opportunity presented itself at the same time of investigating the soils of forest lands, this was included in the scheme of investigation. It was possible in this way to collect extensive materials uniformly from all parts of the country during several years, on which the investigation of the occurrence of forest types on different soils described in this work is based.

## The research materials.

In the general survey of the forests of Finland referred to above parallel survey lines were drawn from SW to NE at a distance of 26 km. On these lines notes were made, among other things, of the loose soils of each forest land (map) figure that occurred on them. Altogether the soil was thus ascertained on about 60 000—70 000 land figures. The exact determination of the soil was, of course, difficult at times. But by comparing the results obtained with the map of soils or superficial deposits of Finland,[1]) it was found that the determination of the soil was established so satisfactorily that the material could be regarded as sufficiently reliable for determining the mutual relation of forest types and soils in broad lines.

Only so-called *productive dry forest lands,*[2]) i. e., grass-herb forests, moist moss-forests and dry moss- (and lichen-) forests were selected for investigation, which are actually meant by forest types. The investigated forest types include 80.7 % of the total area of productive dry forest land or 16.3 million hectares in all.

[1]) *Atlas of Finland.* (By *the Geographical Society of Finland.*)

[2]) All productive forest lands with the exception of peat (swamp) soils.

The following *forest types* were distinguished in the investigation: 1. Grass-herb forests, 2. Oxalis-Myrtillus type (OMT), 3. Pyrola type (PyT), 4. Myrtillus type (MT), 5. Hylocomium-Myrtillus type (HMT), 6. Vaccinium type (VT), 7. Empetrum-Myrtillus type (EMT), 8. Calluna type (CT) and 9. Cladina type (ClT). The total extent of different forest types both in the whole country and in the southern and northern halves of the country, as well as in smaller, so-called areas of fertility separately, is shown in table 4.

The soils dealt with in the investigation are as follows: 1. clay, 2. silt, 3. morainic gravel, 4. esker- (glaci-fluvial) gravel, and 5. sand. Morainic gravel has been divided into three sub-divisions: a. s l i g h t l y s t o n y, in which the stones do not present a drawback worth mentioning, e. g., to cultivating the area for agriculture, b. s t o n y morainic gravel, in which the plentiful presence of stones renders it difficult to reclaim the area for agriculture, but forest growth does not suffer, at any rate to any great extent, and c. r o c k y morainic gravel, in which here and there rocks or jagged rocks occur that obviously reduce forest production.

On the basis of the research materials various tables have been drawn up that show the importance of the different soils as forest land, the distribution of the forest types among the different soils, and the proportion of soils to the different forest types and the occurrence of different species of trees on different soils. The materials have also been dealt with within the limits of the so-called areas of fertility illustrated by the map on page 11 in order to see, whether the percentages obtained are the same in different parts of the country, or whether, perhaps, differences can be observed in this respect.

## Soil conditions of productive dry forest land.

The area already mentioned of the productive dry forest land of Finland, 16.3 million hectares, is divided among different soils in such a way (table 1) that the greater part of it, 80.2 %, is morainic gravel soil, 11.2 % is sandy soil, 4.7 % is esker- (glaci-fluvial) gravel and only 2.6 % is clay soil and 1.3 % silt soil. Of the morainic gravel soils about two-thirds are stony, about one-third is slightly stony and only a small part is rocky.

The soil conditions of forest lands differ partially to a great extent in the southern and northern halves of the country, as is shown in table 1. The same table illustrates the soil conditions of forest lands also in still smaller parts of the country according to the so-called areas of fertility (see map on page 11).

## Distribution of forest types among the different soils.

Table 2 illustrates the occurrence of forest types on different soils. It shows primarily in broad lines that the same forest type occurs on several soils. so that the soil alone does not by any means determine the quality of the site, But usually there is at any rate some measure of concentration on certain soils, while, on the other hand, some soils are of little importance for the type.

Of the *grass-herb* forests about $^3/_4$ are situated on morainic gravel soils, about half on slightly stony soils and half on stony soils, but only an insignificant quantity on rocky morainic soils. A considerable part, viz., 13.7 %, of the grass-herb forests also consist of clay soils, 7.0 % of sandy and 5.5 % of silt soils; there are scarcely any esker- (glaci-fluvial) gravel soils. There are

considerable differences between the southern and northern halves of the country, as well as in regard to different parts of the country, as is seen in tables 2 and 3.

The *Oxalis-Myrtillus type* also occurs to the extent of about $^3/_4$ on morainic gravel soils, these being mostly stony. Of the area of this type 18.0 % are clay soils and 6.2 % silt soils, very little being esker-gravel and sandy soils. As the Oxalis-Myrtillus type is almost exclusively a forest type of the southern half of the country, its percentages of soils expressed as averages of the whole country are the same as for the southern half.

The *Pyrola type* is described as originally a forest type of clay soil and 84.0 % of it is found on clay soils and 6.0 % on silt soils and only 10.0 % on morainic gravel soils, often on morainic soils mixed with clay or bordering on clay soils.

The *Myrtillus type* concentrates even more than the grass-herb forests and the Oxalis-Myrtillus type on morainic gravel soils, for 86.9 % of the Myrtillus type is found on this soil, about $^2/_3$ on stony, $^1/_3$ on slightly stony and quite a small part on rocky morainic soil. The proportion of clay soils of this type is 5.8 %, of silt soils 1.9 %, of esker-gravel 2.0 % and of sandy soils 3.4 %. In regard to the Myrtillus type, too, differences are noticeable in different parts of the country, as tables 2 and 3 show.

Of the *Hylocomium-Myrtillus type*, which is exclusively a forest type of North Finland, 84.1 % occur on morainic gravel soil. The percentage of sandy soils is 14.0 and of other soils altogether only 1.9.

Of the area of the *Vaccinium type* morainic gravel soils form the principal part, viz., 82.1 %, and in both halves of the country they are still more generally stony and especially rocky than the morainic gravel soils that are covered by the Myrtillus type. Of the Vaccinium type 6.1 % are on esker-gravel soils and 10.6 % on sandy soils; very little of it is found on silt soils and only an insignificant proportion on clay soils.

The *Empetrum-Myrtillus type* is a North Finnish type that occurs on different soils in a very similar way to the Vaccinium type that is closely allied to it, and especially the Vaccinium type of the southern half of the country.

Of the *Calluna type* forest lands a considerably smaller part consists of morainic gravel soils than of other forest types — excepting the Pyrola type, — but nevertheless more than half, 52.6 %, of them, too. The percentage of sandy soils of Calluna type is 38.0 % and of esker-gravel 9.4 %. The Calluna type is not found on clay soils, nor on silt soils.

The *Cladina type* occurs chiefly on the most barren morainic gravel soils of North Finland adjoining fjeld areas, for altogether 83.3 % of the Cladina type are found on such soils. 14.4 % are on sandy soils and 2.3 % on esker-gravel, scarcely any on clay and silt soils.

### The proportion of soils to the different forest types.

It has been shown in the foregoing that the same forest type can occur on several, even very different soils. As table 5 shows, all the soils are divided among several forest types, but nevertheless good forest types are found principally on some soils, and on others types that are generally medium or poor.

Of the area of *clay soils* grass-herb forests represent 4.5 %, the Oxalis-Myrtillus type 23.4 %, the Pyrola type 7.4 % and the Myrtillus type 63.6 %,

or altogether forest lands that are above medium 98.9 %. The small remaining proportion is represented by the Vaccinium type.

The proportion of *silt soils* to the different forest types is reminiscent of the relation of clay soils, but the Vaccinium type occupies 28.5 % of the silt soils, the Hylocomium-Myrtillus type 5.0 % and the Empetrum-Myrtillus type 2.7 %.

Of the area of *morainic gravel soils* several forest types occupy considerable proportions. The Myrtillus type represents 30.3 % of them and the Vaccinium type 32.2 %, the Empetrum-Myrtillus type 15.3 %, the Calluna type 6.7 %, the Cladina and Hylocomium-Myrtillus types 5.9 % each, the Oxalis-Myrtillus type 3.0 % and finally grass-herb forests 0.7 %. The morainic soils in North Finland represent a much larger proportion of poor forest types than in the southern half of the country.

Slightly stony morainic gravel soils represent grass-herb forests and moist moss-forests (OMT, PyT, MT and HMT) more generally than stony morainic soils and these in turn much more than rocky morainic soils. Stony and rocky morainic soils, again, represent dry moss-forests (VT and EMT) more generally than slightly stony morainic soils. Finally, a much larger part of the rocky morainic soils is included in the dry moss- and lichen forests than of other morainic soils.

Of the *esker- (glaci-fluvial) gravel soils* the proportion of the Vaccinium type is 40.9 %, of the Empetrum-Myrtillus type 22.7 %, of the Calluna type 20.5 % and of the Cladina type 2.8 %, so that dry moss- and lichen forests represent altogether 86.9 %. The Myrtillus type is also considerable, mostly on slopes of ridges; there is very little of other types.

*Sandy soils* provide on an average still drier and poorer sites for forest vegetation than esker-gravel soils, for the Calluna and Cladina types take up altogether 42.3 % of the sandy soils. The Vaccinium type also represents a considerable part, viz., 29.6 %, and the Empetrum-Myrtillus type 11.9 %. However, the sandy soils are not always equally dry and poor, as 8.4 % of their area is occupied by the Myrtillus type and a small part consists of the Oxalis-Myrtillus type and even grass-herb forests.

### The composition of forests on different soils.

The results obtained in the general survey of the forests of Finland show that all the ordinary species of trees: pine, spruce, birch, alder and aspen, occur in the formation of forests on various forest types. As the forest types in their turn occur on many different soils, it must be concluded that forests dominated by pine, spruce and broadleaf trees have all extended on very different soils. It will be seen from table 6 that this is actually the case, but some differences can nevertheless be observed in the proportion of different species of trees, such as in their occurrence on different forest types.

The greater part of the pine, spruce and broadleaf tree forests is situated on morainic gravel soils. Of the spruce and broadleaf tree forests a more considerable part is on clay and silt soils than of the forests dominated by pine. The latter have in turn extended more on esker-gravel and sandy soils.

Table 7 shows that pine, spruce and broadleaf tree forests occur on all soils, but appreciable differences also occur in this respect between different soils. Spruce and broadleaf tree forests have a larger proportion of clay and

silt soils and slightly stony morainic soils than of other soils. Esker-gravel and sandy soils and rocky morainic drift soils, on the other hand, are for the greater part occupied by forests dominated by pine, as well as more than half the stony morainic soils.

Table 8 shows the composition of forests on different soils grouped according to forest types.

## Occurrence of rocks in Finland.

A short description of the occurrence of rocks, based on the same material as the foregoing investigation of the soils, is included at the end of the paper. The examination is confined to the southern half of Finland (the areas I—VIII in the map at page 11), because in surveying the fjelds of North Finland the parts of rocks and jagged rocks were not separated from other open or poor forest growing areas.

In the southern half of Finland limited in this way the rocks and jagged rocks growing poor forest represent 1.6 % of the total land area or about 308'000 hectares; the totally treeless rocks comprise 0.4 % or about 77'000 hectares, thus rocks and jagged rocks altogether 2.0 % or about 385'000 hectares. As the corresponding area in North Finland can be estimated at about 150'000—200'000 hectares the area of rocks and jagged rocks in the whole of Finland is 500'000—600'000 hectares, in round figures, of which about $^1/_4$ is treeless and $^3/_4$ grow only poor and scattered forest.

Table 9 shows the occurrence of rocks in the different parts of the southern half of the country.

METSÄTIETEELLISEN TUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA 18.6
COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE 18.6

TUTKIMUKSIA

# TAVALLISESTA MÄNNYNNEULAS-PISTIÄISESTÄ *(LOPHYRUS PINI* L.)

## JA SEN METSÄTALOUDELLISESTA MERKITYKSESTÄ

*MARTTI HERTZ*

---

HELSINKI 1933

Helsinki 1933. Valtioneuvoston kirjapaino.

## Sisällys.


| | Sivu |
|---|---|
| Alkusanat | 5 |
| Katsaus *Lophyrus pini*-kirjallisuuteen | 6 |
| Systemaattinen määrittely | 6 |
| Biologia | 7 |
| Esiintyminen ja taloudellinen merkitys | 10 |
| Esiintymistilastoa | 10 |
| Esiintymisrunsauteen vaikuttavat tekijät | 12 |
| Taloudellinen merkitys | 14 |
| Vastustus- ja hävityskeinoja | 15 |
| Oman tutkimusaineiston keruu ja käsittely | 17 |
| Kuoppalammen tuhon laatu ja laajuus | 18 |
| *Lophyrus pini*n kehitys | 24 |
| *Lophyrus pini*n lisääntymisvahvuus | 31 |
| *Lophyrus pini*n tuhoisuutta välittömästi ehkäiseviä luonnollisia tekijöitä | 32 |
| Huomioita *Lophyrus pini*n loishyönteisistä | 37 |
| *Lophyrus pini*n metsätaloudellinen merkitys | 41 |
| Kirjallisuusluettelo | 44 |
| *Deutsches Referat* | 46 |

# Alkusanat.

Elokuun lopulla 1929 saapui Metsätieteelliseen tutkimuslaitokseen Käkisalmen hoitoalueen silloiselta aluemetsänhoitajalta E. A. Sopaselta kirje, jossa ilmoitettiin, että tavallisen männynneulaspistiäisen toukat olivat sanotussa hoitoalueessa tehneet suurta vahinkoa, ja pyydettiin tutkimuslaitosta kiinnittämään huomiota asiaan. Tutkimuslaitos puolestaan jätti tuhon ja sen aiheuttajan tutkimisen allekirjoittaneen tehtäväksi.

Tutkimustyötä suunnitellessani sain opettajaltani, professori Uunio Saalaalta suuriarvoisia ohjeita, ja myöhemminkin, tutkimustyön aikana, hän on minua neuvoillaan avustanut. Pyydän saada tässä esittää hänelle parhaan kiitokseni. Kiitollisuuden olen velkaa myös metsänhoitaja Sopaselle, metsätyönjohtaja Toivo Rakalle ja metsänvartija M. Silvennoiselle, jotka tutkitun alueen metsissä ovat olleet oppainani ja muutenkin auliisti antaneet apuaan, metsätyönjohtaja Arvo Helkiölle, jolta sain tietoja puheena olevan tuholaisen esiintymisestä Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen Veikkolan kokeilualueessa ja Helsingin yliopiston eläintieteellisen museon amanuenssille, maisteri W. Hellénille, joka hyväntahtoisesti määräsi nimet puheena olevan tuhohyönteisen kotelokopista kehittyneille *Ichneumonidae* ryhmään kuuluville loispistiäisille.

Vieraskielisille lukijoille tarkoitetun selostuksen on saksantanut fil. tohtori Heinrich Schlücking.

Metsätieteellisessä tutkimuslaitoksessa, toukokuussa 1933.

*Martti Hertz.*

## Katsaus Lophyrus pini-kirjallisuuteen.

### Systemaattinen määrittely.

*Lophyrus* Latr. *(Diprion* Schrk.) suku kuuluu lehtipistiäisten *(Tenthredinoidea)* heimoon *Tenthredinidae* ja tämän alaheimoon *Lophyrinae* (Enslin). Konow luettelee v. 1901 julkaisemassaan teoksessa seuraavat *Lophyrus*-lajit:

Pinus silvestrisissä elävät: *L. nemorum* F., *L. pallidus* Kl., *L. virens* Kl., *L. Laricis* Jur., *L. Thomsoni* Knw., *L. frutetorum* F., *L. dorsatus* F., *L. socius* Kl., *L. rufus* Latr., *L. Pini* L.;

Picea excelsassa elävät: *L. abieticola* D. T., *L. Hercyniae* Htg. ja *L. polytomus* Htg.

Enslin mainitsee edellisten lisäksi lajit *L. fuscipennis* Forsius ja *L. fennicus* Forsius, jotka on tavattu ainoastaan Suomesta (vrt. Forsius 1911) sekä *L. similis* Htg. *L. dorsatus* nimen asemesta hän käyttää *L. pallipes* Fall. ja *L. Thomsoni* nimen asemesta *L. variegatus* Htg. Edelleen hänen mukaansa *L. Hercyniae* ja *L. polytomus* ovat identtejä.

Suomessa on yllä mainituista lajeista tavattu kaikki muut paitsi *L. abieticola* (Forsius 1919). Yleensä tai ainakin ajottain ja paikottain tavallisia lienevät meillä yksinomaan männyissä elävät lajit *L. pini, L. sertifer* Geoffr. *(L. rufus* Latr.), *L. pallipes* ja *L. pallidus*.

Tavallisen männynneulaspistiäisen *(Lophyrus pini)* erottavat saman suvun muista lajeista seuraavat tuntomerkit (etup. Enslinin mukaan):

Molemmilla sukupuolilla keskiselkä ja pikkukilpi selväpisteiset; takasiiven humeraalisolu pitkävartinen; suukilpi edestä jyrkästi typistynyt.

Naaraan tuntosarvet 19—20-niveliset, alareunastaan sahanteräiset, kärkeen päin kapenevat. Viimeisen (7.) vatsarenkaan keskiosa syvään kovertunut. Takasääreen molemmat kannukset samanlaiset. Päälaki melkein kaksi kertaa leveytensä pituinen. Väri sangen vaihteleva: perusväri keltainen; mustia ovat tuntosarvet tyveä lukuun ottamatta, pää suukilpeä, yläleukojen tyveä ja ylähuulta

sekä vaalean ruskeata yläohimoa ja saman väristä päälakea lukuun ottamatta; keskiruumiista ovat mustia kolme täplää keskiselässä, pikkukilven kärki, sen vieressä olevat kuopat ja takakilpi; raajat keltaiset, takareidet osittain ruskeat. Siivet kirkkaat, suonisto ruskea, osittain keltainen. Takaruumiin toisen selkärenkaan keskellä musta täplä, 3—6 renkaat sivuja myöten mustat, 9:ssä tavallisesti kaksi mustaa sivutäplää. Pituus 8.5—10 mm.

K o i r a a n tuntosarvet 21—22-niveliset, korkeintaan 3 viimeistä niveltä kampamaisia lisäkkeitä vailla. Väri musta; polvet, sääret, nilkat ja stigma tyveä lukuun ottamatta sekä joskus eräät muutkin ruumiin osat keltaiset. Siivet kirkkaat, etusiivessä monesti stigman alapuolella ruskehtava poikkijuova, takasiiven kärkipuoli tumma. Pää ja keskiruumis vahvasti rosopisteiset, jotenkin pitkän, vaalean ruskean karvan peittämät. Pituus 7—8 mm.

T o u k a n väri vaihtelee: pää on punan ruskea, usein mustan kirjava tai melkein musta; ruumis on kellan vihreä, selkäpuoli usein tummempi; rintajalat ovat mustan kirjavat; jokaisen renkaan yläosassa musta pilkku. Täysin kehittyneen toukan pituus on 22—25 mm.

K o t e l o k o p p a on liereä, molemmista päistään pyöristynyt. Kotelokopan rakennusaine on erittäin sitkeätä. Väri on alussa vaalea, myöhemmin tavallisesti ruskea. Pysyvästi vaaleat, paperimaisen ohutseinäiset kotelokopat kuuluvat sairaille toukille. Naaraspuolisten kotelokoppien pituus vaihtelee 8—12 mm, koiraspuolisten 6—9.5 mm (E l i e s c u).

*Lophyrus pini*n esiintymisalue käsittää Euroopan ja Pohjois-Afrikan.

## Biologia.

Ensimmäisen selonteon *Lophyrus pini*n biologiasta laati D e G e e r (1752—78) (vrt. E l i e s c u). Yksityiskohtaisemmin käsitteli tätä aihetta M ü l l e r (1821), jonka tutkimusten tuloksia monet myöhemmät kirjoittajat ovat lainailleet, sekä T h. H a r t i g v. 1860 julkaisemassaan monografiassa. Metsäentomologian käsikirjassaan R a t z e b u r g v. 1844 esitti laajasti siihen astiset tiedot *Lophyrus pini*n elintavoista. Myöhemmistä tämän hyönteisen biologiaa kuvaavista, mutta pääasiallisesti aikaisempien tutkimusten tuloksia lainanneista kirjailijoista mainittakoon A l t u m, B o a s, B o r r i e s, H o l m g r e n, J u d e i c h-N i t s c h e, N ü s s l i n, S c h e i d t e r ja T r ä g å r d h. Arvokkaita lisiä ovat *Lophyrus*

*pinin* biologian tuntemukseen tuoneet Ecksteinin (1893) yksityiskohtaiset sanotun hyönteisen kehitystä koskevat havainnot sekä varsinkin Eliescun (1932) hiljattain tekemät erinomaisen monipuoliset ja tarkat tutkimukset.

*Lophyrus pinin* varsinainen isäntäkasvi on tavallinen mänty. Eliescu on todennut toukkien syövän myös seuraavien muiden *Pinus*-lajien neulasia (nimet suosituimmuus-järjestyksessä): *P. montana, P. laricio, P. cembra, P. excelsa, P. strobus.* Badenissa v. 1927 sattuneen suuren kalamiteetin aikana (vrt. s. 11) Rettich havaitsi *Lophyrus pini*-tuhojen kohdistuneen tavallisen männyn ohella etenkin *P. banksiana*an. Söivätpä toukat kuusenkin sekä jalokuusen ja douglaskuusen neulasia, vieläpä lehtipuiden, etenkin tammen, lehtiä sekä heiniä ja kanervaa.

Useiden tutkijain yhtäpitävien huomioiden mukaan *Lophyrus pini* kehittää Saksan tasankoseuduissa säännöllisesti kaksi sukupolvea vuodessa: keväällä munituista munista syntyy toukkia toukokuussa; syöntiaika kestää kesäkuun lopulle; koteloitumisen ja uusien täysin kehittyneiden hyönteisten kuoriutumisen jälkeen toisen sukupolven toukka-aste esiintyy elokuusta lokakuuhun; tällöin toukat rakentavat suojakseen kotelokopan, jonka sisässä talvehtivat, koteloituakseen vasta seuraavana keväänä; lyhyen koteloajan päätyttyä täysin kehittyneet hyönteiset kuoriutuvat, minkä jälkeen nyt selostettu kehityksen kulku toistuu. — Eräissä Saksan vuoristoseuduissa tavataan Scheidterin mukaan vain yksi sukupolvi vuodessa.

Tanskassa on niinikään todettu yksi ainoa sukupolvi vuodessa (Fritz, Borries, Boas): imagot tavataan kesä—heinäkuussa, toukat heinä—syyskuussa; toukat talvehtivat kotelokopissaan seuraavaan kevääseen. Ruotsissa kehittyy Trägårdhin (1918) mukaan yksi, poikkeustapauksissa mahdollisesti kaksi sukupolvea vuodessa. Holmgren (1867) tosin mainitsee teoksensa s. 178: »genom de iakttagelser, hvilka blifvit gjorda såväl i andra länder, som hos oss, vill det synas att tallstekeln, enligt regeln, skulle hafva en dubbel generation — —». Toisessa yhteydessä, s. 182, hän kuitenkin sanoo näin: »— — samt då det någon gång händer, att tallstekeln har en dubbel generation — —». Tosiasiallisesti ei Ruotsista ole sen paremmin kuin muista pohjoismaista tavattu enempää kuin yksi sukupolvi vuodessa.

*Lophyrus pinin* kehityksestä antaa edellä mainittu kirjallisuus, etupäässä Eliescun tutkimus, mm. seuraavat tiedot:

Munista kehittyy toukkia lämpimällä säällä nopeammin kuin kylmällä; muna-asteen pituus vaihtelee 10—30 päivää. Varsi-

nainen toukka-aste kestää koirassukupuolella 21—49 päivää, naarailla jonkin verran kauemmin, mikä johtuu siitä, että koiraspuolisen toukan syömäaika käsittää 5 nahanvaihdosvaihetta, mutta naaraan 6. 1.—3. vaiheen aikana toukat esiintyvät ryhmittäin, 3—7 toukkaa samalla neulasella, sen pituussuuntaan asettuneina; neulasesta jää syönnin jälkeen jäljelle hyvin ohut, kalvomainen keskiosa. 4. vaiheen aikana on toukkia usein kaksi samalla neulasella, josta silloinkin jää keskikalvo syömättä; monesti esiintyy tämän vaiheen toukka kuitenkin yksin neulasellaan, ja silloin jää neulasesta 1/6 (leveydestä) jäljelle. 5. ja 6. vaiheessa toukat esiintyvät yleensä yksittäin ja syövät neulaset samalla tavoin kuin yksittäin esiintyvät toukat 4. vaiheessa tai — varsinkin suurikokoiset »naarastoukat» — koko neulasen, tuppea myöten. 2. vaiheesta lähtien toukat nakertavat myös jonkin verran kuorta oksaversoista. Aivan nuoret neulaset ovat toukille vähemmän haluttua ravintoa; tavallisesti syödään pääasiallisesti edellisenä vuonna tai edellisinä vuosina kehittyneitä neulasia. Nuori toukka syö Judeich-Nitschen mukaan 3 päivässä yhden neulasen, vanha toukka 6—12 neulasta päivässä. Häirittäessä toukat äkkiä nostavat ruumiinsa etuosan pystyyn. Tavallisesti toukat esiintyvät oksien kärkiosissa kimputtain, todellisten kalamiteettien sattuessa raskaina möhkäleinä. Tuhoalueilla kiintyy huomio maahan runsain määrin kariseviin ulostuksiin, jotka *Lophyrus* suvun toukilla, *L. pini*llä Eliescun mukaan 3. nahanvaihdosvaiheesta lähtien, ovat muodoltaan rombisia, aluksi vihreitä, myöhemmin ruskeita.

Kotelokopan valmistukseen kuluu korkeintaan n. 20 päivää. Useiden tutkijoiden havaintojen mukaan kesäsukupolven kotelokopat sijoitetaan puihin, syyssukupolven maapeitteeseen. 2—3 päivää kotelokopan valmistumisen jälkeen toukan rakenteessa tapahtuu eräitä huomattavia muutoksia (eonympha-aste). Edellisellä sukupolvella tämä aste kestää tavallisesti vain 1—2 päivää, kun taas jälkimmäisen sukupolven talvehtiminen samoin kuin tuonnempana mainittava »kotelokoppalepo» tapahtuu tällä asteella. Seuraava kehitysaste — pronympha —, joka eroaa edellisestä pääasiallisesti silmien rakenteen puolesta, on tavallisesti lyhytaikainen, 3—4 päivää kestävä, kylmällä säällä kuitenkin pitempi. Tämän jälkeen tapahtuu varsinainen koteloituminen, sekin lämpimällä säällä nopeammin kuin kylmällä; 20.7°C keskilämpötilassa oli lyhyin kotelon kehitysaika 6 päivää ja 18.4°C keskilämpötilassa pisin 12 päivää.

Kotelosta kuoriutunut imago jää kotelokoppaan sääsuhteista riippuen vielä 1—7 päiväksi. Vapautuva hyönteinen nakertaa kotelokopan päästä irti kalotin muotoisen »kannen». Vapautuminen

tapahtuu enimmäkseen klo 12:n ja 14:n välillä, harvoin muina vuorokauden aikoina. Eckstein totesi, että talven ajan maassa olleista kotelokopista kehittyi imagoja etupäässä kahdessa periodissa: 1—10/V ja 12/VI—4/VII. Koiraat näyttäytyivät keväällä jonkin verran aikaisemmin kuin naaraat. Heti vapautumisensa jälkeen imagot ovat kopulatiokypsiä, mutta kopula saattaa myös lykkääntyä muutamia päiviä. Tavallisesti 2—3 tuntia sen jälkeen naaras leikkaa takaruumiin päässä olevalla sahamaisella elimellä neulasen reunaan haavan ja sijoittaa siihen munansa riviin, keskim. n. 16 munaa neulasta kohti. Munien kokonaismäärä saattoi Eliescun kokeissa kohota 149:aan. Muniminen kestää tavallisesti vain 1—2 päivää. Parthenogeneettinen lisääntyminen on todettu useilla *Lophyrus*-lajeilla, nimenomaan myös *L. pini*llä; tulos on pelkkiä koiraita (Sorauer-Reh, Enslin ym.). Mm. Borries ja Eliescu ovat todenneet, että niin pian kuin neulaset, joihin on munia sijoitettu, kuivuvat, kuolevat munat; jälkimmäinen tutkija selittää tämän siten, että kehittyvät munat imevät vettä neulasalustastaan.

Imagojen ikä on, naaraan 6—10, joskus 17:kin päivää, koiraan 9—10, korkeintaan 12 päivää (Eliescu).

Sukupuolien runsaussuhde näyttäytyy eri havainnontekijäin ilmoitusten mukaan miltei vakioksi. Borries ja Scheidter arvioivat koiraiden ja naaraiden lukumääräsuhteen 1 : 2. Eckstein sai 2 285 kotelokopasta kehitetyksi 797 koirasta ja 1 488 naarasta; tässä tapauksessa siis koiraiden lukumäärä oli 35 % koko määrästä.

## Esiintyminen ja taloudellinen merkitys.

*Esiintymistilastoa.* Vanhimmat tunnetut, varmasti *Lophyrus pini*n aiheuttamat tuhot mainitaan Pommerista ja Brandenburgista vuosilta 1781—89, 1794 ja 1795. Vv. 1819 ja 1820 *L. pini*n toukat söivät frankkilaisseuduilla männynneulaset n. 500 ha:n alalta, minkä johdosta metsä 85 ½ ha:n alalta kuoli. V. 1834 toukat jälleen tekivät suurta tuhoa Preussissa Elben oikealla puolella sijaitsevissa hoitoalueissa, vv. 1840—43 Itämeren rannikkohoitoalueissa. V. 1856 tämä tuholainen aiheutti suuria vahinkoja Saksissa, missä yhdessä ainoassa hoitoalueessa eri-ikäiset männiköt olivat lokakuussa 800—1 100 ha:n alalla suureksi osaksi vailla neulasia; kuitenkin vain vähäinen osa puista kuoli. Elokuun lopussa 1857 tuholainen näyttäytyi Württembergissä 1 900 ha:n alalla, mistä seurasi, että lähivuosina 70 vuotta vanhemmista metsiköistä kolmas osa kuoli, nuorempien

sen sijaan toipuessa. Samaan aikaan kohdistui tuho Badenissa n. 500—600 ha:n laajuiseen mäntymetsään, mistä 3 % runkoluvusta kuoli, 2 % jäi kituen kasvamaan ja 95 % toipui täydellisesti. Badenissa todettiin melkoinen tuho myös vv. 1877 ja 1878; tuhoalue käsitti 720 ha, neulashäviön ollessa 73 ha:n alalla täydellinen; pysyvä vahinko osoittautui kuitenkin vähäiseksi (J u d e i c h-N i t s c h e). Vv. 1903—05 kohtasi tuho ankarana eräitä Badenin seutuja: 3 000 ha:n alalta syötiin eri-ikäiset männiköt melkein tai aivan paljaiksi. Syksyllä 1908 tuho uudistui samoilla paikoilla aiheuttaen monien puiden kuolemisen. Seuraavat huomattavat tuhot puhkesivat Badenissa vv. 1922 ja 1927. Jälkimmäisenä vuonna 2. sukupolven toukat söivät männyt laajoilta aloilta paljaiksi; eniten kärsi muuan karulla maaperällä kasvava 600 ha:n laajuinen männikkö (R e t t i c h 1928 a, b).

Vv. 1838—48 *Lophyrus pini* esiintyi sangen runsaana Venäjän eri osissa; v. 1842 se söi 400 desjatiinan alalta Moskovan lähistöltä paljaaksi 200-vuotisen mäntymetsän. Vähemmän tuhoisana se esiintyi 1850-luvulla, mutta v. 1875 se jälleen teki huomattavaa vahinkoa Moskovan ympäristössä ja v. 1878 Varsovan kuvernementissa (K ö p p e n).

Vv. 1763, 1768 ja 1769 väitetään *Lophyrus pini*n tehneen tuhoa Pohjois-Ruotsissa. H o l m g r e n huomauttaa kuitenkin, että tässä mahdollisesti on kysymys jostakin muusta tuhohyönteisestä. B e r g m a n i n v. 1769 kuvaamista kahdesta vahinkoja aiheuttaneesta neulaspistiäisestä toinen esittäjän epäilyksistä huolimatta ilmeisesti oli *L. pini*. Myöhemmiltä ajoilta tämän hyönteisen tuhoja tunnetaan Älfsborgin läänistä vuosilta 1882, 1883, 1892 ja 1895. Hökan lentohiekka-alueella se esiintyi v. 1889 runsaana 35 ha:n alalla 8-vuotisessa istutetussa männikössä, joka suurimmaksi osaksi tuhoutui; alueelta kerättiin 241 litraa toukkia ja kotelokoppia; seuraavana vuonna tuholainen esiintyi 40 ha:n suuruisella alalla 10-vuotisessa taimistossa mutta keskimäärin ainoastaan joka 20:nnessa taimessa; v. 1891 ei hävitystä enää todettu (T r ä g å r d h 1914). Domeenihallituksen vuosikertomuksiin sisältyvät tiedot männynneulaspistiäisten esiintymisestä ovat T r ä g å r d h i n (1918) mukaan siinä määrin ylimalkaisia ja virheellisiäkin, että niiden perusteella ei käy tekeminen johtopäätöksiä tavallisimpien lajien *Lophyrus pini*n ja *L. rufus*in levinneisyydestä ja sukupolvisuhteista. Hän pitää kuitenkin todennäköisenä, että edellinen laji on tavattu useammin kuin jälkimmäinen.

Suomessa eivät Metsähallituksen vuosikertomuksiin sisältyvät, männynneulaspistiäisiä koskevat tiedonannot liene nekään kauttaaltaan luotettavia. Niissä tutkimuksissa, jotka K. O. E l f v i n g

Metsähallituksen määräyksestä v. 1902 suoritti Pällilän hoitoalueeseen kuuluvalla Vierustenkankaalla, todettiin eräiden muiden *Lophyrus*-lajien (etenkin *L. pallipes*in) kuin *L. pini*n vahingoittaneen männyn taimistoja. Samassa hoitoalueessa mainitaan mm. *L. pini* lajin v. 1905 syöneen neulasia keski-ikäisistä männiköistä. V. 1911 ilmoitetaan *L. pini*n toukkien aiheuttaneen kasvun vähennystä Joroisten hoitoalueen mäntymetsiköissä toukokuussa. Lajimääräys ei tässä tapauksessa liene ollut oikea. Vv. 1917—20 kerrotaan *L. pini*n tehneen tuhoja Laatokan hoitoalueessa sekä 1926 esiintyneen nuorissa männiköissä Kivijärven ja Iin hoitoalueissa.

Edellisiä huomion arvoisempi on Elfvingin (1921) tiedonanto *Lophyrus pini*n esiintymisestä kesällä 1920 yksityismetsässä Lappvikin aseman lähistöllä Hangonradan varrella. Tuho kohdistui jäkälä- ja kanervakankaiden eri-ikäiseen, pääasiallisesti kuitenkin 150—170-vuotiseen männikköön, joka syötiin paljaaksi. Tuhoalueella lokakuussa tekemänsä tutkimuksen perusteella hän antoi määräyksen heti hakkuuttaa vanhimmasta ikäluokasta pahimmin vikuutetut puut, so. 25—30 %.

Seuraava huomattava *Lophyrus pini*-esiintymä on se, joka vv. 1929 ja 1930 todettiin Käkisalmen hoitoalueessa, ja johon tuonnempana selostettavat tutkimukset lähinnä kohdistuivat. Tässä yhteydessä mainittakoon, että niissä *Lophyrus*-tuhoissa, jotka kesinä 1931 ja 1932 herättivät huomiota laajalti Etelä- ja Keski-Suomessa, ratkaiseva merkitys lienee ollut *L. rufus* lajilla.

*Esiintymisrunsauteen vaikuttavat tekijät.* Jo Ratzeburg (1844) totesi, että *Lophyrus pini*-tuhoille olivat alttiita etenkin karujen kasvupaikkojen metsiköt sekä yleensä kituvat puut. Myöhemminkin on havaittu tuhojen kohdistuneen etupäässä heikkotuottoisilla kankailla kasvaviin männikköihin. Altum väittää kuitenkin, ettei maan laadulla ole puheena olevassa suhteessa merkitystä, vaan puuston tiheydellä; karuilla kankailla taas varttuneet metsät yleensä ovat harvempia ja valoisampia kuin viljavammilla mailla. Monet tutkijat, myös Ratzeburg, ovatkin Altumin tavoin todenneet *Lophyrus pini*n karttavan tiheitä metsiköitä ja hakeutuvan harvoihin metsiin, aukkojen laiteille ja uudistusalojen reunoille; erikoisen suosittuja ovat yksinäiset puut sekä muusta metsän latvustosta esiin kohoavat latvat. Joka tapauksessa on varmaa, että suurten kalamiteettien sattuessa ei mikään boniteetti säästy (Nüsslin, Rettich).

Useimmat Saksassa tehdyt havainnot näyttävät tukevan sitä käsitystä, että *Lophyrus pini*n tuho kohdistuisi pääasiallisesti nuo-

riin mäntyihin ja vain tilapäisesti sekä suurten kalamiteettien sattuessa vanhempiin (Altum, Nüsslin ym.). v. Berg nimenomaan korostaa, että toukat ahdistavat myöskin hyvin kehittyneitä taimiryhmiä. Toisinaan taas on todettu nuorten mäntykulttuurien jääneen koskematta tuhon kohdistuessa vanhempiin metsikköihin kulttuurialojen laiteilla. Pahimmin syötyjä ovat tavallisesti olleet kituvat alikasvosmännyt, minkä Altum selittää siten, että niihin on kerääntynyt suhteellisesti paljon suurista puista maahan varisseita toukkia. Köppen huomauttaa, että Moskovan lähellä 200-vuotisessa männikössä tehdyt huomiot eivät tue sitä Saksassa ja Venäjän muissa osissa saatua käsitystä, että *Lophyrus pini* etusijassa suosisi nuoria metsiköitä. Sama voidaan sanoa myöskin Suomessa saadun kokemuksen perusteella (vrt. s. 12 Elfvingin tiedonantoa).

Monet kirjailijat huomauttavat *Lophyrus pini*n elintoiminnan olevan lämpiminä, aurinkoisina päivinä vilkkaimmillaan. Ratzeburg väittää äkillisten kosteuden ja lämmön vaihteluiden käyvän toukille kohtalokkaiksi etenkin heti munasta kuoriutumisen sekä viimeisen nahan vaihdoksen jälkeen, jolloin toukat ovat arimmillaan; sen sijaan hän toteaa kotelokoppiin sulkeutuneiden toukkien olevan erittäin kestäviä. Eckstein sitä vastoin ei havainnut kylmien öiden ja äkillisten myrskyjen vaikuttaneen haitallisesti toukkiin. Tuulilla väittää Ratzeburg olevan huomattavan merkityksen tuholaisen leviämisessä, ne kun kuljettavat muuten hidasliikkeisiä imagoita parvittain mukanaan.

*Lophyrus pini*n eläinvihollisista tehokkaimpana pitää Müller (vrt. Ratzeburg) oravaa; huomattava merkitys on hänen mukaansa myös *Mus silvaticus* ja *Arvicola arvalis* nimisillä jyrsijöillä, joiden käytävistä hän kertoo löytäneensä suuria määriä tyhjennettyjä kotelokoppia. Saman tapaisia havaintoja teki Eberswalden ympäristössä Altum, joka piti puheena olevaa tuhohyönteistä hävittävistä nisäkäseläimistä »hiiriä» tärkeimpinä. Borries sitä vastoin väittää hiirien käytävistä tavattavia kotelokoppia päästäisten kokoamiksi ja tyhjentämiksi. Ratzeburg totesi myös ketun tehokkaasti hävittäneen kotelokoppia.

*Lophyrus pini*n toukkia tuhoavista linnuista Müller (vrt. Ratzeburg) mainitsee tikat, närhen, pähkinänakkelin, puukiipijän, käen ja pienet laululinnut, Altum kottaraisen, rastaat, turkinpyyn, tiaiset, käen, varislinnut, närhen ja kuhankeittäjän. Eckstein totesi peipon, tiaisten ja pikkulepinkäisen hävittäneen sekä vapaita että kotelokopissa olleita toukkia.

Puheena olevaa tuhohyönteistä ahdistavista petohyönteisistä Müller (vrt. Ratzeburg) mainitsee *Carabus*, *Cicindela* ja *Staphylinus* kovakuoriaissukujen edustajat, muurahaiset ja petopistiäiset. Sitä joskus esitettyä väitettä, että sudenkorennot tappaisivat toukkia, Altum sanoo epäilevänsä. Tässä yhteydessä mainittakoon, että muuan anonyymi ruotsalainen kirjoittaja kertoo v. 1769 kuulleensa, että sudenkorennot siirtäisivät neulaspistiäisen toukkia oksalta toiselle siten levittäen tuhoa! Loishyönteisistä ovat toukissa loisivat ichneumonidit tavallisimpia. Ratzeburg kertoo tavanneensa niitä *Lophyrus* suvun edustajilla 40 eri lajia, niistä useimmat *L. pini*llä. Eckstein totesi *L. pini*n loisiksi 5 pistiäislajia ja useita kärpäsiä; Ferrant mainitsee 12 ichneumonidia ja yhden chalcididin, *Eulophus lophyrorum* Hart. Huomattava on se Ratzeburgin havainto, että loishyönteiset ovat ilmastollisia vaikutuksia vastaan kestävämpiä kuin neulaspistiäiset.

Sienitautien tappamia vapaita ja kotelokoppiin sulkeutuneita toukkia ovat Altum ja Rettich havainneet.

Tärkeä *Lophyrus pini*n esiintymisvahvuuteen vaikuttava tekijä on usein todettu »kotelokoppalepo», joka vaihtelee muutamasta viikosta useaan vuoteen ja jonka tuloksena täysin kehittyneitä hyönteisiä voidaan tavata milloin tahansa kevään ja syksyn välillä (Ratzeburg, Eckstein). »Lepäävien» kotelokoppien suhteellinen määrä on sitä suurempi, mitä kuivempi ilma on, tavallisesti n. 10 % (Eliescu).

*Taloudellinen merkitys.* Jo Ratzeburg huomauttaa, että *Lophyrus pini*n ahdistamista männiköistä kuolee tavallisesti vain yksityisiä puita, ja että jos kuolleita puita on tavattu runsaammin, lopullisen tuhon ovat aiheuttaneet muut hyönteiset, joiden voimakkaalle esiintymiselle neulaspistiäisten tilapäisesti heikentämät puut ovat tarjonneet edellytyksiä. Että *Lophyrus pini* todella on aiheuttanut suuriakin tuhoja, sen osoittanevat useat edellä olevassa esiintymistilastossa mainitut tiedot. Toisaalta ei ole olemassa takeita siitä, etteikö ainakin eräissä tapauksissa täysin tuhottuna pidetty ja sen vuoksi hakattu metsikkö vielä olisi voinut toipua. Sen että puheena olevan tuhohyönteisen pahastikin ahdistamat puut useimmiten toipuvat, selittävät mm. Judeich-Nitsche ja Nüsslin siitä johtuvaksi, että syönti kohdistuu enimmäkseen vain vanhempiin neulasiin ja että niistäkin tavallisesti jää jonkin verran jäljelle. Edellisen mukaan karujen kasvupaikkojen puut kärsivät tuhosta enimmin.

Saksassa, missä *Lophyrus pini* yleisesti kehittää kaksi sukupolvea vuodessa, on tehty vertailuja kummankin vaikutuksesta tuhon-

alaisten mäntyjen kasvuun. Willkommin mukaan runsaana esiintyvä kevätsukupolvi on tuhoisampi kuin syyssukupolvi. Tämän käsityksen osoitti sittemmin Micke oikeaksi Biesenthalin hoitoalueessa tekemillään tarkoilla kasvututkimuksilla: useana syksynä sattuneet ankaratkin *Lophyrus pini*-esiintymät eivät olleet lainkaan vähentäneet asianomaisten puiden paksuuskasvua, kun sitä vastoin kevätsukupolven runsas esiintyminen aiheutti siinä jyrkän laskun.

Ratzeburgin väitteen »dass man bei dem *Lophyrus (L. pini)* Frass unter fünf Fällen immer nur einen rechnen kann, welcher einigermassen nachtheilige Folgen hat», hyväksyy myös Judeich-Nitsche. Altum ei pidä tavallista männynneulaspistiäistä varsin vaarallisena. Fritz taas, joka tutki tämän tuhohyönteisen esiintymistä Tanskan vuorimäntykulttuureissa, väittää sen kuuluvan metsän vahinkohyönteisistä pahimpiin. E. Dalgas vakuuttaa kuitenkin Fritzin kirjoitukseen liittämässään jälkikirjoituksessa, ettei ole syytä olla huolissa *Lophyrus pinin* esiintymisen johdosta, ja että se tosiasiallisesti ei ole sen vaarallisempi hyönteinen kuin moni mukaan.

*Vastustus- ja hävityskeinoja.* Äsken mainittu tanskalainen Fritz piti mahdollisena ajoissa suoritetuilla vastatoimenpiteillä huomattavasti rajoittaa *Lophyrus pinin* vahingollisuutta. Tämän tekee hyvin ymmärrettäväksi se, että tässä tapauksessa oli kysymys yksinomaan vuorimännystä, siis suhteellisen matalista puista. Altumin mielestä taas erityiset toimenpiteet tämän tuholaisen torjumiseksi tulevat vain harvoin kysymykseen.

Tosiasiallisesti on moniakin keinoja suositeltu. Sen johdosta, että Saksassa on pidetty tapana laskea sikoja tuhoalueelle, Müller (vrt. Ratzeburg) huomauttaa, että samalla kun siat syövät maassa ryömiviä toukkia (kotelokopista ne eivät huoli), ne hävittävät toukkien tehokkaita kurissa pitäjiä, hiiriä. Ratzeburg mainitsee lisäksi seuraavat hävitystavat: oksissa olevien toukkien murskaaminen; toukkien poimiminen ja hävittäminen; sellaisten oksien hävittäminen, joiden neulasissa havaitaan tuholaisen munia; terveiden puiden eristäminen toukkaojilla; tuhoalueen maan kyntäminen niin syvään, että kotelokopista vapautuneet hyönteiset eivät voi läpäistä maanpeitettä; maan pinnalla ryömivien toukkien murskaaminen; alikasvospuiden, joihin toukkia on kerääntynyt, hävittäminen. Mainitessaan hävityskeinona toukkien keräämisen matalista puista, toukkien valtaamien oksien katkomisen ja hävittämisen toukkineen sekä kotelokoppien talteen oton Willkomm huo-

mauttaa, että viimeksi mainittu menetelmä ei ole taloudellisesti kannattava ja että edellisetkin tulevat laajojen tuhojen sattuessa liian kalliiksi. Sen sijaan hän pitää sikojen laiduntamista tuhoalueilla tarkoituksen mukaisimpana ja huokeimpana hävityskeinona sekä lisäksi korostaa puheena olevan tuholaisen luontaisten vihollisten suosimisen tärkeyttä.

Judeich-Nitsche kuvaa erilaisia toukkien murskaamiseen soveltuvia laitteita. Altum toteaa, että liimarenkaiden käyttö ei ole johtanut tyydyttäviin tuloksiin. Nüsslin neuvoo eristämään tuhoalue toukkaojilla tai liimatangoilla sekä suosittelee eräiden suoranaisten hävityskeinojen käyttämistä. Edellä esitettyjen menetelmien lisäksi hän mainitsee vielä seuraavat: toukkien päälle ruiskutetaan liuosta, joka on saatu sekottamalla 1 kg vihreätä suopaa, 10 litraa petroolia ja 15 litraa vettä. — Maan pintakarikkeet kootaan talveksi kasoihin, joihin sirotetaan sammuttamatonta kalkkia ja jotka sen jälkeen valellaan vedellä; näin syntyvä kuumuus tappaa kotelokopissa olevat toukat. Näistä menettelytavoista edellisen, Ritzema-Bosin keksimän, sanotaan Hollannissa johtaneen hyviin tuloksiin, mutta Norjassa osoittautuneen tehottomaksi (vrt. Trägårdh 1914). Yhtä epäkäytännöllisiltä kuin useimmat tähän asti mainituista hävitysmenetelmistä tuntuu seuraava Trägårdhin esittämä: kun tuho huomataan ajoissa, voidaan toukkarykelmät varistaa koriin tai maahan levitetylle kankaalle tai katkotaan toukkien valtaamat oksien kärjet puutarhasaksilla.

Sorauer-Reh suosittelee myöskin tupakkalipeän tai antinonniini-liuoksen (vettä 800 : 1) sekä arsenikkisuolojen käyttöä. Arsenikkipölytys on viime aikoina tullut käytäntöön. Escherich totesi eri metsän tuhohyönteisiin kohdistetuissa arsenikkipölytyskokeissa nyt puheena olevan hyönteisen toukat arimmiksi: ne kuolivat 2—4 päivää pölytyksen jälkeen. Ennen mainitun, Badenissa v. 1927 sattuneen suurtuhon yhteydessä arsenikkipölytys osoittautui niinikään erittäin tehokkaaksi. Heti pölytyksen jälkeen toukkien syöntihalu loppui, 3 päivän kuluttua kuoli toukkia joukottain ja 4—5 päivää pölytyksen jälkeen ei pölytetyistä metsiköistä löytynyt ainoatakaan elävää toukkaa. Pölyttämiseen käytettiin lentokonetta, kärryillä pidettyä pölytyslaitetta sekä kulttuurialoilla (taimien pituus korkeintaan 3 m) käsikojetta. Pölytysaine oli nimeltään esturmit. Todettiin, että käsiruiskun käyttö tuli huokeammaksi kuin toukkien murskaaminen tai niiden valtaamien oksien hävittäminen. Suurten, lentokoneesta laskettujen esturmit-määrien käyttö tuli kovin kalliiksi, n. 70 Rmk maksavaksi hehtaaria kohti (Rettich).

## Oman tutkimusaineiston keruu ja käsittely.

Tutkimuksieni kohteena olleet *Lophyrus pini*n vahingoittamat metsiköt sijaitsevat Käkisalmen hoitoalueessa, Kuoppalammen valtion puistossa, n. 15 km Käkisalmen kaupungista etelään, sekä valtion puistoon rajoittuvissa yksityismetsissä. Tutkimukset suoritettiin osaksi tuhoalueella, osaksi Helsingissä, kohdistamalla jälkimmäiset tuhoalueelta kerättyyn tutkimusaineistoon.

Edellisiä tutkimuksia suoritin ensi kerran 30/IX—3/X 1929. Tällöin kartoitin tuhoalueen keskuksen luokittaen metsiköt eri tuhoasteisiin sekä tein muistiinpanoja tuhon laadusta ja sen aiheuttajan elintavoista. Tuhon vahvuutta määrätessäni käytin avuksi Leitzin prismakiikaria. Samalla kerralla kokosin n. 3 000 kpl. käsittävän kotelokoppa-aineiston, josta kuitenkin 450 kotelokoppaa tarkemmin tutkittaessa osoittautui tyhjiksi. — Tammikuun lopulla keräytti pyynnöstäni metsätyönjohtaja R a k k a lumen alta 1 570 kpl. käsittävän kotelokoppa-aineiston, joka lähetettiin Helsinkiin lähemmin tutkittavaksi.

Toisen kerran tein tuhoalueella tutkimuksia 18/VI 1930. Tällöin kohdistuivat huomioni edellisenä kesänä tuhon alaisiksi joutuneiden puiden tilaan sekä tuholaisen tämän kertaiseen esiintymiseen ja kehitykseen. Samalla keräsin kehitystilastoa varten mm. 1 000 kpl. vanhoja kotelokoppia.

Kolmannen kerran kävin tuhoalueella 30/VII 1930 tehden samoja havaintoja kuin edellisellä kerralla sekä samoin vielä neljännellä kerralla 20/IX 1930. Viimeksi tein tuhoalueella tutkimuksia 18/IX 1931 kohdistaen huomioni tällöin pääasiallisesti tuhosta kärsineiden puiden tilaan.

Talletettu kotelokoppa-aineisto teki mahdolliseksi tuholaisen kehitysbiologian ja sen hyönteisloisien tutkimisen. Samalla selvisi erilaisten kotelokopista vapautuneiden hyönteisloisien ulostuloreikien rakenne, mikä tieto tarvittiin luonnossa tehtyjen, eri loisten merkitystä koskevien tilastollisten havaintojen pohjaksi.

Saadakseni lisävalaistusta tuhon levinneisyyteen v. 1929 pyysin ennen mainitulta Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen Veikkolan kokeilualueen metsätyönjohtajalta H e l k i ö l t ä kirjeellisesti tietoja

tuholaisen sikäläisestä esiintymisestä sekä, mikäli mahdollista, kotelokoppanäytteitä. Pyydetyt tiedot ja 60 kotelokoppaa lähetettiin Helsinkiin mainitun vuoden marraskuussa.

## Kuoppalammen tuhon laatu ja laajuus.

Yksityisiin puihin kohdistetut havainnot osoittivat syksyllä 1929, että suuret ja kituvat puuyksilöt olivat tuhoalueella yleensä pahimmin syödyt. Yhtenäinen, ankara tuho oli kohdistunut yksityismaan puolella n. 60-vuotiseen, valtionmaan puolella n. 150-vuotiseen männikköön. Eri-ikäisessä männikössä vanhemmat puut usein olivat eniten menettäneet neulasiaan sekä nuorimmista ne, joiden latvukset ulottuivat muun latvuston yläpuolelle. Tuhon ollessa vahvimmillaan ei tällaista erotusta eri ikäluokkien ja latvuskerroksien välillä kuitenkaan ollut huomattavissa. Pahimmin, aivan paljaiksi, oli syöty kituvat alikasvosmännyt. Parhaimmin olivat elinvoimaiset taimistot säilyneet; ne osoittautuivat melkoisessa määrässä tuhon kestäviksi 20—30 v:n ikään asti, kun sitä vastoin kituvat alikasvostaimet olivat jo 10-vuotisina ja 30—40 sm:n korkuisinakin pahasti syödyt. Tuholainen ei ollut vieroksunut erittäin iäkkäitäkään puita. Pienen Tielammen rannalla näin muutamia arviolta n. 200-vuotisia mäntyjä, jotka oli syöty melkein paljaiksi, ja laajan Tornikankaan reunasta löysin ainakin 300-vuotisen hongan, jonka yksityisiä oksia tuho oli vikuuttanut.

Elinvoimaisista taimista oli — milloin tuho niissä yleensä lainkaan esiintyi — syöty pääasiallisesti latvimmaista, vv:n 1925—26 jälkeen syntynyttä osaa. Alempi osa, myöskin sanottuina vuosina alkunsa saaneiden oksien kärjet, oli enimmäkseen säilynyt koskemattomana. Latvaosasta oli pääversojen neulaset usein syöty monen vuosikasvaimen pituudelta; nuorimman, v:n 1929 kasvaimen neulaset olivat kuitenkin tavallisesti kokonaan tai kasvaimen latvaosassa säästyneet (ks. kuvaa 1). Yksityisissä kasvaimissa oli syönti aina aloitettu tyvestä.

Tuhon vahvuuden perusteella männyt jaettiin neljään ryhmään:

*Tuhoaste 0:* Vahingoittumattomat sekä sellaiset puut, joiden neulashäviö arvioitiin pienemmäksi kuin 10 %:ksi koko neulasmäärästä.

*Tuhoaste 1.* Neulashäviö verraten vähäinen, 10—20 %; syöty etupäässä vv. 1926 ja 1927 kehittyneitä neulasia.

*Tuhoaste 2.* Neulashäviö tuntuvasti suurempi kuin edellisessä, mutta pienempi kuin seuraavassa, keskim. n. 50 %; syöty vv. 1926

—28 kehittyneitä neulasia sekä usein melkoinen osa 1929 v:n neulasista.

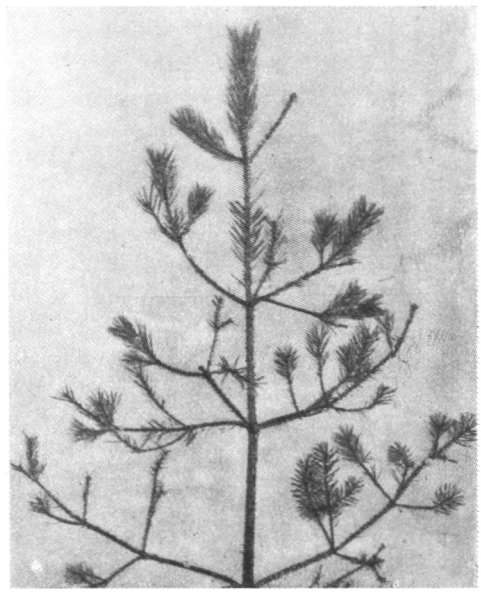
*Tuhoaste 3.* Neulashäviö melkein tai (harvoin) aivan täydellinen; edellisessä tapauksessa 1926—28 vv:n neulaset sekä osa 1929 v:n neulasista syöty.

Aiemmin esitetystä käy ilman muuta selville, että tuhoaste 3 tavattiin etupäässä keski-ikäisissä ja sitä vanhemmissa puissa sekä taimissa ainoastaan sikäli, kuin ne olivat kituvia alikasvosyksilöitä.

Määrättäessä tuhon vahvuutta metsiköttäin käytettiin arvioperusteena äsken esitettyä yksityisiin puihin sovellettua tuhoasteikkoa kiinnittämällä koko huomio kulloinkin metsikön vallitsevaan ikäluokkaan. Mäntymetsiköt jaettiin siten tuhon vahvuuden perusteella neljään ryhmään:

*Tuhoaste 0.* Melkein tai aivan vahingoittumattomat metsiköt.

*Tuhoaste I.* Etupäässä 1. tuhoasteen puita, joukossa joitakin vahingoittumattomia sekä toisaalta muutamia 2. tuhoasteen puita.



Kuva 1. Ankaran puoleinen *Lophyrus pini*-tuho elinvoimaisessa männyn taimessa. Kuoppalampi 1/X 1929.

*Abb. 1. Ziemlich starker Lophyrus pini-Schaden bei einer gutwüchsigen Jungkiefer.*

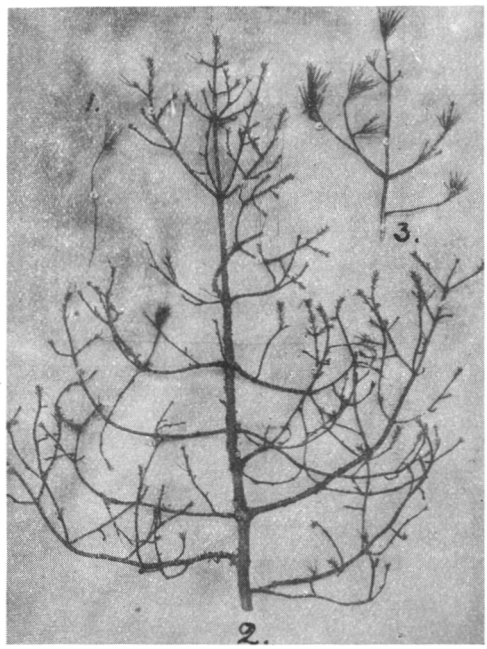
*Tuhoaste II.* Etupäässä 2. tuhoasteen, joukossa joitakin 1. ja 3. tuhoasteen puita.

*Tuhoaste III.* Kaikki puut tai suuri enemmistö 3. tuhoasteeseen kuuluvia.

Kolmen tuhoasteen esiintymisestä tehtiin seuraavat huomiot (vrt. kuvaa 5):

Tuhoaste I oli levinnyt hyvin laajalle alalle sekä valtion että yksityismetsiin, eri-ikäisiin metsikköihin. Laajoista männyn taimistoista oli kuitenkin vain se osa vioitettu, joka rajoittui tuhon alaisen vanhemman metsän reunaan. Tämän tuhoasteen vallassa oli valtionmaata 175.00 ha, yksityismaata todennäköisesti enemmän.

Tuhoaste II käsitti tutkitulla alueella 63.40 ha valtion- ja 7.64 ha yksityismetsää. Tuhoaste oli levinnyt keski-ikäisiin ja sitä vanhempiin (60—150 v.) metsiin esiintyen tavallisesti I ja III tuhoasteen välivyöhykkeenä sekä siemenpuuasentoaloilla.




Kuva 2. *Lophyrus pini*-tuho
1. 10-vuotisessa kitutaimessa.
2. 40-vuotisessa alikasvosmännyssä.
3. 150-vuotisen valtapuun latvaoksassa.
Kuoppalampi 1/X 1929.

*Abb. 2. Lophyrus pini-Schaden:*
*1. Bei einer 10-jährigen kümmernden Kiefernpflanze.*
*2. Bei einer 40-jährigen Unterwuchskiefer.*
*3. An einem Kronentrieb eines 150-jährigen herrschenden Baumes.*

Tuhoaste III käsitti 41.00 ha valtion- ja 3.60 ha yksityismaata. Se oli levinnyt saman ikäisiin metsiin kuin edellinen tuhoaste ja esiintyi suurella siemenpuuasentoalalla, tähän rajoittuvissa metsien reunoissa ja aivan kapeana vyöhykkeenä pitkin tuhoalueen keskellä sijaitsevien lampien koillisrantoja. Suurin tämän tuhoasteen alue käsitti pääosan Kuoppalammen valtionpuiston säästömetsästä.[1])

Eri tuhoasteiden keskinäisen vahvuuden osoittamista varten otettiin säästömetsän alueelta 3:n eri tuhoasteen kohdalta kolme koealaa, yksi kultakin. Koealojen suuruus oli 0.5 × 10 m. Näiltä aloilta koottiin tarkoin kaikki sammalpeitteisen maan pinnalta tavatut kotelokopat. Tulos oli seuraava:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| I | tuhoasteen | koealalta | löytyi | 47 | kotelokoppaa, |
| II | » | » | » | 100 | » |
| III | » | » | » | 192 | » |

[1]) Paitsi Kuoppalammen valtionpuistossa tuho todettiin ainakin Lohijoen valtionpuistossa sekä lievänä Veikkolan kokeilualueessa Valkjärven pitäjässä. Jälkimmäisestä sain metsätyönjohtaja Helkiöltä seuraavat tiedot: *Lophyrus pini*n toukkia havaittiin ensi kerran elokuun alussa ja siitä lähtien syyskuun loppupuolelle, mutta ei enää lokakuun puolivälissä. Niitä esiintyi koko kokeilualueessa, mutta vähin määrin; tuhosta ei voida puhua. Toukkia tavattiin yleensä puolukkatyypin metsissä, ei sitä paremmissa, enimmin 50—60-vuotisissa metsiköissä; vapaissa männyn taimistoissa niitä ei havaittu.

Viimeksi mainittua lukua lienee pikemminkin pidettävä suhteellisesti liian pienenä kuin suurena, koska asianomaiselle koealalle ulottuivat ainoastaan kahden puun latvukset, kun sitä vastoin I ja II tuhoasteen koealat sattuivat 5 puun latvuspiiriin.

Kotelokoppien runsaudesta puheena olevassa säästömetsässä III tuhoasteen alalla antavat seuraavat luvut käsityksen: 2 metrin



Kuva 3. *Lophyrus pini*-tuho valtionmaan puoleisessa 150-vuotisessa männikössä. Tuhoaste III. Kuoppalampi 1/X 1929.
*Abb. 3. Lophyrus pini-Schaden in einem 150-jährigen Kiefernbestand in Staatswald. Schädigungsgrad III.*

päässä suuren männyn tyvestä rajoitetulla neliömetrillä oli 76 kotelokoppaa, niistä enin osa sammalpeitteen alla; saman männyn tyven ympärillä oli neliömetrin alalla 138 kotelokoppaa, niistä 79 sammalen alla.

Tuho oli voimakkain CT:n ja VT:n männiköissä. Tuoreemmilla, lihavammilla paikoilla tuho oli lievä tai puuttui; tämä huomattiin selvästi siinä säästömetsän osassa molempien Tielampien välisellä kannaksella, joka on kasvupaikkalaadultaan mustikkatyyppiä, ja jossa hyväkasvuisen männyn seassa on jotenkin runsaasti koivua; samoin oli tuho lievää Ison Tielammen ja Kuoppalammen välisellä

kankaalla MT:llä. Eräiden yksityisten metsänomistajien väitteet, että katajan esiintyminen alikasvoksena olisi jollakin tavoin vaikuttanut ehkäisevästi tuholaisen leviämiseen, saanevat selityksensä siitä, että kataja yleensä kehittää alikasvoksia vain tuoreilla mailla.

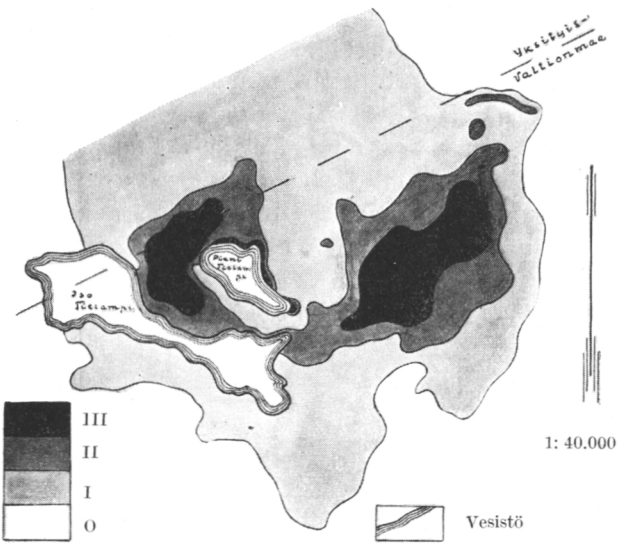
18/VI 1930 todettiin, että 1. tuhoasteen puiden uudet vuosikasvaimet olivat kutakuinkin normaalikokoiset, 2. tuhoasteen pui-



Kuva 4. *Lophyrus pini*-tuho yksityismaan puoleisessa 60-vuotisessa männikössä Tuhoaste III. Kuoppalampi 1/X 1929.

*Abb. 4. Lophyrus pini-Schaden in einem 60-jährigen Kiefernbestand in Privatwald. Schädigungsgrad III.*

den silmin nähtävästi normaalia lyhyemmät ja 3. tuhoasteen puissa uudet kasvaimet neulasineen joko olivat kokonaan jääneet kehittymättä tai ne olivat erittäin lyhyet. 30/VII 1930 näkyi toukkia sangen runsaasti etupäässä samoissa puissa kuin edellisenä syksynä; etenkin alikasvosmännyt olivat ahdistettuja. Elinvoimaiset taimistot olivat nytkin säilyneet parhaiten, vaikka tuho tällä kertaa näytti levinneen niihin jonkin verran enemmän, rajoittuen kuitenkin nytkin tuhonalaisten suurten puiden tai metsän reunan läheisyyteen.




Kuva 5. *Lophyrus pini*n tuhon eri asteet Kuoppalammen tuhoalueella.

*Abb. 5. Verschiedene Grade von Lophyrus pini-Schaden in dem Schadengebiet von Kuoppalampi*



Kuva 6. Nuoria mäntyjä Kuoppalammen tuhoalueella 30/IX 1930. Huomaa lyhyet neulaset eräissä päätekasvaimissa!

*Abb. 6. Jungkiefern in dem Schadengebiet von Kuoppalampi. Beachte die kurzen Nadeln an einigen Endtrieben!*

20/IX 1930 todettiin, että edellisenä vuonna pahimminkin syödyissä suurissa männyissä olivat uudet neulaset nyt silmämäärältä arvioiden normaalikokoiset. Kun tämän yhteydessä otetaan huomioon aiemmin mainittu, 18/VII tehty havainto, on ilmeistä, että neulasten kehitys oli tuhon jälkeisenä kesänä tavallista hitaampaa. Kuitenkin todettiin, että milloin tuholainen oli 1929 syksyllä syönyt taimi-ikäisistä männyistä jonkun samana vuonna kehittyneen kasvaimen neulaset, 1930 v:n neulaset olivat normaalia huomattavasti lyhyemmät (ks. kuvaa 6).

Yleensä 1930 v:n tuho osoittautui tuntuvasti heikommaksi kuin edellisvuotinen.

18/IX 1931 oli tuhon jälkiä verraten vähän enää todettavissa.

## Lophyrus pinin kehitys.

Metsänvartija Silvennoinen kertoi v. 1929 ensi kerran huomanneensa tuhon 13—15/VIII: 2—3.5 sm:n pituisia toukkia oli runsaasti liikkeellä. 25/IX toukkia oli vielä jotenkin paljon, mutta pian sen jälkeen ne huomattavasti vähenivät, mihin kertoja otaksui 28/IX sattuneen ankaran hallan olleen syynä. Itse näin suurikokoisia toukkia vielä 3/X; imagoja en huolellisesta etsimisestä huolimatta löytänyt ainoatakaan; kotelokoppia oli erittäin runsaasti. Ks. myös s. 20 alahuom.

Kotelokoppia löytyi paitsi sammalen, jäkälän, lastujen yms. alta sekä maan pinnalta, runsaasti mäntyjen, niin suurten kuin pienten, neulasista, oksista ja vähemmän rungoilta, kaarnan raoista. Paljon kotelokoppia löytyi niinikään alueella harvakseltaan kasvaneiden alikasvoskuusten neulaspeitteisistä oksista, etenkin niiden alapinnalta. Yleensä olivat puihin sijoitetut kotelokopat niin höllästi kiinni alustassaan, että ne helposti karisivat maahan. Maan pinnalta löytyneet kotelokopat olivatkin varmaan yleensä puista lähtöisin.

Maasta ja puista poimitut kotelokopat erosivat toisistaan selvästi keskimääräisen kokonsa perusteella. Myöhemmin (s. 33) esitettävää johtopäätöstä varten mainittakoon seuraavaa: 555:n maasta kerätyn kotelokopan keskipituus oli 9.1 mm; pituus vaihteli 6—12 mm, ja suurin lukumäärä oli 10 mm:n, lähinnä suurin 9 mm:n luokassa. — 548:n puista kerätyn kotelokopan keskipituus oli 8.5 mm; pituus vaihteli 5—11 mm, ja suurin lukumäärä oli 8 mm:n, lähinnä suurin 9 mm:n luokassa. Puissa tavatut kotelokopat olivat siis keskimäärin

huomattavasti pienempiä, mikä arvattavasti johtuu siitä, että kotelokopat karisevat maahan sitä herkemmin, mitä suurempia ne ovat.

Kotelokoppien enemmistö oli sekä maassa että puussa yksittäin. Suurin rykelmä käsitti 5 kotelokoppaa; sellaisia rykelmiä löytyi kolme 3 000 kotelokopasta. 5 tapauksessa toukka oli rakentanut kotelokoppansa vanhan, tyhjän kotelokopan sisään.

2 550:sta huonelämpöön (keskuslämmitys) 5/X 1929 sijoitetusta kotelokopasta kehittyi kaiken kaikkiaan vain 11 *Lophyrus*-imagoa (9 ♀ ja 2 ♂) 8/III—30/VIII 1930. Paremman tuloksen saavuttamiseksi olisi kotelokopat ensi aluksi ollut pidettävä kylmässä ja siirrettävä huonelämpöön vasta talvella.

Toinen kotelokoppa-aineisto kerättiin Kuoppalammen tuhoalueelta lumen alta 29/I—1/II 1930. Kotelokoppien lukumäärä oli 1 570, mutta suuri osa osoittautui tyhjiksi. Kotelokopat joutuivat n. 2 vrk:n ajan olemaan huonelämmössä (postivaunussa ja -huoneessa), ennen kuin ne 5/II siirrettiin kylmään kellariin, 5 koppaa lukuun ottamatta, jotka edelleen pidettiin huonelämmössä. Viimeksi mainituista kuoriutui ensimmäinen imago ( ♀) 22/II, kolmessa oli täysin kehittynyt imago ( ♀) ja yhden toukka oli kuollut.

Kylmässä kellarissa talletettujen kotelokoppien kehitysastetta valaisevat seuraavat havainnot:

Avattaessa 5/II 50 kotelokoppaa, 44:stä löytyi nähtävästi terve ja 2:sta kuollut tai kuoleva toukka; muissa kotelokopissa oli loishyönteisiä;

15/II avatusta 50 kotelokopasta löytyi 45 tervettä ja 4 kuollutta tai kuolevaa *Lophyrus*-toukkaa;

25/II todettiin vastaaviksi luvuiksi 43 ja 1.

Näistä havainnoista huomataan, että edellä mainittu n. 2 vrk:n olo huonelämmössä ei ollut ennättänyt saada koteloitumis-prosessia alkuun.

Kylmässä kellarissa talletettu kotelokoppa-aineisto siirrettiin 25/II klo 8 aamulla kokonaisuudessaan huonelämpöön (keskuslämmitys: 17°—20° C). Kuten edellä esitetystä käy päätteleminen, täytyy pitää erittäin todennäköisenä, että kehityskykyiset eläimet olivat tällöin vielä toukka-asteella. Aineisto tutkittiin kahdella tavalla: 1) Toisesta aineiston osasta avattiin päivittäin (klo 10:n ja 13:n välillä) 25/II—24/III 5 kotelokoppaa; 2) toinen osa, joka käsitti 500 kotelokoppaa, jaettiin, tuonnempana selitettyä tarkoitusta varten, pituuden perusteella 11 ryhmään, joiden kunkin kehitystä seurattiin erikseen.

Edellisen tutkimuksen päätulokset näkyvät seuraavasta taulukosta:

Taulukko 1. — *Tabelle 1.*

| Aika *Beobachtungszeit* | Kotelokoppien lukumäärä *Anzahl der Kokons* | Kotelokopista löytyi, kpl. *In den Kokons fanden sich* | | | | | Loishyönteisten ym. tuhoamia *Lophyrus*-yksilöitä *Lophyrus-Individuen, von Parasiteninsekten u. a. vernichtet* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | *Lophyrus*- | | | | | |
| | | terveitä toukkia *gesunde Larven* | ♂-koteloja ♂-*Kokons* | ♀-koteloja ♀-*Kokons* | ♂-imagoja ♂-*Imagines* | ♀-imagoja ♀-*Imagines* | |
| 25—26/II .. | 10 | 7 | 1 | — | — | — | 2 |
| 27—28/II .. | 10 | 6 | 1 | — | — | — | 3 |
| 1— 2/III .. | 10 | 5 | 2 | 2 | — | — | 1 |
| 3— 4/III .. | 10 | 6 | — | 2 | — | — | 2 |
| 5— 6/III .. | 10 | 6 | 1 | 1 | — | — | 2 |
| 7— 8/III .. | 10 | 4 | — | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 9—20/III .. | 60 | 11 | — | 3 | 12 | 22 | 12 |
| 21—22/III .. | 10 | 7 | — | — | — | 1 | 2 |
| 23—24/III .. | 10 | 8 | — | — | — | — | 2 |
| Yhteensä *Gesamtzahl* | 140 | 60 | 5 | 10 | 13 | 24 | 28 |

Ensimmäinen *Lophyrus*-kotelo (♂) löytyi 26/II, ensimmäinen imago (♂) kuoriutui 7/III.

Toisen tutkimuksen tulokset näkyvät seuraavista taulukoista:

Taulukko 2. — *Tabelle 2.*

| Aika *Beobachtungszeit* | *Lophyrus*-imagoja vapautui, kpl. *Lophyrus-Imagines ausgeschlüpft, Ex.* | | |
|---|---|---|---|
| | ♂ | ♀ | Yhteensä *Insgesamt* |
| 7/III | 1 | — | 1 |
| 8 | 3 | 1 | 4 |
| 9 | 5 | 1 | 6 |
| 10 | 17 | 7 | 24 |
| 11 | 19 | 46 | 65 |
| 12 | 25 | 33 | 58 |
| 13 | 3 | 26 | 29 |
| 14 | 2 | 12 | 14 |
| 15 | — | 1 | 1 |
| 16 | — | — | — |
| 17 | 1 | 5 | 6 |
| 18—27 | 1 | 9 | 10 |
| 28/III—16/IV | 4 | 7 | 11 |
| 17—30/IV | 7 | 19 | 26 |
| 1/V—3/VI | 12 | 26 | 38 |
| Yhteensä — *Gesamtzahl* | 100 | 193 | 293 |

Taulukko 3. — *Tabelle 3.*

*Lophyrus*-imagoja vapautui 11/III klo 20 — 14/III klo 20, kpl.
*Lophyrus-Imagines ausgeschlüpft, Ex.*

| Aika *Beobachtungszeit* | Yhteensä *Insgesamt* | Keskim. tunnissa *Pro Stunde (Mittel)* |
|---|---|---|
| klo 20—10 | 4 | 0.1 |
| » 10—12 | 32 | 5.3 |
| » 12—14 | 31 | 5.2 |
| » 14—16 | 21 | 3.5 |
| » 16—20 | 13 | 1.1 |

3. taulukon lisäykseksi on mainittava seuraavaa:

12/III vapautui imagoja klo 12—14: 13; klo 14—16: 10; klo 16—18: 3; klo 18—20: 7. *Klo 18—20 paloi huoneessa sähkövalo.*

12/III klo 20—13/III klo 10 oli vapautunut yksi ainoa imago; klo 10—12: 7, klo 12—14: 13; klo 14—16: 7; klo 16—20: 1.

13/III klo 20—14/III klo 10 ei vapautunut yhtään ainoata imagoa; klo 10—12: 3; klo 12—14: 5; klo 14—16: 4; klo 16—18: ei yhtään; klo 18—20: 2. *Klo 18—20 paloi huoneessa sähkövalo.*

14/III klo 20—15/III klo 10 ei vapautunut ainoatakaan imagoa.

Taulukko 4. — *Tabelle 4.*

| Kotelokoppien *Kokons* | | *Lophyrus*-imagoja vapautui, kpl. *Lophyrus-Imagines ausgeschlüpft, Ex.* | | |
|---|---|---|---|---|
| Pituusluokat *Längenstufen* | Kokonaismäärät *Insgesamt* | ♂ | ♀ | Yhteensä *Insgesamt* |
| 6 ½ mm | 2 | 2 | — | 2 |
| 7 » | 13 | 7 | — | 7 |
| 7 ½ » | 25 | 15 | — | 15 |
| 8 » | 70 | 41 | — | 41 |
| 8 ½ » | 57 | 24 | 5 | 29 |
| 9 » | 56 | 11 | 26 | 37 |
| 9 ½ » | 54 | — | 35 | 35 |
| 10 » | 91 | — | 51 | 51 |
| 10 ½ » | 65 | — | 37 | 37 |
| 11 » | 57 | — | 32 | 32 |
| 11 ½ » | 10 | — | 7 | 7 |
| Yhteensä — *Gesamtzahl* | 500 | 100 | 193 | 293 |

Edellä esitettyjä taulukoita tarkastettaessa todetaan seuraavaa:

1. Kehitys toukasta (pronympha-asteesta) koteloksi alkoi melkein heti, kun kotelokopat oli tuotu huonelämpöön (taulukko 1).

2. Tämä kehitys oli koiraspuolisilla yksilöillä jonkin verran aikaisempi kuin naarailla (t. 1).

3. Osa elinvoimaisista toukista jäi jatkuvasti toukka-asteelle (t. 1).

4. Imagojen vapautumista tapahtui 8—12 viikon kuluessa (t. 2).

5. Yli puolet (54 %) imagoista vapautui ensimmäisen viikon kuluessa (t. 2).

6. Vapautuvien imagojen lukumäärä kohosi nopeasti huippuunsa ja alkoi vähentyä jo ensimmäisen viikon aikana (t. 2).

7. Imagojen vapautumisen hetkeksi taouttua se alkoi uudelleen, ollen kuitenkin verraten vähäistä (t. 2).

8. Koiraspuoliset imagot alkoivat vapautua keskimäärin muutamaa päivää aikaisemmin kuin naaraspuoliset (t. 2).

9. Imagojen vapautuminen tapahtui melkein yksinomaan päivän (tai sähkön) valossa; useimmat imagot vapautuivat klo 10—14 (t. 3).

10. Koirasten lukumäärä oli 34 % (t. 1: 35 %) koko määrästä (t. 4).

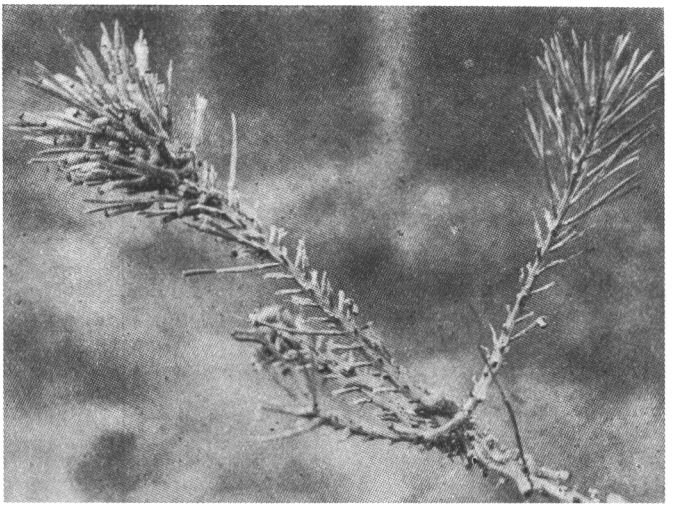
11. Pienimmissä (6 ½—8 mm) kotelokopissa kehittyi yksinomaan koiraita, suurimmissa (9 ½—11 ½ mm) yksinomaan naaraita, keskikokoisissa (8 ½, 9 mm) molempia (t. 4). Vrt. s. 31.

18/VI 1930 Kuoppalammen tuhoalueella tehdyt havainnot osoittivat, että suurin osa imagoista oli jo vapautunut, toisten parhaillaan kuoriutuessa. Imagoja, mm. munivia naaraita näkyi sangen runsaasti, ja melkein kaikissa nuorissa männyissä — suuria puita ei lähemmin tutkittu — oli munia, sekä nuoria keltaisia että vanhempia tumman ruskeita. Munat sijaitsivat säännöllisesti edellisen vuoden (1929) kasvainten latvaneulasissa, osaksi sellaisissakin, joista toinen puoli oli edellisenä kesänä syöty. Vastaisia huomioita varten merkittiin muuan 1.8 m korkea alikasvosmänty, johon *Lophyrus pini*-naaras parhaillaan laski muniaan, keskimäärin n. 14 munaa neulasta kohti. Muutamia toistaiseksi aukenemattomia kotelokoppia otettiin talteen Vesijaon kokeilualueessa suoritettua seuraavaa koetta varten:

20/VI kotelokopasta vapautunut *Lophyrus*-naaras sijoitettiin heti vapautumisen jälkeen ilmaa läpäisevässä pussissa männyn oksalle; pussi, joka oli suustaan sidottu kiinni oksaan, tarjosi eläimelle melkoisen liikkumatilan, mutta sulki siltä pääsyn vapauteen. Kolme päivää myöhemmin totesin eläimen sijoittaneen rivittäin muniaan latvaneulasiin; 9/VII oli neulasilla pieniä toukkia, joiden kuoriutuminen kuitenkin oli sattunut joitakin päiviä aikaisemmin. Valitettavasti nämä parthenogeneettisesti alkunsa saaneet toukat myöhemmin hävisivät jäljettömiin.

30/VII 1930 ei Kuoppalammen tuhoalueelta löytynyt ainoatakaan *Lophyrus*-imagoa; toukkia sen sijaan oli, kuten ennen on mainittu, erittäin runsaasti. Osa niistä oli jo melkein täysimittaisia, enimmät keskikokoisia. Uusia kotelokoppia ei vielä löytynyt. 18/VI merkityssä männyssä tavattiin keskikokoisia toukkia 35 kpl. käsittävänä ryhmänä. 500:n polulta kerätyn vanhan kotelokopan avaaminen johti seuraavaan tulokseen:

| | |
|---|---|
| *Lophyrus*-imago kuoriutunut | 262 k-kopasta |
| *L.*-toukka, -kotelo tai -imago kuollut | 205 k-kopassa |
| Muuten tuhoutunut | 26 k-koppaa |
| Terve toukka | 7 k-kopassa. |



Kuva 7. *Lophyrus pini*n toukkia nuoressa männyssä. Kuoppalampi 30/VII 1930.

*Abb. 7. Lophyrus pini-Larven an einer Jungkiefer.*

Myöskään 20/IX 1930 ei *Lophyrus*-imagoja löytynyt huolellisesta etsimisestä huolimatta. Toukkia tavattiin runsaasti. Ne olivat yleensä keskikokoisia tai suuria; syöntitavan perusteella helposti tunnettavaa nuorta toukkapolvea ei löytynyt. Vähemmän runsaita, mutta silti yleisiä olivat uudet kotelokopat. 18/VI merkityn männyn oksista löytyi 2 kotelokoppaa sekä 2 suurikokoista toukkaa, jotka ulkoilmassa talletettuina 22/IX vaihtoivat nahkaa ja pian sen jälkeen sulkeutuivat kotelokoppaan.

*Lophyrus pini*n k e h i t y s on Kuoppalammen tuhoalueella tehtyjen sekä siellä kerättyihin aineistoihin perustuvien tutkimusten mukaan lyhyesti seuraava:

Eläin talvehtii toukka-asteella, syksyllä rakentamassaan kotelokopassa. Niissä kehittyvät toukat tarpeellisen lämpömäärän vaikutuksesta keväällä koteloiksi, koiraat keskimäärin jonkin verran aikaisemmin kuin naaraat. Imagojen vapautumista tapahtuu monen päivän, todennäköisesti usean viikonkin aikana, mutta enemmistö vapautuu lyhyen ajan sisällä, Kuoppalammella kesäkuun puolivälissä. Koiraiden vapautuminen alkaa hieman aikaisemmin kuin naaraiden. Valon lisääntyminen edistää ratkaisevassa määrässä imagojen vapautumista mikä sen vuoksi tapahtuu pääasiallisesti vuorokauden valoisimpana aikana. Muutaman päivän kuluttua vapautumisesta naaraat alkavat munia. Munat ovat kehityskykyisiä siinäkin tapauksessa, että hedelmöitymistä ei olisi tapahtunut. Toukkien syöntiaika on pari kuukautta ja päättyy vasta syys—lokakuussa. — Nyt selitetyn lainen on kehitys nähtävästi verraten suotuisina kesinä, jollainen vallitsi v. 1930. Meteorologisen Keskuslaitoksen säähavaintojen mukaan oli kesäkuun keskilämpötila Sortavalassa 12.9° C, kun 40 vuoden (1886—1925) vastaava keskiarvo on 13.0° C, heinäkuun 17.3° (16.2°), elokuun 16.6° (14.1°), syyskuun 7.4° (9.1°). Mainittujen 4 kuukauden keskilämpötila oli 13.6° (1886—1925 13.1°). Sadepäivien lukumäärä oli kesäkuussa 13 (1886—1925 12.0), heinäkuussa 10 (14.5), elokuussa 18 (16.3), syyskuussa 18 (14.1) ja mainittujen 4 kuukauden aikana yhteensä 59 (56.9).

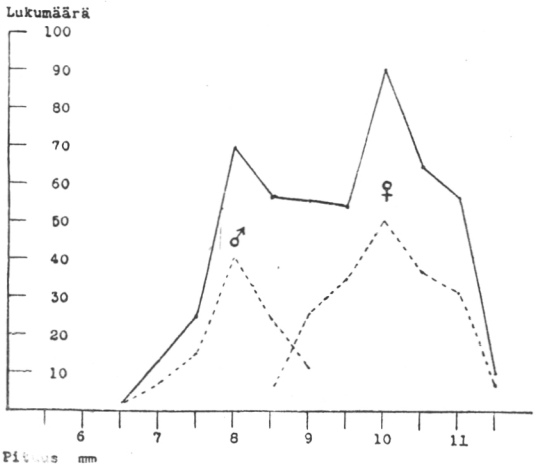
Suoritetut tutkimukset eivät anna tukea sellaiselle käsitykselle, että *Lophyrus pini*llä olisi meidän maassamme enempää kuin yksi sukupolvi vuodessa. Imagojen esiintymisaika ja yksityiskohtaiset tämän hyönteisen kehittymistä valaisevat havainnot osoittavat päinvastoin, että ainakin nyt tutkitussa tapauksessa vuotta kohti kehittyi yksi ainoa sukupolvi. Kun kesä 1930, kuten äsken osoitettiin, oli sääsuhteittensa puolesta verraten sopiva ajateltavissa olevan toisen sukupolven kehittymiseen (lämmin ja kuiva heinäkuu, lämmin elokuu), saataneen silloin tehdyt havainnot nyt puheena olevassa suhteessa yleistää ja siis päätellä, että *Lophyrus pini* yleensäkin kehittää Suomessa vain yhden sukupolven vuodessa. Tässä yhteydessä on syytä viitata siihen edellä mainittuun ilmiöön, että jotkut terveetkin toukat pysyvät toukka-asteella kotelokoppiin sulkeutuneina tavallista pitempään. Kuinka pitkäaikainen tällainen »lepo» on, ei ole tässä tutkimuksessa tullut selvitetyksi. Joka tapauksessa on *Lophyrus pini*-imagoja mahdollisesti loppukesälläkin tavattaessa otettava huomioon se mahdollisuus, että ne ovat tällaisia »myöhästyneitä» yksilöitä, eivätkä siis edusta eri sukupolvea kuin alkukesällä tavatut yksilöt.

## Lophyrus pinin lisääntymisvahvuus.

*Lophyrus pinin* lisääntymistä edistävistä seikoista on ensiksi mainittava munien lukumäärä. Tyydyn tässä vain viittaamaan Eliescun havaintoon (s. 10). Toisena tämän hyönteisen nopeata lisääntymistä edistävänä tekijänä on huomattava sen edellä todettu kyky lisääntyä parthenogeneettisesti, mikä tosin muualla tehtyjen havaintojen mukaan johtaa pelkkien koiraiden syntymiseen. Jatkuvan lisääntymisen kannalta on ratkaiseva merkitys tietenkin naaraiden suhteellisella lukumäärällä. Tämä lukusuhde pysyttelee todennäköisesti kutakuinkin muuttumattomana. Vrt. kuitenkin s. 33. Molempien sukupuolien suhteellinen määrä voidaan likipitäen todeta jo kotelokoppaasteella seuraavalla tavalla:

Koska koirasimagot ovat keskimäärin huomattavasti pienempiä kuin naaraat, on luonnollista, että tämä ero on todettavissa kotelokoppien (ja toukkien) suuruudessa. 500:n maasta poimitun kotelokopan pituuksien vaihtelusarjassa, joka on esitetty taulukossa 4, s. 27, huomataan 8:n ja 10:n mm:n pituusluokkien olevan runsaimmin edustettuina. Tällainen vaihtelusarjan kaksihuippuisuus viittaa siihen, että sarja on kokoon pantu kahdesta, joista toisen huippu on 8:n ja toisen 10 mm:n luokassa (vrt. kuvaa 8: täysi viiva). Tuntuu luonnolliselta, että edellinen huippu edustaisi ♂-puolisten ja jälkimmäinen ♀-puolisten toukkien frekvenssisarjoja. Jos oletetaan, että molemmat sarjat ovat normaalit, voidaan kummankin kokonaisfrekvenssit laskea siten, että kerrotaan 2:lla pienemmän sarjan alkupuoliskon arvot, niihin luettuna myös puolet huippupistettä (8 mm) vastaavasta frekvenssistä, ja samoin 2:lla suuremman sarjan loppupuoliskon arvot, niihin taas luettuna puolet huippupistettä (10 mm) vastaavasta frekvenssistä. Näin arvioiden saadaan ♂-sarjan kokonaisfrekvenssiksi $2 \times (2 + 13 + 25 + 70/2) = 150$, ♀-sarjan kokonaisfrekvenssiksi $2 \times (10 + 57 + 65 + 91/2) = 355$, ja siis koirassukupuolen suhteelliseksi määräksi 30 % koko määrästä.

Ennen esitetty taulukko 4 ja kuva 8 (katkoviivat) osoittavat kotelokoppien huonelämmössä toimitetun kehittämisen tulokset. Huomataan, että todellisten, eri sukupuolia edustavien frekvenssisarjojen maksimikohdat sattuvat samoille abskissa-arvoille kuin alkuperäisen sarjan huippukohdat, sekä että vain 8 ½:n ja 9 mm:n luokat ovat molemmille sukupuolille yhteisiä, kun taas niitä pienemmistä kotelokopista kehittyi yksinomaan koiraita ja niitä suuremmista yksinomaan naaraita. Eri sukupuolien suhteellisesta kokonaismäärästä olisi suurempaan aineistoon pohjautunut ennakkoarvio varmaan antanut edellä mainittua prosenttilukua oikeamman tuloksen.




Kuva 8. *Lophyrus pini*n kotelokoppien jakaantuminen pituusluokkiin.

*Abb. 8. Lophyrus pini-Kokons, nach Längenstufen geordnet.*

## Lophyrus pinin tuhoisuutta välittömästi ehkäiseviä luonnollisia tekijöitä.

Aiemmin on jo huomautettu, että *Lophyrus pini*n tuhot rajoittuvat tavallisesti kuivien ja kuivan puoleisten kankaiden mäntymetsiin. Sillä seikalla, onko tämän ilmiön välittömänä syynä pidettävä jotakin muuta tekijää kuin maaperää, näyttää käytännön kannalta olevan toisarvoinen merkitys. Joka tapauksessa tähän astinen kokemus osoittaa, että *Lophyrus pini*n mielenkiinto tuoreiden kasvullisten so. lähinnä puolukkatyyppiä parempien metsämaiden männikköjä kohtaan on paljon pienempi kuin kuivien kankaiden, ja että niin ollen parempia metsämaita on pidettävä puheena olevan tuholaisen leviämisen tehokkaina ehkäisijöinä. Mistä tämä johtuu, on toistaiseksi selvittämättä. Saalas on tämän kirjoittajalle esittänyt sen huomion arvoisen ajatuksen, että kotelokopat tuoreilla mailla helpommin pilaantuisivat kuin kuivilla.

Edelleen on todettu, että Kuoppalammella samoin kuin Lappvikin seudulla tuho kohdistui pääasiallisesti vanhoihin tai keski-ikäisiin männikköihin. Kuoppalammella tehdyt huomiot osoittavat lisäksi, että tuhosta kärsivät pahoin myöskin sellaiset nuoret puut ja taimet, jotka jostakin syystä kasvoivat kituen. Niin ollen näyttää

ainakin meidän oloissamme elinvoimaisilla nuorilla mäntymetsiköillä ja taimistoilla olevan tärkeä merkitys *Lophyrus pini*n tuhon rajoittajina.

Ekologisten tekijöiden ohella vaikeuttavat määrätynlaiset ilmastolliset olosuhteet puheena olevan tuhohyönteisen lisääntymistä ja levenemistä. Sen kehityskausista sattuu meillä lähinnä kotelokoppa-aste sellaiseen vuoden aikaan, jolloin alhaisen lämpötilan sekä ajottain suuren kosteusmäärän voisi otaksua käyvän eläimille tuhoisaksi. Kokemus todistaa kuitenkin, että kotelokoppaan sulkeutunut toukka voi kestää varsin suuria sään vaihteluita. Missä määrin tuonnempana mainittava ilmiö, toukkien kuoleminen kotelokoppiinsa, on epäedullisten ilmastollisten suhteiden tulos, jää tässä ratkaisematta. Kokeeni ovat osoittaneet pitkäaikaisen kuivan, lämpimän huoneilman seurauksiltaan tuhoisaksi, mutta sen laatuinen olotilahan ei koskaan pääse luonnon oloissa eläinten kehitystä uhkaamaan.

Aiemmin mainittiin, että puissa ja maassa tavattavat kotelokopat eroavat toisistaan siten, että edelliset ovat keskimäärin selvästi pienempiä, sekä että tämä ilmeisesti johtuu siitä, että kotelokopat karisevat sitä herkemmin maahan, mitä suurempia ne ovat. Kun kotelokoppien putoileminen on lähinnä tuulen vaikutusta, ja kun naaraspuoliset toukat (kotelokopat) ovat keskimäärin suurempia kuin koiraspuoliset, aiheuttaa tuuli sen, että maassa olevista kotelokopista suhteellisesti suurempi osa on naaraita kuin puihin jääneistä. Kun edelleen maassa olevat kotelokopat tuonnempana mainittavasta syystä yleisemmin joutuvat tuhon omiksi kuin puissa olevat, on ilmeistä, että tuuli jossakin määrin ehkäisee *Lophyrus pini*n kehitystä myötävaikuttaessaan kotelokoppien tuhoutumiseen yleensä sekä eritoten vähentäessään naaraiden suhteellista lukumäärää.

Toisaalta juuri tuulet tehokkaasti levittävät *Lophyrus pini*-tuhoa, kuten jo Ratzeburg mainitsee (vrt. s. 13). Tämä kävi selvästi ilmi myöskin Kuoppalammella tehdyistä havainnoista, III tuhoasteen sijoittumisesta kapeaksi vyöhykkeeksi molempien Tielampien saman puolisille rannoille.

Täysin kehittyneet *Lophyrus pini*-yksilöt ovat siksi kylmän kestäviä, etteivät mahdollisesti sattuneet myöhäishallat kykene niitä tuhoamaan. Pitäessäni niitä tunnin ajan — 2° C lämmössä ulkona, havaitsin, että ne, kangistuttuaan ensin liikkumattomiksi, huonelämpöön siirrettyinä jälleen virkosivat. Sama oli tulos, kun imagot pidettiin vuorokauden ajan ± 0°/—1° C lämmössä.

Tärkeä meidän metsiemme hyväksi vaikuttava, *Lophyrus pini*n lisääntymistä rajoittava tekijä on se edellä mainittu seikka, että

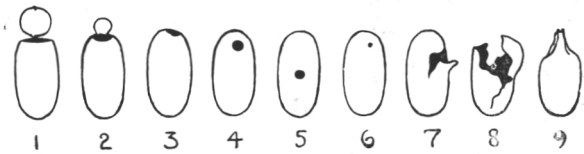
tämä tuholainen kehittää pohjolassa vain yhden sukupolven vuodessa ja että tämä esiintyy vasta syyskesällä. Ks. s. 30.

Ennen kuin käydään selvittämään, mikä merkitys *Lophyrus pini*n eri eläinvihollisilla oli sen lisääntymisen ehkäisijöinä ja rajoittajina Kuoppalammen tuhoalueella, on tunnettava, millä tavoin nuo eri eläinviholliset avaavat kotelokopan. Tätä selvittävä tutkimus teki mahdolliseksi laatia tuhoalueelta myöhemmin kerätyn kotelokoppa-aineiston perusteella eri eläinvihollisten suhteellista merkitystä esittävän tilaston.

Eri loishyönteisryhmät, ichneumonidit, chalcididit ja tachinidit, kairaavat *Lophyrus pini*n kotelokopasta vapautuessaan sen seinämään omalaatuisen, helposti tunnettavan ulostuloreiän. Monilukuisten huoneessa kehitettyyn kotelokoppa-aineistoon kohdistettujen havaintojen avulla todettiin seuraavaa:

*Ichneumonidae* ryhmän edustajat avaavat kotelokopan toiseen päähän tavallisesti pyöreän, harvemmin hieman soikean reiän, jonka läpimitta, ollen koirasimagon jäljiltä pienempi kuin naaraan, vaihtelee 1—4 mm; tavallisin suuruus on 2—2 ½ mm. Aukko on joko kotelokopan pyöreän pään keskellä tai hieman vinossa, usein taipeessa. *Hemiteles areator*-hyperparasiitin ulostuloreiän todettiin sijaitsevan kotelokopan pitkällä sivulla. — *Chalcididae* ryhmän edustajat avaavat niinikään kotelokopan toiseen päähän, taipeeseen, pyöreän, ainoastaan 1/3—½ mm:n läpimittaisen reiän; joskus tavataan samassa kotelokopassa kaksi ulostuloreikää. — *Tachinidae* ryhmän edustajien ulostuloreikä on erilainen siitä riippuen, koteloituuko toukka *Lophyrus*in kotelokopan sisässä vai sen ulkopuolella (vrt. s. 40). Edellisessä tapauksessa aukon suulla on toiselta reunaltaan kiinni pysyvä kalotin muotoinen »kansi», saman tapainen kuin *Lophyrus*-imagon aikaan saama, mutta pienempi ja tavallisesti leveämmälti kiinnittynyt. Jälkimmäisessä tapauksessa aukko on kanneton, saman tapainen kuin ichneumonideille ominainen, mutta suurempi ja reunoistaan epätasaisempi, »hilseisempi».

Tiaisten nokkimat kotelokopat erottuvat säännöttömän aukkonsa puolesta helposti niistä, joissa joku loishyönteinen on kehittynyt. Mikäli kotelokoppa ei ole aivan perusteellisesti silvottu (kuva 9, 8), on aukko, josta lintu on kotelokopan sisällön tyhjentänyt, suuri, reunoiltaan epätasainen, ja sen yhdellä sivulla on ulos päin taipunut, koko leveydellään kiinnittynyt »kansi» (kuva 9, 7). Tällainen kotelokopan silpominen todettiin tiaisten työksi siten, että tarjottiin talitiaisille talvella täysinäisiä kotelokoppia ja poimittiin lintujen tyhjentämät kotelokopat lumihangelta.




Kuva 9. Eri tavoin avattuja *Lophyrus pini*n kotelokoppia: 1. *Lophyrus pini*. 2. *Tachinidae*. 3, 4. *Microcryptus (Ichneumonidae)*. 5. *Hemiteles areator*. 6. *Chalcididae*. 7, 8. Tiaiset. 9. Pikkujyrsijät.

*Abb. 9. Lophyrus pini-Kokons, in verschiedener Weise geöffnet: 1. Lophyrus pini. 2. Tachinidae. 3, 4. Microcryptus (Ichneumonidae). 5. Hemiteles areator. 6. Chalcididae. 7, 8. Meisen. 9. Mäuses.*

P i k k u j y r s i j ä i n tyhjentämät kotelokopat tunnetaan siitä, että niiden toisessa päässä sijaitseva aukko on reunoiltaan epätasainen ja sen ympärillä kotelokopan seinämät ovat vetäytyneet poimuille. Jälkimmäinen seikka saa selityksensä siitä, että sitkeä kotelokopan seinä ei eläimen hampaiden välissä murru, ennen kuin se on puristettu lyttyyn. Tällaisten kotelokoppien runsaus etenkin sammalpeitteen ja puiden juurien alla voisi antaa aiheen epäillä, että ne kenties olisivat päästäisen silpomia, kuten B o r r i e s väittääkin (vrt. s. 13). Koska Borries ei kuitenkaan esitä väitteensä tueksi suoranaisia havaintoja, kun sitä vastoin A l t u m kertoo itse todenneensa, että ainakin *Arvicola arvalis* tyhjentää *Lophyrus pini*n kotelokoppia, ei nähdäkseni ole syytä olettaa, että pikkujyrsijöiden käytävistä tavattavat runsaat tyhjennetyt kotelokopat olisivat päästäisten sinne kokoomia. Borriesin selitys tuntuu sitäkin epätodenmukaisemmalta, kun pikkujyrsijöille ominainen varastojen keruu tuskin kuuluu päästäisen (vaikka kohta maamyyrän) tapoihin. — Ilmiön aiheuttajana lienee Kuoppalammen tuhoalueella ollut metsähiiri *(Mus silvaticus)*, koska muut tässä kysymykseen tulevat jyrsijät, *Hypudaeus*-lajit, lienevät seudulla harvinaisia.

Nyt puheena olleiden tekijöiden merkitystä *Lophyrus pini*n esiintymiseen valaisevat seuraavat tilastot:

1929 syksyllä kerätyistä ja huonelämmössä säilytetyistä 2 550 kotelokopasta kehittyi

11:stä *Lophyrus pini* (ks. s. 25)
143:sta (6 %) ichneumonideja
36:sta (2 %) chalcidideja
4:stä tachinideja
2 356 (92 %) jäi kehittymättä.

1930 talvella kerätyistä, ensi aluksi kylmässä kellarissa säilytetyistä ja sittemmin huonelämmössä kehitetyistä 500 kotelokopasta kehittyi

293:sta (59 %) *Lophyrus pini*
58:sta (11 %) ichneumonideja
4:stä ( 1 %) chalcidideja
10:stä ( 2 %) tachinideja
135 (27 %) jäi kehittymättä.

18/VI 1930 metsämaan pinnalta, etup. *poluilta* kerätyistä 675 kotelokopasta osoittautuivat seuraavat määrät eri tavoin avatuiksi:

271 (40 %) *Lophyrus pini*
24 ( 4 %) ichneumonideja
2 chalcidideja
3 tachinideja
61 (9 %) tiaiset
20 (3 %) pikkujyrsijät
294 (44 %) oli avaamattomia.

Samana päivänä, samasta metsiköstä, *sammalpeitteen alta* kerätyistä 325 kotelokopasta osoittautuivat seuraavat määrät eri tavoin avatuiksi:

16 (5 %) *Lophyrus pini*
12 (4 %) ichneumonideja
1 chalcidideja
2 ( 1 %) tachinideja
33 (10 %) tiaiset
231 (71 %) pikkujyrsijät
30 ( 9 %) oli avaamattomia.

30/VII 1930 kerättiin edelleen samasta metsästä maan pinnalta, etup. *poluilta*, 500 kotelokoppaa. Ne, jotka vielä olivat avaamattomia, rikottiin. Seuraavat määrät osoittautuivat eri tavoin avatuiksi:

202 (40 %) *Lophyrus pini*
10 ( 2 %) ichneumonideja
2 chalcidideja
10 ( 2 %) tachinideja
276 (55 %) oli avaamattomia. Avattaessa todettiin niiden sisältö seuraavaksi:

7:ssä oli terve *Lophyrus*-toukka
56:ssä » kuollut » »
149:ssa » » » imago tai kotelo
7:ssä » terve *Ichneumonidae*-kotelo
5:ssä » kuollut » »
10:ssä » *Chalcididae*-toukkia tai koteloita
3:ssa » kuollut *Tachinidae*-kotelo
39 » tuhoutunut muulla tavoin (sienitaudit ym.).

Yllä esitettyjen asetelmien perusteella voidaan tehdä seuraavat johtopäätökset *Lophyrus pini*n eri viholliseläinten merkityksestä Kuoppalammen tuhoalueella:

1. *Lophyrus pini*n kotelokoppien eläintuhoojista näyttää luonnon oloissa pikkujyrsijöillä olleen huomattavin osuus. Tämä koskee lähinnä sitä kotelokoppa-aineistoa, joka oli koottu sammalpeitteen alta. Osa sammalpeitteen alta tavatuista tuhotuista kotelokopista oli kuitenkin sinne siirretty pintakerroksista, kuten tiaisten avaamien kotelokoppien runsaus sammalen alla todistaa: luonnollisesti pikkujyrsijät onnistuivat kuljettamaan sammalen alaisiin kätköihinsä muitakin kuin tyhjiä kotelokoppia.

2. Tiaisten merkitys oli sekin huomattava, vaikka ilmeisesti paljon vähäisempi kuin pikkujyrsijöiden, sekä verraten paikallinen, mikä käy ilmi kesä- ja heinäkuussa tehtyjä havaintoja toisiinsa verrattaessa.

3. Osa pikkujyrsijäin ja lintujen avaamista kotelokopista oli ollut loishyönteisten hallussa. Viimeksi mainittujen merkitystä voidaan sen vuoksi varmimmin arvostella talvella 1930 kerätyn aineiston perusteella. Siitä huomataan, että 13 %:sta kotelokoppia kehittyi loisia. Ylivoimaisesti tärkein merkitys oli *Ichneumonidae* ryhmän edustajilla; *Tachinidae* ryhmän merkitys näyttää olleen jonkin verran suurempi kuin *Chalcididae* ryhmän.

Tässä yhteydessä on syytä huomauttaa, että loishyönteisten merkitys voi paikallisesti suuresti vaihdella. Niinpä samana vuonna (1929—30), jona Kuoppalammen tuhoalueelta kerätystä kotelokoppa-aineistosta 6 %:sta kehittyi Ichneumonideja, Veikkolan kokeilualueesta lähetetyistä ja samassa huoneessa säilytetyistä 60 kotelokopasta 30 eli tasan 50 % antoi tulokseksi mainitun ryhmän edustajia. Tämä saanee selityksen pikemminkin *Lophyrus pini*n kuin mainittujen loisien erilaisesta runsaudesta kummallakin seudulla.

## Huomioita Lophyrus pinin loishyönteisistä.

Ichneumonideja tavattiin *Lophyrus pini*-toukkien loisina seuraavat, maist. W. Hellénin määräämät lajit:

*Microcryptus subguttatus* Grav. Ei ole ennen löydetty Suomesta, mutta Kuoppalammen tuhoalueella esiintyneistä loishyönteisistä yleisin; tavattu myös Veikkolan kotelokoppa-aineistosta. Huonelämpöön 1929 syksyllä siirretyistä kotelokopista vapautui imagoja samana syksynä sekä seuraavan tammi- ja helmikuun aikana. Imagoista oli molempia sukupuolia suunnilleen yhtä paljon. Useimmat kotelokopat oli otettu maasta, joku männyn oksilta.

*M. basizonius* Grav. Veikkolassa esiintyneistä loishyönteisistä yleisin, tavattu myös Kuoppalammen aineistosta. Kaikki kotelokopat maasta. Niistä kehittyi molempia sukupuolia.

*Exenterus adspersus* Hart. Vähemmän runsas Kuoppalammen tuhoalueella.

*E. marginatorius* F. Samoin kuin edellinen.

*Pimpla arctica* Zett. Samoin kuin edellinen.

*Hemiteles areator* Panz. Hyperparasiitti, *Microcryptus basizonius*in loinen. 3 yksilöä Kuoppalammen tuhoalueelta 1929 syks. kerätystä aineistosta, kaikki pienikokoisista mäntyjen oksiin kiinnitetyistä kotelokopista; kaksi kehittyi lokakuussa, 3. seuraavassa maaliskuussa.

Syksyllä 1929 kerättyyn, huonelämmössä pidettyyn kotelokoppa-aineistoon kohdistetut havainnot osoittivat, että ichneumonideja kehittyi kokonaisen vuoden aikana: 31/X—30/XI vapautui tämän ryhmän edustajia 17; 1—31/XII 9; 1—31/I 5; 1/II—3/III 5; 4/III —30/VIII 80; 31/VIII 6; 1—5/IX 15; 6—11/IX 4; 12/IX—18/X 1 ja tämän jälkeen ei yhtään. Näistä aikamääristä havaitaan myös, että kuoriutuminen alkoi syksyllä n. kuukauden kuluttua kotelokoppien sijoittamisesta huonelämpöön ja oli ensimmäisen kuukauden aikana jotenkin ripeätä, väheni seuraavien kuukausien aikana, mutta lisääntyi kesällä, oli syyskesällä, siis melkein vuoden huonelämmössä olon jälkeen, erittäin ripeätä, väheni jälleen ja taukosi myöhemmin syksyllä.[1]) Luonnon oloissa ei näistä kotelokopista todennäköisesti olisi voinut loispistiäisiä vapautua ennen kevättä (1930).

1930 talvella kerätyistä kotelokopista vapautui ichneumonideja pitkin kevättä, alkaen 8/III, kesällä hyvin vähän, viimeinen 5/IX. 18/VI 1930 oli tuhoalueen säästömetsässä erittäin runsaasti ichneumonidi-imagoja ja niiden äsken avaamia kotelokoppia; 7 viikkoa myöhemmin ei tavattu lentäviä yksilöitä, mutta kotelokoppia rikottaessa löytyi verraten paljon koteloita. 30/IX 1929 taas löysin tuhoalueelta, *Lophyrus pini*n kotelokopalta lentokykyisen *Microcryptus subguttatus*in.

Nyt selostetut havainnot viittaavat siihen, että *Lophyrus pini*n toukissa vierailevista loishyönteisistä tärkeimmät, ichneumonidit, esiintyivät täysin kehittyneinä kahtena ryhmänä saman kesän aikana, nimittäin kesän alussa ja lopussa. Näistä esiintymistä jälkimmäinen sattui *Lophyrus pini*n toukkakauden loppuun, edellinen aikaa ennen

[1]) Veikkolan kotelokoppa-aineistosta kuoriutui ichneumonideja seuraavasti: 16—30/XI 18, 1—31/XII 3, 1—31/I 4, 1/II—3/III 2, 4/III—30/VIII 1, 31/VIII—18/X 1 ja tämän jälkeen ei yhtään.

sen alkua, kesäkuuhun eli *edellisen sukupolven, jos sellainen meillä tavattaisiin, toukkakauden loppuun* (vrt. s. 8). Koska käsitykseni mukaan meillä tavataan vain jälkimmäinen, syyssukupolvi, on keväällä vapautuneiden loishyönteisten etsittävä muita isäntähyönteisiä. Huonelämmössä kehitettyjä ichneumonideja koskevista havainnoista selviää, että tässä on kysymys yhdestä ichneumonidi-sukupolvesta, jonka kehitys käsittää kaksi periodia.

Huomattava on, että samalla kun 1929 syksystä asti huonelämmössä säilytetystä kotelokoppa-aineistosta kehittyi vain mitätön määrä *Lophyrus*-imagoja (0.7 % siitä määrästä, mikä kuoriutui talvella kerätystä aineistosta), ichneumonideja kehittyi suhteellisen runsaasti (48 % siitä määrästä, mikä kuoriutui talvella kerätystä aineistosta). Tämä huomio tukee sitä Ratzeburgin ennen mainittua väitettä, että loispistiäiset ovat ilmastollisia vaikutuksia vastaan kestävämpiä kuin neulaspistiäiset (s. 14).

Chalcididej a [1]) kehittyi 1929 syksyllä kerätystä aineistosta yksinomaan syksyllä ja syystalvella. Ensimmäiset vapautuivat jo n. 2 viikkoa huonelämmössä olon jälkeen, viimeiset 1/I 1930, enin osa 19—28/XI. Näitä pikkupistiäisiä kehittyi tavallisesti suuri määrä samasta kotelokopasta. Varmasti totesin, että yhdestä 7 mm:n pituisesta kotelokopasta tuli esiin 33, 8 mm:n pituisesta 47 ja 9 mm:n pituisesta 58 imagoa. Toisinaan yhdessä kotelokopassa kehittyneiden imagojen lukumäärä oli paljon pienempi: 4, 3 jopa eräässä 11 mm:n pituisessa vain 2. Mitä enemmän loisia kulloinkin kehittyi, sitä tarkemmin tuli luonnollisesti niiden »isäntä» syödyksi. Sellaisissa tapauksissa, joissa loisia kehittyi vain muutama, *Lophyrus*-toukka saattoi niiden vapautumisen jälkeenkin vielä osoittaa jonkin verran elonmerkkejä.

Kun ensimmäiseksi ehtinyt loisimago oli avannut ulostuloreiän kotelokopan seinään ja siitä ryöminyt vapauteen, seurasivat muut peräkkäin jäljestä. Erään kotelokopan 12 chalcididi-imagoa vapautui 9 minutin kuluessa. Toisinaan joku yksilö epäonnistuu vapautumisyrityksissään, takertuu ulostuloaukkoon ja tukkii siten tien muiltakin. Toiset kotelokoppaan jääneet imagot kuolevat tällöin jonkin ajan kuluttua vankilaansa tai avaavat kotelokoppaan toisen ulostuloreiän. Eräästä kotelokopasta vapautui siten 16 puheena olevaa pientä loispistiäistä 17:nnen takertuessa ulostuloreikään; 3 päivää myöhemmin viimeksi mainittu oli kuollut; kun kotelokoppa tämän jälkeen rikottiin, tuli sen sisästä esiin 7 virkeätä imagoa.

[1]) Lähempi määräys jäi suorittamatta, syystä että Suomessa ei tiettävästi ole tämän pistiäisryhmän tuntijaa.

Pienikokoisia koiraita kehittyy huomattavasti vähemmän kuin tuntuvasti suurempikokoisia naaraita; 6 kotelokopasta vapautuneista imagoista oli 20 % koiraita. Paritus tapahtuu heti vapautumisen jälkeen. Joskus vapautunut koiras asettui kotelokopan ulostuloreiän suulle ja tarttuen leuoillaan esiin ryömivän naaraan päähän avusti sen vapautumista.

Chalcididien kehitykselle ei huonelämmössä olo näytä olleen haitaksi. Päinvastoin niiden osuus 1929 syksyllä kerätystä aineistosta oli suurempikin kuin muista.

Tachinideja kehittyi 1929 syksyllä kerätystä, huonelämmössä pidetystä kotelokoppa-aineistosta vain muutamia, ensimmäinen 3/XI 1929, viimeinen syys- tai lokakuussa 1930. Loiskärpäset koteloituvat joko *Lophyrus*-kotelokopan sisään tai sen ulkopuolelle. Kun kotelokopassa asustava loistoukka on edellisessä tapauksessa käyttänyt ravinnokseen »isäntä»-toukan, se ennen koteloitumistaan järsii kotelokopan päästä kalottimaisen osan melkein irti; täysin kehittyneen hyönteisen tarvitsee tämän jälkeen vapautuakseen vain työntää »kansi» pois. Toisinaan tavattiin kuitenkin kotelokopan sisästä kuollut loisimago, joka siis ei ollut kyennyt vapautumaan vankilastaan.

Toinen tapaus on, kuten mainittu, se, että kärpäsen toukka koteloituu »isäntänsä» kotelokopan ulkopuolella. Täysin kehittynyt toukka nakertaa jotenkin suurikokoisen aukon kotelokopan päähän, ryömii siitä ulos ja rakentaa itselleen kotelon; tämä on usein kiinnitetty johonkin *Lophyrus*-kotelokoppaan. Eräässä tapauksessa totesin, että tachinidi-imago vapautui 14 vrk. koteloitumisen jälkeen.

Aikaisemmin esitetyt luvut sekä se tosiasia, että huonelämmössä kehittyneet tachinidi-imagot poikkeuksetta olivat rakenteeltaan surkastuneita (siivet jäivät pysyvästi lyhyiksi)[1]), osoittaa, että tämän loisryhmän edustajat eivät siedä huonelämpöä yhtä hyvin kuin loispistiäiset, vaikkakin ne ilmeisesti kestävät sitä paremmin kuin *Lophyrus pini*. Ovatko nyt mainitut loiskärpäset yleensäkin vähemmän kestäviä epäedullisia ilmastosuhteita vastaan, jää tässä ratkaisematta.

Sen sijaan että ichneumonidi-imagoja tavattiin tuhoalueella erikoisen runsaasti kesäkuun puolivälissä, tachinidi-imagot esiintyivät samalla paikalla erinomaisen lukuisina 30/VII (1930). Niitä oli auringon paisteessa niin paljon liikkeellä, että ilmassa soi niiden siipien aiheuttama yhtämittainen surina. Saatoin myös tehdä huomioita tachinidi-kärpäsen tavoista *Lophyrus*-toukkien läheisyydessä.

[1]) Tästä syystä ei vapautuneiden tachinidien nimiä voitu määrätä.

Munimavalmis naaras osoittautui sangen araksi ja varovaiseksi; se väijyi pitkät ajat uhriaan esim. männyn neulasella seisten tai hitaasti jalkojaan siirrellen. Toukan tehdessä äkillisen liikkeen loinen nopeasti peräytyi takaperin juosten, minkä jälkeen väijyminen ja varova lähestyminen alkoi uudelleen. Mikäli saatoin todeta, sijoitettiin muna toukkaan äkkiä lennosta.

## Lophyrus pinin metsätaloudellinen merkitys.

*Lophyrus pinin* voidaan olettaa tekevän kahdella tavalla metsätaloudellista vahinkoa: 1) aiheuttamalla tuhon kohteeksi joutuneiden puiden ennen aikaisen kuoleman, 2) vähentämällä niiden kasvua.

Tähän mennessä on Kuoppalammen alueella III:nkin tuhoasteen alueilla matalia alikasvosmäntyjä lukuun ottamatta vain harva puu kuivunut. Vielä on huomattava, että nämä puut yleensä ovat heikkoja, pienilatvaisia, ja että osa niistä olisi ilman puheena olevan tuhohyönteisen myötävaikutustakin, pelkästään luontaisen harventumisen tuloksena, kuollut. Pahimmin näyttävät kärsineen laajan siemenpuualan harvalukuiset männyt. 1931 syksyllä näytti siltä, että melkoinen osa niistä tulisi kuolemaan. Metsänhoitaja P ö y h ö s e n 1933 helmikuussa lähettämän tiedonannon mukaan niin todella on käynytkin. Missä määrin puiden kuoleminen tai jatkuva kituminen mahdollisesti johtuu *Lophyrus pinin* välillisestä vaikutuksesta, siitä, että tämä hyönteinen olisi puiden elinvoimaa vähentämällä edistänyt muiden, tuhoisampien hyönteisten toimintaa, jäi selvittämättä. Mainittakoon vain, että muita neulastuhoojia kuin *Lophyrus pini* ei Kuoppalammen alueella huomattavassa määrässä esiintynyt vv. 1929—31.

18/IX 1931 tutkin Kuoppalammella 10:n n. 150-vuotisen, kesällä 1929 3. tuhoasteeseen kuuluneen ja kesällä 1930:kin jonkin verran syödyn männyn läpimittakasvua. Sitä varten otin kasvukairalla kunkin tutkittavan puun rinnankorkeudelta kahdesta toisiaan vastaan kohtisuorasta suunnasta lastut. Näistä mitattiin teräväkärkisellä harpilla $^1/_3$ mm:n tarkkuutta käyttäen 10:n, 9:n, 8:n jne. viimeisen vuoden kasvu, mistä vähentämällä saatiin yksityisiä vuosia edustavat kasvuarvot. Yhdistämällä kunkin koepuun molemmista kairan lastuista saadut vuotuisen kasvun lukuarvot ja pyöristämällä summat $^1/_2$ mm:n tarkkuutta vastaaviksi saatiin taulukossa 5 esitetyt läpimittakasvuarvot.

Taulukko 5. — *Tabelle 5.*

| Puun *Baum* n:o | Läpimittakasvu, mm, vuonna *Durchmesserzuwachs, mm, pro Jahr* | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1922 | 1923 | 1924 | 1925 | 1926 | 1927 | 1928 | 1929 | 1930 | 1931 |
| 1 | 2 | 1.5 | 2 | 2.5 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1.5 | 2 |
| 2 | 1 | 0.5 | 1 | 1 | 1.5 | 1 | 2.5 | 1.5 | 1 | 1.5 |
| 3 | 0.5 | 1 | 0.5 | 1 | 1 | 0.5 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | 1.5 | 1.5 | 2.5 | 1.5 | 2.5 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 5 | 1 | 1 | 1.5 | 1.5 | 2 | 2.5 | 1.5 | 1.5 | 2 | 3.5 |
| 6 | 0.5 | 1 | 1.5 | 1.5 | 1 | 0.5 | 1 | 0.5 | 0.5 | 1.5 |
| 7 | 0.5 | 0.5 | 1.5 | 2 | 2.5 | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1 | 1.5 |
| 8 | 0.5 | 1 | 1 | 1 | 1.5 | 1.5 | 1 | 1 | 0.5 | 2 |
| 9 | 2 | 1.5 | 2.5 | 2 | 2 | 2.5 | 1 | 2 | 2 | 2.5 |
| 10 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 1 | 0.5 | 1 | 1.5 |
| Keskiarvo — *Mittelwert* | 1.0 | 1.0 | 1.5 | 1.5 | 1.8 | 1.6 | 1.5 | 1.4 | 1.3 | 1.9 |

Mittaamistapa oli kieltämättä karkea, mutta silti riittävän tarkka osoittamaan, että ankarakaan tuho ei ollut huomattavassa määrässä hidastuttanut puun rungon paksuuskasvua rinnankorkeudelta. Tämä ensi tuntumalta yllättävä tulos on yhtä pitävä M i c k e n ennen (s. 15) mainittujen tutkimusten kanssa ja vahvistaa sitä väitettä, että mänty kykenee korvaamaan sangen tuntuvankin loppukesällä sattuneen neulaskadon tehostuneella yhteyttämistoiminnalla (vrt. S c h w a r z, s. 63, 91). Se Kuoppalammen tuhoalueella tekemäni havainto (vrt. s. 22), jonka mukaan suurten, tuhon alaisten mäntyjen neulasten kehitys oli tuhon jälkeisenä kesänä tavallista hitaampi, viittaa siihen, että puheena oleva tehostunut yhteyttämistoiminta ainakin osaksi merkitsee kasvuajan pitenemistä.

Kuoppalammen *Lophyrus pini*-tuho puolestaan tukee niitä aiemmin mainittujen tutkimusten tuloksia, joiden mukaan tämä hyönteinen harvoin aiheuttaa suuria vahinkoja. Missään tapauksessa sitä ei taloudellisen merkityksensä puolesta sovi rinnastaa sellaisiin metsän suurtuhoojiin kuin nunnaperhoseen, mäntykarehtijaan ja mäntymittariin. Kun tällä käsityksellä on R a t z e b u r g i n ajoista asti ollut arvovaltaisten tutkijain kannatus Saksassa, missä tavallinen männynneulaspistiäinen enimmäkseen kehittää syyssukupolven lisäksi vaikutuksiltaan suhteellisesti vahingollisemman kevätsukupolven, on ymmärrettävää, että tämän meillä vain syyssukupolvena esiintyvän hyönteisen välitön vahingollisuus supistuu täällä joukkoesiintymienkin sattuessa vähiin. Olemme todenneet, että lähes paljaiksi syödyt keski-ikäiset ja vanhat männiköt miltei kauttaal-

taan toipuvat tuhon jäljiltä ja että tuho ei ainakaan huomattavassa määrässä hidasta paksuuskasvua.

Niin ollen ei meidän oloissamme näytä olevan riittävää syytä ryhtyä *Lophyrus pini*-tuhojen sattuessa suojelemaan laajoja metsäalueita jollakin tai joillakin niistä menettelytavoista, joista edellä on tehty selkoa ja jotka tuskin ovat taloudellisesti kannattavia edes niin voimaperäisissä metsätalousoloissa kuin Saksassa. Meilläkin voisi ehkä arsenikkipölytys jossakin tapauksessa tulla kysymykseen paitsi koristeellisia tarkoituksia palvelevissa puistoissa, siemenpuualoilla. Yksityisten siemenpuiden »pölyttäminen» ei voine vaatia varsin suuria kustannuksia, mitä pölytysaineen käyttöön tulee.

Joskohta *Lophyrus pini*n välitön vahinko näyttää meillä joukkoesiintymienkin sattuessa supistuvan vähiin, on luonnollista, että huomattavan neulaston osan menetys merkitsee puille ajottaista elinvoiman vähennystä. Koska kokemus on osoittanut, että täten heikentyneet, sairaat puut helpommin kuin terveet joutuvat muiden, vaarallisempien tuhohyönteisten, etenkin kaarnakuoriaisten, uhreiksi, on syytä pitää tarkoin silmällä *Lophyrus pini*n ahdistamia puita ja metsiköitä vielä senkin jälkeen, kun on todettu, että tämä tuholainen ei saa niitä hengiltä. Siten voinee eräissä tapauksissa *Lophyrus pini*nkin esiintyminen olla välillisenä aiheena metsän hakkuille, joiden tuonnemmaksi jättäminen olisi taloudellisesti kohtalokas erehdys.

## Kirjallisuutta.


Altum. 1898. Das massenhafte Auftreten der Kiefern-Buschhornblattwespe, *Lophyrus pini* L., in den preussischen Kiefernrevieren, während der letztverflossenen Jahre. Zeitschr. f. Forst- und Jagdwesen. Berlin.

Anonymus. 1769. Anmärkningar Om Tall- eller Furu-Skogen. Kongl. Vetenskaps Academiens Handl. Stockholm.

Bechstein, Johan Matthäus und Scharfenberg, Georg Ludwig. 1804. Vollständige Naturgeschichte der schädlichen Forstinsekten. Leipzig.

von Berg. 1857. Insectensachen. Das Auftreten des Kieferntrieb-Wicklers *(Tortrix Buoliana)* und der Kiefern-Blattwespe *(Tenthredo pini)* auf dem Gorisch. Tharander Jahrbuch. Leipzig.

Bergman, Torbern. 1769. Uplysning Om de skadelige Tall-Maskarne. Kongl. Vetenskaps Academiens Handl. Stockholm.

Boas, J. E. V. 1923. Dansk Forstzoologi. II Udgave. København.

Borries, Herm. 1895. Iagttagelser over Danske Naaletrae-Insekter. Tidsskrift for Skovvaesen. Raekke B. Kjøbenhavn.

Dahlbom, G. 1837. Kort underrättelse om Skandinaviska insekters allmännare skada och nytta i hushållningen. Lund.

Eckstein, Karl. 1893. Biologische Beobachtungen an Lophyrus pini. Zeitschrift f. Forst- und Jagdwesen. Berlin.

Elfving, K. O. 1904. Om de i Finland förekommande Lophyrinerna. Medd. Soc. pro Fauna et Flora Fennica. Helsingfors.

—»— 1921. En insekthärjning. Forstlig Tidskrift. Helsingfors.

Eliescu, Grigore. 1932. Beiträge zur Kenntnis der Morphologie, Anatomie und Biologie von *Lophyrus pini* L. Zeitschr. f. angewandte Entomologie. Berlin.

Enslin, E. 1918. Die Tenthredinoidea Mitteleuropas. Beihefte der Deutschen Entomologischen Zeitschrift 1912—1917. Berlin.

Escherich, Karl. 1929. Die Flugzeugbestäubung gegen Forstschädlinge. Berlin.

Ferrant, Victor. 1911. Die schädlichen Insekten der Land- u. Forstwirtschaft. Luxemburg.

Forsius, Runar. 1911. Über einige Diprion *(Lophyrus* Latr.*)*-Arten. Medd. Soc. pro Fauna et Flora Fennica. Helsingfors.

—»— 1919. Verzeichnis der bisher aus dem Lojo-Gebiete bekannt gewordenen Tenthredinoiden nebst einer Übersicht sämmtlicher in Finnland festgestellten Arten. Acta Soc. pro Fauna et Flora Fennica. Helsingfors.

Fritz, N. 1890. Angrebet af Bladhvespen, *Lophyrus pini*, paa Bjergfyrren i Jylland. Hedeselskabets Tidsskrift. Aarhus.

—»— 1892. Beretning om Insektangreb i Plantagerne i det sydlige Jylland i 1891. Hedeselskabets Tidsskrift. Aarhus.

Hagemann, Axel. 1891. Vore norske Forstinsekter. Christiania og Kjøbenhavn.

Hertz, Martti. 1929. Männynneulaspistiäisen *(Lophyrus pini)* tuhoja Kannaksella. Tapio. Helsinki.

—»— 1932. Uppträdande av *Lophyrus pini* i närheten av Käkisalmi. Notulae Entomologicae. Helsinki.

—»— 1933. Lukusarjoja. Luonnon Ystävä. Helsinki.

Holmgren, Aug. Emil. 1867. De för träd och buskar Nyttiga och skadliga Insekterna jemte utrotningsmedel för de sednare. Stockholm.

Judeich, D. F. — Nitsche, H. 1895. Lehrbuch der Mitteleuropäischen Forstinsektenkunde. Als achte Auflage von Dr. J. T. C. Ratzeburg, Die Waldverderber und ihre Feinde. Bd. I. Berlin.

Konow, Fr. W. 1901. Systematische Zusammenstellung der bisher bekannt gewordenen Chalatogastra. Mecklenburg.

Kungliga Domänstyrelsen. Kungl. Domänstyrelsens förvaltning. Stockholm.

Köppen, Friedrich Theodor. 1880. Die schädlichen Insekten Russlands. Beiträge zur Kenntniss des Russischen Reiches und der angrenzenden Länder Asiens. Zweite Folge. Petersburg.

Metsähallituksen kertomukset. — Rapports sur l'activité de l'administration forestière. Helsinki.

Micke. 1902. Einwirkung des Frasses von *Lophyrus pini* auf den Zuwachs der Kiefer. Zeitschr. f. Forst- und Jagdwesen. Berlin.

Nüsslin, Otto. 1905. Leitfaden der Forstinsektenkunde. Berlin.

Ratzeburg, Julius Theodor Christian. 1844. Die Forst-Insecten. Berlin.

Rettich. 1928 a. Das Auftreten der Kiefernbuschhornblattwespe *(Lophyrus pini)* in Baden 1927. Anzeiger f. Schädlingskunde.

—»— 1928 b. Das Auftreten der Kiefernbuschhornblattwespe *(Lophyrus pini)* in Baden 1927. Forstl. Wochenschrift Silva. Tübingen.

Saalas, Uunio. 1930. Maanviljelys- ja metsäzoologian tehtävät. Luonnon Ystävä. Helsinki.

Scheidter, Fr. Die gemeine Kiefernbuschhornblattwespe, *Lophyrus pini* L. Forstliche Flugblätter. Nr 10. Neudamm.

Schwarz, Frank. 1899. Physiologische Untersuchungen über Dickenwachstum und Holzqualität von *Pinus silvestris*. Berlin.

Sorauer, Paul — Reh, L. 1928. Handbuch der Pflanzenkrankheiten. 4. Aufl. V. Berlin.

Suomen Tilastollinen vuosikirja. — Annuaire statistique de Finlande 1931. — Ilmastosuhteita. — Météorologies. Helsinki.

Trägårdh, Ivar. 1914. Sveriges skogsinsekter. Stockholm.

—»— 1918. Skogsinsekternas skadegörelse under år 1916. Medd. fr. Statens Skogsförsöksanstalt. Stockholm.

Willkomm, Moritz. 1858. Die Nonne, der Kiefernspinner und die Kiefernblattwespe. Dresden.

# DIE GEWÖHNLICHE KIEFERNBUSCHHORNBLATTWESPE (*LOPHYRUS PINI L.*) UND IHRE FORSTWIRTSCHAFTLICHE BEDEUTUNG.

## REFERAT.

### Literaturübersicht.

(S. 6—16.)

Dieser Teil gibt eine Übersicht über die Literatur, welche die systematische Bestimmung und Biologie, das Vorkommen und die wirtschaftliche Bedeutung des in Frage stehenden schädlichen Insekts behandelt. *Lophyrus pini* ist bisher in Finnland selten als wirkliche Gefahr für die Kiefernbestände aufgetreten. Am gefährlichsten hat sich der Schädling im Sommer 1920 (E l f v i n g) in der Nähe des Bahnhofs Lappvik in einem auf trockenem Heideboden erwachsenen, verschiedenaltrigen, in der Hauptsache 150—170-jährigen Kiefernbestand geltend gemacht, der vollständig kahl gefressen wurde. — Das folgende bemerkenswerte Auftreten von *Lophyrus pini*, das Gegenstand der vorliegenden Untersuchung ist, fällt in das Jahr 1929.

### Untersuchungsmaterial.

(S. 17—18.)

Die in der vorliegenden Arbeit untersuchten, durch *Lophyrus pini*-Frass geschädigten Bestände liegen in SE-Finnland, in der Staatswaldung Kuoppalampi und den angrenzenden Privatwaldungen, ca. 15 km südlich der Stadt Käkisalmi. Der mittlere Teil des Schadengebietes wurde im Herbst 1929 kartographisch aufgenommen und die Bestände nach Schädigungsgraden klassifiziert. Gleichzeitig wurden Aufzeichnungen über die Art des Schadens und die Lebensgewohnheiten des Schädlings gemacht sowie ein Kokon-Material von ca. 3 000 Stück gesammelt. Ende Januar 1930 wurden unter dem Schnee ca. 1 500 Stück Kokons gesammelt. Auch 1930 und 1931 wurden Untersuchungen betr. die Lebensgewohnheiten und den schädlichen Einfluss von *Lophyrus pini* vorgenommen.

### Art und Ausdehnung des Schadens im Untersuchungsgebiet.

(S. 18—24.)

Die Beobachtungen an einzelnen Bäumen im Herbst 1929 zeigten, dass die grossen und kümmernden Baumindividuen im Schadengebiet im allgemeinen am schwersten gelitten hatten. Eine zusammenhängende, schwer durch den Insektenfrass betroffene Fläche erstreckte sich vom Staatsforst (ca. 150-

jähriger Kiefernbestand) in die Privatwaldung (ca. 60-jähriger Bestand). In verschiedenaltrigem Kiefernbestand hatten die älteren Bäume am meisten gelitten und von den jüngeren diejenigen, welche sich mit ihren Wipfeln über die anderen erhoben. Ganz kahl gefressen waren die kümmernden Unterwuchskiefern. Besser hatten die lebenskräftigen Jungkiefern standgehalten; sie erwiesen sich bis zum Alter von 20—30 Jahren als recht widerstandsfähig gegen Insektenfrass. Auch sehr alte Bäume, sogar 200—300-jährige Kiefern waren von dem Schädling nicht verschont worden. Im allgemeinen waren die Nadeln des jüngsten Jahrestriebes (1929) oder wenigstens des obersten Teiles desselben nicht angefressen; der Frass hatte immer an der Basis des Triebes begonnen (vgl. Abb. 1 und 2, S. 19—20).

Auf Grund der Stärke des Schadens wurden die einzelnen Bäume in vier Gruppen eingeteilt:

*Schädigungsgrad 0:* Unbeschädigte Bäume, oder solche, deren Nadelverlust auf weniger als 10 % der gesamten Nadelmenge geschätzt wurde.

*Schädigungsgrad 1:* Nadelverlust 10—20 %; Schaden hauptsächlich an den 1926 und 1927 entstandenen Nadeln.

*Schädigungsgrad 2:* Nadelverlust ca. 50 %; Schaden hauptsächlich an den 1926, 1927 und 1928 entstandenen, oft auch an einem grossen Teil der 1929 gebildeten Nadeln.

*Schädigungsgrad 3:* Nadelverlust fast oder (selten) ganz vollständig.

Die Kiefernbestände wurden auf Grund der Stärke des Schadens, welcher die herrschende Altersklasse betroffen hatte, in folgende Gruppen eingeteilt (vgl. die Karte, S. 23):

*Schädigungsgrad 0:* Fast oder ganz unbeschädigte Bestände.

*Schädigungsgrad I:* Bäume vorzugsweise des Schädigungsgrades 1, aber auch einige unbeschädigte, sowie Bäume des Schädigungsgrades 2.

*Schädigungsgrad II:* Bäume vorzugsweise des Schädigungsgrades 2, einige des Schädigungsgrades 1 und 3.

*Schädigungsgrad III:* Alle oder die meisten Bäume gehören zum Schädigungsgrad 3 (vgl. Abb. 3. u. 4, S. 21 u. 22).

Auf den Schädigungsgrad I entfielen über 350 ha, auf II 71 und auf III 45 ha. Am stärksten war der Schaden in Beständen vom *Calluna*- und *Vaccinium*-Typ. Auf frischeren, nährstoffreicheren Stellen, auf dem *Myrtillus*-Typ, waren die Kiefern nur schwach oder gar nicht befallen.

1930 wurden im Schadengebiete noch reichlich Larven gefunden, aber der Insektenfrass war doch viel schwächer als im vorhergehenden Jahre. Wenn im Herbst 1929 bei Jungkiefern die Nadeln des Jahrestriebes abgefressen waren, waren die Nadeln 1930 bedeutend kürzer (Abb. 6, S. 23). — Im Herbst 1931 waren die Spuren des Insektenfrasses verhältnismässig wenig mehr zu sehen.

## Die Entwicklung von Lophyrus pini.

(S. 24—30.)

Kokons dieses Schädlings fanden sich im Herbst 1929 reichlich im Schadengebiet auf dem Boden und zwar meist um die Basis der Bäume herum: auf einer zum Schädigungsgrad III gehörenden Fläche wurden auf einem 2 m von einer grossen Kiefer entfernt untersuchten Probequadrat von 1 $m^2$ Umfang 76 Kokons gezählt, die zum grössten Teil unter der Moosdecke lagen; die An-

zahl der Kokons auf einer Probefläche von 1 m² Umfang unmittelbar um den Basalteil der Kiefer herum betrug 138, davon 79 unter dem Moose. Viel Kokons sassen auch zwischen den Nadeln, seltener in den Rindenritzen. Die meisten Kokons sassen vereinzelt; die grösste Kokongruppe, die Verf. feststellte, umfasste 5 Kokons.

Aus 2 550, am 5. X. 1929 in Zimmertemperatur (Zentralheizung) gebrachten Kokons entwickelten sich insgesamt nur 11 *Lophyrus*-Imagines.

Das zweite Kokonmaterial, 1 570 Stück, von denen allerdings ein Teil leer war, wurde in der Zeit vom 29. I.—1. II. 1930 im Schadengebiet unter dem Schnee gesammelt. Die Kokons wurden zunächst im kühlen Keller aufbewahrt und dann in einen geheizten Raum (Zentralheizung) gebracht; die Tiere befanden sich damals noch im Larvenstadium. Das Material wurde auf zwei Gruppen verteilt: 1) von den Kokons der ersten Gruppe wurden (10—13 Uhr) in der Zeit vom 25. II.—24. III. täglich 5 Stück geöffnet; 2) die zweite Gruppe, insgesamt 500 Stück, wurde auf Grund der Länge in 11 Untergruppen eingeteilt und bei jeder die Entwicklung gesondert verfolgt.

Tab. 1, S. 26 zeigt die Hauptergebnisse der Untersuchungen für Gruppe 1, Tab. 2—4, S. 26—27 für die zweite Gruppe. Wenn wir die Tabellen mustern, so stellen wir fest:

1) Die Entwicklung von der Larve (Pronympha-Stadium) bis zur Puppe begann fast sofort, nachdem die Kokons in einen geheizten Raum gebracht waren (Tab. 1).

2) Diese Entwicklung geschah bei männlichen Individuen etwas früher als bei weiblichen (Tab. 1).

3) Ein Teil der lebenskräftigen Larven blieb weiter im Larvenstadium (Tab. 1).

4) Das Ausschlüpfen der Imagines geschah 8—12 Wochen lang (Tab. 2).

5) Über die Hälfte (54 %) der Imagines schlüpfte in der ersten Woche aus (Tab. 2).

6) Die Anzahl der ausschlüpfenden Imagines erreichte schnell ihr Maximum und begann schon in der ersten Woche wieder abzunehmen (Tab. 2).

7) Nachdem das Ausschlüpfen der Imagines eine Zeitlang aufgehört hatte, setzte es wieder ein, wenn auch verhältnismässig schwach (Tab. 2).

8) Die männlichen Imagines begannen im Durchschnitt einige Tage vor den weiblichen auszuschlüpfen (Tab. 2).

9) Die Imagines schlüpften fast ausschliesslich im Tageslicht aus, die meisten zwischen 10—14 Uhr (Tab. 2). (Die Bedeutung des Lichtes geht auch daraus hervor, dass das Ausschlüpfen am Abend aufhörte, aber wieder begann, wenn die Kokons elektrischem Licht ausgesetzt wurden.)

10) Die Anzahl der männlichen Imagines betrug 34 % (in Tab. 1. 35 %) der Gesamtzahl (Tab. 2).

11) Aus den kleinsten Kokons (6 ½—8 mm) entwickelten sich ausschliesslich männliche, aus den grössten (9 ½—11 ½ mm) ausschliesslich weibliche Imagines, in den mittelgrossen (8 ½, 9 mm) solche beiderlei Geschlechts (Tab. 4). Vgl. auch S. 50.

Am 18. VI. 1930 wurden im Schadengebiet ausschlüpfende Imagines und Weibchen bei der Eiablage beobachtet. Ein am 20. VI. ausgeschlüpftes *Lophyrus*-Weibchen wurde sofort in eine durchlöcherte Papiertüte auf einen Kiefernast gebracht; diese Tüte, welche mit der Öffnung an dem Ast befestigt war, bot dem Insekt genügend Bewegungsfreiheit, ohne dass dieses jedoch herauskriechen konnte. Drei Tage später wurde festgestellt, dass das Insekt seine Eier auf den

Nadeln abgelegt hatte; am 9. VII. fanden sich auf den Nadeln kleine Larven. Leider gingen diese parthenogenetisch entstandenen Larven später infolge unbekannter Ursache ein.

Am 30. VII. 1930 wurde im Schadengebiet keine einzige *Lophyrus*-Imago gefunden; mittelgrosse Larven waren sehr reichlich vorhanden, neue Kokons wurden nicht gefunden. Beim Öffnen von 500 Kokons, die auf einem Pfade gesammelt wurden, ergab sich:

| | | |
|---|---|---|
| *Lophyrus*-Imago, ausgeschlüpft ..... | aus 262 | Kokons |
| *L.* Larve, -Kokon oder -Imago, tot ..... | in 231 | » |
| Gesunde Larve ..... | » 7 | » |

Auch am 20. IX. 1930 fanden sich keine *Lophyrus*-Imagines; Larven waren reichlich vorhanden, neue Kokons ziemlich reichlich.

Die Entwicklung von *Lophyrus pini* ist auf Grund von Beobachtungen an Material, das im Untersuchungsgebiet von Kuoppalampi gesammelt wurde, kurz folgende:

Das Insekt überwintert im Larven-Stadium in einem im Herbst gesponnenen Kokon. In den Kokons entwickeln sich die Larven bei genügender Wärme im Frühjahr zu Puppen, die männlichen Individuen im Durchschnitt etwas früher als die weiblichen. Das Ausschlüpfen der Wespen geschieht mehrere Tage lang, wahrscheinlich sogar mehrere Wochen lang, die meisten schlüpfen jedoch innerhalb kurzer Zeit aus, und zwar Mitte Juni. Das Ausschlüpfen der männlichen Insekten geschieht etwas früher als das der weiblichen. Die Zunahme des Lichtes beschleunigt entscheidend das Ausschlüpfen der Wespen, das darum vorzugsweise zur hellsten Tageszeit vor sich geht. Einige Tage nach dem Ausschlüpfen beginnen die Weibchen mit der Eiablage. Die Eier sind auch unbefruchtet entwicklungsfähig. Die Frasszeit der Larven dauert ungef. zwei Monate und endet erst im September—Oktober.

Die Untersuchungen des Verf. stützen die Ansicht, dass *Lophyrus pini* in Finnland mehr als eine Generation im Jahre entwickele, nicht. Die Beobachtungen betr. die Zeit des Auftretens und andere Umstände zeigen vielmehr, dass wenigstens in dem hier untersuchten Fall sich pro Jahr nur eine Generation entwickelt. Da die Witterungsverhältnisse im Sommer 1930 offenbar recht günstig für die Bildung einer zweiten Generation waren (Juli und August wärmer als gewöhnlich), darf man die damals gemachten Beobachtungen für den hier in Frage stehenden Vorgang wohl verallgemeinern und demnach folgern, dass *Lophyrus pini* in Finnland im allgemeinen nur eine Generation pro Jahr entwickelt. In diesem Zusammenhang sei auf die oben festgestellte Erscheinung hingewiesen, dass auch einige gesunde Larven im Larven-Stadium länger als gewöhnlich im Kokon eingeschlossen bleiben. Wie lange dieses Überliegen dauert, liess sich in der vorliegenden Untersuchung nicht feststellen. Auf jeden Fall ist bei *Lophyrus*-Imagines, die vielleicht gegen den Herbst angetroffen werden, festzustellen, ob sie nicht solche »verspätete» Individuen sind, die also keine andere Generation vertreten als die im Sommer gefundenen Individuen.

## Vermehrungsintensität von Lophyrus pini.

(S. 31.)

Von den Faktoren, welche die Vermehrung von *Lophyrus pini* fördern, ist die verhältnismässig grosse Zahl der Eier sowie die schon oben festgestellte

Fähigkeit des Insekts, sich parthenogenetisch zu vermehren, zu erwähnen. Für die fortlaufende Vermehrung ist natürlich von entscheidender Bedeutung die relative Anzahl der weiblichen Individuen, die allerdings ziemlich konstant zu bleiben scheint. Die relative Anzahl der beiden Geschlechter lässt sich schon im Kokonstadium einigermassen feststellen.

Da nämlich die männlichen Wespen im Mittel bedeutend kleiner sind als die weiblichen, muss sich dieser Unterschied schon in der Grösse der Kokons (und Larven) erkennen lassen. In Tab. 4, S. 27, die eine Variationsreihe der Länge von 500 vom Boden aufgelesenen Kokons enthält, sehen wir, dass die Längenklassen 8 und 10 mm am reichlichsten vertreten sind. Eine solche Zweigipfeligkeit der Varitationsreihe weist darauf hin, dass wir es hier mit einer zweigipfeligen komplexen Reihe zu tun haben mit dem Gipfel der einen Reihe in der Klasse 8 mm, der anderen in der Klasse 10 mm (vgl. Abb. 8, S. 32: ausgezogene Linie). Der erste Gipfel gibt offenbar die Frequenzreihen der ♂-Larven, der zweite die der ♀-Larven an. Nehmen wir an, dass beide Reihen normal sind, so lassen sich die Gesamtfrequenzen beider in der Weise berechnen, dass die Werte der ersten Hälfte der kleineren Reihe und die Hälfte des Wertes für den Gipfelpunkt (8 mm) mit zwei multipliziert werden und ebenso die Werte der zweiten Hälfte der grösseren Reihe und die Hälfte der entsprechenden Frequenz für den Gipfelpunkt (10 mm). So erhält man als Gesamtfrequenz der ♂-Reihe $2 \times (2 + 13 + 25 + 70/2) = 150$, als Gesamtfrequenz der ♀-Reihe $2 \times (10 + 57 + 65 + 91/2) = 355$, und damit als Anzahl der männlichen Individuen 30 %.

Tab 4 (S. 27) und Abb. 8 (gebrochene Linien) zeigen die Ergebnisse der Entwicklung der Kokons bei Zimmertemperatur. Wir sehen, dass die Maximumpunkte der die verschiedenen Geschlechter vertretenden Frequenzreihen mit den gleichen Abszissenwerten zusammenfallen wie die Gipfelpunkte der Originalreihe, und dass nur die 8½ und 9 mm-Klassen beiden Geschlechtern gemeinsam sind, während sich aus den kleineren Kokons ausschliesslich Männchen und aus den grösseren ausschliesslich Weibchen entwickelten. Ein grösseres Material hätte natürlich für die prozentuale Verteilung der Individuen auf die beiden Geschlechter ein zuverlässigeres Resultat ergeben.

**Die direkte Beschränkung der Lophyrus pini-Schäden durch natürliche Einflüsse.**
(S. 32—37.)

Die bisherige Erfahrung zeigt, dass *Lophyrus pini* viel weniger Kiefernbestände frischer, produktiver (d.h. besserer Waldböden als der Vaccinium-Typ vertritt) als solche trockener Heiden befällt und dass demnach bessere Waldböden als wirksame Hindernisse für die Verbreitung dieses Schädlings anzusehen sind. Weiter hat sich erwiesen, dass vorzugsweise alte und mittelalte Kiefernbestände sowie solche jungen Bäume und Pflanzen befallen werden, die aus irgend einem Grunde verkümmert sind. Demnach scheinen lebenskräftige junge Kiefernbestände und -Pflanzungen von grosser Bedeutung für die Beschränkung von *Lophyrus pini*-Schäden zu sein.

Die Erfahrung zeigt, das die Larve im Kokon recht grosse Witterungsunterschiede ertragen kann. Die Versuche des Verf. haben erwiesen, dass andauernde trockene warme Zimmertemperatur schädlich ist, doch ist das Insekt unter natürlichen Verhältnissen in seiner Entwicklung

niemals solchen Verhältnissen ausgesetzt. Die *Lophyrus pini*-Imagines können soviel Kälte ertragen, dass sie durch Spätfröste nicht getötet werden. Ein einstündiger Aufenthalt in —2° C Temperatur sowie ein Aufenthalt von 24 Stunden in +0—(—1)° C Temperatur vermochte die Wespen nicht zu töten.

Vorteilhaft für die finnischen Wälder ist, dass *Lophyrus pini* bei uns im Norden nur eine Generation im Jahre entwickelt und zwar im Spätsommer.

Abb. 9, S. 35 zeigt, wie die verschiedenen tierischen Feinde von *Lophyrus pini* den Kokon öffnen. Ein eigens zu diesem Zwecke gesammeltes Kokon-Material vom Schadengebiet ermöglichte eine statistische Untersuchung über die relative Bedeutung der tierischen Parasiten der Wespe. Beachtenswert ist, dass das Ausschlupfloch bei den Vertretern der Gruppe *Tachinidae* verschieden ist, je nachdem ob sich die Larve im Innern des *Lophyrus*-Kokons verpuppt oder ausserhalb desselben. Im ersteren Fall befindet sich an der Öffnung ein kalottenförmiger Deckel, der dem von der *Lophyrus*-Imago gemachten gleicht, aber kleiner und gewöhnlich breiter an der Öffnung befestigt ist. Im letzteren Fall hat die Öffnung keinen Deckel und gleicht der bei den Ichneumoniden, sie ist aber grösser und an den Rändern ungleichmässiger.

Auf Grund von Beobachtungen an ca. 4 500 Kokons, die zu verschiedenen Jahreszeiten gemacht wurden, lassen sich folgende Folgerungen für die Bedeutung der tierischen Schädlinge von *Lophyrus pini* im Schadengebiete ziehen:

1) Die grösste Bedeutung scheinen die Kleinnager (wahrscheinlich *Mus silvaticus* L.) zu haben: von Kokons, die am 18. VI. 1930 unter der Moosdecke gesammelt wurden, waren 71 % von diesen, von Kokons, die auf Waldpfaden gefunden wurden, dagegen nur 3 % geöffnet worden.

2) Auch die Bedeutung der Meisen ist recht bemerkenswert, obwohl sie viel geringer ist als die der Kleinnager: von Kokons, die am 18. VI. 1930 gesammelt wurden, waren höchstens 10 % von diesen geöffnet worden.

3) Da ein Teil der von den Kleinnagern und Meisen geöffneten Kokons von Parasiteninsekten in Besitz genommen war, lässt sich die Bedeutung der letzteren am sichersten auf Grund von Material, das im Winter 1930 gesammelt war, beurteilen. Die Beobachtungen zeigten, dass aus 13 % der Kokons sich Parasiten entwickelten. Eine absolut dominierende Rolle spielten die *Ichneumonidae*-Gruppe; die Bedeutung der *Tachinidae*-Gruppe scheint etwas grösser zu sein als die der *Chalcididae*-Gruppe.

## Beobachtungen über die Parasiteninsekten von Lophyrus pini.

(S. 37—41.)

Als Parasiten von *Lophyrus pini* wurden folgende Ichneumoniden angetroffen, die von Herrn Mag. phil. W. Hellén bestimmt wurden.

*Microcryptus subguttatus* Grav. Früher nicht in Finnland gefunden, aber der gewöhnlichste Parasit im Schadengebiet von Kuoppalampi.

*M. bazizonius* Grav. Gewöhnlich.

*Exenterus adspersus* Hart., *E. marginatorius* F. und *Pimpla arctica* Zett. weniger häufig.

*Hemiteles areator* Panz. Hyperparasit, Parasit von *Microcryptus basizonius*. Drei Ex. gefunden.

Ichneumoniden-Imagines wurden im Schadengebiet sehr reichlich Mitte Juni angetroffen. Die Beobachtungen deuten darauf hin, dass *Microcryptus subguttatus*, vielleicht auch einige andere Arten, als Imagines im gleichen Sommer in zwei Gruppen auftritt, nämlich im Anfang und zu Ende des Sommers. Von diesen Vorkommnissen fiel das letztere in den Schluss der Larvenzeit von *Lophyrus pini*, das erstere viel früher, nämlich in den Juni, d. h. in den Anfang der Larvenzeit der vorhergehenden Generation, wenn eine solche in Finnland auftritt. Da bei uns offenbar nur die Herbstgeneration vorkommt, müssen die im Frühjahr ausschlüpfenden Parasiteninsekten sich andere Wirtsinsekten suchen.

Der Umstand, dass von dem seit dem Herbst 1929 in Zimmertemperatur gehaltenen Kokonmaterial sich nur wenige *Lophyrus*-Imagines (0.7 % der Anzahl Kokons, die sich aus im Winter gesammeltem Material entwickelten) bildeten, während sich Ichneumoniden ziemlich reichlich entwickelten (48 % der entspr. Anzahl). deutet darauf hin, dass diese Parasitenwespe gegen Witterungseinflüsse weniger empfindlich ist als die Buschhornwespe.

Chalcididen entwickelten sich gewöhnlich in grosser Menge aus dem gleichen Kokon, so z. B. aus einem 9 mm langen Kokon 58 Wespen. Bisweilen war jedoch die Anzahl Wespen, die sich in einem Kokon entwickelt hatten, viel geringer, in einem Falle nur 2. Wenn die zuerst ausschlüpfende Parasitwespe eine Öffnung in die Wand des Kokons gemacht hatte und herausgekrochen war, folgten die anderen hintereinander nach. Aus einem Kokon schlüpften in 9 Minuten 12 Chalcididen-Imagines aus. Von den Individuen, die aus 6 Kokons ausgeschlüpft waren, waren 20 % Männchen. Die Paarung geschah gleich nach dem Ausschlüpfen. — Die Entwicklung der Chalcididen wurde durch Zimmertemperatur nicht beeinträchtigt.

Von den Tachiniden verpuppten sich einige Arten, wie erwähnt, innerhalb des *Lophyrus*-Kokons, andere dagegen ausserhalb desselben. Wenn im ersteren Falle die Raupe im Kokon den »Wirt» als Nahrung benutzt hat, nagt sie vor der Verpuppung den kalottenförmigen Teil des Kokons fast ganz los, das ausschlüpfende Insekt braucht danach nur den »Deckel» fortzuschieben. — Im zweiten Falle nagt die Larve ein ziemlich grosses Loch in die Spitze des Kokons, schlüpft heraus und verpuppt sich dann. Die oben angeführten Zahlen sowie die Tatsache, dass die in Zimmertemperatur entwickelten Tachiniden-Imagines ausnahmslos verschrumpft waren, deutet darauf hin, dass die Vertreter dieser Parasitengruppe empfindlicher gegen ungünstige Witterungsverhältnisse sind als die Parasiteninsekten. Die Tachiniden-Imagines treten im Schadengebiete besonders zahlreich Ende Juli auf.

## Die forstwirtschaftliche Bedeutung von Lophyrus pini.

(S. 41—43.)

Bis heute sind im Schadengebiet von Kuoppalampi auch an Stellen des Schädigungsgrades III. mit Ausnahme niedriger Unterwuchskiefern nur wenige Bäume eingegangen, und zwar solche, die auch sonst schwach und kleinwipfelig waren, so dass ein Teil von ihnen auch ohne Einwirkung des hier in Frage stehenden Schadeninsekts gestorben wäre. Am schlimmsten scheinen die Kiefern auf einer Schirmschlagsfläche gelitten zu haben. Von ihnen ist ein bedeutender Teil heute eingegangen.

Am 18. IX. 1931 untersuchte ich im Schadengebiet von Kuoppalampi den Durchmesser von 10 ca. 150-jährigen Kiefern, die im Sommer 1929 zum 3. Schädigungsgrade gehörten und im Sommer 1930 etwas angefressen waren. Zu diesem Zwecke nahm ich mit dem Zuwachsbohrer in Brusthöhe jedes zu untersuchenden Baumes in zwei senkrecht zueinander stehenden Richtungen Bohrspäne und mass an diesen den durchschnittlichen Durchmesserzuwachs jedes Baumes in Brusthöhe für die Jahre 1922—31. Die Ergebnisse sind in Tab. 5, S. 42 angegeben. Wir sehen, dass auch eine stärkere Beschädigung den Stärkezuwachs des Stammes nicht gehemmt hatte. Dieses Ergebnis stimmt mit den Untersuchungen von M i c k e überein und stützt die Behauptung von S c h w a r z, dass die Kiefer auch sehr starken Nadelverlust gegen Ende des Sommers durch eine intensivere Assimilation zu kompensieren vermag.

Die Untersuchungen des Verf. betr. den *Lophyrus pini*-Schaden stützen die früher schon geäusserte Ansicht, dass dieses Insekt selten grossen Schaden anzurichten vermag. Auf keinen Fall kann man es in seiner forstwirtschaftlichen Bedeutung mit den bekannten grossen Waldschädlingen wie der Nonne, der Forleule und dem Kiefernspanner vergleichen. Die direkte Schädlichkeit dieses Insekts, das in Finnland nur eine Herbstgeneration entwickelt, ist hier auch bei Massenauftreten geringer als in Deutschland. Verf. hat festgestellt, dass auch die fast kahl gefressenen mittelaltrigen und alten Kiefern fast ausnahmslos nach der Beschädigung sich wieder erholen und dass der Schaden jedenfalls nicht in bedeutenderem Masse den Durchmesserzuwachs hemmt.

Für Finnland wäre Arsenikbestäubung zu empfehlen ausser etwa bei Parkbäumen und bei Bäumen auf Schirmschlagflächen. Die »Bestäubung» einzelner Bäume dürfte keine grossen Kosten erfordern.

Wenn auch der direkte Schaden, den *Lophyrus pini* anrichtet, in Finnland selbst bei Massenauftreten verhältnismässig gering ist, so bedeutet natürlich doch der Verlust eines bedeutenden Teiles der Nadeln für den Baum eine zeitweilige Schwächung seiner Lebenskraft. Da solche erkrankten Bäume leichter als gesunde anderen gefährlicheren Schädlingen, vor allem dem Borkenkäfer, zum Opfer fallen, sind von *Lophyrus pini* befallene Bäume und Bestände auch dann, wenn festgestellt ist, dass sie durch dieses Schadeninsekt nicht getötet sind, sorgfältig im Auge zu behalten. So dürfte in gewissen Fällen das Auftreten von *Lophyrus pini* die indirekte Veranlassung von Hieben sein, die weiter aufzuschieben ein verhängnisvoller forst wirtschaftlicher Irrtum wäre.

# SUOMALAISEN MÄNNYN LUJUUS-OMINAISUUKSISTA

*MATTI JALAVA*

★

STRENGTH PROPERTIES OF FINNISH PINE
(PINUS SILVESTRIS)

SUMMARY IN ENGLISH

HELSINKI 1933

HELSINKI
VALTIONEUVOSTON KIRJAPAINO
1933

# Sisällys.


Sivu.

**Johdanto** ..... 7
**Puun ominaisuuksista yleensä** ..... 9
**Puun ominaisuuksien luokittelu** ..... 13
**Puun rakenne** ..... 19
Solunseinämän rakenne ..... 23
Kevät- ja kesäpuu ..... 24
**Puun fysikaaliset ominaisuudet** ..... 25
Puun paino ..... 25
Puun kosteuspitoisuus ..... 31
**Puun lujuus ja sen tutkiminen** ..... 33
Tutkimusten tarpeellisuus ja tarkoitus ..... 33
Puun lujuusominaisuudet ..... 41
Kimmoisuus ..... 41
Modulit ..... 42
Standardikokeet ..... 43
*Tasainen taivutus* ..... 49
*Iskutaivutus* ..... 50
*Puunsyiden suuntainen puristus* ..... 50
*Puunsyiden suuntaa vastaan kohtisuora puristus* ..... 52
*Kovuus* ..... 52
*Lohkaisu* ..... 54
*Halkaisu* ..... 55
*Puunsyiden suuntaa vastaan kohtisuora veto* ..... 55
*Puunsyiden suuntainen veto* ..... 56


## Suoritetut tutkimukset.


**Tutkimusaineisto** ..... 57
**Tutkimusten suorittaminen** ..... 63
Lujuuskokeet ..... 63
*Tasainen taivutus* ..... 64
*Puunsyiden suuntainen puristus* ..... 71
*Puunsyiden suuntaa vastaan kohtisuora puristus* ..... 76
*Kovuus* ..... 81
*Halkaisu* ..... 82
*Puunsyiden suuntaa vastaan kohtisuora veto* ..... 83
Fysikaalisia ja rakenteellisia ominaisuuksia koskevat tutkimukset .. 86
*Ominaispaino kokeen aikana ja puun ollessa absoluuttisen kuivana* 86
*Kosteuspitoisuus kokeen aikana* ..... 87
*Vuosilustojen paksuus* ..... 88
*Kesäpuuprosentti* ..... 88
*Pintapuuprosentti* ..... 90
*Kutistuminen* ..... 90

Sivu.

**Tulosten laskeminen ja käsittely** ..... 92
Kosteusreduktio ..... 92
Tutkimusyksikkö ja keskiarvot ..... 97
**Tutkimusten tulokset** ..... 99
Lujuusarvot ..... 99
Ominaispaino ..... 107
Kosteuspitoisuus ..... 108
Vuosilustojen paksuus ..... 109
Kesäpuuprosentti ..... 109
Kutistuminen ..... 110
**Eri tutkimusten tulosten vertailua** ..... 114
**Loppusanat** ..... 124
**Kirjallisuutta** ..... 126
**Summary in English** ..... 131

# Alkusanat.

Tämä julkaisu aloittaa sen Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen metsäteknologisen osaston tutkimusten sarjan, jonka päämääränä on suomalaisten puulajien ominaisuuksien selvittely.

Puun ominaisuuksista lujuusominaisuudet ovat ehkä tärkeimmät. Kun niiden tutkimiseen on tarpeen koekappaleiden valmistus- ja aineenkoetuskoneilla varustettu laboratorio, ei tällainen tutkimus Metsätieteellisessä tutkimuslaitoksessa nykyisin omin apuneuvoin olisi ollut mahdollinen. Teknillisen Korkeakoulun Puuteknillisen osaston vasta valmistuneessa laboratoriossa tarjottiin kuitenkin hyväntahtoisesti tilaisuus tutkimuksien suorittamiseen. Tämän johdosta on mieluisa velvollisuuteni esittää sekä edustamani laitoksen että omat kiitokseni Teknilliselle Korkeakoululle ja etenkin sen Puuteknillisen osaston esimiehelle professori Martti Levónille.

Suuresti kiitollisena on minun mainittava myös esimieheni professori Olli Heikinheimo, joka koko ajan on seurannut työtäni ja sen eri vaiheissa antanut minulle arvokkaita neuvoja sekä professori Ilmo Lassila, jonka asiantuntemusta olen saanut käyttää hyväkseni. Professori Yrjö Ilvessalo on myös lukenut käsikirjoituksen ja antanut oivallisia neuvoja, joista pyydän esittää parhaat kiitokseni. Kiitoksen ovat ansainneet myöskin apulaiseni, maisteri Tauno Hellevuo, tekniikan ylioppilas Väinö Sohlman ja lyseolainen Kivi Hellevuo, jotka ovat suorittaneet äärimmäistä tarkkuutta vaativat laboratoriotyöt sekä käyrien piirtämisen. Vaimoani Martta Jalavaa saan kiittää laskutöiden huolellisesta suorituksesta sekä avustuksesta oikoluvussa.

*Tekijä.*

# Johdanto.

Metsäteknologia sanan laajimmassa merkityksessä on sangen monipuolinen tieteen haara. Sehän käsittää kaiken sen mikä koskee puun tuntemista, sen ominaisuuksia, korjaamista, jalostamista ja käyttöä.

Vaikkakin puulla on erinomaisen tärkeä sija Suomen talouselämässä, on puuhun kohdistuva tutkimus viime aikoihin saakka jäänyt verraten syrjäytettyyn asemaan. Osaksi on tyydytty ulkomailla tehtyihin tutkimuksiin ja käytetty hyväksi niiden tuloksia, osaksi on turvauduttu käytännön ja kokemuksen antamiin tietoihin. Muualla saavutetut tulokset eivät kuitenkaan kaikissa tapauksissa ole sinänsä Suomen oloihin sovellettavia. Yksinomaan käytännössä kaikki seikat joko eivät selviä ollenkaan tai saadut tiedot ovat epätäydellisiä. Näin ollen Suomen oloja silmällä pitäen suoritetulla metsäteknologisella tutkimuksella on suuri työala edessään ja myöskin suuri merkitys, sillä se voi varmastikin antaa käytännölle hyviä ohjeita ja tarpeellista tukea.

Erillisiä, sinänsä hyvinkin arvokkaita metsäteknologisia tutkimuksia on tosin jo Suomessakin suoritettu, mutta alan laajuuden ja etenkin sen tärkeyden huomioon ottaen on tunnustettava, että tämän alan tutkiminen on jäänyt kovin vaatimattomaksi. Tälle asiain tilalle voidaan esittää useitakin selityksiä. Yleinen huomio ei ole kiinnittynyt tarpeeksi paljon metsäteknologisen tutkimuksen tarpeellisuuteen. Puun käyttöä ja sen jalostusta on pidetty Suomelle niin luonnollisena toimialana, että sen on katsottu voivan kehittyä edelleen omalla painollaan, ilman tieteellisen tutkimuksen tukea. Tutkimukset ovat luonteeltaan myös useimmiten niin laajoja ja suurtöisiä, että yksityiset tutkijat ja pienet laitokset eivät ole voineet niihin ryhtyä, eikä mitään suurempia, tarpeellisilla laitteilla ja käyttövaroilla varustettuja laitoksia ole ollut. Ja lopuksi ei ole ollut yhtenäistä työsuunnitelmaa eikä elintä, joka olisi toimittanut välttämättömän työnjaon eri tutkijain ja jo olemassa olevien asiaa harrastavien laitosten kesken.

Viime aikoina edellä kosketeltu kysymys on mennyt kuitenkin ilahduttavasti eteenpäin monessakin suhteessa. Helsingin Yliopistoon

on saatu metsäteknologian professuuri, samoin Teknilliseen Korkeakouluun puun mekaanisen teknologian professuuri sekä hyvin varustetut puun kemiallis- ja mekaanisteknilliset laboratoriot, Puutekniikan tutkimuksen kannatusyhdistys on aloittanut ponnekkaasti toimintansa ja Metsätieteelliseen tutkimuslaitokseen on perustettu metsäteknologinen osasto.

Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen metsäteknologisen osaston osalle on joutunut etupäässä se puuhun kohdistuva tutkimustyö, joka edellyttää toimintaa metsässä tai joka tutkimuksissaan tarvitsee apunaan muita metsätieteen haaroja.

Puun ominaisuuksien selvittely on metsäteknologisen tutkimuksen ensimmäisiä tehtäviä. Kun nämä ominaisuudet riippuvat hyvinkin ratkaisevassa määrässä niistä olosuhteista, joissa puu on kasvanut, ja niiden selvittely siis vaatii avukseen muitakin metsätieteitä, tuntuu luonnolliselta, että tämä tehtävä joutuu Metsätieteelliselle tutkimuslaitokselle, sitäkin suuremmalla syyllä, kun tehtävässä ei ole tyydyttävä ainoastaan tuloksien toteamiseen, vaan on myöskin selvitettävä, minkälaisissa olosuhteissa kyseelliset edullisimmat tulokset saavutetaan. On nim. havaittu, että puun ominaisuudet riippuvat useista seikoista, joista ainakin muutamiin ihminen voi toiminnallaan vaikuttaa. Kun nämä seikat tunnetaan, päästään siihen, että kasvatettavan puun eri ominaisuuksia voidaan määrätietoisesti kehittää. Tutkimusten tehtävä on siis, ei ainoastaan selvitellä minkälaista puuta missäkin olosuhteissa syntyy, vaan myöskin on saatava ratkaistuksi kysymys, miten metsiä on hoidettava niin, että niistä saadaan tiettyihin tarkoituksiin mahdollisimman sopivaa puuta.

Käsillä olevan tutkimuksen tarkoituksena on selvitellä männyn ominaisuuksia ja luoda perustaa vastaisellekin metsäteknologiselle tutkimukselle.

## Puun ominaisuuksista yleensä.

Puu on ollut kautta aikojen maailman yleisimmin käytettyjä ja monipuolisimpia tarveaineita.

Puun yleinen käyttö johtunee ensi sijassa siitä, että sitä on ollut jotenkin helposti saatavissa kaikkialla, missä ihmisiä on asunut. Ennen kuin kulttuuri oli päässyt vaikuttamaan maan kasvillisuuteen, suuri osa maapallon maa-alasta oli metsien peittämä, ja vaikka ihminen nykypäivinä onkin jo viljelmilleen ja asumuksilleen raivannut melkoiset metsäalat tai muuten hävittänyt metsiä, on vieläkin lähes $^1/_4$ maa-alasta, arktisia alueita lukuun ottamatta, metsien peitossa.

Useimpien muiden tarvikkeiden, kuten metallien, kivihiilen ja öljyn, varastoilla, joista toiset nykyisin ovat varsin suuret, on kuitenkin rajansa, ja ne loppuvat ennemmin tai myöhemmin. Puuta sitä vastoin voidaan kasvattaa aina käytetyn tilalle, ja mikäli ihmiset eivät valtaa viljelmilleen ja asuinsijoikseen maapallon koko maa-alaa, voidaan puuvarastoja pitää ehtymättöminä, edellyttäen, että uutta metsää hankitaan kaadetun tilalle. Metsällä on vielä lisäksi se harvinainen ominaisuus, että sitä useissa tapauksissa voidaan hankkia keinollisesti sinnekin, missä sitä luonnostaan ei ole koskaan ollutkaan tai mistä se aiemmin on jo tyystin kulutettu. Jollei jossakin maassa ole omia metsiä tai jollei niitä ole tarpeeksi, on liikenneneuvojen kehittyminen tehnyt mahdolliseksi puun kuljettamisen pitkienkin matkojen päähän.

Sen lisäksi, että puu on yleistä melkeinpä kaikkialla maapallolla, on sen käytäntöön ottamiseen jo varhaisina aikoina vaikuttanut myöskin sen esiintymistapa maan pinnalla hyvin näkyvissä ja helposti saavutettavissa olevilla paikoilla. Ainoastaan erinäiset muut kasvikunnan tuotteet, kuten ruo'ot, kaislat, heinät, lehdet ym., sekä kivet, savi, hiekka jne. ovat tässä suhteessa olleet yhtä edullisessa asemassa, ja siitä etupäässä johtuukin, että mainitut aineet ovat ensimmäisinä joutuneet ihmisen tarveaineina käytettäviksi.

Vaikka ihminen edelleenkin käyttää kaikkia edellä mainittuja aineita eri tarkoituksiin, on puu niistä kuitenkin saavuttanut suurim-

man, monipuolisimman ja yleisimmän käytännön. Tämä taas johtuu, edellä mainittujen seikkojen lisäksi, puun erinomaisen monipuolisista, edullisista teknillisistä ominaisuuksista.

Maailmassa on jo tunnettujakin puulajeja useita tuhansia, ja ne ovat teknillisiltä ominaisuuksiltaan hyvinkin erilaisia, mutta kaikilla niillä on joitakin yhteisiäkin ominaisuuksia, joista seuraavassa esitetään tärkeimmät jonkinlaisen yleiskuvan luomiseksi.

a) Puu on verraten kevyttä ja sangen lujaa painoonsa verraten.

Puun ominaispaino on keskimäärin 0.5:n vaiheilla (eräillä lehtipuilla tosin enemmän kuin 1.0). Raudan ja teräksen ominaispaino on 14—15 kertaa suurempi. Useassa suhteessa rauta ja teräs eivät kuitenkaan ole suhteellisesti lujempia kuin puu; niinpä usean suorasyisen, terveen ja kuivan puun taivutus- ja puristuslujuus on paljon suurempi kuin saman painoisen ja muotoisen rautakappaleen.

b) Puu on verraten helppoa käsitellä ja muokata.

Tästä puun ominaisuudesta johtuu mm., että puusta jo aivan alkeellisilla ja puutteellisillakin työkaluilla voidaan valmistaa kaikenlaisia tarve- ja työkaluja. Yhä vieläkin puu on varsinainen »jokamiehen» tarveaine erinäisiä esineitä valmistettaessa; sen muokkauksessa ei tarvita erikoisen suurta ammattitaitoa eikä erityisiä kalliita apuneuvoja, kuten esim. metallien käsittelyssä.

c) Puu on joustavaa ja sitkeätä.

Voimistelutelineissä, suksissa, airoissa, kirveen ja lapion varsissa, ajokaluissa ym. puu on etupäässä juuri näiden ominaisuuksiensa takia korvaamaton. Puun joustavuudesta johtuu myöskin se, että esim. puiset ratapölkyt ovat osoittautuneet toistaiseksi voittamattomiksi, niiden muista, tähän tarkoitukseen vähemmän soveliaista ominaisuuksista huolimatta. — Etupäässä puun joustavuudesta ja sitkeydestä johtuu vielä eräs sen hyvistä ominaisuuksista, nim. se, että puu ei »väsy» niin pian kuin metallit. Tällä väsymisellä tarkoitetaan sitä, että useat kiinteät aineet, ollessaan hyvin lyhyin väliajoin toistuvan, vaikkapa aivan heikonkin, voiman vaikutuksen, ns. tärinän alaisena, lopulta hajoavat. Niinpä rautatievaunujen akselit useinkin katkeilevat, vaikka ne kestäisivät moninkertaisen tasaisen tärinättömän painon. — Puun väsymättömyys on suuriarvoinen ominaisuus etenkin lentokoneita rakennettaessa. Täysmetallikoneita, jotka jo alkoivat tulla etualalle, on viime aikoina ruvettu hylkimään sen takia, että metalli väsyy pian ja aiheuttaa onnettomuuksia, ja tästä syystä lentokoneiden rakentamisessa on alettu siirtyä jälleen yhä enemmän puun käyttöön.

Samaan puun hyvien ominaisuuksien luokkaan kuuluu myöskin sen »varoituskyky»; ennen lopullista katkeamista tai murtumista

puu antaa varoitusmerkkejä, se rusahtelee, kun metallit, kivi, tiilet, betoni ym. sitä vastoin murtuvat yhtäkkiä ilman edellä käypiä enteitä tai merkkejä.

d) Puun rakenne (tekstuuri) on sangen kaunista ja vaihtelevaa. Sen väriasteikko on laaja, ja sitä on helppo keinollisestikin värjätä ja kiillottaa.

Osaksi jo aiemmin mainituista puun hyvistä ominaisuuksista, osaksi puun kauniista ja vaihtelevasta rakenteesta ja väristä johtuu sen suuri käyttö huonekaluteollisuudessa ja asuinhuoneiden sisustuksessa. Kun vielä eri puulajit vaihtelevat tässä suhteessa hyvinkin paljon, voi kussakin tapauksessa valita juuri sellaisen lajin, joka on sopivinta.

e) Puu on kuivana ollessaan huono lämmön ja sähkön johtaja.

Puun huono lämmönjohtokyky on varsin arvokas ominaisuus etenkin huonerakennuksissa. Samaa voidaan sanoa myöskin sähkönjohtokyvystä.

Puun äänenjohtokyvystä on esitetty hyvinkin eriäviä mielipiteitä: milloin sitä sanotaan erittäin hyväksi, milloin huonoksi. Tämä mielipiteiden eroavaisuus johtuu, paitsi siitä, että puun äänenjohtokykyä on tutkittu verraten vähän, myöskin siitä, että se usein sekoitetaan puun resonoimiskykyyn, joka on aivan eri asia ja johtuu etupäässä puun kimmoisuudesta.

f) Lämmön vaihtelun aiheuttamat puun koon muutokset ovat verraten pienet.

Kun viime vuosisadan loppupuolella rauta- ja rautabetonirakenteet tulivat käytäntöön, luultiin yleisesti, että puuta lakataan käyttämästä useihin rakennustarkoituksiin, mm. sen tulenarkuuden tähden. Sittemmin on kuitenkin huomattu, että vaikka raudalla ja teräksellä onkin huomattava etu tässä suhteessa, niillä toiselta puolen on omat haittansakin tulipalojen sattuessa. Rauta paisuu lämmön vaikutuksesta n. 7 kertaa enemmän kuin esim. kuusipuu päittäin, ja jo sellainen lämpötilan kohoaminen, joka tuskin kykenisi sytyttämään puuta tuleen, voi venyttää rautapilareita ja kannatuspalkkeja niin paljon, että rakennus rikkoutuu korjauskelpaamattomaksi. Ruotsin aineenkoetuslaitoksen suorittamissa tutkimuksissa on tultu siihen omituiselta kuulostavaan tulokseen, että useissa tulipalotapauksissa vahingot olisivat olleet paljon pienemmät, jos rautaisten kannatuspalkkien asemesta olisi ollut puiset pelkat.

Edellä on mainittu muutamia puun ominaisuuksia, joita yleensä pidetään hyvinä, puun arvoa kohottavina. Jokin ominaisuus ei silti kuitenkaan aina ja joka tarkoitukseen ole edullinen. Joustavuus esim. on hyvä suksipuissa, mutta ei suinkaan lattianniskasessa,

helppo palavuus on hyvä polttopuissa, mutta ei rakennuspuissa. Käyttömuotojen kokonaisuutta silmällä pitäen voidaan puun ominaisuuksista mainita kuitenkin muutamia, joita yleensä pidetään epäedullisina. Näistä ovat huomattavimmat seuraavat:

a) Puu on eräissä olosuhteissa verraten kestämätöntä (lyhytikäistä).

Etenkin kosteassa tai sellaisessa paikassa, missä kosteustila vaihtelee, useat puulajit tuhoutuvat, lahoavat hyvinkin lyhyessä ajassa. Kuivassa paikassa tai veteen upotettuna puu kyllä kestää melkeinpä rajattomasti. Egyptin pyramiideista esim. on löydetty aivan hyvin säilyneitä puuesineitä, joiden ikä on siis useita tuhansia vuosia, samoin lämmitetyissä tai muuten kuivissa asuinhuoneissa puu säilyy kauan, mutta kun tällaisia olosuhteita on sangen harvoin, on puuesineiden ja -rakenteiden ikä verraten suppea. Tämän epäkohdan poistamiseksi on kyllä keksitty useitakin keinoja — impregnointi, tervaaminen, maalaaminen, suojelu kosteudelta ym. —, joiden avulla puun kestävyysikää on voitu huomattavasti pidentää, ja kun vielä eräät puulajit ovat luonnostaankin verraten kestäviä, voidaan vaaranalaisimpiin paikkoihin ja käyttömuotoihin valita myös kestävämpiä puulajeja.

b) Puu on tulenarkaa, varsinkin kuivana.

Tulenarkuus on sellainen vika puussa, että sitä ei toistaiseksi ole aivan pätevällä ja kylliksi halvalla tavalla voitu poistaa, mutta sen haitalliset vaikutukset esim. rakennuksissa on huolellisen eristyksen avulla saatu aivan tyydyttävässä määrässä vältetyksi.

c) Puu on heikkoa kulumista vastaan.

Kaikissa kulumiselle alttiissa paikoissa, kuten lattioissa, rappuaskelmissa ym. tämä vika on tosin haitallinen, mutta verraten harvoissa puun käyttömuodoissa se sentään tulee kysymykseen.

d) Puu kutistuu kuivuessaan ja paisuu kostuessaan.

Tämä on puun lyhytikäisyyden jälkeen useimmissa tapauksissa sen haitallisin ominaisuus. Sen haitallisuutta lisää vielä sen säännöttömyys ja vaihtelevaisuus sekä se seikka, että tämä ominaisuus ilmenee puussa jatkuvasti. Hyvinkin valmistettu ja kuivattu puu muuttelee kokoaan ja muotoaankin aina kosteuspitoisuuden mukaan.

## Puun ominaisuuksien luokittelu.

Edellä esitetystä havaittiin, että puulla on erinomaisen moninaisia ominaisuuksia. Se, että nämä ominaisuudet vaihtelevat vielä huomattavasti eri puulajeilla, puuyksilöillä, jopa saman rungon eri osissakin, tekee puun ominaisuudet vieläkin moninaisemmiksi. Jos mieli näin moninaisia aiheita systemaattisesti tutkia, on ne ensin luokiteltava ja järjestettävä jonkin määrätyn periaatteen mukaan laadituksi järjestelmäksi.

Varhaisemmissa puun ominaisuuksia käsittelevissä teoksissa ei huomaa mitään erityistä järjestelmää, vaan puun ominaisuuksista tehtiin selkoa toisesta toisen jälkeen, ryhmittelemättä niitä eri luokkiin ja alaluokkiin. Myös käsiteltyjen puun ominaisuuksien lukumäärä ja laatu vaihtelivat. Duhamel du Monceau esitti teoksessaan seitsemän ominaisuutta, nim.: 1) puun hygroskooppisuus, 2) puun uppoaminen, 3) kuivan puun vedenotto ilmasta, 4) puun tiheys eli tiiviys, 5) puun kovuus, 6) puun halkeavaisuus ja 7) puun lujuus. Nördlingerin käsittelemäin ominaisuuksien lukumäärä oli taas 17, nim.: 1) puun anatominen rakenne, 2) puun hienosyisyys, 3) puun väri, 4) puun haju, 5) puun lämmönjohtokyky, 6) puun kyky imeä ja haihduttaa vettä ja vesihöyryä, 7) puun ominaispaino l. tiheys, 8) puun kovuus, 9) puun halkeavaisuus, 10) puun kutistuminen, paisuminen ja kieroileminen, 11) puun kimmoisuus (elastisuus), 12) puun notkeus ja sitkeys, 13) puun lujuus, 14) puun kemiallinen kokoomus, 15) puun polttoarvo, 16) puun kestävyys ja 17) puun virheellisyydet l. viat.

Ensiksi mainitun teoksen erinomaisista ansioista huolimatta puun ominaisuuksien luettelo ja jaoittelu on siinä vielä tosin epätäydellinen, mutta ottaen huomioon sen aikaiset tutkimusmenetelmät ja -välineet, Duhamel du Monceaun saavutuksia on pidettävä suurenmoisina. Nördlingerin laatima puun ominaisuuksien luettelo on jo paljon täydellisempi, mutta siinäkään ei ole otettu huomioon eri ominaisuuksien riippuvaisuutta toisistaan eikä niitä ole sen mukaan ryhmitelty, vaan eri ominaisuudet on lueteltu ja käsitelty jotenkin mielivaltaisessa epäjärjestyksessä. Myöskin tuntuu aiheettomalta erottaa hienosyisyys (Feinheit) erilleen puun

anatomisesta rakenteesta, sillä edellinenhän on niin kiinteässä yhteydessä jälkimmäiseen ominaisuuteen, että niiden välistä rajaa on vaikea asettaa.

Kunnia puun ominaisuuksien jonkinlaisesta systemaattisesta ryhmittämisestä tulee Exnerille. Hän kuitenkin luokitteli vain puun »teknilliset» ominaisuudet ja jätti muut ominaisuudet luokittelustaan pois. Niin hyvä kuin hänen luokittelunsa muuten onkin, on tuossa kahtiajaossa kuitenkin tapahtunut ilmeinen erehdys. Teknillisten ominaisuuksien ulkopuolelle on nim. jätetty mm. puun kemiallinen kokoomus (Chemie des Holzes) ja puun rakenne (Bau des Holzes). Jos puun teknillisiin ominaisuuksiin luetaan kaikki ne ominaisuudet, jotka jotakin vaikuttavat puun käyttökelpoisuuteen erilaisiin teknillisiin tarkoituksiin, on puun kemiallinen kokoomus jos mikään puun teknillisiin ominaisuuksiin kuuluva eikä puun sisäinen rakennekaan liene teknillistä merkitystä vailla, joskin voidaan selittää, että sen vaikutus on välillinen.

Alkuaan Exnerin laatima, sittemmin Jankan (Weber 1925, II ss. 359—460) muodostelema ja täydentämä puun teknillisten ominaisuuksien luokittelu on seuraava:

I Ulkoiset ominaisuudet.
Ominaisuudet, jotka voidaan havaita näkö-, haju- tai tuntoaistimilla.
1 Väri.
2 Kiilto.
3 Hienous.
4 Tekstuuri.
5 Haju.

II Aineellista tilaa osoittavat ominaisuudet.
1 Ominaispaino.
2 Kosteuspitoisuus.
3 Kosteuspitoisuuden vaihtelu.
4 Tilavuuden vaihtelu ja sen seuraukset.

III Suhtautuminen ulkoapäin vaikuttaviin voimiin eli mekaanisteknilliset ominaisuudet.
A Muodon muutokset, jotka eivät aiheuta puuaineen hajaantumista.
1 Kimmoisuus.
2 Taipuisuus.
3 Sitkeys.

B Muodon muutokset, jotka aiheuttavat puuaineen hajaantumisen.
1 Vetolujuus .
2 Halkeavaisuus.
3 Kovuus.
4 Kuluvaisuus.

IV Kestävyys (pitkäikäisyys, Dauerhaftigkeit).
1 Ilmaston vaikutuksia vastaan.
2 Kasvien, etupäässä sienien hävitystä vastaan.
3 Eläimien turmelevaa vaikutusta vastaan.
4 Mekaanista hankautumista, kulumista vastaan.

V Viat, vioittumat ja sairaalloisuudet.

Tämä viides pääryhmä on vielä jaettu useaksi alaryhmäksi sen mukaan, mistä viat, vioittumat ja sairaalloisuudet ovat johtuneet.

Amerikkalainen K o e h l e r (1924) on myöskin laatinut oman järjestelmänsä, jonka mukaan puun teknilliset ominaisuudet on jaettu seuraaviin ryhmiin:

I Puun fysikaaliset ominaisuudet.
1 Puun paino.
2 Puun kosteuspitoisuus ja sen vaihtelut.
3 Puun kutistuminen ja laajeneminen.
4 Puun kokoon-lysähtäminen (collapse).
5 Puun lämmön- ja sähkönjohtokyky.
6 Puun ominaislämpö ja lämmön aiheuttama laajeneminen.
7 Puun resonoimiskyky (the sound-produsing qualities of wood).
8 Puun haju ja maku.
9 Puun väri.

II Puun mekaaniset l. lujuus-ominaisuudet.
1 Puristuslujuus.
2 Vetolujuus.
3 Lohkaisulujuus (shearing strength).
4 Taivutuslujuus.
5 Jäykkyys.
6 Sitkeys l. iskujen vastustuskyky (toughness or shock-resisting ability).
7 Kovuus.
8 Halkeavaisuus.
9 Plastillisuus.

III Puun kemialliset ominaisuudet.

1 Puun kemiallinen kokoomus.
2 Puun palavuus (combustibility).
3 Puun polttoarvo.
4 Puun kaasuuntuminen.
5 Puun paperinraaka-aineen-ominaisuudet.
6 Puun kuivatislausominaisuudet.

Fysikaaliset ominaisuudet Koehler määrittelee seuraavasti: fysikaalisia ovat sellaiset aineen ominaisuudet, joiden ilmeneminen ei edellytä kemiallisia muutoksia aineessa.

Mekaanisille ominaisuuksille Koehler antaa seuraavan määritelmän: mekaanisia ovat ne aineen ominaisuudet, jotka vastustavat ulkonaisia, aineen kokoa tai muotoa muuttamaan pyrkiviä voimia; ja kemiallisille ominaisuuksille seuraavan: kemiallisia ovat ne puun ominaisuudet, jotka ilmenevät muutoksina puun aineen kokoomuksessa tai muutosten vastustamisena silloin, kuin puu joutuu yhteyteen toisten aineiden kanssa tai erilaisten energiamuotojen, kuten lämmön, sähkön, valon ja paineen, alaiseksi.

Näiden määritelmien mukaan Koehlerin edellä esitetty ominaisuuksien ryhmittely on paikallaan, joskin siitä puuttuu useita ominaisuuksia, joita on pidettävä teknillisinä.

Aiemmin esitetystä Nördlingerin laatimasta puun ominaisuuksien luettelosta havaitaan, että siinä on ensimmäisenä puun anatominen rakenne. Exner—Jankan luettelossa on ulkoisten ominaisuuksien joukossa mainittu puun hienous ja tekstuuri, Koehlerin luettelossa ei ole mitään, mikä koskisi suorastaan puun rakennetta. Kun voidaan olla hyvin eri mieltä, kuuluuko puun rakenne sen teknillisiin ominaisuuksiin, on asiaa tarkasteltava vähän yksityiskohtaisemmin.

Exner (1925, s. 359) esittää kirjoituksessaan mm. seuraavaa:

»Olemme sitä mieltä, että oikeassa ovat ne, jotka puussa tapahtuvan elintoiminnan välittömänä tuloksena luovuttavat kasvianatomeille ja -fysiologeille tutkittavaksi puun rakenteen ja puun kemian ja sen sijaan ottavat käsitelläkseen puun ominaisuudet seikkoina, jotka riippuvat puuaineen kokoonpanosta ja välillisesti niistä olosuhteista, joissa puu on kasvanut.

Raja puun rakenteen (Bau des Holzes) ja puuaineen kokoonpanon (Zusammensetzung des Holzkörpers) välillä lienee jonkin verran epävarma. Näin ollen on myöskin vaikea rajoittaa, mitkä seikat puun rakenteessa kuuluvat yksinomaan kasvianatomille ja -fysiologille, mitkä taas kiinnostavat myöskin teknologia.

Puun teknillisten ominaisuuksien tutkimuksessa syiden ja seurausten keskinäistä suhdetta on kuitenkin seurattava alkusyihin saakka ja silloin kasvianatomin, -fysiologin ja -biologin tehtäviä ei voi jättää kokonaan puuteknologin tutkimusalan ulkopuolelle. Jos näin tehtäisiin, jäisi kysymys »miksi, minkä johdosta» useimpain puun teknillisten ominaisuuksien suhteen vastausta vaille. Päädyttäisiin ainoastaan toteamaan, että puun ominaisuudet ovat hyvin moninaiset ja vaihtelevat, »oikulliset».

Yhtä vähän kuin puun anatomista rakennetta voidaan sivuuttaa teknillisten ominaisuuksien tutkimuksessa, yhtä vähän voidaan myöskään sen kemiallista rakennetta jättää huomioon ottamatta. Tämän seikan kiistattomuutta lienee tarpeetonta perustella.

Puun kaikkia teknillisiä ominaisuuksia on sangen vaikea ryhmitellä, sillä useimmat niistä eivät ole tarkoin määriteltäviä ja rajoitettavia, vaan ne ovat tavallisesti niin paljon useista eri seikoista samanaikaisesti riippuvia, että voi olla hyvinkin mielivaltaista, mihin ryhmään mikin ominaisuus luetaan. Seuraavassa esitetään kuitenkin jonkinlainen jaoitus.

I Puun kemialliset ominaisuudet.
- 1 Puun kemiallinen kokoomus.
  - a) Varsinaisen puuaineen kokoomus.
  - b) Puussa olevat lisäaineet.
- 2 Puun kemiallinen tehoisuus.
  - a) Puun palavuus.
  - b) Puun suhtautuminen kemiallisten aineiden vaikutuksiin.
  - c) Puun suhtautuminen lämpöön.
  - d) Puun suhtautuminen ilmaston vaihteluihin.
  - e) Puun suhtautuminen sienien, bakteerien ym. vaikutuksiin.

II Puun fysikaaliset ominaisuudet.
- 1 Ominaispaino.
- 2 Väri, haju ja maku.
- 3 Nesteidenimemiskyky (hygroskopia).
  - a) Nestepitoisuuden vaihtelut ja niistä johtuvat ilmiöt (kutistuminen, paisuminen, kieroileminen).
  - b) Kaasujen absorboimiskyky (okkluusio).
- 4 Sähkönjohtokyky.
  Eristysvakio.
- 5 Lämmönjohtokyky.
  - a) Lämpölaajeneminen.
  - b) Ominaislämpö.

6 Äänenjohtokyky.
Resonoimiskyky.
7 Säteilynsuojaamiskyky.
Röntgen-, elektroni-, valo-, ultravioletti-, lämpösäteitä vastaan.
8 Puun hienostruktuuri.

III Puun rakenteelliset ominaisuudet.
1 Solujen suuruus, niiden keskinäinen asema ja järjestely.
a) Vuosilustojen paksuus.
b) Kevät- ja kesäpuun suhteellinen runsaus.
c) Kuidunpituus.
d) Hienosyisyys.
2 Rakenteelliset viat.

IV Puun lujuusominaisuudet.[1])
1 Puristuslujuus.
a) Syiden suuntaan.
b) Kohtisuoraan syiden suuntaa vastaan.
2 Vetolujuus.
a) Syiden suuntaan.
b) Kohtisuoraan syiden suuntaa vastaan.
3 Lohkaisulujuus.
4 Taivutuslujuus.
5 Jäykkyys.
6 Sitkeys.
7 Vääntölujuus.
8 Kovuus.
9 Halkeavaisuus.
10 Plastillisuus.
11 Kuluvaisuus.
12 Väsyminen.

Seuraavassa käsitellään pääasiassa puun lujuusominaisuuksia, mutta kuten edellä jo on mainittu, nämä ovat siksi läheisessä syyyhteydessä eräiden puun fysikaalisten ja rakenneominaisuuksien kanssa, että jälkimmäisiäkään ei voi jättää huomioon ottamatta.

[1]) Tässä ja seuraavassa käytetään nimitystä »lujuusominaisuudet» aiemmin yleisesti käytetyn nimityksen »mekaanis-teknilliset ominaisuudet» asemesta.

## Puun rakenne.

Puumaisten kasvien (puiden ja pensaiden) maanpäällinen osa ei kuole kasvukauden lopussa, vaan se säilyy ja jatkaa kasvamistaan seuraavana kasvukautena. Pituuskasvu tapahtuu edellisen kasvukauden lopussa tavallisimmin entisten versojen kärkiin muodostuneiden silmujen avulla, paksuuskasvu taas siten, että erityinen solukkokerros, kambium, muodostaa joka kasvukausi entisen puutuneen runko-osan pinnalle uuden puukerroksen ja se samalla muodostaa ulkopuolelleen, pintaan päin, uuden kuorikerroksen.

Koska tämä kambium-kerroksen aikaansaama ns. sekundäärinen solukko vähitellen muuttuu itse puuaineeksi, on syytä tarkastaa sen muodostumista ja siitä johtuvaa puun paksuuskasvua lähemmin.

Kambium on puun poikkileikkauspinnassa renkaan muotoinen kerros varsinaisen puun ja kuoren välissä. Sen muodostavat elävät, puun pituussuunnassa verraten pitkät, puun pinnan suunnassa leveät ja puun poikkileikkauspinnassa säteen suunnassa ohuet solut. Kasvukauden alussa, kun kasvin elintoiminta alkaa, kambiumsolut alkavat jakaantua etupäässä tangentin suuntaisilla väliseinillä — puun kasvaessa paksuudeltaan ja pituudeltaan tapahtuu aina silloin tällöin säteen sekä puun pituuden poikittaissuuntaisiakin jakaantumisia. Tarkasteltaessa ainoastaan tangentin suuntaisia jakaantumisia, kambiumin ulkopuolelle jakaantumisessa syntyneet solut muodostavat ns. nilakerroksen, josta vähitellen muodostuu uutta kuori-(korkki-) kerrosta vanhan kuoren alle. Kambium-kerroksen sisäpuolelle syntyneet uudet solut muodostavat vuorostaan itse puuaineen rakennusosat, jäljempänä selitettävät solut. Kambiumsolujen jakaantuessa muodostuneista uusista soluista aina yksi solukerros säilyttää puu- ja nilakerroksen välissä alkuperäisen kambiumsolun luonteen. Jakaantumista tapahtuu siis ainoastaan yhdessä solukerroksessa; puu- ja nilakerroksen solut eivät enää jakaannu, ne vain kasvavat ja muuttavat muotoaan niin kauan kuin ne vielä ovat ohutseinäisiä, muuttuakseen pian eri tarkoituksia vastaaviksi puun ja kuoren soluiksi ja solukoiksi.

Jos puulla on erityiset kasvu- ja lepokautensa eri vuodenaikoina esiintyvien kasvuedellytysten vaihtelujen johdosta, kehittyvät jälsikerroksen solut kasvukauden loppuun mennessä lopulliseen muotoonsa ja muodostavat uuden, enemmän tai vähemmän selvästi erottuvan samakeskeisen puukerroksen entisten pinnalle.

Tarkasteltaessa näin muodostuneita puukerrostumia, siis varsinaista puuta, rungon poikittaisessa leikkauksessa, voidaan useiden puulajien puun rakenteessa jo paljaalla silmälläkin havaita selviä eroavaisuuksia. Silmiinpistävimpänä omituisuutena ovat useimmiten edellä mainitut kasvutavasta johtuvat, samakeskeiset kerrokset, vuosilustot l. vuosirenkaat.[1]) Kunkin luston sisempi, kasvukauden alussa syntynyt osa, kevätpuu, on tavallisesti vaaleampaa väriltään ja hohkaisempaa kuin myöhemmällä kasvukaudella syntynyt osa, kesäpuu, joka yleensä on tummempaa väriltään, tiivistä ja kovaa. Useissa lehtipuissa kuten tammessa, saarnissa, hikkorissa ym. havaitaan poikkileikkauspinnassa, etenkin kevätpuussa, vielä suhteellisen suurionteloisia putkiloita, joko säännöllisinä riveinä kevätpuun sisäreunalla, kuten saarnissa ja hikkorissa, tai hajallaan pitkin kevätpuuta, osaksi kesäpuussakin.

Kevät- ja kesäpuun välinen raja on muutamilla puulajeilla, etenkin havupuilla, verraten jyrkkä, muutamilla puulajeilla taas kevätpuu muuttuu kesäpuuksi vähitellen, ilman selvää rajaa. Samoin kesäpuun ja seuraavan kasvukauden kevätpuun raja on joko aivan jyrkkä (useimmilla havupuilla) tai enemmän tai vähemmän epäselvä.

Poikkileikkauspinnassa voi usein vielä paljaalla silmälläkin havaita säteittäisiä viivoja, ydinsäteitä, jotka puun säteen suuntaisessa leikkauksessa näkyvät laajahkoina pintoina (esim. tammessa), kapeina juovina tahi täplinä.

Paljaalla silmällä havaittavista puun rakenteen ominaisuuksista voidaan edellä puheena olleiden lisäksi mainita vielä se, että useilla puulajeilla on rungon keskiosa tummempaa, ns. sydänpuuta, poikki-

[1]) Näitä kerroksia nimitetään *vuosilustoiksi* sen tähden, että tavallisimmin yksi tällainen kerros syntyy yhdessä vuodessa, esim. sellaisilla seuduilla, missä talvi ja kesä säännöllisesti vuorottelevat ja kasveilla on siis selvä kasvu- ja lepokausi. Sellaisilla seuduilla, joissa vuodessa on esim. kaksi sadekautta ja kaksi kuivaa kautta, muodostuu puihin myöskin kaksi »vuosi»-rengasta vuodessa, samoin voi satunnaisista syistä samallakin kasvukaudella muodostua kaksi rengasta, jos puun kasvu välillä keskeytyy, jos esim. hyönteiset, myrsky tms. tuhoavat puulta lehdet ja uudet lehdet ehtivät syntyä ja kasvu pääsee uudelleen alkuun vielä samalla kasvukaudella. Näin satunnaisista syistä muodostunutta lisärengasta nimitetään »valelustoksi».

leikkauspinnan reunassa on taas milloin leveämpi, milloin kapeampi rengas vaaleampaa pintapuuta. Pinta- ja sydänpuun raja on tavallisesti jotenkin jyrkkä, mutta se ei kulje tarkasti pitkin vuosilustoja, vaan on epäsäännöllisempi.

Jo edellä mainittujen paljaalla silmällä havaittavien ominaisuuksien perusteella voi useassa tapauksessa päätellä, minkä puulajin puusta kulloinkin on kysymys, mutta puun sisäisen rakenteen tarkempaa tuntemista varten on puuta tarkastettava voimakkaina suurennuksina.

Puusolut vaihtelevat muotonsa ja tarkoituksensa mukaan. Viimeksi mainitussa suhteessa solut voidaan jakaa seuraavaan kolmeen pääryhmään, joskaan niiden välinen raja ei aina ole jyrkkä.

1) Solut, joiden tarkoituksena on säilyttää puun ravintoaineita tai toimia apuna niiden kuljetuksessa.

2) Solut, joiden tarkoituksena on välittää veden ja siihen liuenneiden ravintoaineiden kuljetusta.

3) Solut, joiden tarkoituksena on vain mekaanisesti vahvistaa eri solujen muodostamia kudoksia ja koko puuta. — Muutamilla puulajeilla (havupuilla) toisen ja kolmannen ryhmän tehtävät ovat samoilla soluilla.

Eri tarkoituksia täyttävien solujen ulkonainen muotokin on tavallisesti erilainen.

Ensimmäisen ryhmän solut, ns. parenkyymisolut eli puuntylppysolut, ovat yleensä verraten lyhyitä, kuutio- tai prismamaisia muodoltaan. Tylppysolut ovat tavallisesti eläviä, ne sisältävät siis elävää solulimaa, protoplasmaa, ja puun elontoiminta tapahtuu näiden solujen avulla. Aiemmin mainittu kambium-kerros on muodostunut tämän muotoisista soluista. Ydinsäteiden soluista suurin osa pysyy edelleenkin tylppysoluina ja myöskin puun keskuksessa oleva ydin on sellaisten solujen muodostama, mutta näiden ulkopuolella, itse puuaineen sisässä, tylppysolut ovat verraten vähälukuisia; niitä tavataan siellä täällä erillisinä ryhminä lehtipuiden puussa sekä havupuiden pihkatiehyeiden ympärillä, jossa niiden tehtävänä on pihkan muodostaminen.

Ydinsäteet kuljettavat puun ravintoaineita ja vettä sisemmälle puuhun sekä päinvastaiseen suuntaan, puun sisältä pintaan päin. Tästä johtuukin, että ne ovat asettuneet puun rungon pituussuuntaa vastaan kohtisuoraan asentoon. Ne sijaitsevat säteittäin puun sydämestä pintaan päin, ainoina puun osina, jotka ovat tällaisessa poikittaisessa suunnassa. Vanhimmat, primääriset ydinsäteet ulottuvat puun ytimestä kuoren pintaosaan saakka, myöhemmin

syntyneet, sekundääriset ydinsäteet ulottuvat siitä vuosilustosta, jonka syntyessä ne itsekin ovat saaneet alkunsa, kuoren vastaavaan kerrokseen. Ydinsäteet ovat syrjälleen asettuneita (pystyssä puussa), joko yhden tai useamman solukerroksen vahvuisia levyjä. Niiden koko on eri puulajeilla, toisinaan samallakin puulajilla, hyvin erilainen. Tammella esim. ydinsäteet ovat hyvin suuret, puun poikkileikkauksessa ne näkyvät selvinä juovina, sädeleikkauksessa leveinä, jopa 10 sm:n levyisinä laikkoina. Useilla muillakin lehtipuilla ne ovat paljain silmin selvästi havaittavissa. Havupuiden ydinsäteet ovat sitä vastoin tavallisesti aivan pieniä, tavallisella kuusella ja männyllä esim. n. 0.02 mm:n vahvuisia, n. 0.5 mm:n levyisiä. Niiden pituus vaihtelee, kuten edellä selostettiin, sen mukaan, milloin ne ovat syntyneet. — Amerikkalaisen keltamännyn tangenttileikkauksessa esim. on n. 2 500 ydinsädettä neliösenttimetrillä.

Kuten mainittiin, ydinsäteet ovat tavallisimmin muodostuneet tylppysoluista. Muutamien havupuiden, etenkin mäntylajien, ydinsädelevyjen reunoilla, ylä- ja alalaidassa, on kuitenkin muunlaisiakin, seuraavassa lähemmin kuvattavia trakeidisoluja.

Veden kuljetusta välittävät solut ovat yleensä paljon pitempiä kuin tylppysolut, muodoltaan käämimäisiä. Niiden seinät ovat aina enemmän tai vähemmän vahventuneet tai niissä on rengasmaisia tai spiraalimaisia vahvennuksia. Solut ovat kuolleita, ja ne sisältävät — lukuun ottamatta joskus tavattavia soluliman jätteitä — säännöllisesti vain ilmaa ja vettä.

Näitä vedenkuljettaja-soluja voidaan erottaa kahta päälajia. Toiset, ns. vesisolut, trakeidit, ovat tavallisimmin 4—9 mm pitkiä, läpimitaltaan ainoastaan 0.015—0.030 mm:n vahvuisia soluja, joiden seinämät ovat suhteellisen paksut ja puutuneet, ligniiniä sisältävät. Trakeidit ovat kummastakin päästään umpinaisia. Jotta vesi voisi kulkea niitä pitkin solusta toiseen, on niiden seinämissä erilaisia ohennuksia. Havupuille ominaisia ovat ns. rengashuokoset. Näitä huokosia on kuitenkin tavallisesti vain puun rungon säteen suuntaisissa solunseinissä[1]). Tämän takia veden liikunta voi tapahtua naapurisolusta toiseen ainoastaan puunrungon tangentin suuntaan ja täten siirtyen limittäin olevista soluista toisesta toiseen myöskin pystysuorassa suunnassa, mutta vaakasuorassa suunnassa ytimestä pintaan päin vesi ei pääse trakeidien avulla kulkemaan. Tämän kuljetustehtävän suorittavat ydinsäteet.

[1]) Lehtipuiden trakeidisoluissa on kuitenkin rengashuokosia joka puolella, samoin sellaisten havupuiden trakeideissa, joiden ydinsäteissä ei ole trakeidisoluja, vaan ainoastaan tylppysoluja.

Toisen lajin vettä kuljettavia soluja muodostavat ns. putkilot. Ne ovat muodostuneet useista päittäin päällekkäin olevista, lieriömäisistä soluista, joiden päätyseinät ovat joko täydellisesti tai osittain hävinneet, joten tällaiset solurivit muodostavat yhtenäisen pitkän putken. Nämä putkilot vaihtelevat niin pituudeltaan kuin läpileikkaukseltaankin suuresti. Ne voivat olla useita senttimetrejä, jopa muutamia metrejäkin pitkät ja niin paksut, että ne helposti voi huomata paljaalla silmällä, kuten tammessa, saarnissa, hikkorissa ym. Toisinaan putkilot ovat kuitenkin verraten ohuita, paljain silmin näkymättömiä, aina 0.02 mm:iin saakka.

Putkilon muodostavien solujen sivuseinissä on tavallisesti spiraalimaiset, verkkomaiset tai rengasmaiset vahvikkeet ja niissä on runsaasti huokosia veden siirtymistä varten.

Puun vahvikesolukon muodostava kolmas solujen pääryhmä käsittää neulamaiset suippusolut, puusyyt l. libriform-solut (prosenkymaattiset solut). Ne ovat vahvaseinäisiä, pitkiä soluja, joissa on pieniä, suhteellisen harvoja rakomaisia, joskus rengashuokosia. Niiden pituus vaihtelee 0.3 ja 1.3 mm:n välillä, paksuus on aivan pieni, vielä pienempi kuin trakeideilla. Seinien paksuntumisen johdosta solunontelo on aivan pieni, kapea rako. Nämä solut mahdollisesti auttavat jonkin verran veden kuljetuksessa puun sisässä, mutta niiden pääasiallisena tarkoituksena on puun mekaaninen tukeminen.

## Solunseinämän rakenne.

Puun mekaanisiin ominaisuuksiin vaikuttaa solunseinämän suhteellisen vahvuuden lisäksi myöskin sen sisäinen rakenne.

Käsiteltyään puusolua erilaisilla liuottimilla Ritter (1930) Madisonin laboratoriossa havaitsi, että solunseinämä on muodostunut useasta ohuesta kerroksesta. Hän itse sai kerrosten suurimmaksi lukumääräksi 7, mutta myöhemmin on Ottawan laboratoriossa havaittu solunseinämässä 21:kin kerrosta.

Huokosreikiä lukuun ottamatta näyttää puusolun päällimmäinen kerros mikroskoopissa tasaiselta, yhtenäiseltä levyltä. Mutta jos sitä käsitellään edelleen liuottimilla, ilmaantuu tähän levyyn solun pituussuuntaa vastaan poikittaisia rakoja, ja lopulta havaitaan, että koko levy on kokoon pantu ohuista, rihmamaisista säikeistä, aivan samoin, kuin jos lyijykynän ympärille olisi kierretty tiivis kerros lankaa.

Solunseinämän sisemmät kerrokset ovat myös tällaisista säikeistä muodostuneita, mutta säikeet ovat joko aivan solun pituusakselin suuntaiset tai ainoastaan hiukan, korkeintaan 30°, sitä vastaan vinossa. Säikeiden vinous eri kerroksissa on lisäksi erilainen, joten

eri kerrosten säikeet muodostavat verkkomaisen kudoksen. Näitä säikeitä nimitetään saksalaisessa kirjallisuudessa tavallisesti miselleiksi, englanninkielisessä fibrilleiksi.

Fibrillit vuorostaan ovat muodostuneet vielä pienemmistä osasista, joista Ritter käyttää nimeä »fusiform body». Ne ovat muodoltaan käämimäisiä, samantapaisia kuin puusolutkin, ja muodostavat fibrillin siten, että niiden suipot kärjet ovat jonkin verran lomittain kiinnittyneinä toisiinsa.

»Fusiform bodies», fibrillit ja näiden muodostamat kerrokset kiinnittää yhteen eräs hiilihydraatteihin kuuluva aine, jonka tarkkaa kemiallista kokoomusta ei vielä tunneta.

## Kevät- ja kesäpuu.

Edellä jo mainittiin, että useiden puulajien kevätpuu eroaa selvästi kesäpuusta. Kehäputkiloisissa lehtipuissa tuon eroavaisuuden aiheuttavat etupäässä kevätpuun laajat putkilot, joita kesäpuussa ei ole ollenkaan tai jotka siinä ovat aivan pieniä. Mutta havupuissakin, joissa sekä kevät- että kesäpuu on muodostunut samankaltaisista soluista, trakeideista, tuo ero on useimmiten havaittavissa. Tässä tapauksessa se johtuu siitä, että kevätpuun solut ovat ohutseinäisiä ja suuriontelоisia, niiden muodostama puu on pehmeätä ja huokoista, kun taas kesäpuun solut ovat paksuseinäisiä ja pieniontelоisia, niiden muodostama puu kovaa ja tiivistä.

Kevät- ja kesäpuun suhteellinen runsaus vaihtelee eri puulajeilla, samankin puulajin eri yksilöillä, vieläpä saman yksilön eri vuosilustoissa. Yleisenä sääntönä pidetään, että lehtipuissa on sitä enemmän kovaa kesäpuuta, mitä leveämmät vuosilustot ovat, siis mitä nopeampikasvuista puu on, havupuiden taas päin vastoin. Mikä aiheuttaa sen, että eri vahvuisissa vuosilustoissa ja eri puulajeilla sekä samankin vahvuisissa lustoissa, samalla puulajilla, jopa samassa puuyksilössäkin, kevät- ja kesäpuun suhteellinen runsaus on erilainen, sitä on tutkittu paljonkin, mutta lopullisiin tuloksiin ei ole vielä toistaiseksi päästy. Se tiedetään kuitenkin, että kevät- ja kesäpuun suhteellinen runsaus vaikuttaa hyvinkin ratkaisevasti puun mekaanisiin ominaisuuksiin.

# Puun fysikaaliset ominaisuudet.

## Puun paino.

Paino sinänsä on haitallinen ominaisuus, se kun vaikeuttaa kappaleen liikuttelemista, mutta kun on havaittu, että raskas puu on useilta muilta ominaisuuksiltaan kevyttä parempaa, paino siis kelpaa jonkinlaiseksi hyvyyden mitaksi, alettiin siihen kiinnittää tarkempaa huomiota.

Puun paino määritellään joko absoluuttisena tai ominaispainona.[1]) Amerikkalaiset käyttävät vieläkin useimmissa käytännöllisiä tarkoituksia varten julkaisemissaan kirjoituksissa absoluuttista painoa, ilmaisten kuinka monta naulaa yksi kuutiojalka puuta painaa, mutta kaikissa tieteellisissä julkaisuissa on Buffonin ajoista saakka puun paino lausuttu sen ominaispainona, siis puun painon ja tilavuuden suhdelukuna. Varhaisemmissa julkaisuissa tälle käytettiin nimitystä tiheys (densité [Duhamel du Monceau], Dichte), mutta jo Nördlinger käytti nimitystä ominaispaino (Spesifisches Gewicht, myöskin Dichtheit), joka nykyään on jo vakiintunut käytäntöön; englanninkielinen vastine on *specific gravity*. Aiemmin käytetty nimitys »tiheys» johtui epäilemättä siitä, että puun painon havaittiin riippuvan siitä, kuinka tiheätä se oli. Solunseiniä muodostavan aineen — pääasiallisesti selluloosan ja ligniinin sekoituksen — painon nim. jo Duhamel du Monceau ja Nördlinger havaitsivat olevan saman eri puulajeilla. Solujen muodostaman puun paino riippui siis siitä, miten pieniä solunontelot olivat solunseinämien paksuuteen verrattuina eli miten

[1]) Teoksessa Handbok i skogsteknologi (W. Ekman ym.) puun ominaispainolla (vedens specifika vikt) tarkoitetaan solunseinien rakennusaineen ominaispainoa, tilavuuspainolla (volymvikt) taas puun ominaispainoa sellaisenaan, siis solunonteloineen. Koska puusta puhuttaessa tarkoitetaan aina puuta sellaisenaan, onteloineen, huokosineen, ei mielestämme ole mitään syytä sellaiseen väärinkäsitykseen, että puun ominaispainosta puhuttaessa sillä voitaisiin tarkoittaa puun rakennusaineiden ominaispainoa, joten seuraavassa käytetään ominaispainosanaa samassa merkityksessä, kuin ruotsalaiset käyttävät sanaa »volymvikt».

tiheätä, pienionteloista puu oli. — Solunseinämien ominaispaino on n. 1.56; se vaihtelee ainoastaan verraten vähän eri puulajeilla. Jos siis puu olisi aivan tiivistä, niin ettei siinä olisi lainkaan onteloita, olisi sen ominaispaino n. 1.56.

Puun ominaispainosta puhuttaessa tarkoitetaan kuitenkin tavallisesti puuta sellaisenaan, huokosineen ja niissä olevine lisäaineineen (vettä, pihkaa, väriaineita ym.). Koska etenkin puun sisältämän veden määrä vaihtelee huomattavasti, ja kun taas puun kosteuspitoisuus vaikuttaa ominaispainoon hyvinkin ratkaisevasti, on aina ominaispainoa ilmaistaessa samalla määriteltävä myös puun vesipitoisuus. Tätä silmällä pitäen puhutaan tavallisesti kolmesta eri ominaispainosta: ominaispaino puun tuoreena, ilmakuivana ja absoluuttisen kuivana ollessa.[1])

Koska sekä tuoreen että ilmakuivan puun ominaispainoon vaikuttaa sen sisältämä vesi, on puun todellista tiheyttä parhaiten kuvastava luku sen absoluuttisen kuivana määrätty ominaispaino. Koska kuitenkaan absoluuttisen kuivaa puuta ei käytännössä koskaan esiinny ja usein on mielenkiintoista tietää puun ominaispaino eri kosteusasteissa, määrätään ominaispaino tieteellisissä kokeissakin usein myös tuoreesta ja ilmakuivasta puusta.

Puun painoon kohdistuvat tutkimukset voidaan jakaa ryhmiin sen mukaan, mitä etupäässä pidetään silmällä ja mihin seikkoihin halutaan selvitystä. Tässä suhteessa voitaisiin mainita tutkimukset, jotka kohdistuvat a) eri puulajien, b) saman puulajin eri yksilöiden ja c) saman puun rungon eri osien painoon.

Vaikkakin saman puulajin eri yksilöiden paino vaihtelee huomattavasti, voidaan kuitenkin havaita, että eri lajien keskimääräiset painot ovat vielä laajemmalla alalla vaihtelevia, on siis olemassa kevyitä ja raskaita puulajeja. N ö r d l i n g e r tuli siihen tulokseen, että yleensä lämpimämmässä ilmastossa kasvaa raskaampia puita. Tämä väite ei kuitenkaan pidä kaikissa suhteissa paikkaansa. Troopillisissa maissa tosin tavataan raskaimmat puulajit, mutta sieltä ovat myöskin kaikkein keveimmät puulajit löydettävissä. Mitään

[1]) Tuoreella puulla tarkoitetaan sellaista vastakaadettua puuta, josta ei vielä ole ennättänyt haihtua yhtään vettä. Ilmakuivuus on ymmärrettävistä syistä hyvinkin epämääräinen käsite ja vaihtelee ilman lämpimyyden ja sen relatiivisen kosteuden mukaan. Saharan erämaassa ilmakuiva puu sisältäisi vettä hyvinkin paljon vähemmän kuin esim. jossakin kosteassa merenrantailmastossa. Tieteellisissä puun tutkimuksissa on ilmakuiva (lufttrocken, airdry) kuitenkin määritelty tarkemmin: englanninkielisissä maissa sillä tarkoitetaan 12 %, muissa maissa 15 % vettä sisältävää puuta. Absoluuttisesti kuivaa on sellainen puu, josta kaikki vesi on keinollisesti poistettu.

ehdottoman pätevää sääntöä siitä, missä minkin painoiset puulajit kasvavat, ei siis voida laatia. Paino on kullekin puulajille ominainen ilmiö ja riippuu pääasiallisesti puulajin anatomisesta rakenteesta.

Paljon mielenkiintoisempia ovat olleet ne tutkimukset, joilla on koetettu selvittää, mistä saman puulajin eri yksilöiden painon vaihtelu riippuu. Tämän vaihtelun pääasiallisimpina aiheuttajina on havaittu olevan ilmaston, maanlaadun sekä puun aseman metsikössä.

Vanhimmat tutkijat olivat ilmaston suhteen sitä mieltä, että havupuut yleensä ovat sitä raskaampia, mitä kylmemmässä ilmanalassa ne kasvavat, lehtipuut taas päinvastoin. Tämä kävi hyvin yhteen sen mielipiteen kanssa, että havupuu on sitä raskaampaa, mitä hitaampikasvuista se on, lehtipuu päinvastoin. V. 1909 Heinrich Mayr kumosi tämän teorian ja esitti ns. optimiteorian, jonka mukaan raskainta puuta syntyy optimialueilla kasvavissa puissa ja mitä kauemmaksi tästä optimista poistutaan, sitä keveämpää puuta syntyy.

Tämä mielipide voitaneen katsoa suurin piirtein paikkansa pitäväksi, mutta ehdottoman päteviä todisteita ei sen puolesta ole voitu esittää. Jo ilmastollisen optimialueen määritteleminen sinänsä on monimutkainen tehtävä, sillä siihen vaikuttavat sangen monet seikat — ilmaston lämpimyys, lämmön tasaisuus, minimi- ja maksimilämpömäärät, sateen määrä ja tasaisuus yms. —, ja kun ilmastollisten seikkain lisäksi vielä monet muutkin asianhaarat vaikuttavat samanaikaisesti puun painoon, on vaikea saada selville, kuinka suuri nimenomaan ilmaston vaikutus on ollut. Jonkinlaisena ulkonaisena merkkinä siitä, missä minkin puun ilmastollinen optimialue on, voitaneen pitää puun runkomuotoa. Ne seudut, joissa jokin puulaji muodostaa kauneimman, pisimmän, tasaisimman ja oksattomimman rungon, ovat ilmeisesti puulajin optimialuetta. Tämän mukaan esim. männyn optimialue on Etelä- ja Keski-Suomen paikkeilla, sillä siellä yleensä tavataan kauniimpia mäntyjä kuin Pohjois-Suomessa tai Itämeren eteläpuolella.

Ilmaston ohella maan laadulla on ilmeinen vaikutus puun painoon, ja tätä seikkaa on tutkittu jo hyvinkin paljon. Siitä huolimatta ei tässä suhteessa ole kuitenkaan päästy vielä varmoihin tuloksiin, ja eri tutkijat ovat olleet asiasta eri mieltä.

Mayr tuli tutkimuksissaan siihen tulokseen, että sekä havupuut että lehtipuut ovat keveimmillään erittäin hyvällä ja erittäin huonolla maalla, mutta maan laadun vaihtelu ei kuitenkaan vaikuta kovin paljoa puiden ominaispainoon ja että varsinkin lehtipuissa sen vaikutus on pieni. Toiset tutkijat ovat kuitenkin havainneet

melkoisen suuriakin painon eroavaisuuksia eri maanlaaduilla kasvaneissa puissa.

Syynä siihen, että tulokset ovat näin heikot, vaikka tutkimuksia on tehty hyvinkin runsaasti, on etupäässä pidettävä sitä, että ei ole ollut mitään yhteistä, tarkasti määriteltävissä olevaa asteikkoa, jonka perusteella kasvupaikan hyvyyttä olisi voitu mitata ja eri tutkijain tuloksia vertailla. Schwappach esim. käytti viittä valtapuiden keskipituuden mukaan määriteltävää boniteettia, mutta kun keskipituus voi vaihdella metsikön satunnaisen tilan ym. mukaan, ei se anna mitään varmoja vertauskohtia. Wijkanderin teoksessa on taas kaikkien koepuiden kasvupaikan maan laadusta tehty selkoa, mutta se on tehty niin epätäydellisesti, ettei selontekojen mukaan maan laadusta saa paljoakaan käsitystä.[1]) Samaa voidaan sanoa englantilaisissa ja amerikkalaisissa julkaisuissa esiintyvistä kasvupaikan ja maan laadun selvityksistä. Tarkimmin niissä on kerrottu, mihin ilmansuuntaan ja miten jyrkästi viettävää maan pinta oli koepuun kasvupaikalla.[2]) On sanomattakin selvää, ettei sellaisten selvitysten perusteella voi paljoakaan arvostella kasvupaikan laatua.

Kun Cajanderin metsämaitten hyvyysluokittelun perustaksi esittämä metsätyyppijärjestelmä on metsätieteen muilla aloilla, esim. metsänhoidollisissa ja taksatoorisissa tutkimuksissa, osoittautunut sellaiseksi pohjaksi, jota käyttäen ns. keinotekoisten luokittelutapojen aiheuttamat haitat voidaan välttää ja kun kasvupaikan hyvyys on metsätyypin perusteella nopeasti ja yleensä melkoisen täsmällisesti määritelttävissä, tuntuisi luonnolliselta ajatus, että niitä voitaisiin käyttää perustana myöskin puiden ominaisuuksia tutkittaessa. Kun eri maiden metsätyypit saataisiin tutkituiksi ja eri tyyppien keskinäinen suhde määritellyksi, olisi eri maissakin tehtyjä tutkimuksia helppo vertailla keskenään ja siten voitaisiin vähitellen yhä yleisemmin päästä selville siitä, mikä vaikutus kasvupaikan laadulla on puun painoon ja sen muihinkin ominaisuuksiin.

Lassila onkin ensimmäisenä esittänyt sen olettamuksen, että puun teknilliset ominaisuudet ovat riippuvaisia metsätyypistä sekä ehdottanut, että puun ominaisuuksien tutkimukset suoritettaisiin

[1]) Wijkanderin teoksessa esiintyy seuraavanlaisia määritelmiä maan laadusta: Berggegend, coupiertes Terrain, steiniger Boden. Ebener etwas steiniger Wald. Etwas lehmgemischter Sand, feucht. Bergabhang gegen Südwesten, guter, steiniger Wald (ss. 101—103).

[2]) Esimerkkinä voidaan mainita muutamia: North by West exposed, open park land. South-South East, sandy loam, many stones, and rock.

metsätyyppien perusteella. Tekemissään tutkimuksissa Lassila (1930a) on myös voinut todeta metsätyypin vaikutuksen esim. puun painoon, joten voidaan jo pitää todistettuna metsätyyppien arvo puun tutkimuksissa.

Aivan lähekkäin samanlaisella maalla kasvavien saman puulajin eri yksilöiden paino voi myöskin olla erilainen. Lähintä syytä tähän on etsittävä puun ulkoisista kasvuedellytyksistä, siis pääasiallisesti puun asemasta metsikössä. Tätä seikkaa on tutkittu melkoisesti, mutta mihinkään lopullisiin tuloksiin ei siinä voida katsoa päästyn.

Myöskin puun iän otaksutaan vaikuttavan puun painoon. Tätä seikkaa on kuitenkin sangen vaikea todeta, sillä samaa puuta ei sen eri ikäkausina tiettävästi ole tutkittu. Jos taas vertaillaan eri-ikäisten puiden painoa keskenään ja siinä havaitaan eroavaisuuksia, ei silti ole lainkaan varmaa, että tuloksien eroavaisuudet johtuvat erilaisesta iästä. Kysymyksessä olevat puut ovat voineet olla eripainoisia koko ikänsä joittenkin muiden syiden vaikutuksesta. Kun puun paino pääasiallisesti riippuu solunseinien ja -onteloiden suhteellisesta paksuudesta ja niin pian kuin solut ovat puutuneet, tässä suhteessa ei enää muutoksia tapahdu, on todennäköisintä, että muutoksia puun painossa sen eri ikäkausina tuskin tapahtuu ainakaan mainittavissa määrissä. Erilaisten lisäaineiden, kuten hartsin, parkki- ja väriaineiden, varastoituminen vanhan puun soluihin voi tosin lisätä painoakin jonkin verran. Mitään oleellista ei tämä kuitenkaan ole, sillä useat tutkijat päinvastoin väittävät, että vanhat puut ovat nuoria keveämpiä. Suurimmat vaihtelut eri-ikäisten puiden painossa aiheuttaa puun erilainen vesipitoisuus, mutta sellaisia painon vaihteluja ei pidä sekoittaa ominaispainoon eikä yleensä yhdistää painontutkimuksiin, vaan ne on käsiteltävä vesipitoisuuden tutkimusten yhteydessä.

Edellä on luotu silmäys eri puulajien ja puuyksilöiden painoon. Lisäksi samankin rungon eri osissa paino voi olla vielä erilainen. Tähän voidaan löytää luonnollinen selitys siitä, että luonto pyrkii vahvistamaan eniten niitä rungon osia, joissa on suurin rasitus. Kun rungon ja latvuksen koko paino lepää tyviosan varassa, on luonnollista, että tämä osa on vankemmin rakennettu, ei vain niin, että se on muuta runkoa paksumpi, vaan myöskin siten, että se on lujempaa, siis raskaampaa puukudosta. Tuulen taivuttava voima kohdistuu myöskin tyviosaan, mutta sen lisäksi myöskin juuri latvuksen alapuolella olevaan osaan. Sen vuoksi siinäkin kohdassa puun rungon täytyy olla vankempaa rakennetta. Latvuksen kohdalla taas verraten ohuen rungon täytyy kannattaa raskaita oksia, joten sielläkin rungon puuaineksen tulee olla lujaa. Rungon latvus-

osan painoon vaikuttaa myös siinä olevien oksien puuaines, joka, kuten havupuilla itse oksatkin, on tiiviimpää ja raskaampaa kuin rungon varsinainen puuaines.

Tämäntapaisiin tuloksiin useat tutkijat ovat tulleetkin. Schwappach, Cieslar, Janka ja Hartig esim. mainitsevat, että puun paino vähenee tyvestä latvaan päin mentäessä johonkin määrättyyn korkeuteen asti, jonka jälkeen se taas alkaa lisääntyä.

Rungon eri osista puhuttaessa voivat vielä tulla kysymykseen sydäntä lähinnä ja pintaa lähinnä olevat osat. Näissäkin on oltu huomaavinaan säännöllisiä painon vaihteluita, joskin eri tutkijat ovat voineet tulla aivan päinvastaisiinkin tuloksiin. Gayer on sitä mieltä, että esim. männyllä, lehtikuusella, tammella ja pyökillä sydänpuu on raskaampaa kuin pintapuu, Wijkanderin mukaan männyssä ytimen ympärillä olevat osat ovat kevyimmät ja Helanderin tutkimusten mukaan puun paino on pienin ytimen ympäristössä, mutta kohoaa ytimen ja pinnan puolivaiheille, josta se taas vähenee pintaan päin.

Näin vaihtelevat tulokset antavat syytä otaksua, että painon ero eri etäisyyksillä ytimestä ei johdu tästä etäisyydestä sinänsä. Jos tätä seikkaa tahdottaisiin tutkia, olisi otettava huomioon, kuinka leveitä vuosilustot ovat ja mikä on kevät- ja kesäpuun suhde eri etäisyyksien päässä ytimestä. Jos nämä seikat pysyvät aivan samanlaisina koko ajan, ei painoerojakaan ilmeisesti esiinny, jos ne vaihtelevat, olisi saatava selville puun kasvun kehitys taimesta alkaen, sillä eroavaisuudet johtuvat ilmeisesti eri ikäkausien erilaisista kasvuedellytyksistä.

---

Edellä jo mainittiin, että kuivan puun paino on havaittu sen lujuusominaisuuksien hyväksi mittapuuksi, joten puun hyvyyttä voidaan arvostella sen kuivan painon perusteella. Wijkander tuli tutkimuksissaan siihen tulokseen, että kuusen ja männyn puristus-, veto-, taivutus- ja leikkauslujuudet, kimmokoeffisientit sekä taivutustyö ovat suoraan verrannollisia ominaispainoon. Samaan tulokseen on myöskin Markwardt tullut puunsyiden suuntaisen puristuksen suhteen. Hän ottaa esimerkiksi kaksi painoltaan äärimmäistä puulajia: floridalaisen masticin *(Sideroxylon)* ja keski-amerikkalaisen balsan. Näiden ominaispainot (absoluuttisen kuivana), puristuslujuudet (nauloina neliötuumaa kohden) sekä »ominais-

lujuudet» (puristuslujuuden suhde ominaispainoon) hän sai seuraavan suuruisiksi:

| | Ominaispaino | Puristuslujuus | »Ominaislujuus» |
|---|---|---|---|
| Mastic ..... | 1.034 | 5 880 | 5 680 |
| Balsa ..... | 0.113 | 644 | 5 680 |

Numeroista havaitaan, että mastic on n. 9 kertaa raskaampaa kuin balsa ja sen puristuslujuus on myös 9 kertaa suurempi kuin balsan puristuslujuus, siis suoraan verrannollinen ominaispainoon.

Markwardtin tulokset eroavat kuitenkin Wijkanderin tuloksista siinä suhteessa, että kaikki lujuusominaisuudet hänen havaintojensa mukaan eivät kasva samassa suhteessa kuin ominaispaino. Taivutuslujuus esim. kasvaa nopeammin kuin ominaispaino, suunnilleen siten, että kaksi kertaa painavamman puun taivutuslujuus on 2 ½ kertaa suurempi. Kovuus kasvaa vielä nopeammin. Jos puun ominaispaino on kaksi kertaa suurempi kuin toisen, on sen kovuus melkein 5 kertaa suurempi.

Puun ominaispaino on joka tapauksessa ominaisuus, jonka perusteella ainakin osapuilleen voidaan arvostella puun lujuusominaisuudet. Kun ominaispainon tarkka määrääminen on kuitenkin verraten monimutkainen tehtävä, on käytännöllisiä tarkoituksia varten ruvettu käyttämään helpompaa ja nopeampaa likimääräisen ominaispainon määrittelemiskeinoa. Se perustuu siihen, että ominaispaino riippuu suuresti kevät- ja kesäpuun suhteellisesta runsaudesta, ja kun tämän voi melkoisen tarkoin määritellä silmämääräisestikin, varsinkin jos käyttää suurennuslasia apuna, voi siten määrätä myös puun likimääräisen ominaispainon. Tällä tavalla on lisäksi se etu, että puun kosteuspitoisuus ei vaikuta sanottavasti sen antamiin tuloksiin. On kuitenkin huomattava, että eri puulajien ominaispaino ei sinänsä ilmaise niiden lujuusominaisuuksia. Kahdella puulajilla, joiden ominaispainot ovat samat, saattaa kuitenkin olla erilaiset lujuusominaisuudet. Tämä johtuu etupäässä puun anatomisesta rakenteesta, solujen pituudesta, niiden keskinäisestä järjestelystä yms. seikoista. Saman puulajin eripainoisten kappalten lujuusominaisuudet sitä vastoin seuraavat jotenkin tarkasti ominaispainoja, sillä rakenteelliset eroavaisuudet eivät siinä tapauksessa ole varsin suuret.

## Puun kosteuspitoisuus.

Puun kosteuspitoisuudella tarkoitetaan puun sisältämän vesimäärän suhdetta puun kuiva-ainemäärään. Tavallisesti se ilmaistaan painoprosentteina, ja silloin puhutaan puun kosteusprosentista.

Aiemmin kosteusprosentti laskettiin siten, että puun sisältämän vesimäärän painon prosenttinen osuus puun koko painosta (siis kuiva-aineen + veden) määriteltiin. Kun seuraavassa puhutaan puun kosteusprosentista, tarkoitetaan aina puun sisältämän veden suhdetta sen kuiva-ainepainoon.

Tässä yhteydessä ei ole syytä ryhtyä lähemmin tarkastelemaan kaikkia niitä ilmiöitä, jotka ovat läheisessä yhteydessä puun kosteuspitoisuuden ja sen muutosten kanssa. Ainoastaan se seikka, miten kosteuspitoisuus vaikuttaa puun lujuusominaisuuksiin, ansaitsee tarkastelun.

Vettä on puussa kahdella eri tavalla sitoutuneena. Osa on solunonteloissa ja muissa huokosissa, toinen osa on solunseiniin imeytyneenä. Kun puu kuivuu, poistuu siitä ensin solunonteloissa oleva vapaa vesi, vasta kun se on kaikki poistunut, alkaa solunseiniin sidottu vesi poistua. Tätä rajaa nimitetään solujen kyllästymispisteeksi. Siinä puun kosteuspitoisuus on 25—30 %.

Solunonteloissa oleva vapaa vesi ei vaikuta mitään puun lujuuteen, mutta kun kosteuspitoisuus laskee alle solujen kyllästymispisteen, lujuus lisääntyy huomattavasti. Aivan kuivan puun useat lujuudet saattavat olla 2—3 kertaa suuremmat kuin tuoreen puun. On kuitenkin huomattava, että kuivuminen saa aikaan näin suuria lujuuden muutoksia ainoastaan pienissä kappaleissa. Suurissa kappaleissa kuivuminen aiheuttaa halkeilemisia, ja halkeamat taas heikentävät puuta, ja siten häviää osaksi se lujuuden lisäys, joka kuivumisesta aiheutuu.

# Puun lujuus ja sen tutkiminen.

## Tutkimusten tarpeellisuus ja tarkoitus.

Niin kauan kuin puuta oli runsaasti ja helposti saatavissa ja sitä käytettiin vain pääasiallisesti kaikenlaisiin karkeisiin rakenteisiin, ei sen lujuusominaisuuksien täsmälliseen tuntemiseen kiinnitetty kovinkaan paljoa huomiota. Mutta etenkin sen jälkeen, kuin puuta ruvettiin käyttämään lentokoneiden rakentamiseen, asia on paljon muuttunut. Sellaista erikoisen suurta täsmällisyyttä vaativaa kappaletta kuin lentokoneen runkoa rakennettaessa on tarkasti tunnettava rakennusaineen lujuus- ym. ominaisuudet. Rakenne on koetettava saada mahdollisimman kevyeksi, mutta sen täytyy kuitenkin täyttää määrätyt lujuusvaatimukset.

Myöskin monissa muissa puurakenteissa käytetyn puun lujuusominaisuuksien tarkalle tuntemiselle on ruvettu antamaan yhä suurempi merkitys, useinkaan ei tosin niin paljon sitä ajatellen, että rakenne tulisi mahdollisimman kevyeksi, vaan siinä mielessä, että siihen kuluisi mahdollisimman vähän rakennusaineita kuitenkaan kestävyydenkään kärsimättä. Tämä aineen säästämisen tavoittelu on tullut sitä mukaa tärkeämmäksi, mitä enemmän puutavaran hinnat ovat nousseet ja mitä vaikeammaksi tiettyjen puutavaralajien hankkiminen on käynyt.

Monet muutkin seikat ovat aiheuttaneet sen, että puun lujuusominaisuuksista on ruvettu ottamaan selvää. Jos johonkin tarkoitukseen ennen käytetty puulaji loppuu tai se käy liian kalliiksi, on otettava selko, millä muulla helposti saatavalla puulla olisi juuri ne ominaisuudet, jotka tähän tarkoitukseen ovat välttämättömät. Puutavaramarkkinoilla vallinnut viimeaikainen ankara kilpailu on taas aiheuttanut puun ominaisuuksien tutkimista propagandatarkoituksessa: tavaraa, jonka ominaisuudet myyjä voi osoittaa täsmällisillä numeroilla, on aina helpompi myydä ja siitä saa paremman hinnan kuin tavarasta, jonka ominaisuuksista ei ole esitettävänä mitään täsmällisiä tietoja.

Metsätalouden tähänastisena päämääränä on ollut kasvattaa mahdollisimman paljon mahdollisimman arvokasta puuta. Tämän

arvokkuuden mittana on pidetty rungon paksuutta, suoruutta, vähäistä kapenemista ja vähäoksaisuutta. Saadun puun sisäisiin, lujuusominaisuuksiin, niin tärkeät kuin ne useissa tapauksissa ovatkin, ei ole kiinnitetty oikeastaan mitään huomiota.

Edellä huomautettiin, miten puun mekaanisten ominaisuuksien selville saaminen tulee yhä tärkeämmäksi monenkin eri tarkoituksen vuoksi. Kun näiden ominaisuuksien tarkka määritteleminen kussakin esille tulevassa tapauksessa on suuritöinen ja monimutkainen tehtävä ja kun vielä sen lisäksi aineenkoetuskoneilla kokeiltaessa kukin kokeiltava kappale murskaantuu ja tulee siten käyttökelvottomaksi, olisi vielä löydettävä ulkonaiset, helposti ja nopeasti määriteltävät merkit, joiden perusteella puun lujuusominaisuuksia voitaisiin arvostella. Samoin pitäisi saada selville, mitä erilaiset viat, kuten oksat, halkeamat, toukan reiät yms. vaikuttavat puun lujuusominaisuuksiin.

Paremman yleiskuvan saamiseksi esitetään seuraavassa vielä lyhyesti ne eri tarkoitusperät, mihin puun ominaisuuksien tutkimuksen avulla pyritään. Tutkimuksen tarkoituksena on:

a) saada luotettavia numerotietoja, joiden perusteella eri puulajien fysikaalisia, rakenteellisia ja lujuusominaisuuksia voidaan vertailla keskenään;

b) saada tietoja, joiden avulla voidaan mahdollisimman tarkkaan määritellä puulajien lujuusopilliset sallitut jännitteet ja mitä erilaiset viallisuudet vaikuttavat eri lujuusominaisuuksiin;

c) saada tietoja, joiden perusteella voidaan arvostella puun kaatoajan, eri varastoimis- ja kuivatustapojen, preservoimisen, sinistymisen jne. vaikutus puun lujuusominaisuuksiin;

d) saada tietoja, joiden perusteella voidaan päätellä, mitä puun lujuus- sekä rakenteellisiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin vaikuttavat sellaiset seikat kuin puun kasvuseutu, kasvupaikan laatu (metsätyyppi), kasvunopeus, hoitotapa, puun asema metsikössä, puukappaleen asema puun rungossa — etäisyys ja suunta sydämestä ja korkeus maasta katsoen —, puun ikä ym.;

e) saada selville, missä määrin sellaisten seikkojen kuin vuosilustojen vahvuuden ja säännöllisyyden, kevät- ja kesäpuun suhteellisen runsauden, ominaispainon, kosteuspitoisuuden ym. joko paljain silmin tai muuten helposti määriteltävien ominaisuuksien perusteella voitaisiin tehdä päätelmiä puun lujuusominaisuuksista.

---

Aina siitä saakka, kuin ihminen on käyttänyt puuta erilaisiin rakenteisiin ja tarve-esineiden valmistukseen, on tietenkin tehty

myös havaintoja puun lujuusominaisuuksista sekä vertailuja eri puulajien välillä. Kun näitä havaintoja tehtiin vuosisatojen ja -tuhansien varrella, päästiin niiden avulla verraten tarkkaan puun ominaisuuksien tuntemukseen, ainakin niin tarkkaan, että sillä senaikaisissa oloissa tultiin toimeen. Kun puuta oli runsaasti ja helposti saatavissa, saatettiin puurakenteisiin käyttää niin suurimittaisia rakennustarpeita, että ne varmasti kestivät niille tulevan rasituksen, käytettiin siis, nykyaikaista sanontatapaa käyttäen, hyvin suurta varmuusastetta, jolloin puun lujuusominaisuuksien tarkka tunteminen ei ollut ehdottomasti tarpeenkaan.

Useissa kiinteissä puurakenteissa, kuten asuinrakennuksissa, silloissa yms., ei tästä liiallisesta »puisevuudesta» koitunut mitään erikoista haittaa — rakenteesta tuli vain sitä lujempi, mitä jykevämmäksi se rakennettiin — mutta liikuteltavia tarve-esineitä, kuten ajo-, työ- ja talouskaluja, veneitä, laivoja tms. rakennettaessa täytyi ottaa huomioon myös se seikka, ettei esineestä olisi tullut liian painava ja hankala liikutella. Silloin tuli jo kyseeseen tarkka vertailu esineen lujuuden ja painon välillä, ja sitä varten täytyi ottaa tarkempi selko puun lujuusominaisuuksista.

Jo vanhojen kreikkalaisten ja roomalaisten kirjailijoiden teoksissa esiintyy — tavallisesti aivan muiden asiain yhteydessä — myöskin tietoja puun ominaisuuksista. Nämä tiedot kuitenkin perustuvat hyvin harvoin varta vasten tehtyihin tutkimuksiin ja ovat useinkin ristiriitaisia keskenään. Tavallisesti ne sisältävät käytännössä saatujen kokemuksien tuloksia ja ovat enimmäkseen vertailevaa laatua. Kun näitä puun ominaisuuksista esiintyviä mainontoja ei näin ollen voi pitää minään varsinaisina tutkimusten tuloksina ja kun sitä paitsi L a s s i l a kirjoituksessaan »Puun mekaanillisteknillisten ominaisuuksien tutkimuksesta» on jo tehnyt hyvinkin perinpohjaisesti selkoa puun tutkimuksen varhaisemmista vaiheista, ei tässä yhteydessä liene syytä niihin puuttua yksityiskohtaisemmin.

Ensimmäiset puun ominaisuuksien tutkimukset, joita voidaan pitää tieteellisinä ja järjestelmällisesti tehtyinä, saivat alkunsa Ranskassa 1700-luvun puolivälin tienoilla. Ranskan tiedeakatemian julkaisuissa (Memoires de l'Academie des Sciences) P a r e n t esitti tuloksia tutkimuksistaan, joita hän oli tehnyt tammen ja hopeakuusen lujuus-, etupäässä taivutuslujuusominaisuuksista. Hän ensimmäisenä käytti punnuksia taivutuskokeissaan sekä vertaili eri puulajien taivutuslujuutta numeroiden avulla. Hän niin ikään teki tarkoin selkoa siitä, miten oli valinnut tutkimusaineistonsa ja miten suorittanut tutkimuksensa.

Parentin maanmies George Louis Leclerc Buffon[1]) tutki myös puun lujuusominaisuuksia sekä näiden riippuvaisuutta puun kasvunopeudesta, iästä, kuivattamistavasta, ominaispainosta ym. Hänen tutkimusaineistonsa oli laaja, mutta yksipuolinen, hän tutki näet vain tammea.

Ensimmäinen tutkija, joka asetti puiden ominaisuuksien tutkimuksen jonkinlaiseen tieteelliseen järjestelmään sekä yhdisti kaikkien entisten tutkimusten tulokset, oli ranskalainen sotalaivaston ylitarkastaja Duhamel du Monceau. Hän julkaisi ensimmäisen, vielä varsin vaatimattoman teoksensa »De la force des bois» v. 1730 sekä laajan pääteoksensa »Traité de la conservation et de la force des bois» v. 1780.

On hyvin ymmärrettävää, että Duhamel du Monceau kiinnitti huomionsa etupäässä niihin seikkoihin, jotka ovat tärkeitä puun käyttämisessä laivojen rakennusaineena. Siten hän tutki, miten puu on kasvatettava tiettyihin tarkoituksiin, miten se on kaadettava, kuorittava ja kuivattava. Niin ikään hänen julkaisunsa sisältävät selityksen puun eri osista sekä tutkimuksen puiden ominaisuuksista. Jo aiemmin esitetty Duhamel du Monceaun laatima puun ominaisuuksien luokittelu antaa jonkinlaisen kuvan siitä, mitä puun ominaisuuksia hän etupäässä selvitteli.

Duhamel du Monceaun tutkimukset käsittivät siksi monia puulajeja ja hänen aineistonsa oli siksi laaja, että nämä tutkimukset ovat saavuttaneet klassillisen arvon; häntä itseään on pidettävä yhtenä metsätieteen perustajista ja häntä sanotaan täydellä syyllä metsäteknologian isäksi.

Muista ranskalaisista tutkijoista voidaan vielä mainita Girard ja Peronnet, jotka 1800-luvun tienoissa ottivat puun lujuusominaisuuksia tutkiessaan sen kimmoisuuden erikoisesti huomioon.

V. 1815 ilmestyi samoin ranskalaisen Charles Dupinin teos »Expériences sur la flexibilité, la force et l'élasticité des bois». Siinä esitetyissä lujuudentutkimuksissa oli otettu käytäntöön jo kimmoisuuskäyrä, samoin puukappaleen neutraalinen akseli oli määritelty ja kimmoisuuskäyrän luonne tutkittu.

Puun kimmoisuutta on tutkinut myöskin Poncelet, jonka teos »Mécanique industrielle» ilmestyi v. 1839. Erittäin monipuolinen ja laaja oli ranskalaisten E. Chevandiern ja G. Wertheimin v. 1848 ilmestynyt teos »Mémoire sur la propriétés mécaniques du bois».

[1]) Eli 1707—88. Hänen tutkimustensa tulokset julkaistiin vasta 1825—29 nimenä »Oeuvres complètes de Buffon».

Myöskin eräissä muissa maissa suoritettiin puun ominaisuuksien tutkimuksia jo 1700-luvulla. Hollantilainen H. Musschenbroeck, jonka teos »Introductio ad philosophiam naturalem» ilmestyi v. 1762, tutki etupäässä puun ominaisuuksien vaihtelua saman rungon eri osissa. Mutta vasta seuraavalla vuosisadalla puun tutkimus tuli yleisemmän huomion kohteeksi. Italiassa ilmestyi v. 1845 Paccinottin ja Perin teos »Il cimento», jossa käsitellään sangen ansiokkaasti puun kimmoisuutta veto-, taivutus- ja vääntökokeissa.

1800-luvun jälkipuoliskolla puun ominaisuuksien tutkimusten painopiste siirtyy Saksaan. Tämän siirron tärkeimpänä aiheuttajana voidaan pitää H. Nördlingeriä, jonka kuuluisa teos »Die technischen Eigenschaften der Hölzer für Forst- und Baubeamte, Technologen und Gewerbtreibende» ilmestyi v. 1860.

Pitkäaikaisten, monipuolisten omien tutkimustensa lisäksi Nördlinger tässä teoksessaan esittää myöskin varhaisempien tutkijain tuloksia — joista hän etenkin Duhamel du Monceaulle sekä Chevandierlle ja Wertheimille antaa suuren arvon —; sitä on näin ollen pidettävä kaiken sen tiedon yhdistelmänä, mitä siihen mennessä puun eri ominaisuuksista oli hankittu.

Aiemmin esitetystä Nördlingerin laatimasta puun teknillisten ominaisuuksien luokittelusta näkyy, mitä kaikkia ominaisuuksia hän tutki. Joskin tämän luokittelun systematiikan suhteen voi tehdä erinäisiä huomautuksia, täytyy kuitenkin myöntää, että eräät puun ominaisuudet Nördlinger on tutkinut ja selittänyt niin perinpohjaisesti, ettei myöhäisempikään tutkimus ole saattanut tuoda siihen mitään maininnan arvoista uutta.

Sangen runsaalla aineistolla tehtyihin kokeiluihin perustuivat Francis Fowken tutkimukset, jotka julkaistiin v. 1867 nimellä »Tables of the Results of a Series of Experiments on the Strength of British Colonial and other Woods». Unkarissa ilmestyi v. 1873 von Jennyn tutkimus »Untersuchungen über die Festigkeit der Hölzer aus den Ländern der ungarischen Krone». Se käsitteli etupäässä puristuskimmoisuutta ja -lujuutta sekä leikkauslujuutta.

Viime vuosisadan puolivälin jälkeen alettiin useihin maihin perustaa aineenkoetuslaitoksia, joissa myöskin puun lujuusominaisuuksia tutkittiin. Samoin useissa metsätieteellisissä koelaitoksissa kiinnitettiin huomiota puuaineen ominaisuuksiin ja julkaistiin niistä tutkimusten tuloksia.

Aineenkoetus- ja metsätieteellisten koelaitosten suorittamista puun tutkimuksista julkaistu kirjallisuus on jo nykyjään siksi laaja, että siitä voidaan tässä yhteydessä mainita vain tärkein.

V. 1879 julkaisi Pragin polyteknillisen opiston assistentti Karl Mikolaschek veto-, puristus-, taivutus- ja vääntökimmoisuudentutkimuksensa teoksessa »Untersuchungen über die Elastizität und Festigkeit der wichtigsten Bau- und Nutzhölzer Böhmens». Samoin Sveitsin aineenkoetuslaitoksen perustaja ja johtaja L. Tetmajer kehitteli puuntutkimusmenetelmiä ja tutki sveitsiläisen puun ominaisuuksia. Hän julkaisi v. 1883 tulokset näistä töistä nimellä »Methoden und Resultate der Prüfung der schweizerischen Bauhölzer».

Suuri arvo on vielä nykyäänkin J. Bauschingerin Münchenin teknillisen korkeakoulun laboratoriossa tekemillä tutkimuksilla, joilla B. koetti saada selville etenkin kasvupaikan ja kaatoajan vaikutusta puun lujuusominaisuuksiin. Hänen pääjulkaisunsa »Untersuchungen über die Elastizität und Festigkeit von Fichten und Kiefern Bauhölzer» ilmestyi v. 1883.

Jäljempänä tutkimusmenetelmiä ja -tuloksia esitettäessä viitataan vielä useaan myöhäisempään yksityiseen tutkijaan, jotka tässä yhteydessä voidaan sivuuttaa.

---

Puun ominaisuudet ovat sangen moninaiset ja vaihtelevat, niiden tutkimuksissa tarvitaan suuret koeaineistot, tutkimukset ovat usein pitkäaikaisia ja kalliita ja vaativat suuria, monipuolisesti varustettuja laboratorioita, joten ne yksityisille, erillisille tutkijoille käyvät tavallisesti ylivoimaisiksi. Kun mitään yhtenäistä suunnitelmaa ei ollut, tutkijain tulokset jäivät tavallisesti erillisiksi ja hajanaisiksi, niitä oli vaikea vertailla keskenään ja täydellistä syy-yhteyksien sarjaa eri ominaisuuksien välillä oli vaikea keksiä. Kun puun ominaisuuksien tarkka tunteminen kävi kuitenkin yhä välttämättömämmäksi, alettiin tämän vuosisadan alkupuolella perustaa suuria erityisiä metsäntuotteiden tutkimuslaitoksia, laboratorioita, jotka viime aikoina ovat puun tutkimuksen johtaneet aivan uusille urille.

Tärkeänä kannustimena puun lujuusominaisuuksien tutkimisessa on ollut puun käyttö lentokoneiden rakennusaineena. Voidaankin sanoa, että samoin kuin aikoinaan laivanrakennus aiheutti puun ominaisuuksien tutkimuksen, viime aikoina syntynyt puuntutkimuksen uusi vaihe on suurelta osalta lentokoneteollisuuden aikaansaannos.

Koska muutamat metsäntuotelaboratoriot ovat muodostuneet varsinaisiksi puuntutkimuksen keskuksiksi ja ilmeisesti yhä enemmän joutuvat tämän toiminnan eteenpäin-viejiksi, lienee tässä syytä luoda lyhyt katsaus tärkeimpiin niistä.

Puuntutkimuksen alalla nykyjään on eturivissä Pohjois-Amerikka, etenkin Yhdysvallat. Tämä on suurelta osalta Yhdysvaltain metsäntuotelaboratorion (Forest Products Laboratory, Madisonissa, Wisconsinin valtiossa) ansiota. Tämä laitos, joka oli laatuaan ensimmäinen maailmassa, perustettiin v. 1910 Yhdysvaltain metsähallituksen alaiseksi laitokseksi, joka samalla toimii jossakin määrin Wisconsinin valtion yliopiston yhteydessä.

Kanadan puuteknillinen tutkimus aloitettiin v. 1913, jolloin Montrealiin McGill-yliopiston yhteyteen metsähallituksen toimesta perustettiin laboratorio näitä tutkimuksia varten. Työn järjestelyssä ja menettelytavoissa seurattiin tarkalleen Madisonin laboratorion esimerkkiä.

Lentokoneteollisuuden päästyä vauhtiin Pohjois-Amerikassa kohdistui rakentajien huomio British Columbian suuriin, vähäoksaisiin havupuihin. Niiden tutkimista varten perustettiin Vancouveriin British Columbian yliopiston yhteyteen v. 1918 laboratorio, johon tuli vain aineenkoetusosasto. — V. 1927 Montrealin laboratorio siirrettiin Ottawaan omiin hyvin varustettuihin rakennuksiin. Vancouverin ja Ottawan laboratorioiden yhteinen virallinen nimi on Forest Products Laboratories of Canada.

Dehra Dun'in laitos Intiassa eroaa pohjoisamerikkalaisista metsäntuotelaboratorioista siinä suhteessa, että siellä tutkitaan muitakin metsätieteen haaroja kuin vain puuteknillisiä. Se muistuttaa lähemmin metsätieteellisiä tutkimuslaitoksia.

Englantiin, Princes Risborough'on Buckinghamshire'iin, perustettiin metsäntuotteiden tutkimuslaboratorio (Forest Products Research Laboratory) v. 1927. Se suunniteltiin alunperin kaikkien brittiläisten maiden keskuslaitokseksi ja varustettiin sen mukaan. Nykyjään se lienee, ainakin mitä puunkoetusosastoon tulee, maailman ajanmukaisin ja parhaiten varustettu laboratorio.

Edellä mainitut laitokset ovat perustetut ja suunnitellut yksinomaan puuntutkimuksia varten — Dehra Dun'issa tosin harjoitetaan, kuten edellä mainittiin, muitakin metsätieteitä, mutta puun tutkiminen on sielläkin pääasiana. — Useissa muissakin maissa on viime aikoina puun ominaisuuksia, etenkin lujuusominaisuuksia, tutkittu ahkerasti, mutta nämä tutkimukset on suoritettu enimmäkseen teknillisten korkeakoulujen, aineenkoetuslaitosten tai lentokonetehtaiden laboratorioissa.

Puun tutkimuksen yhdistäminen muihin teknillisiin tutkimuksiin on aiheuttanut sen, että on ikään kuin vieraannuttu metsästä, puun alkuperästä, ja sitä on käsitelty kuolleena materiana. Sama erehdys ilmenee metsäntuotelaboratorioidenkin menettelyssä, vaikka niissä,

kuten jäljempänä havaitaan, jossakin määrin koetetaan pitää silmällä myöskin sitä, missä olosuhteissa tutkittava puu on kasvanut ja kehittynyt.

Lassila (1926, s. 37) lausuu tästä aiemmin mainitussa kirjoituksessa seuraavaa: »Yleensä voidaan sanoa, että puiden lujuustutkimus on siirtynyt yleisten lakien tutkimisesta käytännöllisten erikoistehtävien ratkaisuun ollen se suoranaisesti kussakin tapauksessa käytännön palveluksessa. Tästä on ollut seurauksena, että puiden lujuustutkimuksessa on ruvettu ottamaan huomioon paljon sellaisiakin seikkoja, jotka eivät yleensä enää kuulu metsäteknologian alalle, vaan alkaa puun lujuustutkimus yhä enemmän siirtyä teknilliselle alalle ja tulee se läheisessä tulevaisuudessa sangen luultavasti muodostamaan oman erikoistieteensä. Se tulee kuulumaan tätä erikoisalaa harrastavalle insinöörille eikä enää kuulu metsätieteiden piiriin.

Puiden lujuusominaisuuksien tutkiminen on ollut tärkeä tekijä metsäteknologian syntymiselle, mutta nykyisessä asteessaan se lopullisesti tullee joutumaan tämän tieteen ulkopuolelle.»

Tämä saattaa kyllä olla kehityksen suunta, mutta täytyy heti sanoa, että se ei ole onnellinen suunta. Niin kauan kuin puu on orgaaninen luonnontuote, on sen ominaisuuksien selvittelylle ja oikein ymmärtämiselle ehdottoman välttämätöntä, että niitä aina tarkastellaan niiden olosuhteiden valossa, joissa puu on kasvanut. Puun ominaisuuksien tutkimusta ei siis pitäisi eristää erikoiseksi insinööritieteiden haaraksi, vaan päinvastoin se olisi entistä kiinteämmin yhdistettävä biologiaan, metsänhoitoon, maaperäoppiin ja metsänarviointiin (metsätalouden järjestelyyn ja statiikkaan). Ilman biologiaa puun ominaisuuksia ei voi täysin ymmärtää, metsänhoidossa täytyy ottaa huomioon myöskin se, että kasvatettavista puista tulee mahdollisimman hyviä eri ominaisuuksiltaan ja arvioitaessa metsän rahallista tuottoa tai järjestettäessä metsätaloutta rahallisesti hyvin tuottavaksi on kiinnitettävä huomio siihen, minkä laatuista puuta eri menetelmiä käyttäen metsästä voidaan saada. Täten puuntutkimus voi saada apua ja lisävalaistusta muilta metsätieteen haaroilta tai päinvastoin, antaa niille apua. Irralleen metsätieteistä reväistyn puuntutkimuksen saavutukset ovat kuollutta tietoa.[1])

[1]) Varsinaisten metsätieteiden ja puuntutkimuksen toisiansa lähentämisen tarpeellisuutta teroitti jo Nördlinger teoksensa alkulauseessa. Hän sanoo näin: Die Wichtigkeit einer genauen Kenntniss der Hölzer für den Forstmann und den holzverbrauchenden Techniker bedarf keines Beweises. Selten kommen aber Forstleute und grössere Holzconsumenten in unmittelbare Berührung. Daher erfahren die Forstleute meist nicht, welche Eigenschaften das von ihnen gelieferte Holz gezeigt hat, und Bauleute, Handwerker und Fabrikanten anderseits sammeln an Hölzern Erfahrungen, zu deren Begründi-

## Puun lujuusominaisuudet.

Kappaleen lujuudella tarkoitetaan sen ominaisuutta vastustaa ulkoisia voimia, jotka pyrkivät muuttamaan sen kokoa tai muotoa. Ennen kuin lujuusominaisuuksia ruvetaan yksitellen tarkastelemaan, on kuitenkin ensin tehtävä selkoa muutamista lujuusopillisista käsitteistä, jotka lujuudentutkimuksissa aina tulevat esille.

### Kimmoisuus.

Kun kappaletta rasittavat ulkoiset voimat, koettavat ne siis siinä saada aikaan muodon muutoksia, kuten pitenemistä, lyhenemistä, taipumista, vääntymistä ym. Kiinteät kappaleet kuitenkin vastustavat tällaisia muodon muutoksia sen kiinnevoiman avulla, joka pitää kappaleen pienet osat koossa ja muuttumattomassa keskinäisessä asennossa. Jos kuitenkin ulkoinen voima on tarpeeksi suuri, saa se osasien asemat muuttumaan, ja koko kappale muuttaa silloin kokoaan tai muotoaan. Ulkoisen voiman suuruudesta riippuu, miten nuo muutokset tapahtuvat. Tässä suhteessa voidaan erottaa kolme erilaista tapausta: ulkoisen voiman vaikutuksen tauottua a) kappale palautuu takaisin aivan entiselleen, b) kappale jää ainakin osittain muuttuneeseen muotoonsa tai kokoonsa tai c) voima kasvaa siihen määrään, että kappale musertuu, murtuu tai taittuu.

Sitä kappaleen ominaisuutta, että se palaa entiseen muotoonsa ulkoisen voiman tauottua, nimitetään *kimmoisuudeksi*. Sitä rajaa, minkä jälkeen kappale ei enää palaudu täydelleen entiseen muotoonsa, nimitetään *kimmorajaksi* ja sitä kohtaa, jossa kappale murtuu, *murtorajaksi*. Voimaa, joka vaikuttaa kimmorajaa vastaavia muutoksia, sanotaan kappaleen *teoreettiseksi kantovoimaksi*, ja voimaa, joka murtumisen saa aikaan, sanotaan *murtovoimaksi* eli murtokuormitukseksi.

Niitä sisäisiä voimia, joita ulkoinen voima aiheuttaa kappaleen pienten osasien välillä, nimitetään *jännitteiksi* (stress). Kappaleen poikkileikkauksen pintayksikköä kohti vaikuttavaa jännitettä nimi-

---

gung ihnen der verbindende Fallen nämlich die Kenntniss der Herkunft der Bäume, abgeht. Jeder verfolgt seinen Weg ohne den andern. So erklären sich forstlicherseits manche althergebrachten Irrthümer, und bei Bauleuten und Holzarbeitern, neben wirklichen Erfahrungen, die widersprechendsten Ansichten über Holzeigenschaften und deren Zusammenhang mit dem Ursprung des Materials.

Den beiden Theilen richtige Begriffe beizubringen, dem Forstmann zu zeigen, wo er Holz von gewisser Beschaffenheit erziehen kann, dem Holzarbeiter, wo er es suchen muss, ist die Aufgabe vorliegender Arbeit, welche sich an die frühern ähnlichen Zwecks anschliesst.

tetään kappaleen *ominaisjännitteeksi* (unit fiber stress, stress per square unit in any fiber).

Kun ulkoinen voima vaikuttaa kappaleeseen aiheuttaen muodon muutoksia, pysyvät voiman lisäys ja muodon muutoksen lisäys määrättyyn rajaan saakka suhteellisina, siis esim. kaksi kertaa suurempi voima saa aikaan kaksi kertaa suuremman muodon muutoksen. Tämän rajan toisella puolella voiman lisäys vaikuttaa suhteellisesti suurempia muodon muutoksia. Tätä rajaa nimitetään *suhteellisuusrajaksi* (limit of proportionality). Se on tavallisesti aivan lähellä kimmorajaa, ja kun suhteellisuusraja on verraten helppo määritellä jäljempänä esitettävän kimmoisuuskäyrän avulla, käytetään sitä tavallisesti puun lujuudentutkimuksissa kimmorajan asemesta. Useissa tutkimuksissa, missä puhutaan kimmorajasta, tarkoitetaankin oikeastaan suhteellisuusrajaa. Jos koordinaatistoon, jonka abskissa osoittaa taipumaa, venymää tai kutistumaa ja ordinaatta jännitettä, merkitään mainitut muodon muutokset ja jännitteet kokeen eri asteissa, saadaan viiva, joka alussa kulkee aivan suorana, sitten alkaa taipua yhä enemmän abskissan suuntaan. Se kohta, missä viiva alkaa taipua, osoittaa suhteellisuusrajaa.

**Modulit.**

Kappaleen poikkileikkauksen pintayksikköä kohden vaikuttavaa teoreettista kantovoimaa nimitetään aineen *kantomoduliksi*, pintayksikköä kohden vaikuttavaa murtovoimaa taas *murtomoduliksi* (modulus of rupture) eli murtojännitteeksi. *Kimmomodulilla* (modulus of elasticity) tarkoitetaan voimaa, joka kykenee pidentämään tai pusertamaan kokoon poikkileikkaukseltaan pintayksikön suuruista kappaletta, sen oman pituuden määrän. Näin suuri muodonmuutos on puussa tietysti mahdoton, sillä kimmo- ja murtorajakin saavutetaan paljon sitä ennen, mutta kimmomoduli lasketaan kimmorajan saavuttamiseksi tarvittavan voiman ja siihen mennessä tapahtuneen muodon muutoksen perusteella, edellyttäen, että kappaleen pituuden suuruinen venyminen tai puristuminen olisi mahdollinen kimmorajaa saavuttamatta.

Kaikki modulit ilmaistaan tavallisesti kilogrammoina neliösenttiä kohden, tai jos näin saatu luku olisi kovin suuri, kuten esim. kimmomoduli, tonneina neliösenttiä kohden.

---

Kimmoisuuskäyrän otti puun tutkimuksessa ensiksi käytäntöön Dupin. Hänen jälkeensä Poncelet on käyttänyt apunaan tätä käyrää; hän laski sen avulla kimmomodulin. Myöskin Paccinotti

ja Peri ovat tehneet tutkimuksia puun kimmoisuudesta veto-, taivutus- ja vääntökokeissa.

Nördlinger käsittelee teoksessaan kimmoisuutta sinänsä erityisenä ominaisuutena. Hän mainitsee, että sitä voi tutkia kahdella eri tavalla, venyttämällä ja taivuttamalla koekappaleita, sekä tekee sitten selkoa etupäässä jälkimmäisellä tavalla tehdyistä kokeista ja niiden tuloksista. Vaikkakin kimmoisuutta hyvällä syyllä voidaan pitää itsenäisenä ominaisuutena, on sen suhteen myöhempinä aikoina tehty havaintoja etupäässä muiden kokeiden yhteydessä, ja puhutaankin taivutus-, venytys-, puristus- ja vääntökimmoisuudesta.

**Standardikokeet.**

Eri maissa on tähän mennessä suoritettu jo hyvinkin runsaasti puun lujuusominaisuuksia selvitteleviä tutkimuksia. Niiden avulla on saatu selville paljon seikkoja, mutta uhrattuun työhön ja aikaan verraten tulokset ovat sittenkin laihoja. Eri tutkijain tulokset eroavat toisistaan usein hyvinkin paljon, saattavatpa olla aivan ristiriitaisiakin. Tähän on vaikuttanut epäilemättä ensi sijassa se, että tutkimukset on suoritettu erillisinä, ilman yhteistä ja johdonmukaista suunnitelmaa, erilaisia menettelytapoja käyttäen ja usein hyvinkin epähomogeenisen ja niukan tutkimusaineiston avulla. Sen tähden tuloksetkaan eivät ole verrannollisia keskenään.

Tämä epäkohta on tiedetty jo kauan aikaa ja sen korjaamiseksi on ryhdytty toimenpiteisiin. Tärkeimpänä tätä tarkoittavista yrityksistä mainittakoon kansainvälisen aineenkoetuslaitosten liiton kongressissa Brysselissä 1906 puun teknillisten ominaisuuksien tutkimista varten hyväksytty työohjelma. Tämän ohjelman laati metsänhoitomiehistä ja teknikoista kokoonpantu komitea Rudeloffin ehdotuksen perusteella ja Schwappachin toimiessa puheenjohtajana.

Koska tämä ohjelma merkitsee huomattavaa parannusta puun ominaisuuksien tutkimuksessa, esitetään sen pääkohdat seuraavassa.

Brysselin kongressissa tehdyn päätöksen mukaan puuntutkimuksissa oli määriteltävä seuraavat seikat ja noudatettava seuraavia määräyksiä:

I Koepuiden alkuperä.
II Ne ulkonaiset merkit, joiden perusteella puun ominaisuuksista voidaan päätellä.
III Koemenetelmät.
IV Koekappaleiden otto koepuista.

I Koepuiden alkuperän suhteen oli määriteltävä niiden kasvupaikan asema ja laatu, metsikön laatu sekä ne olosuhteet, missä koe-

puut olivat kasvaneet, samoin niiden ikä, kaatoaika, kaadon jälkeinen varastoimis- ja kuivatustapa sekä koekappaleiden asema koepuussa.

II Niistä ulkonaisista merkeistä, joiden perusteella puun ominaisuuksia voidaan arvostella, on merkittävä muistiin koekappaleiden pituus- ja poikkileikkauksen ulkonäkö, vuosilustojen säännöllisyys ja tiheys sekä kevät- ja kesäpuun suhteellinen runsaus.

III Kokeista määrätään, että ne on suoritettava kaikin puolin virheettömillä koekappaleilla tai ainakin virheettömillä ja virheellisillä kappaleilla tehdyt kokeet on pidettävä erillään.

Lujuusominaisuuksien selville saamiseksi pidetään puristus- (puunsyiden suuntaan), taivutus- ja lohkaisukokeita tärkeimpinä; veto- ja halkaisukokeitakin suositellaan, mutta niitä ei pidetä kuitenkaan välttämättöminä. Puristus- ja taivutuskokeessa koekappaleen poikkileikkauspinta on 10 × 10 sm.

IV Siitä, miten koekappaleet on otettava koepuiden rungosta, määrätään, että jos rungon keskimääräisiä ominaisuuksia halutaan saada selville, on taivutuskokeessa käytettävät kappaleet otettava siitä osasta runkoa, joka on 7—10 m:n korkeudella maasta ja muihin kokeisiin tarvittavat kappaleet välittömästi edellisten ylä- tai alapuolelta. Tutkittaessa erilaisten käytännössä tarvittavien kannatinpelkkojen ja -paalujen lujuutta on koekappale otettava niin, että sen keskikohta sattuu mahdollisimman lähelle rungosta saatavien pelkkojen ja paalujen keskikohtaa. Jos taas halutaan tutkia puun ominaisuuksia rungon eri korkeuksilla, on ensimmäiset koekappaleet otettava 1.3 m:n korkeudelta maasta lukien ja seuraavat aina kuuden metrin välimatkoilta. Jollakin erityisellä kasvupaikalla kasvavien puiden keskimääräisiä ominaisuuksia tutkittaessa on otettava vähintään 3 koepuuta kultakin paikalta.

---

Edellä esitettyjä määräyksiä tarkasteltaessa havaitaan, että ne ilmeisesti merkitsevät huomattavaa parannusta aiempiin sekaviin ja järjestelmättömiin menetelmiin. Siitä huolimatta nämä menetelmät eivät ole saaneet yleistä kannatusta. Saksassa niitä on noudatettu jonkin verran, ja Sveitsin insinööri- ja arkkitehtiyhdistys hyväksyi v. 1926 puun tutkimusta varten näitä hyvin lähellä olevat määräykset, mutta jotenkin kaikkialla muualla niistä on poikettu toisenlaisiin normeihin, etenkin koekappaleiden suuruuden suhteen.

Brysselin kongressissa hyväksyttyjen määräysten pahimpana epäkohtana voitaneen pitää koekappaleiden liian suurta kokoa, useimmissa kokeissa kun koekappaleen poikkileikkauspinta on 10 × 10 sm. Näin suurilla kappaleilla kokeiltaessa tarvitaan jo sangen suuria,

voimakkaita ja kalliita koneita, ja sitä paitsi on vaikea saada koepuista näin suuria aivan virheettömiä kappaleita. Varsinkin 1.5 m:n pituisia taivutuskoe-kappaleita on jotenkin mahdoton saada oksattomia.

Joskin suuria koekappaleita tutkittaessa saadaan tuloksia, jotka ovat sovellettavia järeissä puurakenteissa, eivät ne vastaa kuitenkaan kaikkia käytännön tarkoituksia. Etenkin lentokoneteollisuudessa käytetään hyvinkin pienimittaisia puuosia, ja kun puun lujuusominaisuuksien tutkimus viime aikoina on varsin suurelta osalta ollut kytkettynä juuri tämän teollisuuden yhteyteen, on hyvin ymmärrettävää, että on ruvettu käyttämään pienimittaisia koekappaleita.

Englannin lentokonetehtaissa suoritetuissa puun lujuustutkimuksissa käytetään seuraavan kokoisia koekappaleita:

| | | |
|---|---|---|
| puristuskokeessa ..... | 25 × 25 × 50 | mm |
| tasaisen taivutuksen kokeessa ..... | 25 × 50 × 1 000 | » |
| iskutaivutus- ja sitkeyskokeessa .... | 22 × 22 × 125 | » , jolloin |
| keskiosan poikkileikkaus on ..... | 12.5 × 22 | mm. |

Ruotsissa lentokonepuun kokeissa käytetyt koekappaleet ovat suunnilleen samanlaisia kuin Englannissakin. Useissa muissa maissa, kuten Ranskassa, Venäjällä, Saksassa ym., käytetään lentokoneteollisuuden tarpeita varten suoritetussa puuntutkimuksessa vielä pienempiä koekappaleita, joiden poikkileikkaus on 2 × 2 sm.

Englanninkielisissä maissa ja Ruotsissa on niissä puun lujuudentutkimuksissa, joita ei suoriteta erikoisesti lentokoneteollisuuden tarpeita silmällä pitäen, ruvettu noudattamaan Madisonin laboratoriossa kehitettyjä menettelytapoja ja siellä yleiseen käytäntöön otettuja koekappaleita, jotka poikkileikkaukseltaan ovat 2 × 2 tuumaa tai 5 × 5 sm.

Näiden lisäksi ovat etenkin amerikkalaiset, englantilaiset ja ruotsalaiset viime aikoina ruvenneet kokeilemaan myöskin suurilla pelkoilla, parruilla, ratapölkyillä, kaivospylväillä yms., sen kokoisilla, kuin ne esiintyvät käytännössä.

Jos näiden eri koekappaleiden tarkoituksenmukaisuutta arvostellaan, tuntuu ensi katsannolla siltä, että luonnollista kokoa olevat koekappaleet olisivat parhaat, sillä niillä suoritettujen kokeiden tulokset olisivat suoraan käytäntöön sovellettavia. Pienien, erikoisesti valittujen virheettömien koekappaleiden tutkimuksissa saaduilla tuloksilla taas ei näyttäisi olevan paljoakaan käytännöllistä arvoa, sillä jokapäiväisessä käytännössä puu esiintyy useimmiten paljon suurempimittaisena — lentokonerakenteita ehkä lukuun ottamatta — ja sil-

loin siinä aina on kaikenlaisia vikoja, oksia, halkeamia ym., eikä sellaisen kappaleen lujuutta siis voi arvostella virheettömän kappaleen lujuuden mukaan. Asiaa lähemmin tarkasteltaessa huomataan kuitenkin, että pienillä virheettömillä kappaleilla suoritetut tutkimukset sentään muodostavat kaikkien puun lujuudentutkimusten perustan.

Kahta suurta ja siis enemmän tai vähemmän epähomogeenista ja virheellistä puukappaletta kokeilemalla ei voida suorastaan päästä selville, mistä seikoista mahdolliset lujuuseroavaisuudet johtuvat, sillä useiden samanaikaisten ja erilaisten tekijäin yhteisvaikutusta on melkein mahdoton tietää. Jos esim. haluttaisiin tutkia, missä suhteessa puun ominaispaino, vesipitoisuus, kasvupaikka, koekappaleen asema rungossa tms. ovat sen lujuuteen, olisi kaikki muut vaikuttavat tekijät eliminoitava pois. Tutkittavissa kappaleissa siis kaikkien muitten seikkojen paitsi juuri tutkittavan pitäisi olla aivan samanlaisia. Kun kahdessa kappaleessa tuskin voi olla kahta aivan samanlaista oksaa tai muuta vikaa, on niin ollen ensimmäisiä ehtoja, että molemmat ovat aivan virheettömiä.

Sitten vasta, kun pienien virheettömien kappaleiden avulla on saatu selville, mitä eri tekijät vaikuttavat virheettömän puun lujuuteen, voidaan ruveta tutkimaan, mikä vaikutus siihen on eri vioilla, ja käyttää siis suuria koekappaleita. Näin ollen pienillä, virheettömillä kappaleilla suoritetut tutkimukset muodostavat perustan, jolle suurten kappaleiden tutkimus vasta voidaan rakentaa.

Jos siis puun lujuudentutkimukset on aloitettava pienillä koekappaleilla, on vielä ratkaistava, mikä koko olisi niille sopivin. Aiemmasta esityksestä havaittiin, että tässä suhteessa ei olla vielä yksimielisiä, vaan eri maissa ja laitoksissa käytetään vielä hyvinkin erikokoisia koekappaleita.

Halkeilemisen välttämiseksi koekappaleet on otettava rungosta siten, että puun ydin ei jää koekappaleiden sisään. Sydän on siis sahattava halki. Jos käytettäisiin sellaisia koekappaleita, joiden poikkileikkaus on 10 × 10 sm, täytyisi koepölkyn pienimmän läpimitan olla jo lähes 25 sm. Harvojen metsiköiden valtapuistakaan saa tällaisia pölkkyjä muualta kuin tyviosasta. Rämeillä ja huonokasvuisilla mailla tämänkokoiset puut verraten harvoin ovat enää sydämestä terveitä, ja hyväkasvuisillakaan mailla syrjäytettyjen puuluokkien puut harvoin pääsevät näin paksuiksi. Jos vielä haluttaisiin tietää pinta- ja sydänpuun ominaisuuksien ero, kävisi tutkimus näin suuria kappaleita käytettäessä useimmissa tapauksissa mahdottomaksi. Näiden ja jo ennen mainittujen syiden perusteella voidaan siis ilman muuta sanoa, että ainakin meidän oloissamme koekappalekoko 10 × 10 sm on liian suuri.

Toinen aiemmin mainittu koekappalekoko on 2″ × 2″ tai 5 × 5 sm. Tämä koko on meillä jo mahdollisuuksien rajojen sisällä, sillä jo 15 sm vahvasta pölkystä tulee neljä tällaista kappaletta. Kun tätä kokoa käytetään myös Ruotsissa ja englanninkielisissä maissa, joissa suoritettuihin tutkimuksiin meikäläisiä tutkimustuloksia on syytä lähinnä vertailla, olisi se ilmeisesti sopivin meilläkin käytettäväksi.

Poikkileikkaukseltaan 2 × 2 sm:n kokoisilla koekappaleilla, joita käytetään etupäässä lentokonetehtaiden aineenkoetuslaboratorioissa ja muutamissa maissa, kuten esim. Ranskassa, muissakin puun tutkimuksissa, on useita hyviä puolia, mutta niillä on myös varjopuolensa. Niin pieniä koekappaleita on helppo saada pienistäkin koepuista ja lisäksi virheettömiä, tarvittavat koneet ovat pieniä ja siis suhteellisen halpoja, koeaineiston kuljetus metsästä ja säilyttäminen on verraten helppoa, kun koepuista ei tarvitse ottaa muuta kuin pieniä pölkkyjä tai lohkokappaleita eikä suuria tukkeja, kuten suuria koekappaleita käytettäessä. Pienet koekappaleet ovat käytännöllisiä myös, jos halutaan tutkia esim., mitä ominaisuuksia puulla on saman rungon eri osissa, eri korkeuksilla maasta, eri etäisyyksillä sydämestä jne. Suurilla koekappaleilla olisi vaikea selvittää pintapuun ja sydänpuun ominaisuuksien eroavaisuuksia, sillä pintapuukerros on useinkin siksi ohut, että pelkästä pintapuusta ei voi saada suurta koekappaletta. Pienien koekappaleiden haitoista taas voidaan mainita se, että niitä mitattaessa tehdyt mittausvirheet ovat joka tapauksessa suhteellisen suuret. Koetulokset ovat pienillä koekappaleilla kokeiltaessa myös paljon vaihtelevampia kuin suurilla kappaleilla kokeiltaessa, sillä hyvin epähomogeenisesta puusta valmistettu koekappale voi sisältää yksinomaan aivan heikkoa tai lujaa puuta. Suuret koekappaleet sisältävät tavallisesti sekä huonompia että parempia kohtia, joten niitä käytettäessä päästään rungon keskimääräisiä ominaisuuksia lähelle paljon vähemmillä kokeilla kuin pieniä koekappaleita käytettäessä. Kun tutkimuksen ensisijaisena päämääränä meillä on saada selville suomalaisten puulajien keskimääräiset ominaisuudet, samoin eri metsätyypeillä ja eri olosuhteissa kasvaneiden puiden ominaisuudet, on ilmeistä, että aivan pienet koekappaleet eivät ole tarkoituksenmukaisia.

Edellä esitetyn perusteella voitaneen katsoa englanninkielisissä maissa ja Ruotsissa käytettyjä koemenetelmiä ja koekappaleiden suuruuksia meillä Suomessakin parhaiten soveltuviksi. Itse koemenetelmät ovat kaikissa yllä mainituissa maissa aivan samat, koekappaleiden koko eroaa vain siinä, että englanninkielisissä maissa käytetään tuumamittaisia kappaleita, Ruotsissa senttimetrimittaisia. Kun meilläkin on käytettävä viimeksimainittuja mittoja, tulisivat meillä niin ollen noudatettaviksi lähinnä ruotsalaiset menetelmät.

Kuten edellisestä esityksestä ilmenee, toistaiseksi ei vielä ole päästy kaikkialla yleisesti hyväksyttyihin tutkimusmenetelmiin, mutta kun ainakin kaikissa suurimmissa ja tärkeimmissä tutkimuslaitoksissa noudatetaan Madisonin menetelmiä, nimitetään seuraavassa niiden mukaan tehtyjä kokeita »standardikokeiksi», kuten englanninkielisessä teknologisessa kirjallisuudessakin tehdään.

Englanninkielisissä maissa ja Ruotsissa suoritettuihin standardikokeisiin kuuluvat seuraavat:

1) Tasainen taivutus.
2) Iskutaivutus.
3) Puristus puunsyiden suuntaan.
4) Puristus kohtisuoraan puunsyiden suuntaa vastaan.
5) Kovuus.
6) Lohkaisu.
7) Halkaisu.
8) Veto kohtisuoraan puunsyiden suuntaa vastaan.

Puunsyiden suuntaan tehtyä vetokoetta ei ole yleisesti otettu standardikokeiden joukkoon kokeissa esille tulevien käytännöllisten vaikeuksien takia ja myöskin siitä syystä, että puun vetolujuus on puunsyiden suuntaan niin suuri, että se käytännössä aina riittää. Ruotsissa on kylläkin suunniteltu erityiset käytännölliset laitteet tämän kokeen suorittamista varten, mutta yleiseen käytäntöön tämä koe ei ole sielläkään tullut ainakaan vielä.

Myöskin puun väsytyskoetta varten Ruotsissa on rakennettu kone, mutta tämän kokeen suhteen voidaan sanoa samaa kuin edellisestäkin; sitä ei siis yleensä lueta standardikokeiden joukkoon. Myöskin sitkeyskokeita (toughness test) tehdään Amerikassa ja Englannissa siten, että verraten ohut prisman muotoinen kappale katkaistaan yhdellä iskulla (heilurilla) ja tarkataan, paljonko voimaa katkaisemiseen kului, mutta tätäkään koetta ei tavallisesti lueta standardikokeisiin.

Varsinaisten, edellä mainittujen lujuuskokeiden yhteydessä tehdään aina havaintoja myös erinäisistä fysikaalisista ja rakenteellisista ominaisuuksista, jotta saataisiin selville, missä suhteessa nämä ovat toisiinsa. Näistä huomioon otettavista seikoista tärkeimmät ovat:

1) Koekappaleen ominaispaino kokeen aikana ja puun ollessa absoluuttisen kuivana.
2) Kosteuspitoisuus kokeen aikana.
3) Vuosilustojen paksuus.
4) Kesäpuuprosentti.
5) Pintapuuprosentti.

Seuraavassa käsitellään kutakin näistä standardikokeista erikseen, samalla esittäen lyhyesti, mitä kokeessa tutkittavalla ominaisuudella tarkoitetaan, mikä merkitys sillä on käytännössä sekä mitä on mainittava tärkeimmistä aiemmin suoritetuista, tätä ominaisuutta koskevista tutkimuksista.

*Tasainen taivutus.*

Taivutuslujuudella tarkoitetaan, kuten jo nimityksestäkin käy ilmi, kappaleen kykyä vastustaa sen pituussuuntaa vastaan kohtisuoraa voimaa, joka pyrkii muuttamaan sen pituuslinjaa toisen muotoiseksi. Taivutuslujuus on oikeastaan yhdistelmä veto- ja puristuslujuutta, sillä kappaletta taivutettaessa sen kuperalle puolelle syntyy vetojännitettä, koverolle puristusjännitettä. Nämä ominaisuudet tulisivat siis selville erityisissä veto- ja puristuskokeissa, mutta kun sen seikan selville saaminen, miten nämä ominaisuudet yhdessä vaikuttavat, on käytännössä erikoisen tärkeää, ovat taivutuskokeet jo varhain olleet käytännössä. Niiden eduksi vaikuttaa lisäksi vielä se, että niitä on helppo ja mukava suorittaa, kun taas vetokokeet ovat hankalia kappaleen kiinnittämisvaikeuksien takia.

Puun taivutuslujuus on sen tärkeimpiä, sillä juuri se tulee ensi sijassa kysymykseen ehkä useimmissa käyttömuodoissa, kuten lattian ja katon kannattimissa, siltavasoissa, telinelankuissa ym.

N ö r d l i n g e r suoritti taivutuskokeita etupäässä kimmoisuuden selville saamiseksi. Kokeissaan hän käytti molemmista päistään tuettuja keppejä, joita keskikohdalta kuormitettiin punnusten avulla. Taipumaa näytti erityinen osoitin. Näin epätäydellisellä kojeella saadut tulokset eivät kuitenkaan olleet luotettavia eivätkä myöskään verrannollisia toisten tutkijain tuloksiin, niin että N ö r d l i n g e r ei halunnutkaan tehdä niiden perusteella mitään lopullisia johtopäätöksiä.

Jo ennen N ö r d l i n g e r i ä oli D u h a m e l d u M o n c e a u suorittanut taivutuskokeita. Tärkeimpänä hänen huomioistaan voitaneen pitää sitä, että neutraalinen taso taivutettaessa ei pysykään kappaleen keskiakselin kohdalla, vaan painuu lähemmäksi venytettyä sivua.

Myöhemmistä tutkimuksista mainittakoon T e t m a j e r i n suorittamat; T e t m a j e r määräsi sveitsiläisten puulajien kimmo-, kanto- ja murtomodulit. Myös B a u s c h i n g e r, R u d e l o f f, J a n k a ym. ovat suorittaneet taivutuskokeita ja tutkineet taivutuslujuuden riippuvaisuutta erinäisistä muista seikoista.

Tavallisin taivutusmuoto on se, että pitkänomainen, prisman muotoinen koekappale tuetaan molemmista päistään ja taivuttava

voima kohdistetaan kappaleen keskikohdalle. Suurilla pelkoilla, parruilla, kaivospölkyillä yms. kokeiltaessa taivuttava voima usein kohdistetaan kahteen kohtaan, jotka ovat toisistaan ja tukikohdista yhtä kaukana (third point loading). Amerikassa ja Englannissa käytetään tätä tapaa joskus pienilläkin kappaleilla kokeiltaessa.

Koe suoritetaan koneella, josta kuormituksen suuruus kullakin hetkellä voidaan lukea ja jossa kutakin kuormitussuuruutta vastaava taipuma eli koekappaleen keskikohdan painuma voidaan mitata erityisellä laitteella. Yhdenmukaisuuden vuoksi asetetaan koekappale aina siten, että sydänpuoli tulee ylöspäin.

*Iskutaivutus.*

Tasaisen taivutuksen lisäksi englanninkielisissä maissa standardikokeisiin kuuluu myös iskutaivutus. Ruotsissa vastaavia kokeita ei ole tehty.

Voiman vaikutustapa iskutaivutuksessa on äkkinäinen, siis erilainen kuin tasaisessa taivutuksessa, ja eri puut vastustavatkin sen takia näitä molempia taivutustapoja eri lailla, vaikkakin voiman vaikutuksen suunta on sama ja suuruuskin voi olla yhtä suuri. Iskuja vastustavaan taivutuslujuuteen vaikuttaa nim. suuressa määrin puun sitkeys ja hauraus, joustavuus ja jäykkyys. Kun useassa käytännön tarkoituksessa erikoisesti juuri puun iskujen vastustuskyky on tärkeä — esim. suksissa, voimistelutelineissä, kirveen varsissa ym., — on sitäkin viime aikoina ruvettu tutkimaan.

Iskutaivutuskokeissa käytetään yleensä saman kokoisia ja -muotoisia koekappaleita kuin tasaisen taivutuksen kokeissakin. Koekappale kiinnitetään kahden tuen varaan, joiden etäisyys on 28″, ja 50 tai 100 naulan painoinen, liukukiskojen ohjaama paino pudotetaan koekappaleen keskikohdalle aina lisääntyviltä korkeuksilta, kunnes kappale taittuu. Erityisen laitteen avulla saadaan kunkin pudotuksen aikaansaama taipuma merkityksi. Näiden taipumien ja pudotuskorkeuksien perusteella piirretään sitten taivutuskäyrä.

Kuten jo mainittiin, tätä koetta ei esim. Ruotsissa ole suoritettu ollenkaan, eikä se myöskään meillä ainakaan toistaiseksi tule kysymykseen, etupäässä sen tähden, että sitä varten tarvittaisiin erikoiskone, jota ei voida käyttää mihinkään muihin kokeisiin.

*Puunsyiden suuntainen puristus.*

Kun paksuuteensa verrattuna lyhyt puupölkky joutuu puristukseen päittäin, tulee kysymykseen sen lujuus puunsyiden suuntaan puristettaessa.

Jos puristettava kappale on vähintään 7—8 kertaa paksuuttaan pitempi, taipuu se päittäin puristettaessa sivulle päin, jolloin ei enää voi puhua varsinaisesta puristuslujuudesta, vaan silloin jo sanotaan n u r j a h d u s l u j u u d e n tulevan kysymykseen. Varsinaisessa puristuksessa kappale saa olla enintään 4—5 kertaa paksuuttaan pitempi.

Puunsyiden suuntainen puristuslujuus, siis paksuuteensa verraten lyhyiden kappaleiden puristus, tulee käytännössä verraten harvoin kysymykseen, ja milloin se tuleekin, tämä lujuus on yleensä niin suuri, että se harvoin pettää. Kun puristuslujuutta osoittavat kokeet ovat verraten mukavia suorittaa, ja kun tämä lujuus tulee kysymykseen taivutuslujuudessa, on sitä kuitenkin ruvettu erikseen tutkimaan.

N ö r d l i n g e r mainitsee puristuslujuuden vain aivan sivumennen eikä itse ole sitä tutkinut siitä syystä, että näissä kokeissa tarvitaan erittäin voimakkaita koneita ja sellaisia, tähän tarkoitukseen sopivia, N ö r d l i n g e r i l l ä ei ollut käytettävänä.

Myöhemmistä tutkimuksista voidaan mainita, että M i k o l a s c h e k koetti selvitellä eri puulajien puristuslujuutta rungon eri osissa. E x n e r i n pyökkientutkimus selvitteli myös puristuslujuutta rungon eri osissa.

T e t m a j e r tutki myös tärkeimpien Sveitsin puulajien puristuslujuutta ja määräsi niiden kimmomodulin, murtomodulin ja kantomodulin. B a u s c h i n g e r selvitteli taas puun mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien riippuvaisuutta toisistaan. Hän havaitsi, miten läheisessä yhteydessä kosteuspitoisuus ja eri lujuusominaisuudet ovat keskenään. Samoin hän tutki puristuslujuuden ja ominaispainon riippuvaisuutta toisistaan.

R u d e l o f f i n tutkimuksien tarkoituksena oli selvittää, miten kasvupaikka vaikuttaa puun lujuusominaisuuksiin sekä mitä niihin vaikuttaa puun sinistyminen. S c h w a p p a c h taas selvitteli ominaispainon ja puun lujuusominaisuuksien suhdetta toisiinsa.

Aiemmista tutkimuksista olisi vielä mainittava ennen kaikkea J a n k a n suorittamat. Niiden tärkeimmät tulokset voidaan lyhyesti esittää seuraavasti:

Saman puulajin lujuusominaisuudet kasvavat samassa kosteusasteessa sitä mukaa kuin ominaispaino, ja saman painoisen puun lujuus kasvaa kosteuspitoisuuden vähentyessä, kuitenkin vasta sitten, kun kosteuspitoisuus on laskenut alle puunsyiden kyllästymispisteen eli 25—30 %. Tämän kohdan yläpuolella tapahtuvat kosteuspitoisuuden vaihtelut eivät siis vaikuta lainkaan puun lujuusominaisuuksiin.

Puristuskoe suoritetaan siten, että koneella puristetaan prisman muotoista koekappaletta päikseen, jokaista määrättyä puristuksen lisäystä vastaava painuma luetaan ja näiden tietojen perusteella piirretään puristuskäyrä koordinaatistoon, jonka abskissalla ovat painumat ja ordinaatalla puristus.

Kappaletta puristettaessa ei painumaa tavallisesti oteta koekappaleen koko pituudelta, vaan erityisten kojeiden avulla otetaan huomioon ainoastaan se painuma, mikä esiintyy koekappaleen keskeisessä, 6 tuuman pituisessa osassa, jos koko kappale on 8″ pitkä, ja 15 sm:n pituisessa osassa, jos kappale on 20 sm:n mittainen. Näin tehdään sen takia, että puristettaessa koekappaleen molemmat päät tavallisesti puristuvat epänormaalisesti ja murskaantuvat, joten koko kappaleen puristuma olisi paljon suurempi kuin se kappaleen »sisäinen» puristuma, josta kokeessa oikeastaan tahdotaan saada selko.

*Puunsyiden suuntaa vastaan kohtisuora puristus.*

Lujuus kohtisuoraan puunsyiden suuntaa vastaan puristettaessa tulee kysymykseen silloin, kun voima vaikuttaa puun sivupintaa vastaan, siis esim. junan ja kiskojen paino ratapölkkyjä vasten, hirsiseinässä ylempien hirsikerrosten paino alempia vasten jne. Yleensä tämäkin lujuus on siksi suuri, että se käytännön tarpeisiin hyvinkin riittää, mutta sen tutkiminen on kuitenkin otettu standardikokeiden joukkoon.

Tämä puristuskoe suoritetaan siten, että pitkällään olevan koekappaleen päälle sen keskikohdalle asetetaan poikittain rautalevy, jota koneen avulla puristetaan koekappaletta vasten ja tiettyä kuormituksen lisäystä vastaava painuma luetaan erityisen laitteen avulla hiukan kimmorajan ohi.

*Kovuus.*

Kappaleen kovuudella tarkoitetaan sen kykyä vastustaa vieraita kappaleita, jotka pyrkivät tunkeutumaan sen sisään.

Puun kovuus on milloin edullinen, milloin epäedullinen ominaisuus, aina sen käytännöstä riippuen. Lattioissa, huonekaluissa ym. käyttöesineissä kovuus on haluttu ominaisuus, sillä kovaan puuhun ei helposti tule lovia ja naarmuja eikä se ole altista kulumiselle. Puuta naulattaessa ja sitä erilaisilla teräaseilla muokattaessa taas toivotaan sen olevan pehmeätä, sillä silloin työskentely on helppoa.

N ö r d l i n g e r lukee kovuuden, ihme kyllä, puun tärkeimpiin ominaisuuksiin. Sen tutkimiseen hän ehdottaa useitakin kojeita, esim. kirvestä, höylää, raspia ja viilaa, mutta huomauttaa samalla,

että puun sitkeys, kimmoisuus ja halkeavaisuus vaikuttavat häiritsevästi tuloksiin näillä työkaluilla kokeiltaessa. Lopuksi Nördlinger päätyy sahan käyttöön. Omat kokeensa hän on suorittanut siten, että sahattiin poikki eri puun runkoja ja samoja runkoja useasta kohden siten, että saha sai painua puuhun omalla painollaan, sitä vain vedettiin edestakaisin aina yhtä pitkät matkat, ja katkaisuun tarvittavien vetojen lukumäärä laskettiin. Sitten mitattiin leikkauspinnan ala ja laskettiin, montako neliömillimetriä saha aina yhtä vetoa kohden oli leikannut. Täten Nördlinger sai lukuja, joiden avulla hän saattoi vertailla eri puulajien kovuutta.

On sanomattakin selvää, että näin alkeellisella menetelmällä ei voida päästä tarkkoihin tuloksiin. Sahan leikkaustuloksiin vaikuttavat puun kovuuden lisäksi vielä aseen terävyys, puun sitkeys ym. seikat, ja sitä paitsi vetojen lukumäärä yksinään ei ilmaise tehdyn työn kokonaismäärää, vaan sen selville saamiseksi olisi vielä otettava huomioon kuhunkin vetoon käytetty voima.

Edellä kuvatulla sahauskokeella saadut tulokset eivät myöskään ole keskenään vähääkään vertauskelpoisia, jollei kokeita ole tehty samalla tai aivan samanlaisella sahalla ja muuten samanlaisissa olosuhteissa. Kun muutkin häiritsevät vaikutukset ovat erittäin suuret, ei näin saaduille tuloksille voi antaa paljoakaan arvoa.

Kun kovuudella yleensä tarkoitetaan sitä kykyä, millä aine vastustaa sen sisälle tunkeutuvaa vierasta esinettä, käytti Büsgen puun kovuutta tutkiessaan menettelytapaa, joka paremmin kuin Nördlingerin tapa vastasi kovuuden määritelmää ja jossa muut sivuvaikutteet eivät olleet niin huomattavia. Hän menetteli siten, että hän mittasi, kuinka monen gramman kuormituksen määrätynmuotoinen teräsneula tarvitsee, jotta se painuisi 2 mm:n syvyyteen puun sisälle. Vaikkakin tässä menettelytavassa periaate oli oikea, oli siinä kuitenkin vielä useita puutteita. Ensinnäkin siinä käytetty neulan painuma ja siihen tarvittava paino olivat niin pieniä, että välttämättömät mittavirheet ovat suhteellisesti suuret, samoin pienikin ero neulan kärjen terävyydessä vaikuttaa jo huomattavasti. Toiseksi se pinta-ala puussa, joka joutuu kokeen alaiseksi, on varsin pieni, ja tulokset vaihtelevat suuresti sen mukaan, sattuuko neula esim. kevätpuun vai kesäpuun kohdalle; on siis tehtävä useita kokeita samallakin kappaleella, ennen kuin voidaan saada keskimääräisiä arvoja. Sitä paitsi tuollaisen terävän neulan puun sisälle tunkeutumiseen vaikuttavat myöskin puun halkeavaisuus, sitkeys, joustavuus ym. seikat.

Välttääkseen edellä mainittuja epäkohtia Janka otti puun kovuutta tutkiessaan käytäntöön Brinellin metallien kovuus-

tutkimuksia varten kehittämän, jo v. 1890 esittämän menetelmän. Tämä perustuu siihen, että teräskuulaa painetaan tasaisesti lisääntyvällä voimalla tutkittavaa pintaa vasten, jonka kovuuden numeerinen arvo lasketaan sitten kuulan painaman syvennyksen ja käytetyn paineen suuruuden perusteella. Janka muutti tätä menettelytapaa siten, että hän käytti aina yhtä suurta kuulaa, jonka suurin poikkileikkauspinta oli tasan 1 $sm^2$, ja se painettiin aina yhtä syvälle puuhun, puolen halkaisijan syvyyteen. Se kiloina ilmaistava vastustus, joka kuulaa kohtaa juuri sillä hetkellä, kun se painuu tähän syvyyteen, on otettu puun kovuutta osoittavaksi luvuksi. Kun se pinta-ala kokeiltavan puun pinnassa, joka tässä kokeessa joutuu kokeen alaiseksi, on 1 $sm^2$, vastaa täten saatu luku hyvin muidenkin lujuusominaisuuksien osoituslukuja, joiksi viime aikoina on yleensä otettu jännite $sm^2$:ä kohti.

Tämä Brinell-Jankan menettelytapa on puun kovuutta määrättäessä edelleenkin käytännössä. Vaikkakin se hyvin vastaa yleistä kovuuden määritelmää, ei se puusta kyseen ollen sentään vastaa täydelleen käytännön vaatimuksia. Puun kovuudella on nim. merkitystä suurelta osalta sikäli, mikäli se vaikeuttaa puun muokkaamista erilaisilla työkaluilla, ja tässä suhteessa esitetty koe ei anna ohjeeksi kelpaavia tuloksia. Kun erilaisia muokattavaisuuskokeita olisi kuitenkin vaikea järjestää, on tähän kokeeseen toistaiseksi tyydytty.

Kokeen yksityiskohtainen suoritustapa kuvataan myöhemmin.

*Lohkaisu.*

Lohkaisulujuudella tarkoitetaan puun kykyä vastustaa puunsyiden suuntaan vaikuttavaa voimaa, joka pyrkii lohkaisemaan irti puun pinnasta jotakin pinnanmyötäistä osaa. Yleisessä lujuusopissa tästä lujuudesta käytetään tavallisesti nimitystä leikkauslujuus, mutta kun leikkaaminen edellyttää teräasetta ja ainakaan puusta kyseen ollen sellaista ei lohkaisussa tavallisesti ole, lienee lohkaiseminen tässä tapauksessa sopivampi nimitys, varsinkin kun sana sinänsä jo hyvin kuvaa teon laatua.

Käytännössä lohkaisulujuus tulee verraten usein kysymykseen. Kun se vielä on puun lujuusominaisuuksien »ketjun» heikoimpia renkaita, on se senkin takia huomioon otettava.

Esillä olevan tutkimuksen yhteydessä tätä koetta ei ole suoritettu sen takia, että käytetyssä koetuskoneessa ei vielä ollut kokeeseen tarvittavia erikoislaitteita.

*Halkaisu.*

Puun halkaisulujuudella tarkoitetaan sen kykyä vastustaa puunsyiden suuntaa vastaan kohtisuoraa, yhteen kohtaan tai yhdelle viivalle keskitettyä voimaa, joka pyrkii repimään puunsyitä erilleen pitkin niiden pituusakselin suuntaista tasoa.

Kuten lohkaisulujuus on puun halkaisulujuuskin verraten pieni, sillä puulle ominaisesta rakenteesta johtuu, että se helposti halkeaa pitkittäin. Muutamissa harvoissa puun käyttömuodoissa helppo halkeavaisuus on tosin etu, esim. halkoja halottaessa ja päreitä kiskottaessa, mutta useimmiten sitä pidetään haittana.

N ö r d l i n g e r puhuu erikseen puun yleisestä eli absoluuttisesta halkeavaisuudesta sekä siitä halkeavaisuudesta, joka ilmenee puuta erilaisilla työaseilla halkaistaessa.

Edellistä, absoluuttista halkeavaisuutta, N ö r d l i n g e r tutki puukappaleilla, joiden toinen pää oli kaksihaarainen. Kokeiltavan kappaleen toinen haarukka kiinnitettiin erityiseen telineeseen, toiseen haarukkaan ripustettiin säiliö, johon erillään olevasta toisesta säiliöstä juoksutettiin lyijyhauleja siksi kunnes näin lisääntyvä paino repäisi koekappaleen haarukat erilleen. Joka kokeen jälkeen otettiin punnitsemalla selville, kuinka suuri paino koekappaleen halkirepäisemiseen kulloinkin tarvittiin.

Kiilalla halkaistaessa esiintyvää puun vastustusta N ö r d l i n g e r ehdotti tutkittavaksi siten, että kaksihaaraisen koekappaleen haarukkain väliin pakotettaisiin kiila punnuksia sen päälle lisäämällä, siksi kunnes halkeaminen tapahtuu. Käytetyistä punnuksista laskettaisiin halkaisuun kulloinkin tarvittava voima.

Jäljempänä suoritettuja kokeita selostettaessa palataan vielä kokeen yksityiskohtiin.

Tällainen hitaalla, tasaisella voiman lisäyksellä suoritettu halkaisukoe ei oikein vastaa käytäntöä, sillä käytännössähän halkaisu tapahtuu jotenkin poikkeuksetta äkillisesti vaikuttavan voiman avulla. Tasaisella voiman lisäyksellä aikaan saatuun halkaisuun tarvittava voima riippuu myös hyvin suuresti siitä, miten nopea voiman lisäys on; verraten pienikin voima, jos se saa vaikuttaa tarpeeksi kauan, voi saada aikaan halkeamisen. Tämä koe vastaisi ilmeisesti paremmin käytäntöä, jos se suoritettaisiin äkillistä voimaa käyttäen, esim. sellaisella heilurikoneella, jota käytetään sitkeyskokeissa.

*Puunsyiden suuntaa vastaan kohtisuora veto.*

Puunsyiden suuntaa vastaan kohtisuora vetolujuus on hyvinkin läheistä sukua halkaisulujuudelle, mutta näissä molemmissa voima vaikuttaa kuitenkin jossakin määrin eri tavalla. Halkaisussa vai-

kuttava voima synnyttää jännitettä ennen kaikkea siinä halkaistavan kappaleen päässä, mihin halkaisurako ensin ilmestyy, ja jännite siirtyy sitten raon kärjen mukana eteenpäin. Poikkisyin tapahtuvassa vedossa jännite taas on jotenkin tasaisesti jakaantunut koko sille pinnalle, mitä myöten halkeaminen sitten tapahtuu. Edellisessä jännite siis on keskittynyt pienelle alalle ja tästä johtuukin, että kappaleen halkaisuun riittää huomattavasti pienempi voima kuin saman kokoisen kappaleen halki vetämiseen poikkisyin.

Poikkisyin todettavaa vetolujuutta ovat tutkineet mm. Chevandier ja Wertheim sekä Barlow, Rondelet, Ebbels ja Tredgold, joiden tuloksista Nördlinger esittää yhdistelmän. Tulokset ovat verraten vaihtelevia, mikä suureksi osaksi johtuu koemenetelmien epätäydellisyydestä.

Ruotsissa ei myöskään tätä koetta tavallisesti tehdä.

*Puunsyiden suuntainen veto.*

Aiemmin on jo mainittu, että puunsyiden suuntaan tehty vetokoe on hankala suorittaa etupäässä sen takia, että koekappaleen kiinnittäminen on vaikeata, ja tätä koetta ei englanninkielisissä maissa ole otettukaan varsinaisten standardikokeiden joukkoon. On myöskin jo huomautettu siitä, että puunsyiden suuntainen puiden vetolujuus on suhteellisen suuri muihin ominaisuuksiin verrattuna, eikä sen tutkiminen siitäkään syystä ole tarpeellista; ketjun lujuutta tutkittaessa ei tarvitse tutkia sen lujimpia, vaan ainoastaan heikoimpia renkaita.

Ruotsissa on kuitenkin suunniteltu laite, jonka avulla koekappaleiden kiinnittäminen käy mukavasti ja varmasti, joten kokeen suorittaminen ei enää kohtaa käytännöllisiä vaikeuksia. Kun vetokokeiden tekeminen syiden suuntaan voi olla paikallaan muutamia erikoistarkoituksia varten, on tämäkin koe tässä yhteydessä mainittu.

## Suoritetut tutkimukset.

### Tutkimusaineisto.

Ryhdyttäessä suunnittelemaan tutkimusaineiston keräystä pidettiin silmällä sitä, että tutkimusmenetelmät ovat yhdenmukaistetut englanninkielisissä maissa ja Ruotsissa, ja siellä käytetty koekappaleiden koko on katsottava meidänkin tarkoituksiimme sopivaksi. Mutta sikäläisessä koepuiden valinnassa on vielä kuitenkin eräitä puutteellisuuksia, jotka esillä olevassa tutkimuksessa koetettiin välttää. Vaikkakin koepuun kasvupaikan maan laatu ja topograafinen luonne, kaltevuussuhteet, aluskasvillisuus yms. on merkittävä muistiin, ei näiden tietojen perusteella, vaikkapa ne olisivat verraten täydellisetkin, koko tutkimusaineistoa kuitenkaan voi jakaa mihinkään kasvupaikan laadun mukaisiin luonnollisiin ryhmiin. Sitä paitsi nämä tiedot ovat usein verraten puutteellisia, vieläpä niitä joskus, kuten ruotsalaisessa julkaisussa »Svenskt furuvirkes hållfasthetsegenskaper och deras beroende av fuktighetshalt och volymvikt», ei ole ollenkaan, vaan osa aineistoa ilmoitetaan otetun eri sahojen lautatarhoista.

Puun laatu on kuitenkin siinä määrin riippuvainen kasvupaikasta, että eri ominaisuuksien selittäminen on mahdotonta, jollei samalla oteta huomioon kasvupaikan vaikutusta. Kun kasvupaikkojen arvostelu ja vertailu taas käy parhaiten päinsä Cajanderin metsätyyppijärjestelmän perusteella, on se esillä olevassa tutkimuksessa otettu kaiken lähtökohdaksi ja tutkimusaineisto valittu metsätyyppien perusteella.

Tutkimusaineisto käsitti valtapuuluokan mäntyjä eri metsätyypeiltä ja eri osista Suomea taulukon 1 osoittamat määrät.

Koepuiksi valittiin yleisimmin tavattavilta ja kaikin puolin normaalisiksi katsottavilta metsätyypeiltä tyypillisimpiä valtapuita mahdollisimman luonnonvaraisista, puhtaista mäntymetsiköistä. Koko rungon sekä oksattoman runko-osan pituus mitattiin hypsometrin avulla, latvuksen muoto etelästä katsottuna piirrettiin silmämääräisesti sekä laadittiin karttaluonnos, johon merkittiin koepuun sekä

Taulukko 1. **Koepuut.**

| Lähetys[1]) ja metsäseutu | Metsätyyppi | Puiden lukumäärä | Puiden ikä | | Puiden koko pituus | | Oksattoman runko-osan pituus | | Läpimitta 3 m:n kork. (kuoren alta) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Keskim. v. | Vaihtelurajat v. | Keskim. m | Vaihtelurajat m | Keskim. m | Vaihtelurajat m | Keskim. sm | Vaihtelurajat sm |
| *Lähetys I.* Ruotsinkylän kokeilualue, Tuusulan pitäjä, Uudenmaan lääni. | MT | 5 | 74 | 57—79 | 23.2 | 22—24 | 14.4 | 12—17 | 25.2 | 23—27 |
| | VT | 5 | 84 | 79—87 | 20.2 | 20—21 | 11.6 | 11—12 | 23.2 | 22—24 |
| | CT | 5 | 99 | 95—110 | 20.3 | 19—21 | 7.2 | 6—8 | 26.4 | 26—29 |
| *Lähetys II.* Veikkolan kokeilualue, Valkjärven pitäjä, Viipurin lääni | OMT | 5 | 90 | 80—110 | 26.4 | 25—28 | 19.2 | 18—20 | 28.0 | 25—31 |
| | MT | 5 | 103 | 95—110 | 28.4 | 28—30 | 21.2 | 18—23 | 29.6 | 28—31 |
| | VT | 5 | 144 | 135—160 | 25.0 | 24—26 | 18.4 | 16—20 | 26.8 | 23—30 |
| | CT | 5 | 115 | 85—130 | 21.6 | 19—23 | 13.0 | 7—15 | 26.8 | 23—29 |
| | Räme | 5 | 150 | 130—165 | 15.2 | 13—17 | 11.0 | 10—12 | 25.1 | 21—30 |
| *Lähetys III.* Vilppulan kokeilualue, Vilppulan pitäjä, Hämeen lääni | OMT | 5 | 76 | 70—80 | 23.0 | 22—25 | 15.8 | 15—18 | 28.2 | 25—30 |
| | VT | 5 | 122 | 110—130 | 21.1 | 19—23 | 11.8 | 9—14 | 21.7 | 20—24 |
| | CT | 5 | 134 | 130—145 | 19.8 | 19—21 | 13.0 | 11—15 | 26.8 | 24—28 |
| | Räme | 5 | 130 | 120—140 | 13.2 | 12—15 | 8.8 | 8—10 | 19.6 | 18—22 |
| *Lähetys IV.* Kivalon kokeilualue, Rovaniemen pitäjä, Oulun lääni | MT | 10 | 71 | 68—80 | 18.4 | 17—21 | 9.2 | 6—12 | 24.3 | 21—28 |
| | VT | 10 | 82 | 65—100 | 18.0 | 16—21 | 7.0 | 3—12 | 26.7 | 23—29 |
| | HMT | 5 | 116 | 80—170 | 15.8 | 12—21 | 6.8 | 4—11 | 25.6 | 19—33 |
| | ClT[2]) | 5 | 146 | 140—150 | 13.4 | 12—15 | 6.2 | 6—7 | 23.8 | 22—26 |
| | Räme | 5 | 154 | 150—160 | 11.8 | 8—14 | 6.6 | 5—8 | 22.0 | 19—24 |
| | | Yhteensä 95 | | | | | | | | |

[1]) Kun kultakin paikkakunnalta kerätty tutkimusaineisto lähetettiin laboratorioon eri aikoina, ruvettiin kutakin tällaista erää nimittämään »lähetykseksi» vastaavan englanninkielisen nimityksen »shipment» mukaan.

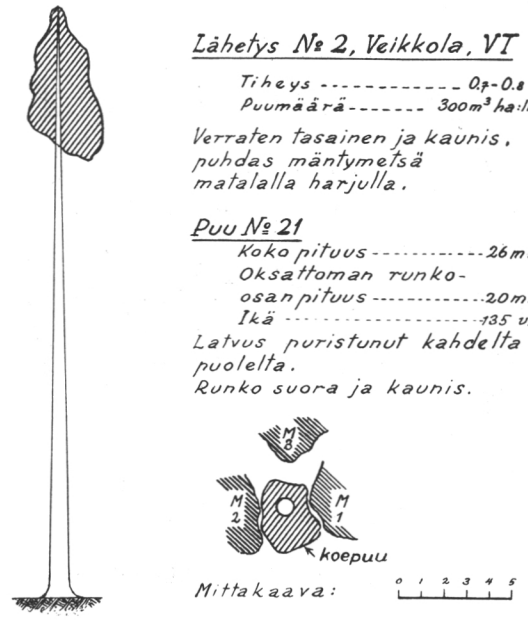
[2]) Jäkälätyypin puut ovat Kittilästä.

sen lähimpien naapuripuiden latvusten projektiot ja naapuripuiden laji ja latvusluokka (kuva 1). Kaikista rungossa ja latvuksessa esiintyvistä erikoisuuksista tehtiin vielä eri merkinnöt. Niin ikään tehtiin muistiinpanot metsikön tiheydestä, kuutiomäärästä hehtaaria kohti, puulajisekoituksesta, metsikön iästä ja syntymätavasta sekä kasvupaikan maanlaadusta, kaltevuussuhteista ja aluskasvillisuudesta. Kun kuhunkin koepuuhun vielä oli merkitty kunkin lähetyksen puun juokseva numero ja rungon eteläpuoli, jätettiin ne pystyyn talvikeliä ja laboratorioon lähettämistä odottamaan.

Koepuut kaadettiin helmikuussa 1932 ja jokaisesta rungosta otettiin 6-metrinen tyvitukki, jotka heti kaadon jälkeen lähetettiin Helsinkiin Teknillisen Korkeakoulun Puuteknilliseen laboratorioon, siellä edelleen käsiteltäviksi. Kun nämä tyvitukit jo sisälsivät rungon tärkeimmän, oksattomimman ja kokeisiinkin käyttökelpoisimman osan — latvuksista voi oksaisuuden takia saada vain hyvin vähän

kelvollisia koekappaleita, — ei latvatukkeja otettu ollenkaan käsiteltäviksi. Kukin lähetys tuli laboratorioon eri aikoina, niin että eri lähetyksien puut eivät päässeet sekaantumaan keskenään.

Laboratoriossa tukeista laskettiin ensin vuosilustojen lukumäärä kantoleikkauksen kohdalla, jolloin saatiin kunkin koepuun likimääräinen ikä. Sen jälkeen tukin keskeltä sahattiin n. 1.5 sm:n vahvuinen kiekko ja tukin kummankin osan latvanpuoleiseen päähän merkittiin sahattavat koekepit erityisen lävistetyn merkkauslevyn avulla kuvan 2 osoittamalla tavalla. Koepuita valittaessa puun runkoon

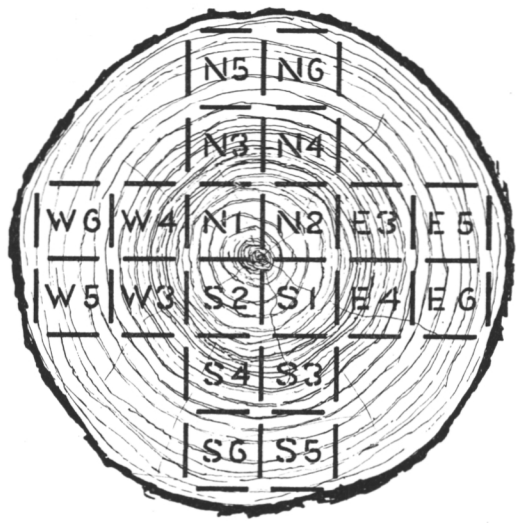



Kuva 1. Koepuusta tehdyt muistiinpanot sekä karttaluonnos.

tehty etelänmerkki oli tässä ohjeena, jonka mukaan keppien ilmansuunta puun ytimen suhteen voitiin oikein määrätä.

Tukin keskeltä otetusta kiekosta määrättiin ensin sydänpuun osuus koko poikkileikkauspinnasta — sama tehtiin myös tukin latvasta — ja kiekosta sahattiin sitten kappaleita kutistumisen tutkimista varten, mikäli mahdollista erikseen pinta- ja sydänpuusta sivuajan ja säteen suuntaan. Samoista kiekoista leikattiin vielä ympyrän sektorin muotoisia kappaleita, joista sydän- ja pintapuu sahattiin erilleen ja ne käytettiin kosteusprosentin sekä ominaispainon määräämiseen.

Alkuperäisestä 6-metrisestä tukista saadut kaksi 3-metristä kappaletta sahattiin pohjois-etelä- tai itä-länsisuunnassa 6 sm vahvoiksi lankuiksi kehyssahalla ja nämä lankut lappeelleen kääntäen vielä samaa 6 sm:n asetusta käyttäen kepeiksi. Kepit sahattiin vielä keskeltä poikki, joten ne tulivat 1.5 m:n mittaisia. Jokaisesta tukista tuli edellä mainitun mittaisia keppejä neljä kappaletta päittäin. Nämä merkittiin siten, että tyvestä otetut kepit saivat merkinnän A, sitä seuraavat merkinnän B, C ja D. Täten jokaiseen keppiin tuli merkintä, joka oli esim. seuraavanlainen: 1—3—C—$N_2$, mikä tarkoittaa sitä, että keppi oli ensimmäisen lähetyksen kolmannesta




Kuva 2. Koekeppien merkitseminen.

puusta, tyvestä lukien kolmannesta keppiryhmästä (pölkystä) toinen keppi ytimen pohjoispuolelta.

Tutkimukset suoritettiin kolmessa sarjassa, joista ensimmäinen käsitti tuoreen, toinen uunikuivan ja kolmas ilmakuivan koeaineiston.

Kepit jaettiin näiden sarjojen kesken siten, että ilmakuiviin otettiin joka toisesta pölkystä, siis A:sta ja C:stä, kaikki parilukuiset kepit (esim. $N_2$, $N_4$, $S_2$, $S_4$ jne.), pölkyistä B ja D epäparilukuiset kepit ja loput jaettiin uunikuivien ja tuoreiden kesken siten, että edellisiin otettiin A- ja C-pölkyn ykköskepit, B- ja D-pölkyn neloskepit ja loput jätettiin tuoreisiin.

Ilmakuivina kokeiltavat kepit tapuloitiin sitten ulos kuivumaan sateelta ja liialta auringonpaisteelta suojattuun paikkaan. Uunikuivina kokeiltavat kuivattiin laboratorion kuivausuuneissa, joissa

sekä lämpötila että relatiivinen kosteus on automaattisesti järjesteltävissä. Kuivaus aloitettiin alhaista lämpötilaa ja korkeata relatiivista kosteutta käyttäen, ja sitä mukaa kuin kuivuminen edistyi, näitä muutettiin, lämpötilaa korkeammaksi ja relatiivista kosteutta alhaisemmaksi. Ennen kuivauksen lopettamista koekeppejä vielä höyrytettiin parin tunnin aika mahdollisen pintakovettumisen poistamiseksi. Kuivaus kesti kaikkiaan n. 3 viikkoa, ja koekeppien kosteusprosentti oli sen päätyttyä n. 10.

Uunikuivauksen jälkeen kepeistä valmistettiin koekappaleet, jotka sitten valmiina olivat vielä n. 3 kk. pinottuina keskuslämmityksellä varustetussa huoneessa. Tämän ajan kuluessa mahdolliset kosteuseroavaisuudet, pintakovettumiset ja sisäiset jännitteet ilmeisestikin tasaantuivat jotenkin täydelleen.

Ennen keppien kuivumaan asettamista niiden päät siveltiin haihtumista ehkäisevällä aluminilakalla, etteivät päät kuivuisi nopeammin kuin keppien keskiosat ja halkeilisi.

Tuoreet kepit säilytettiin ulkona tuoreisiin sahajauhoihin ja lumeen haudattuina ja niistä valmistettiin koekappaleita vain sitä mukaa, kuin niitä ehdittiin kokeilla, ettei niistä ennättäisi haihtua kosteutta ennen kokeita.

Koekappaleita valmistettaessa kepit höylättiin ensin 5 × 5 sm:n vahvuisiksi. Näistä kepeistä valittiin ja merkittiin koekappaleita kutakin koetta varten seuraavasti:

Taivutuskoetta varten otettiin niin monta kappaletta, kuin näin pitkiä mahdollisimman virheettömiä kappaleita kepeistä saatiin. Kun aivan virheettömien taivutuskappaleiden luku olisi tullut verraten pieneksi, pidettiin silmällä pääasiallisesti sitä, että ainakaan koekappaleen keskellä, siis taivutettavassa osassa, ei ollut virheitä. Lähellä päitä sallittiin pieniä virheellisyyksiä, sillä siellä ne eivät vaikuta kokeilutuloksiin haittaavasti.

Puunsyiden suuntaiseen puristuskokeeseen otettiin koekappale niin monesta kepistä, kuin se oli mahdollista.

Poikkisyin tehtävään puristuskokeeseen ja kovuuskokeeseen otettiin koekappaleita vuorotellen kumpaankin niin paljon, kuin niitä kepeistä saatiin sen jälkeen, kun kahteen ensiksi mainittuun oli koekappaleet otettu.

Halkaisukokeeseen ja poikkisyin tehtyyn vetokokeeseen otettiin koekappaleita niin paljon, kuin kepeistä saatiin sen jälkeen, kun kaikkiin muihin edellä mainittuihin kokeisiin oli koekappaleet otettu. — Kahteen viimeksi mainittuun kokeeseen koekappaleet otettiin aina parittain, samasta kepistä päittäin; kappaleet valmistettiin niin, että toisessa kappaleessa halkaisupinta tuli säteen, toisessa sivuajan suuntaiseksi.

Kaikista taivutus-, molemmista puristus- ja kovuuskokeen tuoreista koekappaleista sekä yhdestä jokaisen uunikuivan kepin koekappaleesta sahattiin heti kokeen jälkeen vioittumattomalta kohdalta n. 1 sm:n vahvuinen kappale, joka käytettiin fysikaalisten ja rakenneominaisuuksien tutkimiseen.

Koekappaleita eri kokeisiin saatiin taulukon 2 osoittamat määrät. Esillä oleva tutkimus käsittää ainoastaan tuoreen (tutkimus 1) ja uunikuivan (tutkimus 2) aineiston. Ilmakuiva (tutkimus 3), siis toinen puoli alkuperäisestä aineistosta, käsitellään myöhemmin erikseen.

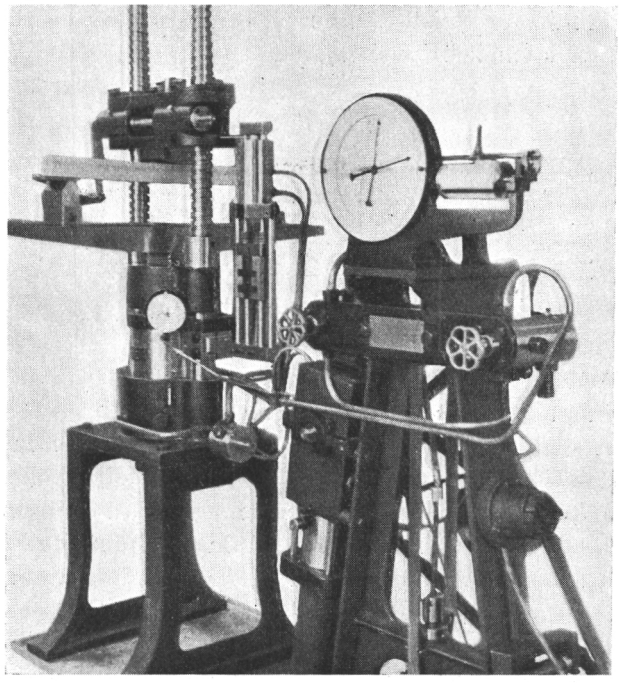
Taulukko 2. **Koekappaleiden lukumäärä.**

| Koe | Lähetys I | | Lähetys II | | Lähetys III | | Lähetys IV | | Yhteensä |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tuoreita | Uunikuivia | Tuoreita | Uunikuivia | Tuoreita | Uunikuivia | Tuoreita | Uunikuivia | |
| Tasainen taivutus | 30 | 44 | 84 | 67 | 46 | 47 | 58 | 37 | 413 |
| Puunsyiden suuntainen puristus | 70 | 78 | 116 | 161 | 118 | 113 | 167 | 175 | 998 |
| Puunsyiden suuntaa vastaan kohtisuora puristus | 42 | 32 | 62 | 80 | 28 | 55 | 83 | 87 | 469 |
| Kovuus | 38 | 35 | 60 | 81 | 53 | 57 | 81 | 85 | 490 |
| Halkaisu | 42 | 34 | 107 | 82 | 70 | 53 | 124 | 87 | 599 |
| Puunsyiden suuntaa vastaan kohtisuora veto | 58 | 38 | 107 | 67 | 73 | 60 | 132 | 87 | 622 |
| Ominaispaino ja kosteusprosentti | 116 | 105 | 202 | 158 | 128 | 120 | 203 | 182 | 1 214 |
| Kutistuminen | 56 | — | 81 | — | 65 | — | 116 | — | 318 |
| Yhteensä | 452 | 366 | 819 | 696 | 581 | 505 | 964 | 740 | 5 123 |

## Tutkimusten suorittaminen.

### Lujuuskokeet.

Kokeet suoritettiin Teknillisen Korkeakoulun Puuteknillisessä laboratoriossa Alfred J. Amsler & Co:n valmistamalla 30 tonnin aineenkoetuskoneella (kuva 3). Koneessa on öljypuristin, jossa



Kuva 3. Alfred J. Amsler & Co:n valmistama 30 tonnin aineenkoetuskone.

sähkömoottorin käyttämä öljypumppu aikaansaa puristuksen. Kuormituksen aiheuttavan koneen osan nopeus voidaan tiettyjen rajojen välillä järjestää tarpeen mukaan.

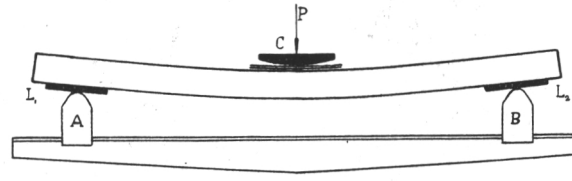
**Tasainen taivutus** (koe n:o 1).

Koekappaleet oli valmistettu mahdollisimman tarkoin mitoin $5 \times 5 \times 75$ sm. Kuormitus oli standardikokeissa käytetty keskikohtakuormitus ja tukipisteiden väli (kuva 4) AB = 70 sm. Koesauvan ytimen puoleinen sivu asetettiin aina ylöspäin.

Tukikärkien A ja B puuhun uppoamisen estämiseksi asetettiin niiden ja koesauvan päitten väliin metallilevyt ($L_1$, $L_2$), joiden vaikutus kuormitukseen on häviävän pieni.

Amerikkalaisissa ja englantilaisissa kokeissa on C:n suhteellisena nopeutena ollut 0.105″ min:ssa (2.6 mm/min:ssa), ruotsalaisissa kokeissa 1 mm/min:ssa. Nyt tehdyissä kokeissa käytettiin nopeutta, joka oli mahdollisimman lähellä amerikkalaisten ja englantilaisten käyttämää.

C:n kulkeman matkan $\triangle$ (= sauvan taipuma) ja siinä vaikuttavan voiman P (= kuorma) määräämiseksi mielivaltaisena hetkenä koneessa on mittarit, joista jälkimmäiseen tarkoitukseen käytetty on varustettu vielä maksimiosoittajalla.




Kuva 4. Kaaviokuva taivutuskokeesta.

Juuri ennen kokeen alkua koesauvat punnittiin ja mitattiin.

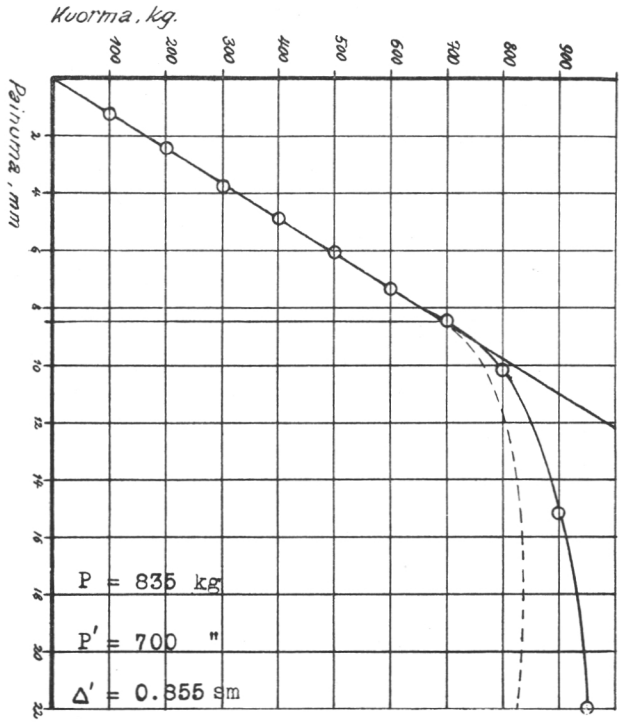
Havainnot tehtiin seuraavasti: Kun sauva oli asetettu paikoilleen ja C:n kärki viety siihen kiinni, kierrettiin molemmat mittarit nollaan ja puristus aloitettiin. Havaitsijoista, joita kokeessa tarvitaan kaksi, kumpikin tarkkailee omaa mittariaan. Taipumamittarin lukija merkitsee muistiin mittarin osoittaman taipuman niinä hetkinä, jolloin toinen havaitsija äänimerkin avulla ilmoittaa kuormamittarin osoittavan $\delta$P, $2\delta$P, $3\delta$P. . . Saadut taipuma-arvot vastaavat silloin tasavälisiä kuorman arvoja. Intervalli $\delta$P oli tutkimuksessa 1 (tuoreet koekappaleet) 50 kg, tutkimuksessa 2 (uunikuivat koekappaleet) 100 kg.

Amerikkalaiset ja englantilaiset jatkavat kaikkia taivutuskokeita ainoastaan maksimikuormitukseen saakka tai hiukan sen yli, ja vain ⅓:a kokeista jatketaan siitä eteenpäin, kunnes kappale lopullisesti murtuu, tai jos se on niin sitkeä, ettei se murru, ennen kuin painuma on 6″ tai kuorma 200 naulaa, koe lopetetaan siihen.

Nyt tehdyissä kokeissa taivutus lopetettiin sen jälkeen, kuin maksimi oli selvästi sivuutettu.

Saaduista arvoista piirrettiin sopivia mittakaavoja käyttäen käyrät, abskissana painuma ja ordinaattana kuorma (kuva 5).

Jos koe tehdään, kuten edellä on selitetty, saadaan virheellisiä tuloksia sen johdosta, että kärki C (kuva 4) uppoaa jonkin verran taivutettavaan puuhun ja tekee sen poikkileikkauspinnan korkeuden (h) pienemmäksi. Pehmeässä ja tuoreessa puussa tämä uppoama




Kuva 5. Taivutuskäyrä. Katkoviiva on suojalevyjen käytöstä aiheutunut korjauskäyrä.

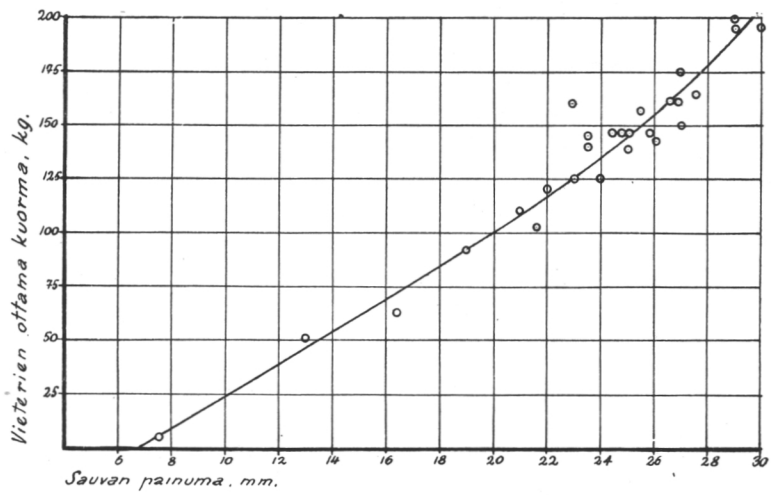
voi olla jopa 3—4 mm. Kuten jäljempänä havaitaan, kimmorajalla olemassa olevan syyjännitteen ja murtomodulin kaavoissa on h:n toinen potenssi, joten koekappaleen korkeudessa (h) esiintyvät pienetkin vaihtelut aiheuttavat huomattavia eroavaisuuksia lopputuloksissa. Kärjen C uppoaman ollessa 3 mm yllämainitut arvot olisivat n. 12 % liian pienet, 4 mm:n uppoamaa vastaava virhe olisi n. 15 %. Mutta täten aiheutuvan virheen lisäksi kärjen C puuhun uppoamisesta aiheutuisi vielä toinenkin haitta. Kimmokäyrä tulisi näet virheelliseksi sen johdosta, että kun koneen mittari osoittaa

taipumaksi ($\triangle$) kärjen C koko liikkeen AB:n suhteen, taipuma tulisi sen verran liian suureksi, kuin kärki C uppoaa puun sisään. Kun uppoama kasvaa samalla kuin kuormakin, tulisi piirretty kimmokäyrä kimmoalueellakin hiukan kuperaksi ja kimmoraja olisi epäselvä.

Näiden virhelähteiden poistamiseksi asetettiin kärjen C ja taivutettavan puun väliin taipuvia, rasvattuja teräslevyjä, kooltaan n. $5 \times 10 \times 0.1$ sm (vrt. kuvaa 4). Kokeiltaessa havaittiin, että tällaisia levyjä piti olla 6 kpl. kärjen uppoamisen täydelliseksi estämiseksi. Samantapaisia levyjä käytetään myös amerikkalaisissa ja englantilaisissa kokeissa.

Levyjen vaikutuksesta on taas havaittu kuorma liian suuri. Virhe ($\triangle$ P) on huomattava varsinkin kimmoalueen ulkopuolella, jossa levyjen taipuma on suuri. Kun viimeksi mainittu ei ole varsinkaan kimmoalueen ulkopuolella matemaattisesti määrättävissä, on kuorman virhe korjattu seuraavan kokeellisen menetelmän avulla.

Sauvoja taivutettiin kimmoalueella vuoron perään levyjen kanssa ja ilman. Tällöin todettiin $\triangle$:n ollessa n. 7.5 mm kuormaeron olevan vain 4—5 kg, joten siis virhe on aina tähän painuma-arvoon saakka sangen vähäinen. Tämän jälkeen — varsinaisten kokeiden yhteydessä — mitattiin, sauvan ylitettyä kimmorajansa, erityisillä laitteilla levyjen taipuma ($\delta$) ja todettiin samalla sauvan taipuma. Kun vielä erikseen taivutettiin levyjä, tuettuina läheltä päitään, ja todettiin niiden ottaman kuorman olevan 35.0 kg/mm, voitiin edellä olevien havaintojen perusteella laskea kutakin havaittua sauvan painumaa vastaava, levyjen aiheuttama kuormanlisäys, olettaen




Kuva 6. Suojalevyjen taivutuskäyrä.

1) että kuorman jakautuminen ei sanottavasti muutu ja

2) että saman levyjen taipuman ($\delta$) aikaansaamiseksi vapaana ja sauvan yhteydessä tarvitaan sama kuorma.

Kun näin saadut arvot ($\triangle$ P) piirretään, abskissana sauvan taipuma ($\triangle$), saadaan pisteryhmä, joka melko selvästi voidaan yhdistää käyräksi (kuva 6).

Havaintojen avulla saatu taivutuskäyrä korjataan siis siten, että jokaisesta arvosta P vähennetään samaa taipumaa vastaava $\triangle$P (kuva 5).

Ainoastaan aniharvoissa tapauksissa korjaus vaikuttaa kimmoalueella, mutta maksimiarvon korjaus voi olla jopa 20 %. Todellista maksimia vastaava painuma on pienempi kuin korjaamattoman käyrän osoittama, mikä merkitsee vain sitä, että levyjen kuorma nousee todellisen murtorajan ulkopuolella nopeammin, kuin sauvan ottama laskee.

Jos merkitään:

P′ = kuorma kimmorajalla,
$\triangle'$ = painuma »
P = kuorma murtorajalla,
L = jänneväli,
h = sauvan korkeus,
b = sauvan leveys,

on kantomoduli, suurin syyjännite kimmorajalla (C:n vastakkaisella puolella uloimmassa osassa):

$$F' = \frac{1.5\,P'L}{bh^2} \text{ kg/sm}^2, \tag{1}$$

murtomoduli, suurin syyjännite murtorajalla:

$$F = \frac{1.5\,PL}{bh^2} \text{ kg/sm}^2, \tag{2}$$

kimmomoduli:

$$E = \frac{P'\,L^3}{4\,bh^3\triangle'} = \frac{L^3}{4\,bh^3}\,\frac{P'}{\triangle'} \text{ kg/sm}^2 \text{ ja} \tag{3}$$

maksimi leikkaus:

$$S = \frac{0.75\,P}{bh} \text{ kg/sm}^2. \tag{4}$$

Korjatun käyrän kimmorajaksi otettiin viimeinen suoralla alueella oleva havaintopiste, samoin kuin amerikkalaiset ja englantilaiset tutkijat ovat menetelleet, jonka jälkeen vastaava kuorma ja

taipuma sekä maksimi kuorma voitiin mitata. Ensiksi mainitun näin aiheutunut virhe, joka on positiivinen ja tutkimuksessa 1 $<50$ kg, tutkimuksessa 2 $<100$ kg, vaikuttaa haitallisesti ainoastaan suureeseen F′, kun sen sijaan kimmomoduli on siitä vapaa, kuten kaavan (3) jälkimmäinen muoto osoittaa.

Tutkimme, kuinka suuri F′:n virhe voi olla yksinomaan tämän kimmorajan määräämistavan johdosta. Kaavasta (1) saadaan:

$$dF' = \frac{\partial F'}{\partial P'} dP' + \frac{\partial F'}{\partial b} db + \frac{\partial F'}{\partial h} dh = \frac{1.5 \times 70}{b^2h^3} (bhdP' - hP'db - 2bP'dh).$$

F′:n virhe $\triangle F'$ on positiivinen ja

$$(5) \quad |\triangle F'| \leq \frac{1.5 \times 70}{b^2h^3} (bh\,|\triangle P'| + hP'|\triangle b| + 2bP'|\triangle h|),$$

kun $\triangle P'$, $\triangle b$, $\triangle h$, vastaavien suureiden virheiden ylärajat, ovat näiden suureiden rinnalla pienet. Jos b ja h ovat tarkat, niin tutkimuksessa 1

$$|\triangle F'_1| \leq \frac{1.5 \times 70 \times 2}{5} = 42 \text{ kg}$$

ja tutkimuksessa 2

$$|\triangle F'_2| \leq \frac{1.5 \times 70 \times 4}{5} = 84 \text{ kg}.$$

Jos b:n ja h:n arvoksi otetaan 5.00 sm, on, koska tutkimuksessa 1 $P' \leq 500$ kg ja tutkimuksessa 2 $P' \leq 1\,000$ kg ja koska $|\triangle b|$ ja $|\triangle h| \leq 0.10$ sm,

$$|\triangle F'_1| \leq \frac{1.5 \times 70}{5^5} (1\,250 + 500 \times 1.5) \cong 67 \text{ kg},$$

$$|\triangle F'_2| \leq \frac{1.5 \times 70}{5^5} (2\,500 + 1\,000 \times 1.5) \cong 134 \text{ kg}.$$

Jos verrataan näitä edellisiin, huomataan, että b:n ja h:n tarkistetut mitat kannattaa ottaa huomioon, ja tämän takia b:n ja h:n arvot juuri ennen kokeen alkamista mitattiinkin 1/10 mm:n tarkkuutta käyttäen.

Tutkimuksessa 1 on $P' \geq 200$ kg ja tutkimuksessa 2 $P' \geq 400$ kg; F′ on siis molemmissa tapauksissa tämän menetelmän johdosta jopa 21—8 % oikeata arvoa pienempi, riippuen P′:n arvosta. Kun havaintovirheiden vaikutus F′:n virheeseen on sekä positiivinen että negatiivinen, on todennäköistä, että keskimäärin saadaan arvoja F′, jotka ovat oikeita arvoja pienemmät.

Kun $\triangle'$ mitataan käyrästä, on syytä tutkia, minkä verran yksinomaan tämän suureen virhe vaikuttaa kimmomoduliin; kimmomoduli on näet laskettava enintään sitä tarkkuutta noudattaen, että se jää sanotun virheen aiheuttamalle alueelle.

Kaavasta (3) saadaan:

$$dE = -\frac{P' L^3}{4\, bh^3 \triangle'^2}\, d\triangle',$$

joten E:ssä mainitulla tavalla syntynyt virhe

$$|\triangle E| \leq \frac{P' L^3}{4\, bh^3 \triangle'^2}\, |\delta \triangle'|, \tag{6}$$

jos $\delta \triangle'$, $\triangle'$:n mittavirheen yläraja on pieni $\triangle'$:n rinnalla. $|\delta \triangle'|$ on ainakin $\leq 0.01$ sm ja $\frac{P'}{\triangle'^2}$ on tutkimuksessa 1 $< 2\,400$, tutkimuksessa 2 $< 1\,700$. Sijoittamalla nämä arvot kaavaan (6) saadaan:

$$|\triangle E_1| < 3\,300,$$
$$|\triangle E_2| < 2\,400.$$

Kimmomodulia laskettaessa voidaan siis molemmissa tutkimuksissa jättää kolme viimeistä numeroa huomioon ottamatta.

Laskujen käytännöllisyyttä silmällä pitäen on edullista laatia taulukot

$$\frac{1.5\, L}{bh^2}\,,\quad \frac{L^3}{4\, bh^3}\,,\quad \frac{1}{bh}\,,$$

b ja h alueella $5.00 \pm 0.10$, jolloin suureet (1)—(4) saadaan mukavasti lasketuiksi.

Amerikkalaiset ja englantilaiset tutkijat ovat sitä paitsi laskeneet kimmoalueella tehdyn sekä murtamiseen tarvittavan työn lukuarvot taivutetun kappaleen tilavuusyksikköä kohden. Kun kimmokäyrä esittää P:tä $\triangle$:n funktiona, niin edellisessä tapauksessa tämän muuttuvan voiman P:n tilavuusyksikköä kohden tekemä työ

$$\frac{1}{bhL}\int_0^{\triangle'} P\, d\triangle = \frac{K}{bhL} \cdot A' \tag{7}$$

ja jälkimmäisessä tapauksessa

$$\frac{1}{bhL}\int_0^{\triangle} P\, d\triangle = \frac{K}{bhL} \cdot A \tag{8}$$

missä $A'$ on käyrän, abskissa-akselin ja $\triangle'$:a vastaavan ordinaatan, A käyrän, abskissa-akselin ja $\triangle$:a vastaavan ordinaatan rajoittama pinta-ala ja K käyrää piirrettäessä käytetyistä mitta-

| 2 (Tutkimus N:o) | 3 (Lähetys N:o) | TASAINEN TAIVUTUS | 652 (Laboratorion N:o) |
|---|---|---|---|
| CT (Metsätyyppi) | 9-C (Puu ja pölkky N:o) | | $S_3$ (Keppi N:o) 1 (Koe N:o) |

Puulaji Mänty Päiväys 9/9 –32.

Kuivaus Uunikuiva Pintapuuta --- % Vuosilustoja sm:llä 9 Kp. 25 %

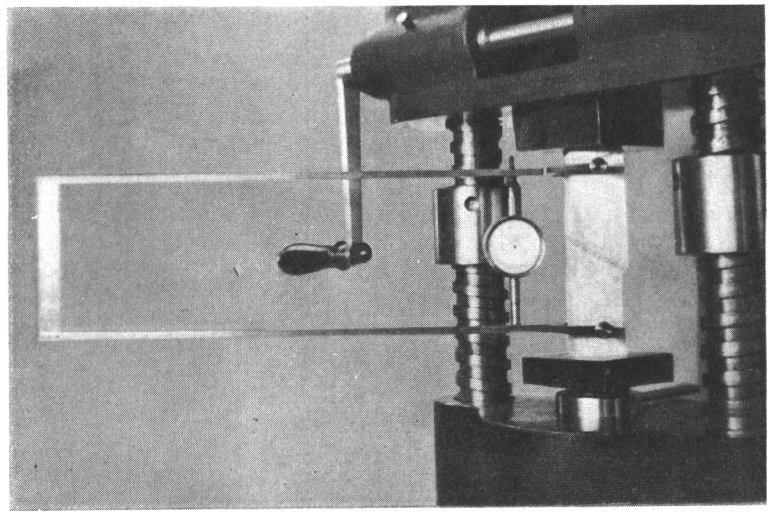
Pituus 75.00 Leveys 5.01 Korkeus 5.00 Paino 930 Kosteus 10 %

| Ominaispaino | | Kanto-moduli | Murtomo-duli | Kimmo-moduli | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kokeen aikana | Kuivana | | | | | | | |
| 0.50 | 0.48 | 587 | 780 | 112′ | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

Vikoja

Murtuman laatu

Kuva 7. Tasaisen taivutuksen koekappalekortti.



Kuva 8. Puristus puunsyiden suuntaan.

kaavoista riippuva vakio. Suureet (7) ja (8) voidaan siis määrätä kimmokäyrästä planimetrin avulla.

Kun näillä työn lukuarvoilla ei ole mainittavaa käytännöllistä merkitystä ja kun niiden vertaileminen edellyttää samanmuotoisia koekappaleita, ei niitä ole tässä lainkaan määrätty.

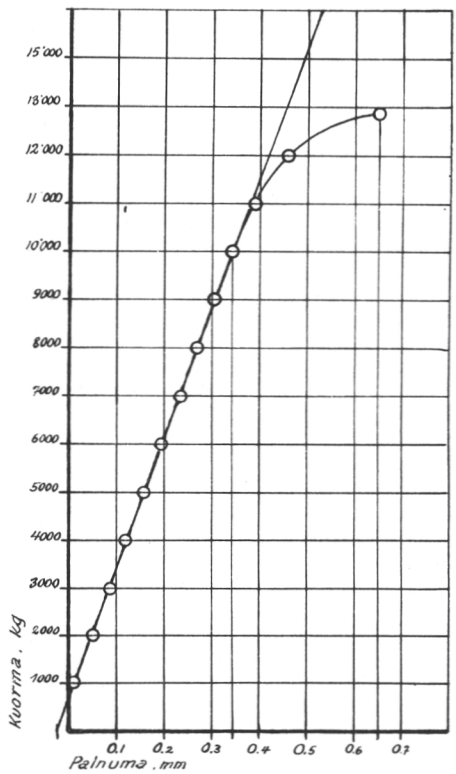
Lasketut arvot ja ominaispaino kokeen aikana samoin kuin kesäpuupalikasta saadut arvot (katso s. 87), kosteusprosentti, kesäpuuprosentti, ominaispaino kuivana ja vuosilustoluku (senttimetriä kohden) kirjoitettiin korttiin, johon vielä merkittiin tutkimuksen, kokeen, puun ja pölkyn numerot sekä metsätyypin merkki (kuva 7).

Kokeita oli tutkimuksessa 1 218, tutkimuksessa 2 195.

**Puunsyiden suuntainen puristus** (koe n:o 3).

Koekappaleet, kooltaan $5 \times 5 \times 20$ sm, punnittiin, mitattiin ja kiinnitettiin mittarin varteen (kuva 8) siten, että kärkiruuvien (R) väli $d = 15.0$ sm. Koekappale asetettiin mahdollisimman tarkkaan puristinlevyjen väliin niiden keskelle. Toinen levyistä oli varustettu kuulanivelellä. Sen jälkeen kappaletta kuormitettiin vakinaisen alkukuorman (25 kg) verran, jonka jälkeen painumamittari asetettiin nollaan ja puristus aloitettiin. Samanlaisella menetelmällä kuin kokeessa n:o 1 todettiin tasavälisiä kuorman arvoja vastaavat painumat. Intervalli oli molemmissa tutkimuksissa 500 kg. Puristusnopeus oli kaikissa kokeissa $\leq 0.8$ mm/min:ssa; englantilaiset ja amerikkalaiset käyttävät tavallisesti nopeutta $0.024''$ min:ssa (0.6 mm/min:ssa), ruotsalaisissa tutkimuksissa on kuorman lisäys $sm^2$:iä kohden n. 2 kg min:ssa.

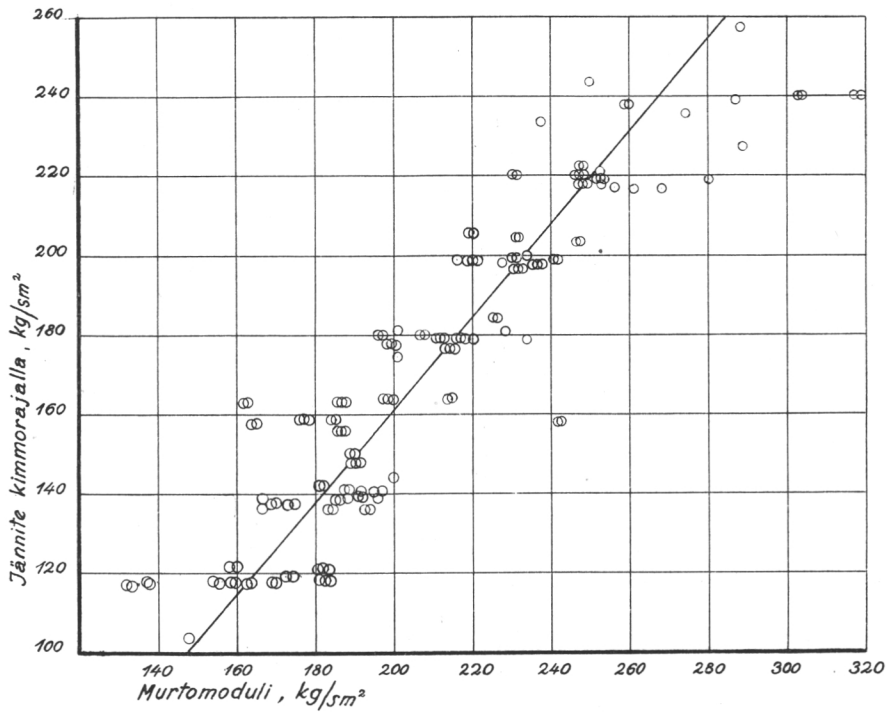
Kun mittarin etäisyys ruuveista (R) on pieni (7.5 sm) verrattuna varren koko pituuteen (52.5 sm), voidaan sen avulla määrätä riittävän tarkasti ruuvien välisen koekappaleen osan painuma.




Kuva 9. Kimmokäyrä puunsyiden suuntaisessa puristuskokeessa.

Havaintojen perusteella piirrettiin käyrät (kuva 9), kuten kokeessa n:o 1. Samoin kuin amerikkalaisissa ja englantilaisissa tutkimuksissa tehtiin koe ainoastaan $^1/_4$:lla koekappaleita täydellisesti, so. niin, että puristuskäyrä voitiin piirtää. Loppuosasta koekappaleita määrättiin vain maksimi kuorma.

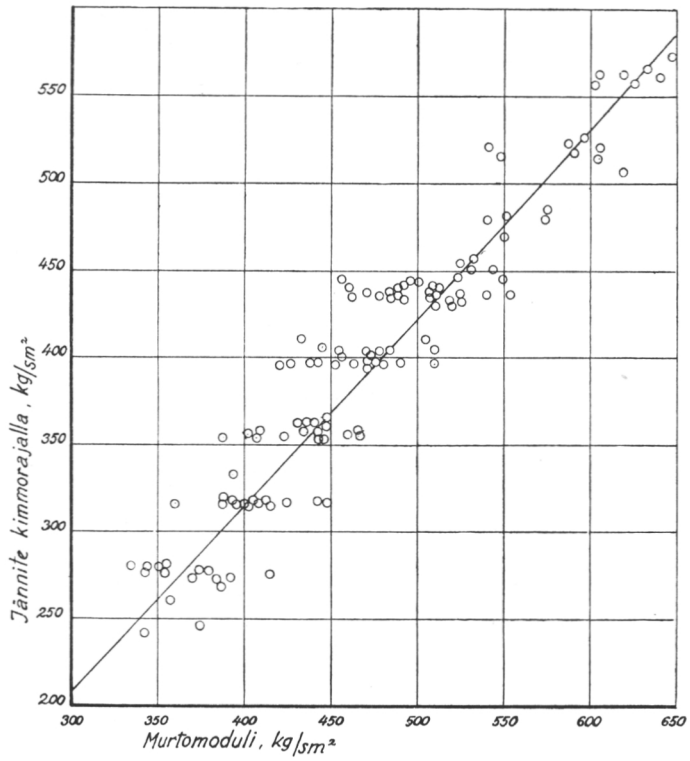
Täydellisesti suoritetuissa kokeissa saadut arvot merkittiin koordinaatistoon siten, että abskissa-akseli osoitti maksimi puristuslujuutta, ordinaatta-akseli kantomodulia tai kimmomodulia ja saatujen pisteryhmien kautta piirrettiin käyrät (kuvat 10—13).



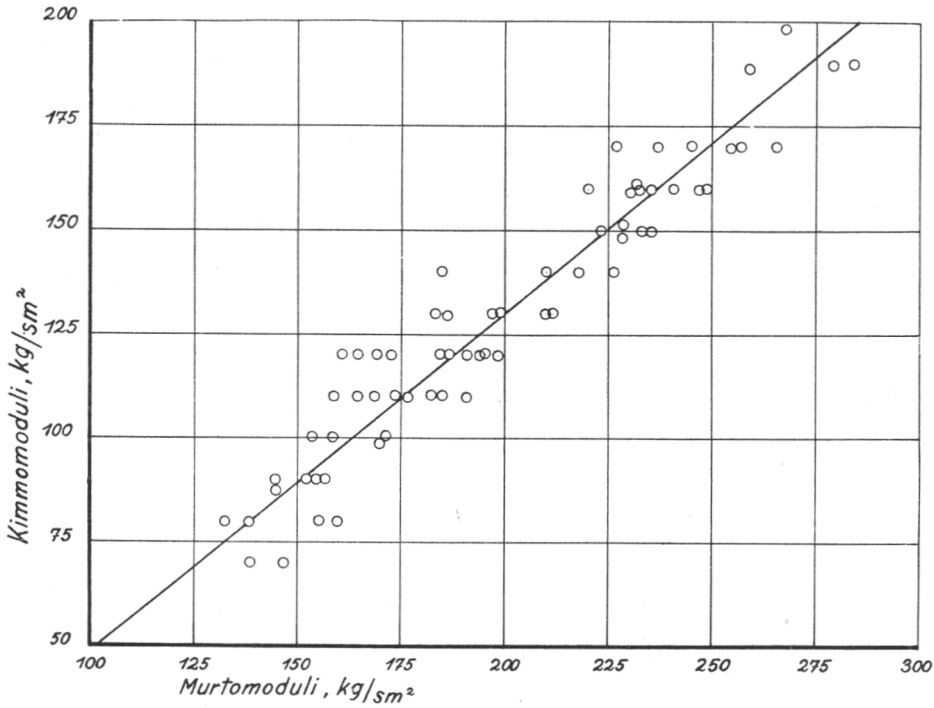

Kuva 10. Tuoreitten koekappaleitten kantomodulin (jännitteen kimmorajalla) ja murtomodulin välinen suhde kokeessa n:o 3.

Näiden käyrien avulla määrättiin kantomodulin ja kimmomodulin arvot kaikissa niissä kokeissa, joissa ainoastaan maksimi puristuslujuus oli otettu selville.

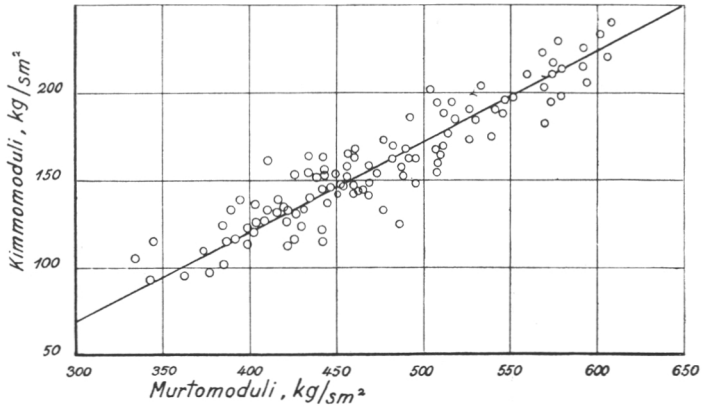
Piirrettäessä puristuskäyriä niille koekappaleille, joilla koe suoritettiin täydellisesti, havaittiin, että kaikki käyrät eivät mene origon kautta, vaan leikkaavat positiivisen ordinaatta-akselin (kuva 14). Tämä johtunee seuraavasta. Kun koekappaleen päät ovat sirkkelin jäljeltä karkeat ja mahdollisesti hiukan vinot, syntyy painuma alussa juuri päihin, jossa vastus on pienin. Jos mittarinvarren ruuvit eivät



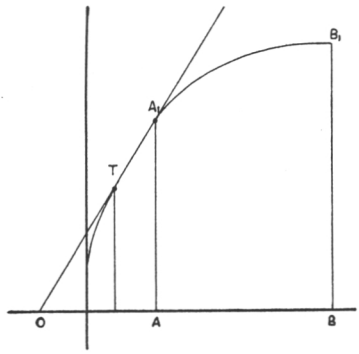

Kuva 11. Uunikuivien koekappaleitten kanto-ja murtomodulin välinen suhde kokeessa n:o 3.




Kuva 12. Tuoreitten koekappaleitten kimmo- ja murtomodulin välinen suhde kokeessa n:o 3.




Kuva 13. Uunikuivien koekappaleitten kimmo- ja murtomodulin välinen suhde kokeessa n:o 3.




Kuva 14. Kaaviokuva koekappaleen epätasaisten päiden vaikutuksesta puristuskäyrään kokeessa n:o 3.

ole näillä alussa puristetuilla alueilla, ei mittari osoita painumaa, vaikka kuorma kasvaa. Vasta sen jälkeen kun päät ovat tasoittuneet ja paine jakautunut tasan koko pinnalle (pisteessä T, kuva 14), on puristuminen homogeenista ja kuorma on verrannollinen mitattuun painumaan, so. suoralla alueella ($TA_1$) kulmakerroin $= \frac{P'}{\triangle'}$. Pisteessä $A_1$ saavuttavat mainitut, ensinnä kuormitetut alueet kimmorajansa. Jos otetaan $A_1$ koko sauvan kimmorajaksi ja $B_1$ sen murtorajaksi, tiedetään varmasti, että vastaavat arvot P′ ja P ovat pienemmät tai enintään yhtä suuret, kuin mitä saataisiin ilman epätasaisten päiden häiritsevää vaikutusta.

Kimmorajaksi otettiin viimeinen suoralla alueella oleva havaintopiste, minkä jälkeen mitattiin P′ ja P ja suhteen $\frac{P'}{\triangle'}$ määräämiseksi $OA = \triangle'$.

Näiden arvojen avulla lasketaan:

(9) $$C' = \frac{P'}{bh}$$ (kantomoduli),

(10) $$C = \frac{P}{bh}$$ (murtomoduli) ja

$$(11) \qquad E = \frac{P'}{bh} \cdot \frac{d}{\triangle'} \text{ (kimmomoduli).}$$

Samalla tapaa kuin edellisessä kokeessa voidaan arvioida yksinomaan P':n graafisesta määräämistavasta johtuva suureen C':n virheen ($\triangle$ C') yläraja. Se on aina positiivinen ja

$$(12) \qquad \triangle C' \leq \frac{1}{b^2h^2} (bh \mid \triangle P' \mid + P'h \mid \triangle b \mid + P'b \mid \triangle h \mid),$$

jos $\triangle$P', $\triangle$b, $\triangle$h, vastaavien suureiden virheiden ylärajat, ovat näiden suureiden rinnalla pienet. Jos b ja h ovat tarkat, niin molemmissa tutkimuksissa

$$\triangle C' \leq 20 \text{ kg.}$$

Jos laskettaessa käytetään arvoja $b = h = 5.00$ sm, niin, koska tutkimuksessa 1 $P' \leq 6\,500$ kg, tutkimuksessa 2 $P' \leq 13\,000$ kg, ja koska ($\triangle$b) ja ($\triangle$h) $\leq 0.10$ sm,

$$\triangle C_1 \leq 31 \text{ kg,}$$
$$\triangle C_2 \leq 41 \text{ kg.}$$

Tarkistettuja arvoja (b, h) siis tuskin kannattaa ottaa tutkimuksissa huomioon.

Tutkiaksemme taas, minkä verran $\triangle'$:n mittavirhe vaikuttaa kimmomoduliin, laskemme

$$dE = -\frac{P'd}{bh\,\triangle'^2}\, d\triangle', \text{ joten}$$

$$(13) \qquad |\triangle E| \leq \frac{P'd}{bh\,\triangle'^2} \mid \delta\,\triangle' \mid,$$

Tutkimuksessa 1 $\frac{P'}{\triangle'^2} \leq 148 \times 10^5$, tutkimuksessa 2 $\leq 118 \times 10^5$ ja $|\delta\triangle'| \leq 5 \times 10^{-4}$. Siis

$$|\triangle E_1| < 4\,500$$
$$|\triangle E_2| < 3\,500$$

E:tä laskettaessa voidaan nytkin jättää kolme viimeistä numeroa huomiotta.

Suureet (9) ja (10) lasketaan taulukosta $\frac{1}{bh}$ (vrt. koe n:o 1).

Kun (9) lasketaan kolmella numerolla, saadaan kimmomoduli kertomalla se suureella

$$\frac{1}{\varepsilon} = \frac{d}{\triangle'} = \frac{15}{\triangle'}.$$

Lasketut arvot kirjoitettiin korttiin, joka sitä paitsi täydennettiin, kuten kokeessa n:o 1 (kuva 15).

Samoista syistä kuin edellä ei kimmoalueella tehdyn ja murtumiseen tarvittavan työn mittalukuja määrätty.

Kokeiden luku oli 471 tutkimuksessa 1 ja 527 tutkimuksessa 2.

2 (Tutkimus N:o) 3 (Lähetys N:o) **PUUNSYIDEN SUUNTAINEN PURISTUS** 685 (Laboratorion N:o)

Räme (Metsätyyppi) 12-A (Puu ja pölkky N:o) $S_1$ (Keppi N:o) 3 (Koe N:o)

Puulaji Mänty Päiväys 18/8 -32.

Kuivaus Uunikuiva Pintapuuta --- % Vuosilustoja sm:llä 14 Kp. 28 %

Pituus 20.03 Poikkileikkaus 5.01 × 5.03 Paino 246 Kosteus 10 %

| Ominaispaino | | Maks. kuorma | Kuorma kimmo-rajalla | Painuma kimmo-rajalla | Murtomoduli | Kantomoduli | Kimmomoduli |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kokeen aikana | Kuivana | | | | | | |
| 0.49 | 0.47 | 12 850 | 10 000 | .036 | 510 | 397 | 165 000 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Vikoja

Murtuman laatu Alapäässä nurjahdus.

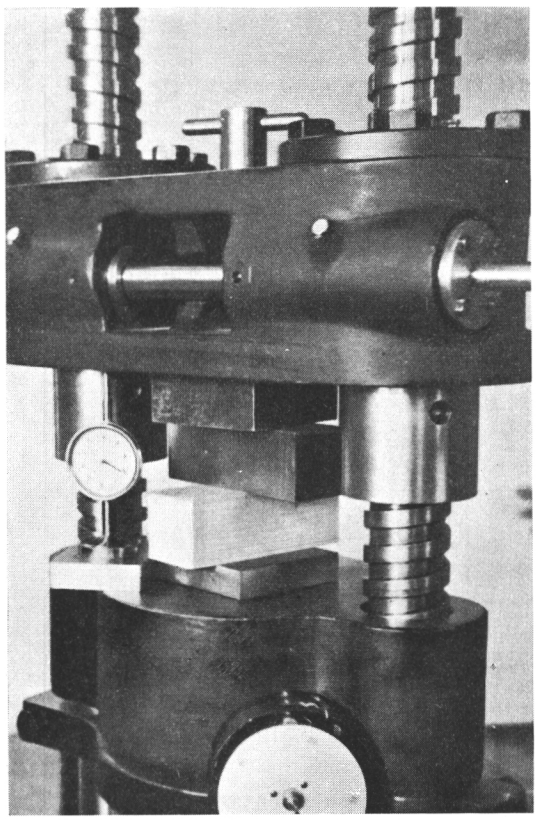
Kuva 15. Koekappalekortti puunsyiden suuntaisessa puristuskokeessa.

**Puunsyiden suuntaa vastaan kohtisuora puristus** (koe n:o 4).

Koekappaleiden koko oli tässä kokeessa 5 × 5 × 15 sm. Koe suoritettiin siten, että pitkällään olevan koekappaleen päälle sen keskikohdalle poikittain asetettiin teräksinen suuntaissärmiö, poikkipinnaltaan 5.00 × 5.00 sm, jota koneen avulla puristettiin koekappaletta vasten (kuva 16). Samoin kuin edellisessä kokeessa määrättiin vakinaisen alkukuormituksen (25 kg) jälkeen tasavälisiä kuorman arvoja vastaavat painumat. Intervalli oli tutkimuksessa 1 100 kg, tutkimuksessa 2 250 kg. Yhdenmukaisuuden vuoksi asetettiin koekappale aina siten, että painuma syntyi sille sivulle, joka oli lähinnä säteen suuntainen (R-sivu), siis samoin kuin amerikkalaiset ja englantilaiset tutkijat ovat tehneet. Ruotsissa on kappaletta

puristettu lisäksi sivuajan suuntaiselta sivulta (T-sivu) ja saaduista luvuista otettu keskiarvo.

Kokeessa on vaikea määrätä, milloin murtoraja on saavutettu, sillä kuorma kasvaa yleensä samalla kuin painuma. Amerikassa ja Englannissa ei tätä murtorajaa tavallisesti yritetäkään määrätä, vaan koe lopetetaan, kun painuma $= 0.1''$, jolloin kimmoraja on varmasti sivuutettu. Tässä tehdyissä kokeissa keskeytettiin puristus

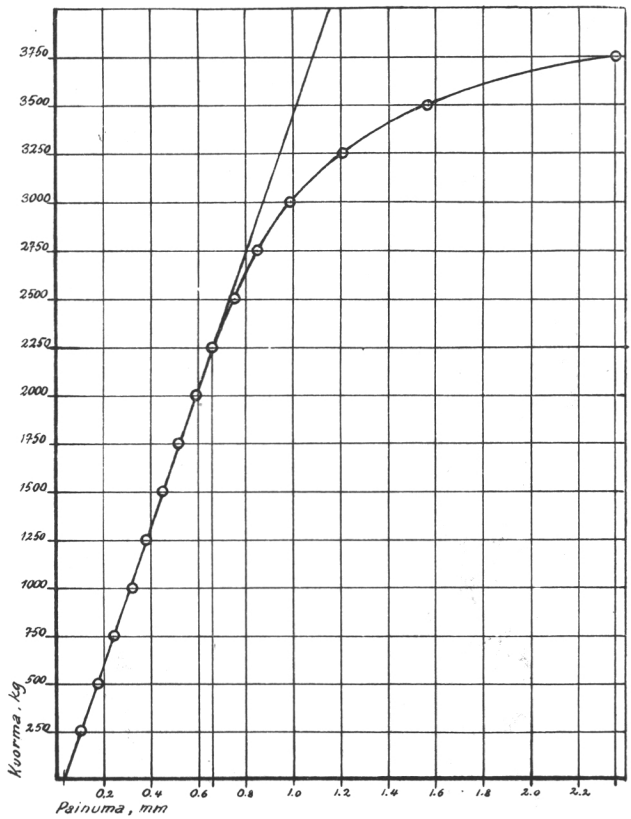


Kuva 16. Puristus kohtisuoraan puunsyiden suuntaa vastaan.

niin ikään painuman $\triangle$ ollessa 2.5 mm. Nopeus oli kaikissa kokeissa $\leq 0.8$ mm/min:ssa. Amerikkalaiset ja englantilaiset käyttävät nopeutta $0.024''$ min:ssa (0.6 mm/min:ssa.).

Havainnoista piirrettiin käyrät (kuva 17) ja mitattiin P', $\triangle'$ sekä painumaa 2.5 mm vastaava kuorma, kuten edellä. Käyrien alkuvaiheet eivät yleensä ole samanlaiset kuin kokeessa n:o 3, mikä johtuu

mittarin erilaisesta asettelusta, se kun osoittaa nyt puristetun osan koko painuman. Sivupintojen epätasaisuuksien vaikutuksesta ovat käyrät siten alussa loivia. Saadut käyrät eivät sitä paitsi ole kimmoalueella yhtä selvästi suoraviivaisia kuin edellisessä kokeessa. Tämä seikka, joka tekee kimmorajan määräämisen yhä vaikeammaksi, johtunee pääasiallisesti siitä, että puristuspinta ei ole vakinainen, vaan




Kuva 17. Kimmokäyrä puunsyiden suuntaa vastaan kohtisuorassa puristuskokeessa.

kasvaa samalla kertaa kuin painuma, koekappale kun painuu paitsi puristavan särmiön alta myös sen reunoilta. (Olisi ehkä edullisempaa tehdä koe $5 \times 5 \times 5$ sm:n kokoisilla koekappaleilla.)

Kantomoduli saadaan kaavasta

$$C' = \frac{P'}{b_0 b} \quad (14)$$

ja kimmomoduli kaavasta

$$E = \frac{P'h}{b_0 b \triangle'} = \frac{h}{\triangle'} C', \quad (15)$$

jossa $b_0$ = puristavan suuntaissärmiön leveys = 5.00 sm, b = koekappaleen leveys, h = sen korkeus.

P′:n ja b:n virheiden vaikutuksesta C′:n virhe

$$|\triangle C'| \leq \frac{1}{5} \frac{b|\triangle P'| + P'|\triangle b|}{b^2} \tag{16}$$

Tutkimuksessa 1 $P' \leq 900$ kg, tutkimuksessa 2 $P' \leq 1\,750$ kg, joten, kun oletetaan b tarkaksi,

$$|\triangle C'_1| \leq \frac{1}{5} \times \frac{100}{5} = 4 \text{ kg},$$

$$|\triangle C'_2| = \frac{1}{5} \times \frac{250}{5} = 10 \text{ kg}.$$

Jos käytetään b:n asemasta arvoa 5.00 sm, on $(\triangle b) \leq 0.10$ sm ja

$$|\triangle C'_1| = \frac{1}{5} \times \frac{500 + 900 \times 0.10}{25} \simeq 4.7 \text{ kg},$$

$$|\triangle C'_2| = \frac{1}{5} \times \frac{5 \times 250 + 1\,750 \times 0.10}{25} \simeq 11.3 \text{ kg}.$$

2 (Tutkimus N:o) | 2 (Lähetys N:o) | **PUUNSYIDEN SUUNTAA VASTAAN KOHTISUORA PURISTUS** | 1345 (Laboratorion N:o)

MT (Metsätyyppi) | 2-B (Puu ja pölkky N:o) | $N_4$ (Keppi N:o) | 4 (Koe N:o)

Puulaji Mänty Päiväys 26/7 –32.

Kuivaus Uunikuiva Pintapuuta --- % Vuosilustoja sm:llä 7 Kp. 38 %

Pituus 14.99 Leveys 5.01 Korkeus 4.98 Paino 235 Kosteus 11 %

| Ominaispaino | | Kuorma kimmorajalla | Puristusala | | Kantomoduli | | Kimmomoduli |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kokeen aikana | Kuivana | | Pituus | Leveys | | | |
| 0.63 | 0.61 | 2 250 | 5.00 × | 5.01 | 90 | | 7 300 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

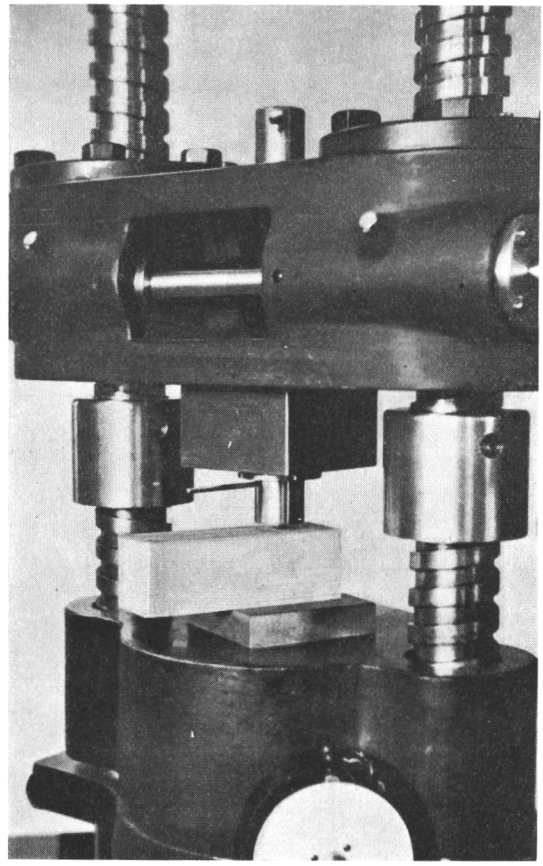
Vikoja .....

Murtuman laatu .....

Kuva 18. Koekappalekortti puunsyiden suuntaa vastaan kohtisuorassa puristuskokeessa.

Kun b:n poikkeaman vaikutus on epäedullisimmassa tapauksessa näin pieni, ei sitä ole lainkaan otettu huomioon.

Helposti voidaan osoittaa, että kimmomodulia laskettaessa on otettava tarkat mitat (b, h) huomioon. Yksinomaan $\triangle'$:n mittavirheestä johtunut virhe on (13):n mukaan:



Kuva 19. Kovuuskoe.

$$(17) \qquad |\triangle E| = \frac{P h}{b_0 b \triangle'^2} |\delta \triangle'| < \frac{1}{5} \times 78 \times 10^4 \times 5 \times 10^{-4} = 78,$$

sillä $\frac{P'}{\triangle'^2}$ on molemmissa tutkimuksissa $< 78 \times 10^4$ ja kyseessä oleva mittavirhe $\leq 5 \times 10^{-4}$. Kimmomodulin arvot voidaan niin ollen typistää lähimpään täyteen satalukuun.

Jokaisesta kokeesta kirjoitettiin kortti, kuten edellisessä kokeessa (kuva 18).

Kokeiden luku oli tutkimuksessa 1 215 kpl., tutkimuksessa 2 254 kpl.

**Kovuus** (koe n:o 5).

Koekappaleen koko oli 5 × 5 × 15 sm. Teräskuulan painamia (kuva 19) tehtiin yksi kumpaankin päähän ja kaksi sekä T- että R-sivulle. Kuulan upottamiseen tarvittava voima luettiin suoraan koneen maksimiosoittajasta.

Amerikassa ja Englannissa käytetään koneen nopeutta 0.024″ min:ssa (0.6 mm/min:ssa); Ruotsissa on kuorman lisäys ollut n. 15 kg/min:ssa Nyt puheena olevissa kokeissa oli nopeus 0.8 mm/min:ssa.

2 (Tutkimus N:o) 1 (Lähetys N:o) **KOVUUS** 1201 (Laboratorion N:o)

VT (Metsätyyppi) 1-C (Puu ja pölkky N:o) $N_1$ (Keppi N:o) 5 (Koe N:o)

Puulaji Mänty Päiväys 5/8 –32.

Kuivaus Uunikuiva Pintapuuta --- % Vuosilustoja sm:llä 6 Kp. 29 %

Pituus 15.02 Poikkileikkaus 5.01 × 5.00 Paino 184 Kosteus 12 %

| | Ominaispaino | | R-sivu | T-sivu | Päät |
|---|---|---|---|---|---|
| | Kokeen aikana | Kuivana | | | |
| 1 | 0.49 | 0.48 | 230 | 250 | 300 |
| 2 | | | 230 | 240 | 290 |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| Keskim. | | | 230 | 245 | 295 |

Keskim. R. ja T. 237.5

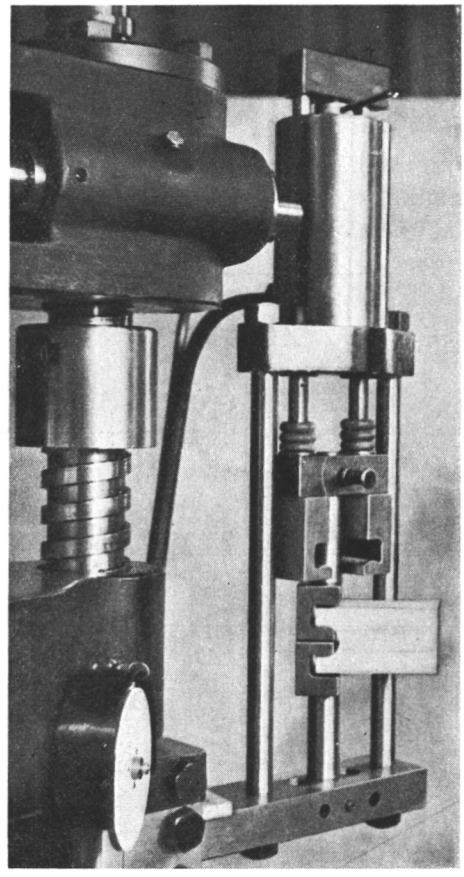
Vikoja

Murtuman laatu

Kuva 20. Koekappalekortti kovuuskokeessa.

Samaan koekappaleeseen kuuluvat arvot ja niiden keskiarvo, jota pidetään kovuudelle karakteristisena lukuna, kirjoitettiin asianomaiseen korttiin (kuva 20).

Kokeiden luku oli tutkimuksessa 1 232 kpl., tutkimuksessa 2 258 kpl.



Kuva 21. Halkaisukoe.

**Halkaisu** (koe n:o 7).

Kokeet tehtiin kuvan 21 osoittamilla koekappaleilla, joiden poikkileikkauspinta oli 5 × 5 sm; loven pohjasta kappaleen päähän oli 7.5 sm.

2 (Tutkimus N:o) 1 (Lähetys N:o) **HALKAISU** 1354 A (Laboratorion N:o)

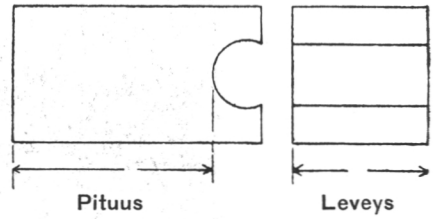
VT (Metsätyyppi) 5-C (Puu ja pölkky N:o) Halkeaman suunta T $N_1$ (Keppi N:o) 7 (Koe N:o)

Puulaji Mänty Päiväys 19/7 –32.

Kuivaus Uunikuiva Pintapuuta --- % Vuosilustoja sm:llä 7 Kp. 27 %

Kosteus 11 %

| Maks.-kuorma | Pituus | Leveys | Kuormitus kg/sm |
|---|---|---|---|
| 205 | 7.55 | 5.02 | 40.8 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |




Viko a

Murtuman laatu

Kuva 22. Koekappalekortti halkaisukokeessa.

Puolet koekappaleista valmistettiin niin, että halkaisupinta oli vuosilustorenkaiden tangentin suuntainen, toinen puoli niin, että se oli säteen suuntainen. Koneen nopeus oli 6 mm/min:ssa. Ruotsissa tätä koetta ei tavallisesti tehdä ollenkaan.

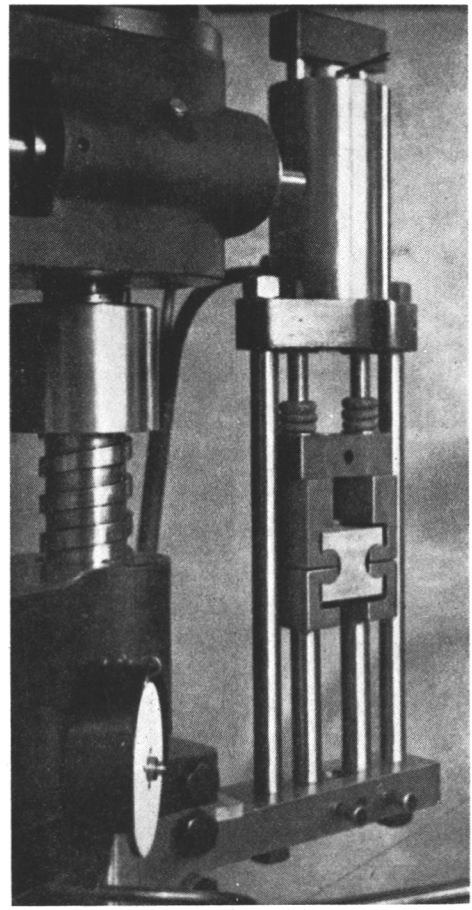
Kokeessa otetaan selville halkaisuun tarvittava voima. Kun se jaetaan halkaisupinnan leveydellä, joka mitattiin, saadaan yhtä pituusyksikköä vastaava halkaisuvoima. Jokaisesta kokeesta kirjoitettiin kortti (kuva 22).

Kokeiden luku oli tutkimuksessa 1 343 kpl., tutkimuksessa 2 256 kpl.

**Puunsyiden suuntaa vastaan kohtisuora veto** (koe n:o 8).

Koe tehtiin kuvan 23 osoittamalla tavalla. Koekappaleiden poikkileikkauspinta oli $5 \times 5$ sm. Aukkojen lyhin välimatka oli 2.5 sm. Koneen nopeus oli 6 mm/min:ssa.

Kokeessa otettiin selville koekappaleen puoliskojen toisistaan irti repäisemiseen tarvittavan voiman suuruus — se saadaan koneen maksimiosoittajasta — ja lasketaan se repäisypinnan pintayksikköä kohden.



Kuva 23. Vetokoe kohtisuoraan puunsyiden suuntaa vastaan.

Jokaisesta kokeesta kirjoitettiin samanlainen kortti kuin edellisissäkin kokeissa (kuva 24).

Kokeiden luku oli tutkimuksessa 1 370 ja tutkimuksessa 2 252.

1 (Tutkimus N:o) | 1 (Lähetys N:o) | PUUNSYIDEN SUUNTAA VASTAAN KOHTISUORA VETO | 19 B (Laboratorion N:o)

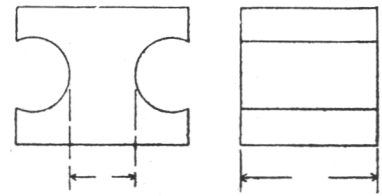
VT (Metsätyyppi) | 1-B (Puu ja pölkky N:o) | Halkeaman suunta R | $N_3$ (Keppi N:o) | 8 (Koe N:o)

Puulaji Mänty Päiväys 11/6 -32.

Kuivaus Tuore Pintapuuta --- % Vuosilustoja sm:llä 9 Kp. 30 %

| Maks.-kuorma | Pituus | Leveys | Kuormitus kg/sm² |
|---|---|---|---|
| 225 | 2.60 | 5.01 | 17.3 |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Kosteus 31 %




Vikoja Sinistynyt

Murtuman laatu

Kuva 24. Koekappalekortti puunsyiden suuntaa vastaan kohtisuorassa vetokokeessa.

Kuten edellä esitetyistä, eri kokeita koskevista selityksistä ilmenee, koetuloksissa olevat virhemahdollisuudet ovat verraten suuret. Koemenetelmien ja aineenkoetuskoneiden nykyisellä kehityskannalla ollessa tätä haittaa ei voi välttää. Mahdollisten havaintovirheiden vaikutusta voidaan kuitenkin pienentää käyttämällä mahdollisimman runsasta koeaineistoa, jolloin virheiden voidaan katsoa ainakin suurimmaksi osaksi kumoavan toinen toisensa. Kun puun tutkimuksia ei voida suorittaa missään tapauksessa pienen koeaineiston varassa, vaikkapa koneet ja menetelmät olisivat kuinkakin täydellisiä, sen takia, että puuaines on kovin epähomogeenista, ja pieni koeaineisto ei siis anna tuloksia, jotka voitaisiin yleistää, on nykyisin keinoin saatuja tuloksia pidettävä varsin tyydyttävinä, jos vain käytetty koeaineisto on ollut tarpeeksi suuri ja hyvin valittu.

## Fysikaalisia ja rakenteellisia ominaisuuksia koskevat tutkimukset.

### Ominaispaino kokeen aikana ja puun ollessa absoluuttisen kuivana.

Standardikokeiden yhteydessä otetaan tavallisesti selville myös koekappaleiden ominaispaino, mutta kun menettelytavat tässä ovat eri maissa olleet vielä erilaisia, lienee ensin syytä tarkastella näitä hiukan lähemmin.

Aiemmin on jo mainittu, että puun ominaispaino määrätään tavallisesti sekä tuoreena ja ilmakuivana että absoluuttisen kuivana.

Tuntuisi luonnollisimmalta, että kun määrätään puun ominaispaino esim. tuoreena, käytettäisiin tuoreen puun painoa osoittajana ja samoin tuoreen puun tilavuutta ominaispainoa osoittavan murtoluvun nimittäjänä sekä ilmakuivan ja absoluuttisen kuivan puun ominaispainoja määrättäessä vastaavasti samalla tavalla, siis siten, että paino ja tilavuus kohdistuisivat kulloinkin samaan kosteuspitoisuuteen. Tästä menettelytavasta poiketaan kuitenkin usein. Ruotsin koetuslaitoksella tehdyissä puun tutkimuksissa (vrt. Schlyter & Winquist, 1929, s. 34) esim. kuivan puun ominaispaino on laskettu siten, että absoluuttisen kuivan puun painon lukuarvo on jaettu saman kappaleen tilavuuden lukuarvolla, joka sillä oli silloin, kuin ilmakuivan puun koe tehtiin, siis kun kappale sisälsi 15—19 % vettä. Samaa menettelytapaa noudattavat myöskin englantilaiset. Amerikkalaiset käyttävät edellä mainitun menettelytavan ohella myöskin sitä, että laskevat kuivan puun ominaispainon samaan, absoluuttisen kuivaan puuhun kohdistuvan painon ja tilavuuden perusteella ja asettavat näin saadut kaksi erilaista ominaispainoa rinnakkain.

On epäiltävää, missä määrin ruotsalaisten ja englantilaisten käyttämä ominaispainon määräämistapa on onnistunut. Absoluuttisen kuivan puun ominaispainoksi ilmoitettu luku ei todellisuudessa ole se, koska se perustuu toiseen tilavuuteen. Sitä paitsi tämä ominaispaino vaihtelee vielä sen mukaan, kuinka kostea koekappale kokeiluhetkellä on ollut. Vaikka eri lujuuksia osoittavat koetulokset on redusoitu samaa kosteusastetta vastaaviksi, ei niitä voi vertailla edellä kuvatulla tavalla saatuihin, eri kosteustiloja vastaaviin ominaispainoihin.

Koska absoluuttisen kuivan puun painoon ja tilavuuteen perustuva ominaispaino on muuttumaton ja kuvaa hyvin erästä puun ominaisuutta, sen »tiheyttä» — käyttääksemme tätä vanhaa sanaa, — ja kun eri kokeissa saadut lujuusarvot, heti kun ne on redusoitu samaa kosteusastetta vastaaviksi, ovat ilman muuta tähän ominais-

painoon vertailtavissa, on esillä olevassa tutkimuksessa käytetty sitä menettelytapaa.

Absoluuttisen kuivan puun ominaispaino määrättiin ainoastaan yhdestä jokaisen kepin koekappaleesta. Heti kokeen jälkeen sahattiin sen vioittumattomasta kohdasta ohut palanen, se kuivattiin absoluuttisen kuivaksi, punnittiin ja sen tilavuus mitattiin elohopeaksylometrin avulla. Näin saatua ominaispainoa käytettiin sitten kaikille muillekin samasta kepistä otetuille koekappaleille.

Alkuperäisten koetukkien keskeltä sahatuista kiekoista valmistettiin vielä sektorin muotoisia kappaleita, joista pinta- ja sydänpuu sahattiin erilleen, kuten tutkimusaineistoa koskevassa osassa on jo mainittu. Näistä sektorin osista määrättiin pinta- ja sydänpuun ominaispainot samalla tavalla kuin koekappaleista otetuista palasistakin.

Koekappalekortteihin on kyllä merkitty myös kokeen aikainen ominaispaino. Se on saatu siten, että kaikki säännöllisen suuntaissärmiön muotoiset koekappaleet punnittiin ja niiden ulottuvaisuudet mitattiin juuri ennen koetta, ja näiden mittaustulosten perusteella laskettiin ominaispaino. Sanottavaa käytännöllistä merkitystä tällä ominaispainolla ei ole, ja se onkin laskettu vain etupäässä absoluuttisen kuivan puun ominaispainon tarkistamista varten.

#### Kosteuspitoisuus kokeen aikana.

Kosteusvaihtelut puunsyiden kyllästymispisteen yläpuolella eivät vaikuta mitään puun lujuusominaisuuksiin, mutta sen sijaan tämän pisteen alapuolella kosteudella on hyvinkin huomattava vaikutus puun lujuuteen. Sen takia koekappaleiden kosteuspitoisuus kokeen aikana on tunnettava, edellisessä tapauksessa sen vuoksi, että voitaisiin päätellä, onko kosteus yläpuolella kyllästymispisteen, jälkimmäisessä tapauksessa, jotta lujuusarvot voitaisiin muuntaa samaa kosteuspitoisuutta vastaaviksi, sillä muutoinhan ne eivät ole keskenään vertailukelpoisia.

Tuoreista koekappaleista sahattiin jokaisesta heti kokeen jälkeen n. 1 sm:n vahvuinen kappale vioittumattomalta kohdalta, se punnittiin heti sahaamisen jälkeen, kuivattiin absoluuttisen kuivaksi ja punnittiin uudelleen. Molempien punnitustulosten ero osoitti poistunutta vesimäärää ja siitä saatiin lasketuksi kokeen aikainen kosteusprosentti.

Uunikuivista koekappaleista otettiin edellä mainittu palanen vain yhdestä jokaisen kepin koekappaleesta, ja tästä saatua kosteusprosenttia käytettiin kaikille saman kepin koekappaleille. (Tähän

tarkoitukseen käytettiin muuten samaa palasta kuin absoluuttisen kuivan puun ominaispainon määräämiseenkin.)

### Vuosilustojen paksuus.

Vuosilustojen paksuutta, ts. puun nopeakasvuisuutta, on pidetty puun lujuusominaisuuksiin hyvinkin suuresti vaikuttavana tekijänä. Sen tähden se määrättiin myöskin esillä olevien tutkimusten yhteydessä yhdestä jokaisen kepin koekappaleesta, käyttäen ominaispainon ja kosteusprosentin määräämiseksi sahattua palasta. Yksi kustakin kepistä suoritettu vuosilustojen paksuusmittaus voidaan katsoa täysin riittäväksi, sillä kukin keppi sisältää pääasiallisesti samat vuosilustot ja samalta puolelta runkoa. Se seikka, että saman kepin koekappaleet ovat rungosta hiukan eri korkeuksilta, ei voi vaikuttaa sanottavia eroavaisuuksia.

Vuosilustojen paksuus määrättiin siten, että koepalasien poikkileikkauspintaan piirrettiin viiva kohtisuoraan vuosilustoja vastaan, vuosilustojen lukumäärä tällä viivalla laskettiin ja tämä lukuarvo jaettiin viivan senttimetreissä ilmaistun pituuden lukuarvolla, jolloin saatiin vuosilustojen lukumäärä yhtä sm:ä kohden.

### Kesäpuuprosentti.

Kesäpuun suhteellinen runsaus vaikuttaa tiettävästi hyvinkin ratkaisevasti puun lujuusominaisuuksiin, joten esillä olevassa tutkimuksessa on tähänkin puoleen kiinnitetty huomiota.

Lassila on kirjoituksessaan »Untersuchungen über den Einfluss des Waldtyps auf die Qualität der Kiefer» esittänyt useitakin tarkkoja ja tieteellisiä kesäpuun määräämismenetelmiä. Useimmat näistä ovat kuitenkin niin työläitä, että silloin kuin on tuhansista koekappaleista kysymys, kuten esillä olevassa tutkimuksessa, menetelmien noudattaminen aiheuttaisi aivan suhteettomia kustannuksia ja ajanhukkaa. Kovin suuritöisten menetelmien noudattaminen ei ole senkään puolesta suositeltavaa, että joka tapauksessa, tarkimmistakin laskumenetelmistä huolimatta, tulokset ovat jossakin määrin epävarmoja sen johdosta, että saman vuosiluston kevät- ja kesäpuun välinen raja on useimmiten niin epämääräinen (vrt. esim. mainitussa kirjoituksessa esitettyjä suurennusvalokuvia), että niiden mittauksissa tulee aina virheitä.

Ruotsalaisessa, jo useasti mainitussa tutkimuksessa kesäpuuprosentti on määrätty siten, että koekappaleesta sahatun palasen poikkileikkaussivuun piirrettiin viiva kohtisuoraan vuosilustoja vastaan sellaiseen kohtaan, että viiva oli mahdollisimman pitkä ja pit-

kin tätä viivaa mitattiin kevät- ja kesäpuukerrosten vahvuus. Kumpienkin kerrosten yhteisten mittalukujen perusteella laskettiin kesäpuuprosentti. Jos kevät- ja kesäpuun suhteellinen runsaus eri vuosilustoissa on erilainen, tämä menetelmä antaa poikkileikkaukseltaan neliön muotoisissa koepalasissa suunnilleen oikean tuloksen ainoastaan siinä tapauksessa, että vuosilustot kulkevat lähimain yhdensuuntaisesti kahden vastakkaisen sivun kanssa, mutta jos vuosilustot ovat vinossa asennossa sivujen suhteen, olisi oikean keskimääräisen kesäpuuprosentin saamiseksi kunkin vuosiluston kevät- ja kesäpuukerrosten paksuus punnittava vastaavan vuosiluston kaaripituudella.

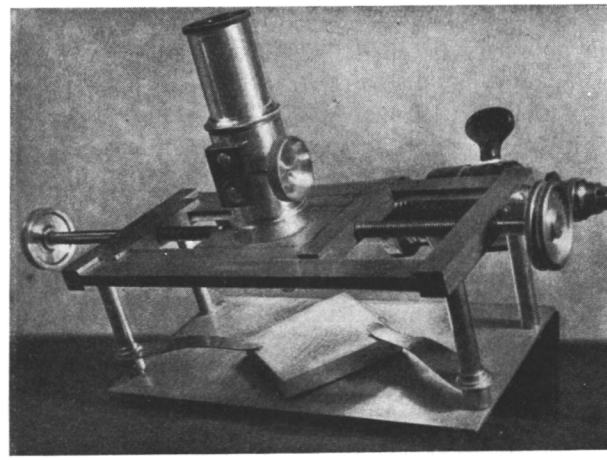
Samantapaista menetelmää kuin ruotsalaiset noudattavat myöskin englantilaiset. Mutta mainitusta menettelytavan epätarkkuudesta eivät voine johtua ne suuret kesäpuuprosentteja koskevat eroavaisuudet, mitkä englantilaisissa ja ruotsalaisissa tutkimuksissa havaitaan. Jäljempänä esitettävistä taulukoista 9 ja 10 näkee nim., että ruotsalaiset ovat saaneet ruotsalaisen männyn keskimääräiseksi kesäpuuprosentiksi 20, englantilaiset niin ikään ruotsalaisen männyn vastaavaksi prosentiksi 40. Tämä viimeksi mainittu luku on, samoin kuin englantilaisten omalle männylleen saama samansuuruinen prosenttimäärä, ilmeisestikin liian suuri.

Esillä olevassa tutkimuksessa on kesäpuuprosentin määräämisessä noudatettu lähinnä ruotsalaista menettelytapaa, kuitenkin siinä suhteessa poikkeavasti, että jos vuosilustot olivat vinossa asennossa koepalasen sivuihin nähden sekä kevät- ja kesäpuun suhteellinen runsaus vaihteli huomattavasti, mittauslinjaksi ei otettu pisintä mahdollista, siis suunnilleen neliön kahden vastakkaisen kulman välistä viivaa, vaan silmämääräisesti etsittiin neliön sisältä sellainen jana, joka leikkasi mahdollisimman keskimääräiset vuosilustot. Jos taas kesäpuun osuus kaikissa vuosilustoissa näytti jotakuinkin samalta, mitattiin ajan säästämiseksi ainoastaan osa vuosilustoista.

On myönnettävä, että menettelytapa ei ole tieteellisesti tarkka. Mutta kun tutkimuksessa käytetyissä verraten pienissä koepalasissa kesäpuun osuus eri vuosilustoissa ei kovinkaan paljoa vaihtele ja kun menetelmästä johtuvat virhemahdollisuudet tuskin ovat suuremmat kuin kevät- ja kesäpuun epämääräisestä rajasta johtuvat, ovat tulokset käytännön kannalta katsoen tarpeeksi tarkat ja menetelmä helppoutensa ja nopeutensa takia puollettavissa.

Kesäpuunmittaukset suoritettiin niistä palasista, jotka oli otettu absoluuttisen kuivan ominaispainon ja vuosilustojen paksuuden määräämistä varten. Ennen mittausta hiekkapaperilla sileäksi hiottu poikkileikkauspinta siveltiin tärpätillä, joka teki vuosilustojen rajat

selvästi näkyviksi. Itse mittaus suoritettiin tekijän suunnittelemalla mittauskojeella (kuva 25).



Kuva 25. Kevät- ja kesäpuun mittaukseen käytetty koje.

**Pintapuuprosentti.**

Standardikokeissa noudatettujen ohjeiden mukaisesti olisi myös koekappaleiden pintapuuprosentti määrättävä. Amerikassa ja Englannissa tehtyjen laajojen tutkimusten perusteella on kuitenkin tultu siihen tulokseen, että pinta- tai sydänpuulla ei sinänsä ole mitään sanottavaa vaikutusta puun lujuusominaisuuksiin. Kun sitä paitsi varsinkin uunikuivissa koekappaleissa pinta- ja sydänpuun välistä rajaa on useimmiten jotenkin mahdoton täsmälleen määrätä, ei esillä olevassa tutkimuksessakaan tähän seikkaan ole kiinnitetty erityistä huomiota. Niissä tapauksissa, joissa pintapuun osuus koekappaleissa on ollut tarkalleen määrättävissä, se on kyllä merkitty koekortteihin.

**Kutistuminen.**

Aiemmin tutkimusaineistosta puhuttaessa mainittiin, että alkuperäisten koetukkien keskeltä sahatuista kiekoista valmistettiin kappaleita kutistumisen tutkimista varten. Nämä kappaleet olivat kooltaan n. 1 × 1 × 7—8 sm, suurin ulottuvaisuus joko säteen tai sivuajan suuntaan, ja mikäli mahdollista, sydän- ja pintapuusta erikseen. Heti kappaleiden valmistumisen jälkeen ne punnittiin ja niiden suurin ulottuvaisuus mitattiin erityisellä, tekijän suunnittelemalla kojeella, jonka avulla mittaukset voitiin suorittaa $^1/_{100}$ mm:n tarkkuutta käyt-

täen ja mittauskohdat sekä mikrometriruuvin puristus kaikissa myöhäisemmissäkin mittauksissa saatiin samaksi. Ensimmäisen punnituksen ja mittauksen jälkeen koepalaset kuivattiin absoluuttisen kuiviksi, jolloin punnitseminen ja mittaaminen suoritettiin uudelleen. Havaintotulosten erojen perusteella voitiin laskea sekä koepalasten kosteus- että kutistumisprosentit.

## Tulosten laskeminen ja käsittely.

### Kosteusreduktio.

Jo puun lujuudentutkimusten varhaisimmilla asteilla havaittiin, miten läheisessä yhteydessä kosteuspitoisuus ja eri lujuusominaisuudet ovat keskenään. Kahdesta puukappaleesta, jotka muutoin ovat kaikissa suhteissa aivan samanlaisia, kuivempi kappale on lujempaa kuin tuoreempi. Tämä lujuuseroavaisuus ilmenee kuitenkin vain kosteuden vaihdellessa erään tietyn rajan alapuolella. Jos kosteus kohoaa tämän rajan yläpuolelle, sen vaihtelut eivät enää aiheuta mitään muutoksia lujuudessa. Rajan on kokeellisesti havaittu olevan puunsyiden kyllästymispisteen kohdalla.

Tämän rajan olemassaolon voi helposti selittää teoreettisestikin. Kun puun solunseinämät ovat veden kyllästämiä, fibrillit ovat joka kohdassaan yhden vesimolekyylin vahvuisen vesikerroksen erottamina toisistaan. Jos puuhun tulee lisää vettä, ei se enää kykene tunkeutumaan fibrillien väliin, vaan se jää solunonteloihin. Fibrillien etäisyys toisistaan jää siis muuttumattomaksi, fibrillien molekyylien välinen molekylaariattraktio ja sen aikaansaama kappaleen osasten kiinnevoima pysyy entisellään. Solunonteloissa oleva vesi ei tähän kiinnevoimaan vaikuta lainkaan.

Jos taas puun vesipitoisuus laskee kyllästymispisteen alapuolelle, fibrillien välistä alkaa poistua vettä ja fibrillit painuvat lähemmäksi toisiaan. Kun attraktio on kääntäen verrannollinen etäisyyksien neliöön, johtuu tästä suorastaan, että molekyylien välinen attraktio ja siis koko kappaleen kiinnevoima kasvaa.

Kahta puukappaletta, joiden kosteuspitoisuus on kyllästymispisteen alapuolella, voi lujuusominaisuuksien puolesta keskenään vertailla siis ainoastaan siinä tapauksessa, että kummankin kappaleen kosteuspitoisuus on aivan sama. Tämä edellytys on käytännössä kuitenkin vaikea toteuttaa. Sen takia lujuudentutkimuksissa koekappaleet kuivatetaan vain niin lähelle sovittua kosteusprosenttia kuin mahdollista, määrätään tarkasti kokeen aikainen kosteuspitoi-

suus ja lujuusarvot muunnetaan sitten samaa, sovittua kosteusprosenttia vastaavaksi. Tästä toimituksesta käytetään nimitystä »kosteusreduktio».

Kosteusreduktion suorittamisessa on käytetty useitakin menettelytapoja. Alkuperäisin keino on se, että kokeillaan useita samasta puusta, mahdollisimman läheltä toisiaan otettuja koekappaleita eri kosteina ja asetetaan saadut lujuusarvot koordinaatistoon, jossa abskissalla on kosteusprosentti, ordinaatalla lujuusarvot. Näin saatujen pisteiden kautta piirretään käyriä, joiden avulla lujuusarvot voidaan muuntaa määrättyä kosteusprosenttia vastaaviksi. — B a u s c h i n g e r ilmaisi puristuslujuuden ja kosteuspitoisuuden välisen suhteen kaavalla $\beta_0 = \beta [1 + \lambda (\varphi - \varphi_0)]$, jossa $\beta$ = puristuslujuus kosteusasteessa $\varphi$, $\beta_0$ = puristuslujuus alemmassa kosteusasteessa $\varphi_0$, jonka tulee olla lähellä ilmakuivaa kosteusastetta, ja $\lambda$ = vakio, joka eri puulajeille on määrättävä kokeellisesti. Kuten yhtälöstä näkyy, edellyttää se kosteusprosentin ja puristuslujuuden välisen suhteen suoraviivaiseksi, jollainen tämä suhde todellisuudessa ei ole, ja sen vuoksi yhtälö antaa lähimain oikeita tuloksia ainoastaan siinä tapauksessa, että kosteusprosentti kokeen aikana on aivan lähellä sitä kosteusprosenttia, mihin redusointi aiotaan toimittaa.

Jo useasti mainitussa ruotsalaisessa tutkimuksessa on myöskin käytetty suoraviivaisia reduktio-piirroksia, vaikka kysymyksessä ovat olleet verraten suuretkin kosteuseroavaisuudet.

Madisonin laboratorion tutkimusmenetelmäohjeissa (Manual of Methods and Procedure in Computing Results of Strength Tests) puun lujuusarvot ovat kosteusprosentin eksponenttifunktioita:

$$S = 10^{-mx+b} \quad \text{eli} \quad \log S = -mx + b, \tag{18}$$

S = lujuusarvo, x = kosteusprosentti, $m$ ja $b$ puuaineelle, koekappaleelle ja lujuusarvolle kuuluvia positiivisia vakioita. Samojen ohjeiden mukaan tuoreen puun lujuus on riippumaton kosteudesta, jos kosteusprosentti on yhtä suuri tai suurempi kuin eräs tietty luku (M), joka vastaa syiden kyllästymispistettä. Tällä kosteusalueella olevan tuoreen puun vakinainen lujuus on siis:

$$G = 10^{-m\,M+b}. \tag{19}$$

Jos vakio $m$, joka osoittaa käyrän (18) jyrkkyyttä, on määrätty jonkin puulajin lujuuksille ja jos lujuus $S_1$ kosteudessa $x_1$ on tunnettu, voidaan lujuus $S_2$ jossakin toisessa kosteudessa ($x_2$) laskea kaavasta

$$S_2 = S_1 \times 10^{m(x_1 - x_2)}, \tag{20}$$

mikä johtuu suoraan kaavasta (18). Kaavasta (20) voidaan myös laskea jollekin lujuusarvolle kuuluva arvo $m$, jos tunnetaan saman

tai kahden täysin samanlaisen koekappaleen lujuusarvot kahdessa eri kosteusasteessa.

$$(20)^1 \qquad m = \frac{\log \frac{S_2}{S_1}}{x_1 - x_2} = \frac{\log S_2 - \log S_1}{x_1 - x_2}.$$

Tässä samoin kuin edellä log tarkoittaa Briggin logaritmia. Jos jompikumpi arvoista ($x_1$ $x_2$) on suurempi kuin M, on kaavoihin (20) ja (20)$^1$ sen tilalle sijoitettava M.

Suureen $m$ määräämiseksi eri lujuusarvoille meneteltiin seuraavasti. Kummassakin tutkimuksessa laskettiin eri metsätyypeiltä kaikkien lujuusarvojen ja vastaavien kosteusprosenttien keskiarvo; tutkimuksessa 1 saatiin siten esim. arvot $F_t$, $x_t$, tutkimuksessa 2 $F_{uk}$, $x_{uk}$. Nämä sijoitettiin kaavaan (20)$^1$ ja laskettiin $m$. M:lle ($= x_1$) käytettiin arvoa 30, jonka voidaan katsoa lähinnä vastaavan männyn puunsyiden kyllästymispistettä (vrt. Jalava, 1932).

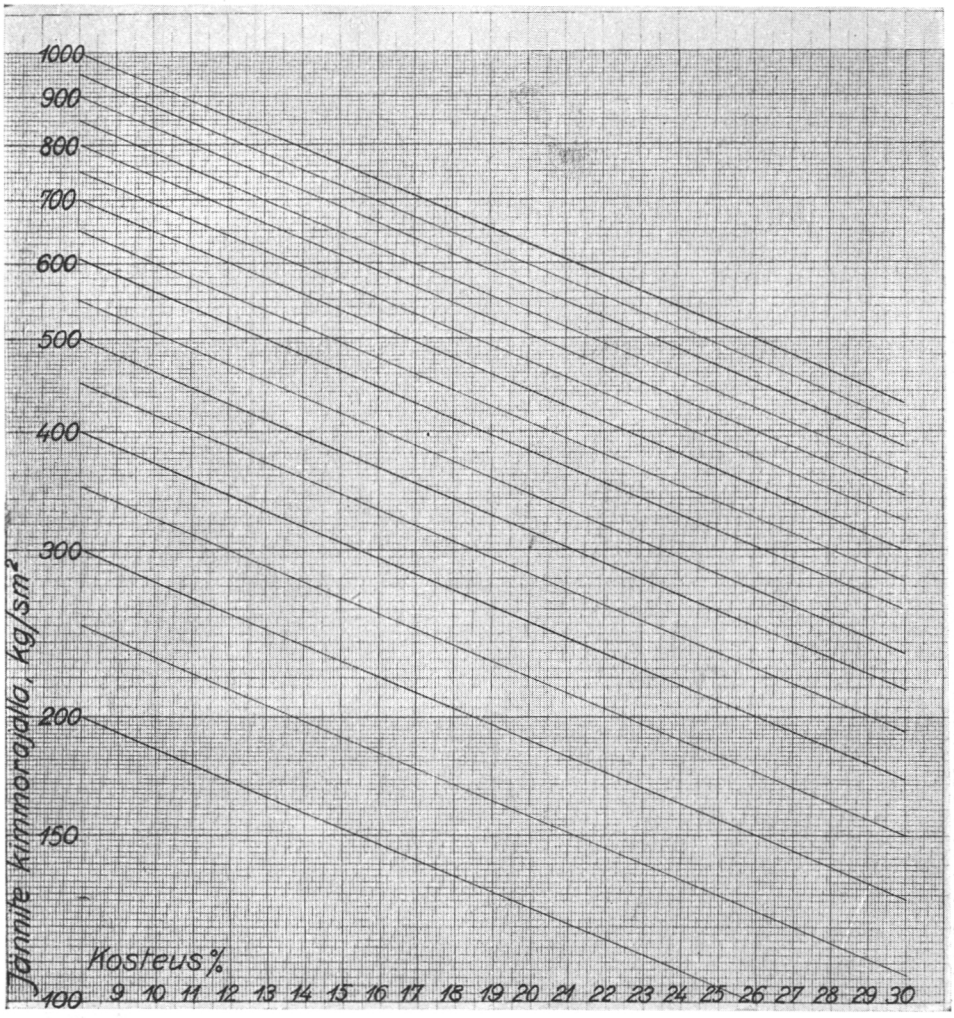
Eri lähetyksissä ja eri metsätyypeillä kunkin kokeen vastaavat $m$:n arvot vaihtelivat siksi vähän, että ei katsottu olevan syytä pitää niitä erillään, vaan laskettiin koko aineistosta yhteiset $m$:n keskiarvot kussakin kokeessa. Näin saatiin $m$:lle taulukossa 3 esitetyt keskiarvot.

Taulukko 3. **Kosteusreduktio. Vakion $m$ arvoja kaavassa** $S = 10^{-mx+b}$.

| Koe | Kanto-moduli | Murto-moduli | Kimmo-moduli | R | T | Päät |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Tasainen taivutus | 0.01669 | 0.01482 | 0.00706 | — | — | — |
| Puunsyiden suuntainen puristus | 0.01686 | 0.01747 | 0.00324 | — | — | — |
| Puunsyiden suuntaa vastaan kohtisuora puristus | 0.01605 | — | 0.01475 | — | — | — |
| Kovuus | — | — | — | 0.00905 | 0.00993 | 0.01229 |
| Halkaisu | — | — | — | 0.00662 | 0.00834 | — |
| Puunsyiden suuntaa vastaan kohtisuora veto | — | — | — | 0.00811 | 0.00946 | — |

Kuten kaavasta (18) näkyy, ovat lujuuskäyrät kullekin lujuusarvolle yhdensuuntaisia suoria, jos käytetään piirustuspaperia, jossa abskissa on tasavälinen ja ordinaatta logaritmisesti jaettu. Kun arvot $m$ tunnetaan, voidaan siis kullekin lujuusarvolle piirtää puolilogaritmista paperia käyttämällä mielivaltaisen tiheä suoraverkko (18), jonka avulla tiettyä kosteusprosenttia vastaava lujuusarvo voidaan muuntaa mihin hyvänsä toiseen kosteusprosenttiin.

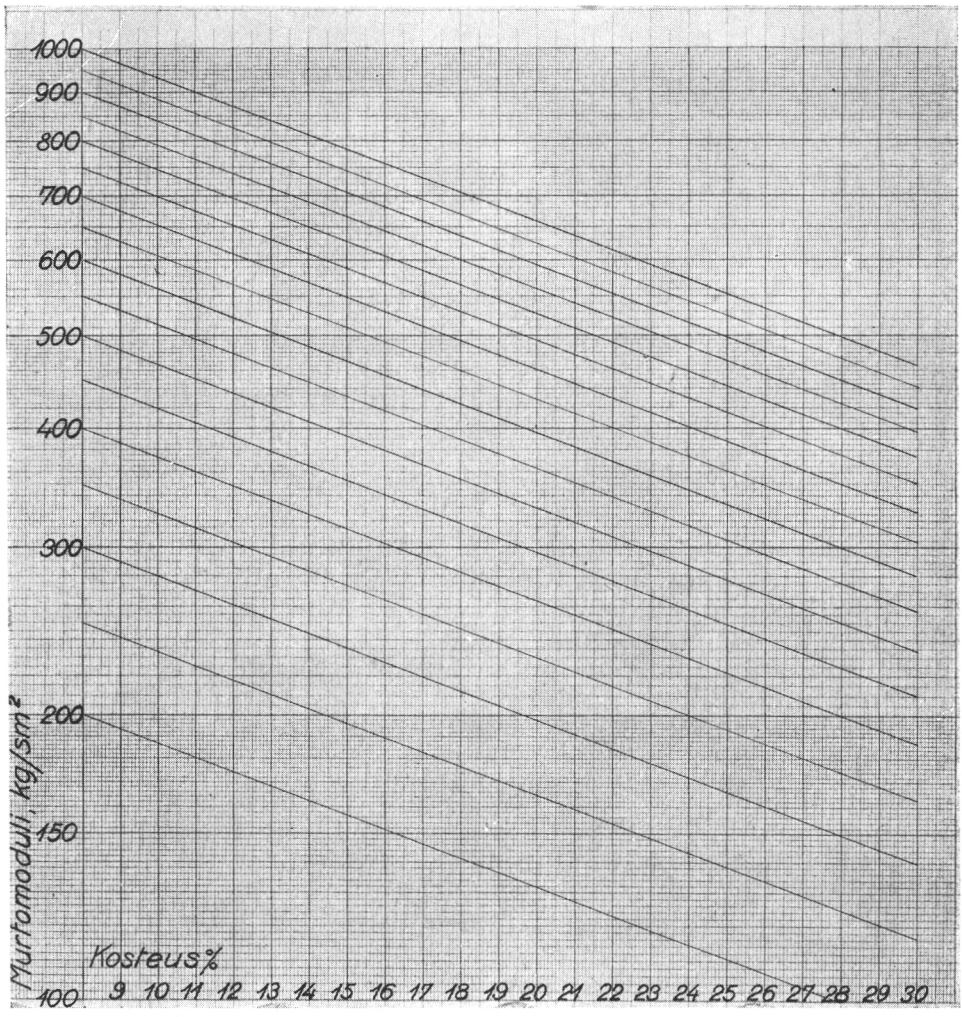
Kuvat 26 ja 27 ovat näytteitä täten saaduista piirroksista. Niiden avulla korjattiin sitten jokainen alkuperäinen lujuusarvo tutki-




Kuva 26. Kantomoduli taivutuskokeessa eri kosteusasteissa.

muksessa 2 kosteusprosenttiin 10. Tutkimuksessa 1 ei mitään arvoja tarvitse korjata, koska kaikkien koekappaleitten kosteus kokeen aikana oli vähintään puunsyiden kyllästymispisteen kohdalla.

Tutkimuksessa 2 kosteusprosentit eroavat arvosta 10 korkeintaan $\pm$ 3 yksikön verran. Kun lujuusarvot yllä esitetyllä tavalla redusoidaan juuri 10 prosenttiin, on ilmeistä, että tällä pienellä vaihtelualueella suureiden $m$ virheet ja korjauskäyrän muoto eivät sanottavasti vaikuta arvoihin.




Kuva 27. Murtomoduli taivutuskokeessa eri kosteusasteissa.

Eräässä japanilaisessa tutkimuksessa (M a z a y u k i O h s a w a, 1930) on puristuslujuuden ja kosteusprosentin välinen suhde ilmaistu yhtälöllä $\beta\varphi = a \times 10^{b\varphi^{1.2}}$, jossa $\beta\varphi$ = puristuslujuus mielivaltaisessa kosteuspitoisuudessa 0:n ja 30 %:n välillä, $\varphi$ = kosteusprosentti kokeen aikana, a ja b kullekin puulajille ominaisia vakioita.

## Tutkimusyksikkö ja keskiarvot.

Amerikkalaisissa standardikokeissa tutkimusyksikkönä pidetään jokaista koepuun pölkkyä. Jokaisen kokeen tulokset ryhmitellään siis ensiksi pölkyittäin, jolloin voidaan vertailla saman koerungon eri korkeuksilla todettuja lujuus- ym. ominaisuuksia. Näistä pölkyittäin lasketuista arvoista lasketaan sitten koko rungon keskiarvot, niistä eri kasvupaikkojen, kasvualueiden ja lopuksi koko puulajin keskiarvot.

Esillä olevassa tutkimuksessa tästä menettelytavasta on poikettu useastakin syystä. Tärkein näistä on se, että tarkoituksena ei ole ollut tutkia puun ominaisuuksia rungon eri korkeuksilla eikä yksityisen puun ominaisuuksia yleensäkään, vaan on pyritty selvyyteen siitä, miten muuten samanlaisissa olosuhteissa kasvaneiden puiden eri ominaisuudet vaihtelevat eri metsätyypeillä ja eri osissa Suomea. Toisena vaikuttavana syynä voidaan mainita tutkimuksessa käytettyjen koepuiden verraten pieni koko. Yhdestä pölkystä on saatu niin vähän koekappaleita eri kokeisiin, että pölkylle saadut keskiarvot ovat epäluotettavia, koska eri arvot voivat vaihdella verraten paljon.

Tässä tutkimuksessa on edellä mainittujen syiden takia tutkimusyksikkönä pidetty eri lähetysten kutakin metsätyyppiä. Kun silloin kuhunkin käsiteltävään ryhmään tulee useasta rungosta saadut koekappaleet, on niiden lukumäärä eri kokeissa jo siksi suuri, että niiden keskiarvon voi katsoa edustavan melkoisen hyvin kysymyksessä olevan lähetyksen eri tyyppejä.

Kun koepuiden luku jokaisen lähetyksen eri metsätyypeiltä on sama — paitsi kahdelta Pohjois-Suomen tyypiltä — ja puut sen lisäksi suhteellisesti saman kokoisia ja saman ikäisiä ja kun siten kunkin ryhmän eri kokeeseen koekappaleita tulee jotenkin samat määrät ja samanlaisia, voitaneen eri ryhmien eri lujuusarvojen keskiarvoja pitää keskenäänkin vertailukelpoisina. Tämän vuoksi eri arvoista, sen jälkeen kuin ne on redusoitu samaa kosteuspitoisuutta vastaaviksi, on laskettu vain aritmeettiset keskiarvot jokaisen lähetyksen eri metsätyypeille.

Kuten tunnettua ei aritmeettista keskiarvoa sinänsä ilman muuta pidetä vielä pätevänä koko ryhmän ominaisuuden osoittajana, vaan sen luotettavuuden selvittämiseksi lasketaan matemaattistilastollisia menetelmiä käyttäen kunkin keskiarvon todennäköiset virhealueet. Jos nämä virhealueet pysyvät selvästi erillään toisistaan, päätellään silloin, että tutkittavat ominaisuudet tutkimuksessa käytetyissä ryhmissä ovat ilmeisesti erilaiset.

Esillä olevassa tutkimuksessa ei näitä matemaattistilastollisia menetelmiä ole voitu käyttää etupäässä sen tähden, että ne edellyttävät kussakin käsitellyssä ryhmässä verraten runsasta havaintoaineistoa. Pienehköjä aineistoja käsiteltäessä menetelmät eivät tavallisesti anna käyttökelpoisia tuloksia. Esillä olevassa tutkimuksessa muutamien kokeiden, etenkin taivutuskokeiden, lukumäärä eri ryhmissä on pakostakin verraten pieni, mutta kun sen sijaan eri ryhmien havaintoaineistot ovat keskenään hyvinkin samanlaiset, voidaan kunkin ryhmän havaintotulosten aritmeettisia keskiarvoja, niitä keskenään rinnastellen, pitää sellaisinaankin tyydyttävän luotettavina ryhmän eri ominaisuuksien osoittajina.

Useimmissa puun lujuusominaisuuksia käsittelevissä tutkimuksissa näitä ominaisuuksia on käsitelty toisten ominaisuuksien, kuten ominaispainon, kosteuspitoisuuden ym. funktioina, on ts. osoitettu, miten nämä eri ominaisuudet ovat toisistaan riippuvaisia. Kun tämän tutkimuksen päätarkoituksena on vertailla eri metsätyypeillä ja eri osissa Suomea todettavia lujuusominaisuuksia sinänsä ja kun sitä paitsi edellä mainitut riippuvaisuussuhteet voidaan katsoa jo tyydyttävällä tavalla selvitetyiksi, ei tässä yhteydessä siihen puoleen ole erikoista huomiota kiinnitetty.

## Tutkimusten tulokset.

### Lujuusarvot.

Tähän asti suoritettujen tutkimusten tulokset on kerätty taulukkoihin 4 ja 5. Niissä esiintyvät arvot ovat aritmeettisia keskiarvoja kuhunkin eri ryhmään kuuluvien kokeiden antamista tuloksista.

Käsitellyn aineiston mukaan keskiarvot on jaettu kahteen pääryhmään, joista toisessa on tulokset tuoreilla (taulukko 4), toisessa uunikuivilla (taulukko 5) koekappaleilla tehdyistä kokeista. Edellisiä ei erilaisen kosteuspitoisuuden johdosta ole muunnettu ollenkaan, koska kosteuspitoisuus kaikissa tapauksissa on ollut puunsyiden kyllästymispisteen yläpuolella eivätkä kosteuden vaihtelut siis lainkaan vaikuta lujuusarvoihin. Kun muutamat koekappaleet pääsivät kuivumaan niiden valmistamisen ja kokeen suorituksen välisenä aikana mainitun kyllästymispisteen alapuolelle, erotettiin niiden antamat koetulokset kokonaan pois käsiteltäviksi myöhemmin ilmakuivan koeaineiston yhteydessä.

Uunikuivien koekappaleiden tutkimuksessa saadut lujuusarvot on taas muunnettu kaikki 10 %:n kosteuspitoisuutta vastaaviksi. Tämä kosteusprosentti on valittu sen takia, että se on lähinnä uunikuivien koekappaleitten keskimääräistä kosteuspitoisuutta, ja kun kosteuden vaihtelu tämän arvon kahden puolen oli aivan vähäistä, ovat muuntamisesta mahdollisesti aiheutuvat virheet tällöin mahdollisimman pienet ja kuitenkin eri kasvualueihin ja metsätyyppeihin kohdistuvat arvot ovat keskenään täysin vertailukelpoisia. Jäljempänä, vertailtaessa suomalaisen männyn lujuusominaisuuksia muualla saatuihin tuloksiin, on nämä arvot kyllä muunnettava toisissa maissa käytettyjä kosteusprosentteja vastaaviksi.

Koska pohjoissuomalaisilla koepuilla (lähetys IV) saadut tulokset eroavat huomattavasti vastaavista eteläsuomalaisista (lähetykset I—III) tuloksista, on nämä ryhmät pidetty erillään ja laskettu aritmeettiset keskiarvot kullekin koelajille ja metsätyypille erikseen Etelä- ja Pohjois-Suomesta. Seuraavassa tarkastellaan ensiksi eteläsuomalaisia tuloksia ja vasta myöhemmin erikseen Pohjois-Suomen tuloksia, samalla eritellen niitä syitä, jotka eroavaisuuksiin ovat vaikuttaneet.

Taulukko 4. **Eri kokeissa**

Tuore

| Lähetys ja metsätyyppi | Vuosilustoja sm:llä | Kesäpuu — % | Ominaispaino × 100 | 1. Tasainen taivutus | | | 3. Puunsyiden suuntainen puristus | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Kantomoduuli | Murtomoduuli | Kimmomoduuli | Kantomoduuli | Murtomoduuli | Kimmomoduuli |
| *Lähetys I.* | | | | | | | | | |
| MT ..... | 4.9 | 29.1 | 51.0 | 229 | 456 | 71 | 162 | 197 | 125 |
| VT ..... | 6.4 | 26.8 | 48.9 | 259 | 472 | 78 | 193 | 226 | 150 |
| CT ..... | 6.1 | 26.1 | 49.3 | 265 | 439 | 93 | 197 | 234 | 147 |
| *Lähetys II.* | | | | | | | | | |
| OMT ..... | 6.0 | 28.3 | 48.5 | 247 | 449 | 78 | 186 | 221 | 142 |
| MT ..... | 7.1 | 30.0 | 50.4 | 252 | 478 | 87 | 191 | 223 | 147 |
| VT ..... | 11.9 | 26.2 | 52.3 | 258 | 487 | 95 | 212 | 246 | 164 |
| CT ..... | 7.8 | 28.8 | 53.1 | 253 | 482 | 86 | 213 | 246 | 157 |
| Räme .... | 10.9 | 25.6 | 50.4 | 254 | 452 | 85 | 200 | 232 | 151 |
| *Lähetys III.* | | | | | | | | | |
| OMT ..... | 5.7 | 26.5 | 48.3 | 255 | 374 | 85 | 173 | 208 | 136 |
| VT ..... | 10.9 | 30.0 | 54.5 | 328 | 489 | 104 | 231 | 271 | 173 |
| CT ..... | 10.2 | 22.9 | 52.6 | 284 | 428 | 100 | 209 | 243 | 162 |
| Räme .... | 13.4 | 18.7 | 46.0 | 247 | 371 | 62 | 162 | 195 | 125 |
| *Lähetys IV.* | | | | | | | | | |
| MT ..... | 5.2 | 22.1 | 43.4 | 199 | 301 | 62 | 126 | 165 | 98 |
| VT ..... | 5.1 | 20.7 | 43.4 | 229 | 345 | 73 | 124 | 164 | 101 |
| HMT ..... | 9.7 | 18.3 | 45.4 | 239 | 342 | 74 | 152 | 187 | 121 |
| ClT ..... | 12.5 | 19.9 | 48.0 | 235 | 376 | 83 | 152 | 187 | 122 |
| Kangasräme ..... | 17.5 | 21.1 | 48.3 | 278 | 404 | 81 | 168 | 201 | 131 |

Asian havainnollistuttamiseksi on tärkeimmissä kokeissa, taivutuksessa ja puunsyiden suuntaisessa puristuksessa, eri koepuulähetyksistä eri metsätyypeille saadut lujuusarvot esitetty graafisesti kuvissa 28—30.

Tarkasteltaessa eri koepuulähetysten tuloksia metsätyypeittäin kiintyy huomio heti siihen, että eri metsätyypeillä kasvaneiden puiden lujuusominaisuuksissa on selviä eroavaisuuksia, mutta eri tyyppien välinen suhde ei ole aivan samanlainen eri lähetyksissä. Keskisuomalaisessa Vilppulan lähetyksessä (III) puolukkatyypin puut ovat ylivoimaisesti lujempia kuin toisten sekä huonompien että parempien metsätyyppien puut. Kaakkoissuomalaisessa Veikkolan lähetyksessä (II) samanlainen ilmiö on myöskin vielä havaittavissa, mutta ei kuitenkaan niin ylivoimaisena, sillä siinä kanervatyypin puiden lujuus alkaa lähennellä puolukkatyypin puiden vastaavia ominaisuuksia. Etelä-Suomen, Ruotsinkylän (I), puiden suhteen tämä ilmiö on mennyt vielä pitem-

**saadut tulokset.**

koeaineisto.

| 4. Puunsyitä vast. ⊥ puristus | | 5. Kovuus | | | 7. Halkaisu | | 8. Puunsyitä vast. ⊥ veto | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kanto-moduli | Kimmo-moduli | Kuorma R | Kuorma T | Kuorma P | Kuorma R | Kuorma T | Kuorma R | Kuorma T |
| 23 | 2 300 | 164 | 183 | 192 | 28.5 | 30.4 | 20.8 | 20.8 |
| 23 | 2 375 | 168 | 183 | 194 | 32.5 | 34.5 | 16.7 | 19.8 |
| 23 | 2 636 | 177 | 204 | 184 | 32.2 | 31.3 | 20.1 | 21.9 |
| 22 | 2 420 | 165 | 179 | 182 | 29.2 | 27.1 | 20.3 | 23.7 |
| 23 | 2 470 | 173 | 189 | 190 | 27.3 | 28.1 | 19.8 | 22.9 |
| 28 | 2 740 | 180 | 192 | 207 | 32.8 | 32.4 | 19.3 | 20.4 |
| 28 | 2 710 | 188 | 195 | 212 | 35.8 | 31.8 | 20.8 | 22.5 |
| 24 | 2 263 | 167 | 173 | 194 | 27.8 | 29.3 | 20.5 | 21.2 |
| 24 | 2 412 | 147 | 160 | 162 | 33.0 | 32.3 | 21.2 | 23.1 |
| 30 | 2 064 | 214 | 226 | 219 | 36.1 | 32.1 | 23.0 | 21.5 |
| 30 | 3 300 | 170 | 165 | 170 | 35.8 | 32.2 | 22.5 | 23.7 |
| 22 | 1 920 | 148 | 145 | 155 | 35.1 | 32.0 | 23.3 | 23.9 |
| 21 | 1 822 | 135 | 158 | 153 | 32.8 | 33.9 | 20.3 | 20.3 |
| 21 | 1 834 | 138 | 152 | 147 | 32.2 | 32.9 | 20.0 | 20.9 |
| 23 | 1 947 | 145 | 164 | 162 | 34.3 | 34.2 | 20.2 | 22.1 |
| 22 | 1 928 | 151 | 165 | 171 | 32.1 | 30.2 | 16.8 | 16.8 |
| 23 | 1 962 | 168 | 172 | 162 | 36.6 | 32.8 | 21.8 | 20.4 |

mälle, sillä siellä kanervatyypin puut ovat lujuusominaisuuksiltaan joko puolukkatyypin puiden tasolla tai niistä paljon edelläkin.

Mielenkiintoista on myöskin vertailla samoja metsätyyppejä eri lähetyksissä. Aineisto ei tässä suhteessa ole vielä aivan täydellinen, sillä ensimmäisestä lähetyksestä puuttuvat OMT ja räme, kolmannesta lähetyksestä MT, mutta jonkinlaisia vertailuja voi kyllä tehdä jo käytettävissä olevan aineiston perusteella. Kaikissa Etelä-Suomen koepuulähetyksissä esiintyvän VT:n suurimmat arvot ovat Vilppulasta. Veikkolan arvot ovat jo huomattavasti pienemmät, ja vielä niitäkin pienemmät ovat Ruotsinkylän vastaavat arvot. Myöskin kaikissa koepuulähetyksissä esiintyvissä CT:n arvoissa ei ole havaittavissa varsin suuria eroja eri lähetysten välillä. MT on Ruotsinkylässä verraten paljon huonompi kuin Veikkolassa, mutta OMT:n arvoissa ei selviä eroja esiinny. Räme taas on Veikkolassa parempi kuin Vilppulassa.

Taulukko 5. **Eri kokeissa**

Uunikuiva

| Lähetys ja metsätyyppi | Vuosilustoja sm:llä | Kesäpuu — % | Ominaispaino × 100 | 1. Tasainen taivutus | | | 3. Puunsyiden suuntainen puristus | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Kantomoduli | Murtomoduli | Kimmomoduli | Kantomoduli | Murtomoduli | Kimmomoduli |
| *Lähetys I.* | | | | | | | | | |
| MT ..... | 5.4 | 27.8 | 47.1 | 488 | 740 | 99 | 341 | 423 | 137 |
| VT ..... | 6.8 | 29.7 | 47.9 | 560 | 832 | 112 | 402 | 485 | 167 |
| CT ..... | 7.4 | 30.1 | 53.4 | 615 | 930 | 130 | 454 | 576 | 190 |
| *Lähetys II.* | | | | | | | | | |
| OMT ..... | 6.7 | 30.2 | 47.5 | 524 | 784 | 112 | 387 | 471 | 160 |
| MT ..... | 7.7 | 32.0 | 49.9 | 568 | 848 | 127 | 424 | 505 | 176 |
| VT ..... | 12.3 | 26.5 | 51.2 | 600 | 908 | 129 | 474 | 554 | 208 |
| CT ..... | 8.2 | 29.7 | 50.8 | 584 | 868 | 123 | 429 | 511 | 180 |
| Räme .... | 10.9 | 26.2 | 47.9 | 564 | 792 | 116 | 403 | 486 | 167 |
| *Lähetys III.* | | | | | | | | | |
| OMT ..... | 5.7 | 28.9 | 48.2 | 510 | 800 | 112 | 381 | 463 | 154 |
| VT ..... | 11.0 | 30.2 | 54.1 | 620 | 960 | 122 | 460 | 590 | 202 |
| CT ..... | 9.5 | 28.8 | 51.4 | 584 | 916 | 130 | 452 | 533 | 191 |
| Räme .... | 14.1 | 25.3 | 46.9 | 579 | 794 | 111 | 365 | 452 | 148 |
| *Lähetys IV.* | | | | | | | | | |
| MT ..... | 5.4 | 25.2 | 42.7 | 448 | 688 | 91 | 292 | 384 | 116 |
| VT ..... | 5.5 | 23.4 | 42.7 | 440 | 686 | 92 | 299 | 392 | 114 |
| HMT ..... | 9.9 | 24.6 | 44.9 | 524 | 788 | 99 | 328 | 415 | 128 |
| CIT ..... | 11.8 | 24.4 | 49.0 | 580 | 892 | 120 | 382 | 464 | 150 |
| Kangasräme ..... | 20.8 | 22.9 | 46.2 | 516 | 840 | 102 | 338 | 426 | 133 |

Piirroksia tarkasteltaessa herättää huomiota myös se seikka, että saman lähetyksen eri metsätyyppien lujuusarvojen erot ovat paljon jyrkempiä uunikuivassa kuin tuoreessa koeaineistossa. Tämä merkitsisi sitä, että lujassa puussa kuivuminen aiheuttaa suurempia lujuuden muutoksia kuin heikossa puussa. Tähän viittaa myöskin se, että aiemmin kosteusreduktion yhteydessä puheena olleen vakion $m$ arvo vaihtelee hiukan eri metsätyypeillä, vaikka tosin, kuten jo mainittiin, vaihtelu on useimmissa tapauksissa verraten pieni eikä se ole kaikissa lähetyksissä ja kokeissa aivan säännöllinen. Näytteeksi voidaan kuitenkin esittää mainitun vakion arvot ensimmäisen ja toisen lähetyksen taivutuskokeessa.

*Kosteusreduktiovakion m arvo taivutuskokeessa.*

| *Lähetys* I | Kantomoduli | Murtomoduli |
|---|---|---|
| MT ..... | 0.01602 | 0.01051 |
| VT ..... | 0.01674 | 0.01231 |
| CT ..... | 0.01828 | 0.01630 |

**saadut tulokset.**

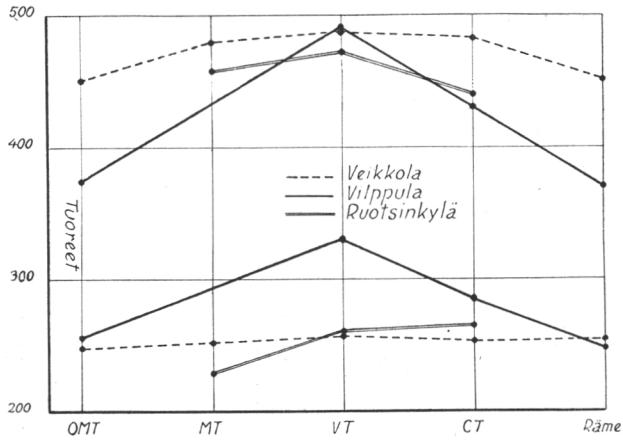
koeaineisto.

| 4. Puunsyitä vast. ⊥ puristus | | 5. Kovuus | | | 7. Halkaisu | | 8. Puunsyitä vast. ⊥ veto | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kanto-moduli | Kimmo-moduli | Kuorma R | Kuorma T | Kuorma P | Kuorma R | Kuorma T | Kuorma R | Kuorma T |
| 53 | 4 870 | 228 | 280 | 290 | 48.9 | 40.1 | 23.5 | 30.4 |
| 47 | 4 000 | 228 | 283 | 298 | 43.5 | 44.8 | 30.2 | 30.8 |
| 71 | 6 300 | 330 | 350 | 390 | 49.2 | 48.8 | 34.1 | 41.9 |
| 54 | 4 370 | 228 | 272 | 296 | 40.5 | 43.6 | 27.0 | 29.6 |
| 54 | 4 510 | 271 | 312 | 308 | 45.8 | 44.2 | 28.9 | 28.9 |
| 62 | 5 340 | 264 | 283 | 323 | 49.6 | 47.5 | 30.5 | 32.5 |
| 49 | 4 740 | 274 | 326 | 323 | 43.4 | 49.7 | 29.4 | 33.4 |
| 42 | 3 330 | 249 | 276 | 305 | 40.9 | 42.3 | 30.1 | 33.7 |
| 51 | 4 560 | 269 | 272 | 295 | 41.6 | 46.9 | 27.6 | 32.0 |
| 53 | 4 360 | 311 | 335 | 380 | 41.0 | 47.0 | 26.6 | 32.2 |
| 59 | 5 330 | 271 | 316 | 340 | 41.5 | 44.1 | 33.0 | 39.7 |
| 47 | 3 950 | 226 | 242 | 306 | 47.1 | 45.5 | 31.3 | 36.7 |
| 41 | 3 850 | 207 | 234 | 272 | 44.5 | 48.5 | 28.3 | 31.5 |
| 43 | 4 190 | 230 | 230 | 270 | 41.3 | 48.9 | 27.9 | 32.2 |
| 49 | 4 790 | 218 | 232 | 301 | 43.3 | 48.9 | 29.8 | 39.5 |
| 39 | 3 950 | 213 | 257 | 288 | 51.3 | 52.1 | 29.3 | 28.0 |
| 49 | 4 440 | 236 | 257 | 314 | 38.0 | 46.3 | 38.2 | 34.3 |

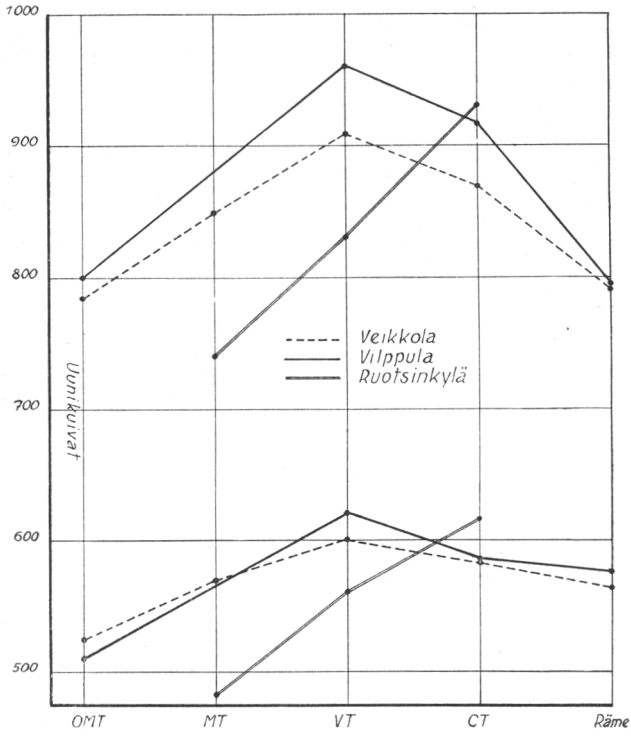
| *Lähetys* II | Kantomoduli | Murtomoduli |
|---|---|---|
| OMT | 0.01633 | 0.01210 |
| MT | 0.01765 | 0.01245 |
| VT | 0.01833 | 0.01353 |
| CT | 0.01816 | 0.01277 |
| Räme | 0.01732 | 0.01218 |

Kuten luvuista ilmenee nämä $m$:n arvot suhtautuvat toisiinsa eri tyypeillä suuressa määrin samalla tavalla kuin vastaavat lujuusarvotkin, joten on mahdollista, että puun kasvupaikka voitaisiin määritellä senkin perusteella, kuinka paljon puun kuivuminen vaikuttaa sen lujuuteen.

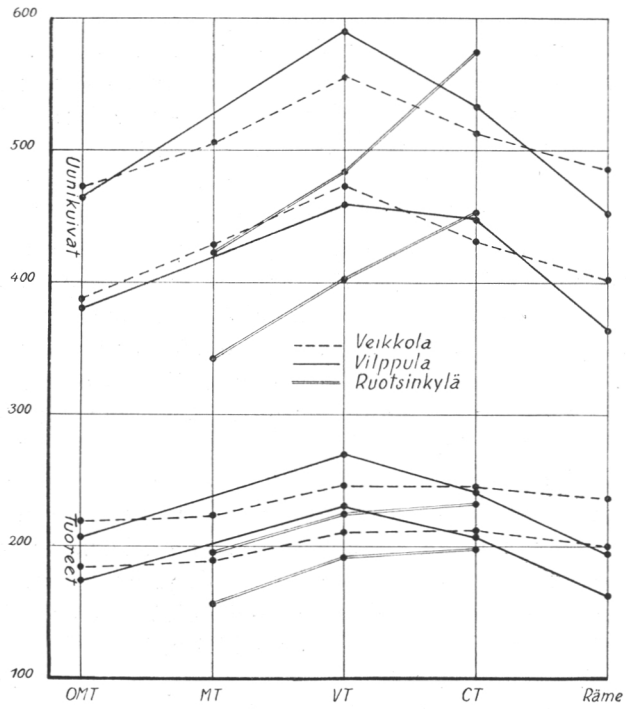
Jos olisi käytettävissä metsätyyppeihin perustuvia vastaavanlaisia tutkimuksia muualta, olisi erittäin mielenkiintoista vertailla niiden tuloksia edellä esitettyihin. Aivan vastaavanlaisia tutkimuksia ei tiettävästi ole tehty, mutta jonkinlaisia kiinnekohtia voidaan sen-




Kuva 28. Eri metsätyyppien puitten lujuusarvoja taivutuskokeessa. Ylempi ryhmä kuvaa murtomodulia, alempi ryhmä kantomodulia.




Kuva 29. Eri metsätyyppien puitten lujuusarvoja taivutuskokeessa. Ylempi ryhmä kuvaa murtomodulia, alempi ryhmä kantomodulia.




Kuva 30. Eri metsätyyppien puitten lujuusarvoja puunsyiden suuntaisessa puristuskokeessa. Ylemmät murtoviivat kuvaavat murtomodulia, alemmat kantomodulia.

tään saada Kalninschin latvialaisella männyllä suorittamista tutkimuksista (Kalninsch, A., 1930). Vaikkakaan hänen käyttämänsä metsätyypit eivät vastaa Cajanderin tyyppejä, ilmenee hänen tutkimuksestaan kuitenkin selvästi, että Latviassa männyn lujuusominaisuudet paranevat hyviltä kasvupaikoilta huonommille siirryttäessä. Kalninsch on saanut parhaat lujuusarvot männylle, joka on kasvanut *pinetum sphagnosum*-tyypillä (boniteetti V), joka ilmeisestikin tarkoittaa jonkinlaista rahkaista rämettä.

Tämä tulos on ensi näkemältä ristiriidassa esillä olevan tutkimuksen tulosten kanssa, mutta asiaa lähemmin tarkasteltaessa, tulokset sopivat hyvin yhteen ja täydentävät toisiaan, kuten seuraavasta selostuksesta ilmenee.

Aiemmin puun ominaispainosta puheen ollen mainittiin jo Mayrin optimiteoria, jonka mukaan kullakin puulajilla on ilmaston ym. kasvutekijäin määräämä alue, missä puu muodostaa laadultaan parasta puuainesta. Tältä alueelta edullisempaan tai epäedullisempaan ilmastoon siirryttäessä puun laatu huononee.

Mayrin optimiteoriassa on kuitenkin otettu huomioon liian yksipuolisesti vain ilmaston vaikutus puun kasvuun. Ilmaston ohella muutkin tekijät ovat tärkeitä, joten ilmasto-optimin lisäksi on otettava vielä muitakin kuten maanlaatu-optimi, metsän tiheysoptimi ym. huomioon, jos mieli puun kasvuedellytyksiä täysin ymmärtää ja niiden vaikutuksia selittää. Kunkin puulajin niin sanoaksemme yleisoptimi sattuu silloin sinne, missä kaikki ala-optimit yhtyvät. Mutta sellaisella seudulla, jossa ilmasto on jollekin puulajille liian hyvä, eri kasvutekijäin kyky korvata toistensa vajavaisuuksia vaikuttaa sen, että eri kasvutekijäin yhteisvaikutus on puulle edullisin sellaisella kasvupaikalla, joka on taas maanlaatu-optimia huonompi. Tästä johtuu, että kun ilmastollisesta optimista siirrytään etelään päin, maanlaadun optimi siirtyy huonommille metsätyypeille ja päinvastoin.

Tuntuisi luonnolliselta, että jonkin puulajin ilmastollinen optimi on siellä, missä ilmasto vastaa puulajin levenemisalueen ilmaston keskiarvoa, ja maanlaadun optimi taas on niiden maanlaatujen keskivaiheilla, millä kyseessä oleva puulaji yleensä kasvaa.

Tässä yhteydessä on kuitenkin vielä otettava huomioon, että ilmasto-optimikin vaihtelee eri ilmastotekijäin, kuten lämpö- ja sademäärien, niiden eri vuodenaikojen osalle jakautumisen ym. seikkojen mukaan, joten maantieteellisesti pohjoisempi tai eteläisempi alue ei ehdottomasti merkitse huonompaa tai parempaa ilmastoa.

Oletamme, että männyn yleisoptimi on Keski-Suomessa puolukkatyypillä. Lujin mänty olisi niin ollen löydettävissä puolukkatyypiltä Keski-Suomessa. Sen sijaan tyyppi-optimista etäisempien, esim. rämeen, mänty ei Keski-Suomessa löydä kehitykselleen edullisimpia olosuhteita, vaan kun kasvupaikan laatu on niin kovin kaukana optimista, täytyy ilmaston olla yleisen optimin ilmastoa parempi, ennen kuin se kykenee korvaamaan maanlaadun puutteellisuudet.

Edellä esitetyn mukaan siis lujimpien puiden voi päätellä Keski-Suomessa kasvavan VT:llä, Etelä-Suomessa ja nähtävästi myös Virossa CT:llä, Latviassa rämeellä, Keski-Suomesta pohjoiseen mentäessä männyn lujuusominaisuuksien maksimi olisi ensin MT:llä ja vielä pohjoisempana OMT:llä. Eri tyyppien maksimit eivät silti välttämättä asetu samoille alueille. Vaikka Latviassa rämemänty onkin lujempaa kuin paremmilla tyypeillä kasvanut mänty, ovat siellä rämemännyn elinehdot kuitenkin niin kaukana ihanteellisista, että Etelä-Suomen rämemänty on sitä lujempaa, samoin kuin se on lujempaa kuin Keski-Suomenkin rämemänty. Täten lujin rämemänty kasvaisi Etelä-Suomessa ja mahdollisesti siitä hiukan etelään, lujin CT:n mänty Etelä-Suomesta Keski-Suomeen, lujin VT:n mänty

Vilppulasta jonkin matkaa pohjoiseen, lujimmat MT:n ja OMT:n männyt taas pohjoisemmissa vyöhykkeissä.

Esillä olevan tutkimuksen Etelä-Suomen puilla saadut tulokset tukevat edellä esitettyjä otaksumia melkein poikkeuksetta. Ainoat niiden suhteen ristiriitaiset tulokset ovat OMT:n männyille saadut. Vilppulan OMT:n pitäisi nim. olla parempi kuin Veikkolan vastaavan tyypin, mutta niin ei ole asianlaita. Tämä voi johtua siitä, että Vilppulan OMT:n koemännyt olivat hiukan harvemmassa kasvaneet ja niiden latvukset suhteellisesti suuremmat kuinVeikkolan puiden.

Pohjois-Suomen puilla saadut koetulokset sen sijaan eroavat huomattavasti eteläsuomalaisista tuloksista. Tähän saakka käsitelty koeaineisto viittaa siihen, että pohjoissuomalaisen männyn kaikki lujuusominaisuudet ovat huomattavasti huonommat kuin eteläsuomalaisen männyn. Mutta eri metsätyyppien keskinäinen suhde näyttää Pohjois-Suomessa olevan toisenlainen kuin Etelä-Suomessa. Pohjois-Suomesta otettu tutkimusaineisto on kuitenkin vain yhdeltä paikkakunnalta ja siksi pieni, että sen perusteella ei vielä voi tehdä lopullisia johtopäätöksiä. On myöskin ajateltavissa sekin mahdollisuus, että Pohjois-Suomessa on muodostunut männystä erityinen maantieteellinen rotu, jolla on omat erikoisominaisuutensa. Todennäköisin ja vaikuttavin syy mainittuihin eroavaisuuksiin lienee kuitenkin se, että Pohjois-Suomen luonnonvaraisissa metsissä puut kasvavat yleensä harvassa ja niillä on verraten suuret latvukset, joka seikka vaikuttaa puun lujuusominaisuuksiin vielä enemmän kuin kasvupaikan laatu.

## Ominaispaino.

Kuten tutkimusaineistosta puheen ollen jo mainittiin, otettiin vähintään yhdestä jokaisen kepin koekappaleesta heti kokeen suorituksen jälkeen n. 1 sm:n vahvuinen kappale, josta mm. määrättiin ominaispaino puun ollessa absoluuttisen kuivana. Taulukkoihin 4 ja 5 merkityt ominaispainot on saatu siten, että laskettiin aritmeettinen keskiarvo kaikista kyseessä olevan metsätyypin absoluuttisen kuivien koekappaleitten ominaispainoista. Kaikki säännöllisen suuntaissärmiön muotoiset koekappaleet punnittiin ja mitattiin tosin juuri ennen koetta, joten saatiin myös koekappaleitten ominaispaino kokeen aikana, mutta kun nämä ominaispainot erilaisen kosteuspitoisuuden johdosta eivät ole vertailukelpoisia, ei niitä esillä olevassa tutkimuksessa ole yleensä käytetty.

Puun lujuusominaisuuksien ja ominaispainon keskinäistä riippuvaisuussuhdetta on jo tutkittu siksi paljon, että niiden toisistaan

riippuvaisuus voidaan katsoa täysin todetuksi. Esillä olevassa tutkimuksessa tähän seikkaan ei olekaan sen tähden kiinnitetty erityistä huomiota. Tarkastelemalla taulukoissa 4 ja 5 esitettyjä ominaispainoja ja eri lujuusarvoja voidaan vain havaita, että ne seuraavat toisiaan jotakuinkin säännöllisesti. Tästä johtuu, että samoin kuin pohjoissuomalaisen männyn lujuusarvot ovat vastaavia Etelä-Suomen männyn arvoja pienemmät, pohjoissuomalainen mänty on myös huomattavasti keveämpää kuin eteläsuomalainen mänty.

## Kosteuspitoisuus.

Aiemmin on jo käynyt ilmi, että puun kosteusaste vaikuttaa hyvinkin huomattavasti sen lujuuteen. Sen tähden kunkin koekappaleen kosteuspitoisuus kokeen aikana oli otettava selville, jotta lujuusarvot voitiin muuntaa samaa kosteusprosenttia vastaaviksi. Sen jälkeen kuin muuntaminen oli suoritettu, ei kokeen aikainen kosteus enää merkitse mitään eikä sitä sen tähden ole lopputuloksien yhteydessäkään ilmoitettu millään tavalla.

Tuoreen puun sydän- ja pintapuun kosteuspitoisuuteen on sen sijaan syytä kiinnittää huomiota, sillä siitä on vallalla vielä erilaisia mielipiteitä. Useissa teknologisissa teoksissa mainitaan, että sydänpuun kosteusprosentti esim. vanhassa männyssä voi olla jopa 12. Moll (1930, s. 30) väittää, että elävän puun (Baum) kosteuspitoisuus

Taulukko 6. **Kosteusprosentit.**

| Lähetys ja metsätyyppi | Sydänpuussa | | Pintapuussa | |
|---|---|---|---|---|
| | % | Eri lähetysten keskiarvo | % | Eri lähetysten keskiarvo |
| I. MT | 31 | — | 121 | — |
| VT | 33 | — | 115 | — |
| CT | 30 | 31.3 | 110 | 115.3 |
| II. OMT | 29 | — | 126 | — |
| MT | 32 | — | 121 | — |
| VT | 30 | — | 128 | — |
| CT | 30 | — | 126 | — |
| Räme | 30 | 30.2 | 129 | 126.0 |
| III. OMT | 34 | — | 133 | — |
| VT | 29 | — | 128 | — |
| CT | 32 | — | 127 | — |
| Räme | 35 | 32.5 | 143 | 132.7 |
| IV. MT | 31 | — | 138 | — |
| VT | 31 | — | 141 | — |
| HMT | 37 | — | 144 | — |
| CIT | 33 | — | 143 | — |
| Kangasräme | 42 | 34.8 | 153 | 144.0 |

ei voi laskea alle puunsyiden kyllästymispisteen.[1]) Tähän viittaavat myös esillä olevassa tutkimuksessa saadut tulokset. Vaikkakin koepuut olivat verraten vanhoja, suurikokoisia, ja sydänpuu useimmissa tapauksissa oli hyvin kehittynyt, ei havaittu ainoatakaan sellaista tapausta, että sydänpuun kosteusprosentti olisi ollut pienempi kuin 26 ja sekin vain parissa kolmessa koekappaleessa. Tavallisimmin sydänpuun kosteus oli aivan lähellä 30 %:a, sen kahden puolen. Kosteuserot eri metsätyyppien puissa olivat varsin vähäiset, mutta sen sijaan Pohjois-Suomen puut näyttävät sisältävän kosteutta hiukan enemmän kuin Etelä-Suomen puut.

Eri koepuulähetysten ja tyyppien puiden kosteuden keskiarvot näkyvät taulukosta 6.

### Vuosilustojen paksuus.

Taulukkoihin 4 ja 5 on merkitty myös vuosilustojen lukumäärä senttimetrillä, mikä ilmaisee puun kasvunopeuden. Vertailtaessa saatuja lukuja eri lujuusarvoihin havaitaan, että niiden kesken ei ole olemassa selvää riippuvaisuussuhdetta. Korkeintaan voidaan sanoa, että erittäin nopea- tai hidaskasvuinen puu on yleensä heikompaa kuin sellainen puu, jonka kasvunopeus on ollut kohtalainen.

### Kesäpuuprosentti.

Taulukkoihin 4 ja 5 merkittyjä kesäpuuprosentteja tarkasteltaessa havaitaan, että ne seuraavat jossakin määrin sekä ominaispainoja että eri lujuusarvoja, mutta aivan poikkeukseton tämä ilmiö ei ole.

Käsitellyssä aineistossa on sydän- ja pintapuun kesäpuuprosentti verraten paljon erilainen ja se seuraa jotenkin tarkoin ominaispainoa, kuten taulukosta 7 havaitaan.

Taulukko 7. **Kesäpuuprosentti ja ominaispaino.**

| Lähetys | Kesäpuuprosentti | | Ominaispaino | |
|---|---|---|---|---|
| | Sydänpuussa | Pintapuussa | Sydänpuussa | Pintapuussa |
| I. Ruotsinkylä ..... | 26.3 | 29.8 | 45.8 | 50.4 |
| II. Veikkola ..... | 26.7 | 32.8 | 48.3 | 50.7 |
| III. Vilppula ..... | 26.0 | 29.9 | 47.1 | 49.1 |
| IV. Kivalo ..... | 22.9 | 27.1 | 42.9 | 44.3 |

Tämä sydän- ja pintapuun ero johtuu ilmeisestikin siitä, että luonnonvaraiset metsät ovat taimisto- ja nuorella iällään useimmiten verraten harvoja ja epätasaisia, puut ovat laajalatvuksisia ja suuri-

[1]) »Im lebenden Baum kann der Wassergehalt nie unter diesen Betrag (puunsyiden kyllästymispisteen, joksi Moll on ottanut 26 %) sinken, wenn anders der Baum nicht krank ist (Nonnenholz!)».

oksaisia, jolloin kehittyvä puuaines on kevyttä ja kesäpuuköyhää. Myöhemmällä iällä metsikkö sulkeutuu, latvukset pienenevät ja puihin alkaa kehittyä lujempaa puuainesta. Aiemmin kehittynyt puun osa muodostuu vähitellen sydänpuuksi ja täten sydänpuu on huonompaa kuin pintapuu. Se seikka, että Pohjois-Suomen metsät ovat vielä vanhemmalla iälläänkin usein harvahkoja selittänee osaltaan siellä kasvaneiden puiden kesäpuuköyhyyden ja keveyden.

## Kutistuminen.

Vahvaseinäinen, pienionteloinen solu kutistuu kuivuessaan enemmän kuin ohutseinäinen solu (vrt. Jalava, 1932, s. 16). Tästä johtuu, että suhteellisesti paljon kesäpuuta sisältävä puu kutistuu enemmän kuin kevätpuusta rikas puu. Tätä osoittavat myös tehdyt havainnot, joiden tuloksien keskiarvot esitetään seuraavassa asetelmassa.

| Kesäpuuprosentti | Kutistumisprosentti: Sivuajan suuntaan | Säteen suuntaan |
|---|---|---|
| <25 | 6.6 | 3.4 |
| 25—30 | 7.6 | 4.2 |
| 31—35 | 8.1 | 4.3 |
| 36—40 | 8.6 | 4.8 |
| 40+ | 8.6 | 5.8 |

Eri metsätyypeiltä ja eri osista Suomea otetuissa puissa kutistumisprosentti on kohonnut taulukon 8 ilmaisemiin määriin.

Taulukko 8. **Kutistumisprosentit.**

| Lähetys | Metsätyyppi | Kutistumisprosentti | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Säteen suuntaan | Sivuajan suuntaan | Lähetyksen keskiarvot: Säteen suuntaan | Sivuajan suuntaan |
| I. Ruotsinkylä | MT | 3.6 | 8.2 | | |
| | VT | 4.2 | 8.7 | | |
| | CT | 4.8 | 8.9 | 4.2 | 8.6 |
| II. Veikkola | OMT | 3.9 | 7.8 | | |
| | MT | 4.9 | 8.9 | | |
| | VT | 4.8 | 7.9 | | |
| | CT | 4.8 | 7.9 | | |
| | Räme | 4.5 | 8.0 | 4.6 | 8.1 |
| III. Vilppula | OMT | 4.8 | 8.8 | | |
| | VT | 5.3 | 8.4 | | |
| | CT | 5.3 | 8.6 | | |
| | Räme | 4.4 | 7.3 | 5.0 | 8.3 |
| IV. Kivalo | MT | 3.5 | 7.4 | | |
| | VT | 3.8 | 7.3 | | |
| | HMT | 4.2 | 7.1 | | |
| | ClT | 4.4 | 6.4 | | |
| | Räme | 4.3 | 6.7 | 4.0 | 7.0 |

Edellä on jo tultu siihen tulokseen, että kutistumisprosentti on varsin kiinteästi riippuvainen kesäpuun määrästä. Sen sijaan vuosilustojen vahvuuden ja kutistumisprosentin välillä ei ole ainakaan suoraviivaista suhdetta, kuten näkyy alla olevasta asetelmasta, jossa tulosten keskiarvot ovat esitettyinä.

| | Kutistumisprosentti | |
|---|---|---|
| Vuosilustoja sm:llä | Sivuajan suuntaan | Säteen suuntaan |
| 2—4 | 6.4 | 3.0 |
| 5—9 | 8.0 | 4.1 |
| 10—15 | 8.0 | 4.6 |
| 16+ | 7.2 | 4.2 |

Aiemmin on jo todettu, että kesäpuuprosentin ja ominaispainon välillä vallitsee verraten kiinteä suhde, sekä, kuten äsken mainittiin, että kesäpuun määrä vaikuttaa ratkaisevasti kutistumiseen. Tästä seuraa, että myöskin ominaispainon ja kutistumisprosentin välillä on tietty suhde. Tätä tutkimuksen tulokset osoittavatkin, kuten seuraavasta keskiarvojen yhdistelmästä näkyy.

| | Kutistumisprosentti | |
|---|---|---|
| Ominaispaino | Säteen suuntaan | Sivuajan suuntaan |
| <0.40 | 3.4 | 6.4 |
| 0.40—0.45 | 3.9 | 7.4 |
| 0.46—0.50 | 4.4 | 8.0 |
| 0.50+ | 4.8 | 8.6 |

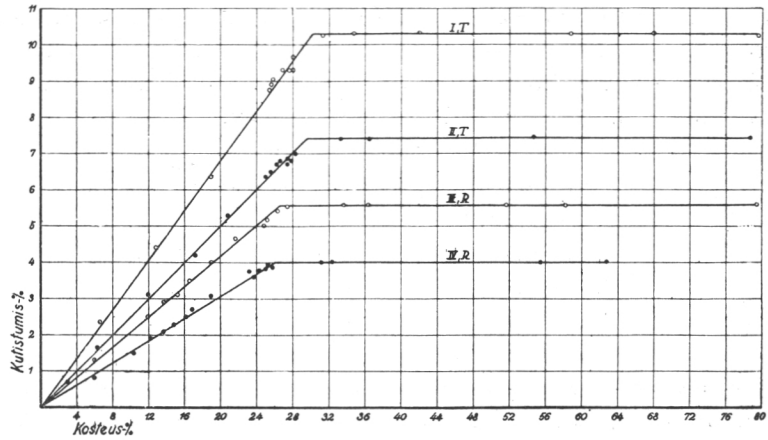
Edellä on jo käynyt ilmi, että kosteuspitoisuuden muutokset vaikuttavat lujuusominaisuuksiin ainoastaan puunsyiden kyllästymispisteen alapuolella. Samoin on mainittu, että puun kutistuminen alkaa samalla kohdalla sekä on selitetty miksi nämä molemmat ilmiöt, lujuuden kasvaminen ja kutistuminen, ovat niin läheisessä yhteydessä keskenään.

Kirjallisuudessa esiintyy hiukan eriäviä mielipiteitä siitä, minkä kosteusasteen kohdalla puunsyiden kyllästymispiste on. Tavallisimmin mainitaan, että se on 25 ja 30 kosteusprosentin välillä sekä että se vaihtelee jonkin verran eri puulajeilla. Ruotsalaisessa Schlyterin ja Winbergin julkaisussa puunsyiden kyllästymispiste männyllä on kaikissa graafisissa piirroksissa merkitty 25 kosteusprosentin kohdalle, mutta eräistä taulukoista (esim. s. 28) ilmenee, että lujuusominaisuudet ovat muuttuneet vielä kosteuden vaihdellessa 25 ja 30 prosentin välillä. Moll mainitsee kyllästymispisteen olevan yleensä 26 %:n kohdalla, japanilainen Ohsawa on sekä männyn että kuusen kyllästymispisteen olettanut olevan 30 %:n kohdalla.

Esillä olevan tutkimuksen yhteydessä tehtiin muutamia erikoiskokeita kyseessä olevan seikan selville saamiseksi. Tuloksista on graafisessa kuvassa 31 esitetty muutamia tyypillisimpiä tapauksia.

Kuten piirroksesta havaitaan, on koekappaleissa I ja II, joissa kutistuminen on mitattu sivuajan suuntaan, kutistuminen alkanut jotenkin täsmälleen 30 kosteusprosentin kohdalla. Säteen suuntaisissa koekappaleissa III ja IV kutistuminen taas on alkanut 26—27 %:n tienoilla.

Ero sivuajan ja säteen suuntaisen kutistumisen alkukohtien välillä oli havaittavissa kaikissa tapauksissa, joten se ei ilmeisestikään ole satunnaisista seikoista johtuva, vaan voitaneen sitä pitää sääntönä. Silmällä pitäen puun rakennetta voidaan se selittääkin hyvin todennäköisistä syistä johtuvaksi.




Kuva 31. Puun kutistumisen alkukohta.

Kun kosteus puussa laskee alle 30 %:n, puunsolun fibrillien välistä vesi alkaa vähentyä ja fibrillit painuvat lähemmäksi toisiaan, koko solu pienenee ja niiden muodostama kudos alkaa kutistua. Sivuajan suuntaisella kutistumisella ei ole mitään ulkoisia esteitä, joten solujen pieneneminen aiheuttaa heti koko kudoksen kutistumisen. Säteen suuntainen kutistuminen ei ole niin esteetön, vaan ydinsädesolut, jotka ovat kohtisuorassa asennossa muihin soluihin nähden, vastustavat sitä, sillä, kuten tunnettu, puunsolut eivät kutistu pituussuunnassaan sanottavasti ollenkaan. Tämän ydinsädesolujen vastustuksen takia säteen suuntainen kutistuminen ei ala heti kun solut alkavat pienentyä, vaan vasta sitten, kun solujen supistuminen on edistynyt niin pitkälle, että sen aiheuttama kutistava voima kykenee voittamaan ydinsädesolujen vastustuksen.

Koska ainakin sivuajan suuntaan kutistuminen alkaa jo 30 %:n kohdalla, ja lujuus siis jo silloin alkaa lisääntyä, on tässä tutkimuksessa puunsyiden kyllästymispisteen oletettu olevan 30 prosentin kosteuspitoisuuden kohdalla.

## Eri tutkimusten tulosten vertailua.

Kun esillä olevan tutkimuksen perusteella on saatu selville suomalaisen männyn eri lujuusarvoja, olisi tietysti erittäin mielenkiintoista vertailla niitä muissa maissa saatujen männyn sekä muidenkin puulajien vastaaviin lujuusarvoihin, jotta saataisiin jonkinlainen kuva siitä, missä suhteessa suomalainen mänty on muissa maissa kasvaneisiin oman lajinsa puihin, toisiin mäntylajeihin sekä muihinkin puulajeihin. On kuitenkin heti myönnettävä, että täysin päteviä vertailuja on vaikea tehdä. Yhdessä puussa saattavat jotkin lujuusominaisuudet olla hyvät, toisessa taas toiset, joten johonkin tarkoitukseen jokin puu on parempaa kuin toinen, jonka useat ominaisuudet ovat edellistä parempia.

Madisonin laboratoriossa Yhdysvalloissa on eri puulajeille koetettu laskea sellaisia indeksilukuja, joissa kaikki tärkeimmät ominaisuudet on otettu huomioon niiden tärkeyttä vastaavalla tavalla. Tällaisten indeksilukujen perusteella ei kuitenkaan voi arvostella jonkin puulajin sopivaisuutta johonkin erityiseen tarkoitukseen, joten niillä ei ole sanottavaa käytännöllistä merkitystä. Jonkinlaisen yleiskuvan puun ominaisuuksista indeksilukujen avulla tosin voi saada, mutta senhän voi saada myöskin vertailemalla eri ominaisuuksia osoittavia lukuja.

Tällaisten puun eri ominaisuuksia osoittavien lukujen vertaileminen toisessa maassa saatuihin vastaaviin lukuihin edellyttää kuitenkin, että kokeet, joihin luvut perustuvat, ovat samalla tavalla tehtyjä ja saadut luvut on erilaisten, tulokseen vaikuttavien seikkojen, esim. kosteuspitoisuuden, suhteen muunnettu vertauskelpoisiksi, sekä myöskin, että saatuja lukuja voidaan katsoa koko maassa tai jossakin sen osassa kasvaneita kysymyksessä olevan lajin puita edustaviksi.

Näitä näkökohtia silmällä pidettäessä vertailuaineisto supistuu verraten vähiin. Tutkimusmenetelmien yhdenmukaisuutta koskevaa ehtoa eivät täytä juuri muut kuin Yhdysvalloissa, Kanadassa, Englannissa, Ruotsissa ja Suomessa tehdyt kokeet. Koska näissä maissa saadut tulokset ovat siten ainoat mahdolliset vertailtaviksi, lienee

syytä tarkastella, miten niiden suhteen on muiden vertailun edellytysten laita.

Yhdysvalloissa on systemaattisia puun lujuudentutkimuksia tehty kahden viime vuosikymmenen aikana niin paljon, että tärkeimpiä puulajeja koskevien kokeitten luku nousee jo useaan kymmeneen tuhanteen. Kun koeaineisto on vielä kerätty mahdollisimman laajalti kunkin puulajin kasvualueelta, voitaneen saatuja keskiarvoja pitää verraten hyvin koko maan vastaavia puulajeja edustavina. Mahdollisesti keskiarvot ovat hiukan liian korkeat, sillä koepuiksi yleensä valitaan kunkin kasvupaikan parhaita ja kauneimpia yksilöitä.

Kanadassa suoritettujen kokeiden suhteen voidaan sanoa jotenkin samaa kuin edellä Yhdysvalloissa suoritetuista kokeista, kuitenkin huomauttaen, että kanadalaiset kokeet eivät ole vielä niin monilukuisia kuin yhdysvaltalaiset. Niidenkin keskiarvot kelvannevat kuitenkin vertailtaviksi, sillä lisäkokeet tuskin paljoakaan muuttavat tähän asti saatuja keskiarvoja.

Englannissa käsitelty aineisto on verraten pieni. Mäntyä koskevassa tutkimuksessa on koerunkoja ollut vain 22 kpl., mutta ne olivat siksi suuria, rinnankorkeudelta 17 $^1/_2$″—30 $^1/_2$″, että koekappaleita niistä saatiin lähes 4 000. Sitä paitsi koepuut olivat usealta toisistaan etäiseltä alueelta ja lisäksi, kasvupaikan kuvauksista päättäen, verraten erilaisilta metsätyypeiltä, joten tuloksien keskiarvoja voitaneen pitää ainakin jossakin määrin koko Englannin mäntyjä edustavina.

Englannissa kasvaneilla puilla suoritettujen kokeiden lisäksi siellä on kokeiltu myös Ruotsista ja Arkangelista tuodulla puulla (320 lankkua Skellefteån seudulta sekä 128 lankkua Arkangelista).

Kaikki edellä mainituissa maissa kuivilla koekappaleilla suoritetuissa kokeissa saadut lujuusarvot on redusoitu samaa kosteusprosenttia vastaaviksi — (12 %:iin), — ja kaikki tuoreeseen puuhun kohdistuvat kokeet on suoritettu koekappaleilla, joiden kosteusprosentti on varmasti kyllästymispisteen yläpuolella, jolloin kosteuden vaihtelut eivät enää vaikuta mitään lujuuteen. Täten tulokset ovat keskenään vertailukelpoisia.

Ruotsalaisissa tutkimuksissa käytetty aineisto on varsin heikkoa. Se käsitti 8 hiekkanummella (sandhed) kasvanutta runkoa Upsalan läänistä sekä 28 lankkua ja piirua, jotka oli tuotu sahalaitoksista Upsalan, Jönköpingin ja Länsi-Norrlannin lääneistä. Koko aineistosta saatiin n. 1 800 koekappaletta.

Tämän aineiston suhteen voi tehdä useitakin huomautuksia. Ensinnäkin metsästä otetut koepuut on valittu kovin yksipuoli-

sesti. Puiden kasvupaikka, hiekkakangas, niiden ikä ja koko antavat aiheen päätellä, että kasvupaikka on ollut joko VT tai CT, ja, kuten ainakin suomalaiset tutkimukset osoittavat, juuri näillä metsätyypeillä kasvaneissa männyissä lujuusominaisuudet ovat parhaat. Toiseksi sahoilta otetun aineiston valinnassa noudatetuista periaatteista ei ole ilmoitettu mitään, joten ei ole takeita siitä, että se olisi tehty tasapuolisesti.

Jo käytetyn tutkimusaineiston takia ruotsalaisia tuloksia ei voida pitää vertailukelpoisina. Kun ruotsalaiset itse ovat kuitenkin käyttäneet tuloksiansa omansa ja muiden maiden puiden vertailuun ja etenkin kun näitä vertailuja on esitetty niin arvovaltaisen forumin kuin kansainvälisen metsätieteellisten tutkimuslaitosten maailman kongressin edessä Tukholmassa v. 1929 ja sitä käsittelevä kirjoitus on otettu tämän kongressin asiakirjoihin (Proceedings of the international congress of forestry experimental stations, Stockholm 1929), ei niitä tässäkään yhteydessä voitane kokonaan sivuuttaa, vaan on ehkä syytä tarkastella niitä hiukan lähemmin.

Mainitussa julkaisussa (s. 268) on graafinen esitys, jossa abskissalle on merkitty ominaispaino (0.40—0.60) ja ordinaatalle puunsyiden suuntaan puristettaessa todettu puristuslujuus. Tähän koordinaatistoon on merkitty ruotsalaisen ja »amerikkalaisen» männyn puristuslujuuksia.

Tässä piirroksessa pistää silmään ennen kaikkea se, että siinä on vertailtu puristuslujuuksia puissa, joiden kosteusprosentit ovat suuresti erilaiset, ruotsalaisen tuoreen männyn 23—30 ja kuivan 6—10, amerikkalaisen tuoreen puun 30 ja kuivan 12. Kun tiedetään, että jokainen kosteus-% näillä tienoilla vaikuttaa n. 4 % puristuslujuusarvoihin, olisi ne muunnettava samaa kosteusprosenttia vastaaviksi, ennen kuin niitä voisi keskenään vertailla. Toisena omituisuutena on sanotussa piirroksessa se, että lujuusarvojen vertailut on tehty edellyttäen, että vertailtavien puiden ominaispainot ovat kulloinkin samat. Täten on päästy sellaiseenkin tulokseen, kuin eräästä toisesta graafisesta piirroksesta (Schlyter och Winberg, 1929, s. 22, fig. 3) ilmenee, nim. että pitkäneulasmännyn *(Pinus palustris)* taivutuslujuus on huonompi kuin ruotsalaisen männyn. Aivan samalla perusteella voisi väittää, että jos ruotsalaisen männyn ominaispaino olisi 7.0, sen puristuslujuus olisi enemmän kuin kaksi kertaa suurempi kuin teräksen. Tämä samalla osoittanee, miten harhaanjohtava tällaisella perustalla suoritettu vertailu on. Omituinen »sattuma» on myöskin se, että edellä kuvatuissa vertailuissa on yhdysvaltalaisia mäntyjä edustamaan otettu *Pinus ponderosa*. Tätä on kyllä selitetty

siten, että mainittu mänty kasvaa alueella, joka ilmastollisesti lähinnä muistuttaa Ruotsin oloja sekä että mainittu mänty fysikaalisilta ja rakenneominaisuuksiltaan on suuresti ruotsalaisen männyn kaltainen. Vaikka näin onkin asianlaita, ei kaiken kohtuuden nimessä puulajia, jonka osuus on vain n. $^1/_{10}$ koko Yhdysvaltain havupuu-sahatavaran tuotannosta ja joka vielä lisäksi on lujuusominaisuuksiltaan huonoin niistä 15 yhdysvaltalaisesta mäntylajista, joiden ominaisuuksia Madisonin laboratoriossa on tutkittu, saisi ottaa kaikkien yhdysvaltalaisten mäntyjen edustajaksi ainakaan siten, kuin puheena olevassa vertailussa on tehty.

Vielä toinenkin kummallisuus ilmenee edellä mainitussa Schlyterin ja Winbergin julkaisussa. Mainitussa julkaisussa (s. 22, fig. 5) esitetään vertailuja ruotsalaisen männyn ja »yhdysvaltalaisen puun» (U. S. Wood) välillä. Tämän viimeksi mainitun taivutuslujuutta osoittavat luvut on saatu laskemalla jonkinlaiset keskiarvot 113:n yhdysvaltaisen puun taivutuslujuuksista. Näihin 113 puulajiin sisältyvät kaikki v:een 1919 mennessä Madisonin laboratoriossa tutkitut havu- ja lehtipuut. Ei tarvinne mainitakaan, että tämän keskiarvohirviön avulla ruotsalainen mänty on saatu paremmaksi kuin »yhdysvaltalainen puu».

Esillä olevassa suomalaisen männyn lujuusominaisuuksia koskevassa tutkimuksessa koeaineisto käsitti, kuten jo aiemmin on mainittu, kaikkiaan 95 runkoa. Aineisto ei siis ole erikoisen suuri tämän tapaiseen tutkimukseen, mutta tuloksista voi kuitenkin laskea suomalaista mäntyä kokonaisuudessaan verraten hyvin edustavia arvoja. Aineisto käsittää puita kaikilta niiltä pää-metsätyypeiltä, millä mäntyä yleensä kasvaa, ja kutakin tyyppiä vastaavat männyn lujuusarvot saadaan laskemalla vastaavat keskiarvot eri alueilta otetuilla puilla saaduista tuloksista — Pohjois- ja Etelä-Suomi on pidetty erillään, koska ne eroavat toisistaan varsin huomattavasti. Valtakunnan metsien arvioimistuloksista (Ilvessalo 1927, taulukko 85) taas havaitaan, että Etelä-Suomen mäntypuuvarasto on jakautunut eri metsätyyppien kesken seuraavasti (lukuun on otettu vain ne metsätyypit, jotka ovat esillä olevan tutkimuksen aineistossa edustettuina):

| | | | |
|---|---|---|---|
| Lehtomaisilla mailla (OMT ja PyT) on | 3.5 % | mäntypuuvarastosta |
| Mustikkatyypin mailla (MT) on .... | 27.6 » | » |
| Puolukkatyypin » (VT) » .... | 47.1 » | » |
| Kanervatyypin » (CT) » .... | 7.8 » | » |
| Kasvullisilla rämeillä » .... | 5.9 » | » |
| Yhteensä | 91.9 % | mäntypuuvarastosta |

Taulukko 9. **Vertailuja eri maissa**

Kokeet t u o-

| Kokeilupaikka ja puulaji | Vuosilustoja sm:llä | Kesäpuu — % | Kosteus — % | Ominaispaino | Tasainen taivutus: Kantomoduli kg sm²:lle | Kantomoduli Vertailuluku | Murtomoduli kg sm²:lle | Murtomoduli Vertailuluku | Kimmomoduli 1 000 kg sm²:lle | Kimmomoduli Vertailuluku |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Princes Risborough'ssa englantilaisella männyllä tehdyt kokeet, raaka-keskiarvot | 4.35 | 41 | 84.75 | 0.43 | 237 | **88** | 412 | **87** | 89 | **102** |
| Princes Risborough'n laboratorion tulokset ruotsal. ja arkangelil. männylle | 10.0 | 40 | 77.5 | 0.40 | 237 | **88** | 408 | **87** | 90 | **103** |
| Ruotsalaisten omien tutkimusten tulokset ruotsalaiselle männylle | 6.5 | 20 | 23-30 | 0.46 | 300 | **112** | 515 | **109** | 120 | **138** |
| Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen tulokset suomalaiselle männylle: Etelä-Suomi, punnitut keskiarvot | 7.7 | 25.2 | **30** + | 0.50 | 269 | **100** | 471 | **100** | 87 | **100** |
| Pohjois-Suomi, raaka-keskiarvot | 10.0 | 19.8 | **30** + | 0.46 | 236 | **88** | 354 | **75** | 75 | **86** |
| Madisonin laboratoriossa yhdysvaltalaisella puulla tehdyt kokeet: | | | | | | | | | | |
| Pinus taeda | 3.2 | 42 | 70 | 0.59 | 329 | **122** | 532 | **113** | 100 | **115** |
| » palustris | 7.1 | 39 | 47 | 0.64 | 378 | **141** | 609 | **129** | 114 | **131** |
| » echinata | 4.7 | 40 | 64 | 0.50 | 315 | **117** | 560 | **119** | 102 | **117** |
| » lambertiana | 4.7 | 34 | 123 | 0.39 | 238 | **88** | 357 | **76** | 66 | **76** |
| » ponderosa | 7.9 | 22 | 95 | 0.42 | 217 | **81** | 350 | **74** | 68 | **78** |
| » strobus | 6.3 | 31 | 74 | 0.39 | 224 | **83** | 357 | **76** | 71 | **82** |
| Douglas-kuusi (rannikolla kasvanut) | 5.1 | 35 | 36 | 0.52 | 350 | **130** | 546 | **116** | 111 | **128** |
| » (vuoristossa » ) | 8.7 | 27 | 38 | 0.44 | 252 | **94** | 448 | **95** | 83 | **95** |
| Ottawan laboratoriossa kanadalaisella puulla tehdyt kokeet: | | | | | | | | | | |
| Pinus banksiana | 5.5 | 22 | 42 | 0.45 | 252 | **94** | 441 | **94** | 82 | **94** |
| » Murrayana | 9.8 | 23 | 58 | 0.45 | 210 | **78** | 399 | **84** | 90 | **103** |
| » resinosa | 5.9 | 23 | 75 | 0.43 | 203 | **75** | 357 | **76** | 76 | **87** |
| » ponderosa | 10.2 | 16 | 70 | 0.49 | 231 | **86** | 399 | **84** | 80 | **92** |
| » strobus | 5.1 | 18 | 97 | 0.36 | 203 | **75** | 329 | **70** | 74 | **85** |
| Douglas-kuusi (rannikolla kasvanut) | 5.9 | 33 | 33 | 0.47 | 329 | **122** | 525 | **111** | 113 | **130** |
| » (vuoristossa » ) | 7.9 | 28 | 34 | 0.46 | 280 | **104** | 483 | **103** | 92 | **106** |

Kun lasketaan kutakin näitä metsätyyppejä vastaavien lujuusarvojen yllä olevilla prosenttiluvuilla punnitut keskiarvot, saadaan luvut, jotka verraten hyvin edustavat Etelä-Suomen mäntyä.

Näitä keskiarvoja vastaan voi kyllä tehdä sen muistutuksen, että ne edustavat ainoastaan luonnonnormaalisten puhtaitten mäntymetsien valtapuuluokkaa eivätkä koko mäntypuuvarastoa. Muistutus on paikallaan, mutta kun ottaa huomioon, että muissa maissa käytetty koeaineisto ei ole näinkään hyvin valittu, kelvannevat täten saadut luvut varsin hyvin vertailtaviksi toisissa maissa saatuihin tuloksiin, ja niitä voi myös täysin hyvällä syyllä katsoa Etelä-

**saatujen puun lujuusarvojen välillä.**

reilla puilla.

| Puristus puunsyid. suunt. | | | | | | Puristus ⊥ puuns. vast. | | Kovuus | | | | | | Halkaisu | | | | Veto ⊥ puuns. vast. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kanto-moduli | | Murto-moduli | | Kimmo-moduli | | Kanto-moduli | | R | | T | | P | | R | | T | | R | | T | |
| kg sm²:lle | Vertailu-luku | kg sm²:lle | Vertailu-luku | kg sm²:lle 1 000 | Vertailu-luku | kg sm²:lle | Vertailu-luku | kg | Vertailu-luku | kg | Vertailu-luku | kg | Vertailu-luku | kg sm²:lle | Vertailu-luku | kg sm²:lle | Vertailu-luku | kg sm²:lle | Vertailu-luku | kg sm²:lle | Vertailu-luku |
| 140 | **70** | 203 | **86** | 97 | **63** | 25 | **100** | 201 | **112** | 199 | **104** | 205 | **104** | 37 | **119** | 41 | **128** | 25 | **125** | 33 | **157** |
| 128 | **64** | 207 | **88** | 94 | **61** | 19 | **76** | 169 | **94** | 163 | **85** | 168 | **85** | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 175 | **88** | 255 | **109** | — | — | 30 | **120** | 205 | **111** | — | — | 185 | **94** | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 200 | **100** | 235 | **100** | 153 | **100** | 25 | **100** | 179 | **100** | 191 | **100** | 197 | **100** | 31 | **100** | 32 | **100** | 20 | **100** | 21 | **100** |
| 144 | **72** | 181 | **77** | 115 | **75** | 22 | **88** | 147 | **82** | 162 | **85** | 159 | **81** | 34 | **110** | 33 | **103** | 20 | **100** | 20 | **95** |
| 200 | **100** | 257 | **109** | — | — | 39 | **156** | 204 | **110** | — | — | 186 | **94** | — | — | — | — | 19 | **95** | 20 | **95** |
| 269 | **135** | 307 | **131** | — | — | 42 | **168** | 268 | **145** | — | — | 249 | **126** | — | — | — | — | 25 | **125** | 27 | **129** |
| 256 | **128** | 267 | **114** | — | — | 34 | **136** | 254 | **137** | — | — | 222 | **113** | — | — | — | — | 22 | **110** | 25 | **119** |
| 164 | **82** | 177 | **75** | — | — | 25 | **100** | 141 | **76** | — | — | 145 | **74** | — | — | — | — | 15 | **75** | 14 | **67** |
| 146 | **73** | 167 | **71** | — | — | 25 | **100** | 141 | **76** | — | — | 136 | **69** | — | — | — | — | 14 | **70** | 14 | **67** |
| 166 | **83** | 176 | **75** | — | — | 20 | **80** | 136 | **74** | — | — | 141 | **72** | — | — | — | — | 14 | **70** | 14 | **67** |
| 238 | **119** | 276 | **117** | — | — | 37 | **148** | 213 | **115** | — | — | 232 | **118** | — | — | — | — | 14 | **70** | — | — |
| 176 | **88** | 210 | **89** | — | — | 32 | **128** | 182 | **98** | — | — | 204 | **104** | — | — | — | — | 25 | **125** | — | — |
| 141 | **70** | 210 | **89** | 88 | **58** | 27 | **108** | 181 | **101** | 186 | **97** | 191 | **97** | 36 | **116** | 32 | **100** | 24 | **120** | 25 | **119** |
| 155 | **78** | 199 | **85** | 100 | **65** | 20 | **80** | 159 | **89** | 168 | **88** | 154 | **78** | 34 | **110** | 34 | **106** | 22 | **110** | 25 | **119** |
| 107 | **54** | 163 | **69** | 80 | **52** | 20 | **80** | 150 | **84** | 159 | **83** | 150 | **76** | 32 | **103** | 34 | **106** | 23 | **115** | 29 | **138** |
| 151 | **75** | 199 | **85** | 88 | **58** | 25 | **100** | 186 | **104** | 195 | **102** | 181 | **92** | 36 | **116** | 39 | **122** | 25 | **125** | 29 | **138** |
| 118 | **59** | 165 | **70** | 83 | **54** | 15 | **60** | 118 | **66** | 122 | **64** | 122 | **62** | 29 | **94** | 30 | **94** | 20 | **100** | 25 | **119** |
| 204 | **102** | 258 | **110** | 121 | **79** | 33 | **132** | 195 | **109** | 204 | **107** | 240 | **122** | 34 | **110** | 36 | **113** | 25 | **125** | 26 | **124** |
| 181 | **91** | 212 | **90** | 109 | **71** | 32 | **128** | 195 | **109** | 195 | **102** | 231 | **117** | 41 | **132** | 41 | **128** | 29 | **145** | 33 | **157** |

Suomesta saadun mäntysahatavaran ym. järeän mäntytavaran lujuusominaisuuksia kuvaaviksi.

Aiemmin on jo mainittu, että Pohjois-Suomesta otettu koeaineisto on verraten niukka ja siitä saadut tulokset epätasaisia. Sen takia niistä ei ole laskettukaan mitään punnittuja keskiarvoja, vaan pohjoissuomalaista mäntyä on seuraavissa vertailuissa otettu edustamaan vain eri tyypeiltä saatujen, lujuutta osoittavien lukujen punnitsemattomat aritmeettiset keskiarvot.

Taulukkoihin 9 ja 10 on kerätty edellä mainituissa maissa suoritetuissa tutkimuksissa saatuja männyn lujuutta osoittavia lukuja.

Taulukko 10. **Vertailuja eri maissa**

Kokeet uuni-

| Kokeilupaikka ja puulaji | Vuosilustoja sm:llä | Kesäpuu — % | Kosteus — % | Ominaispaino | Tasainen taivutus: Kantomoduli kg/sm² | Kantomoduli Vertailuluku | Murtomoduli kg/sm² | Murtomoduli Vertailuluku | Kimmomoduli 1 000 kg/sm² | Kimmomoduli Vertailuluku |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Princes Risborough'ssa englantilaisella männyllä tehdyt kokeet, raaka-keskiarvot | 4.23 | 40 | 12 | 0.45 | 483 | **90** | 806 | **99** | 112 | **97** |
| Princes Risborough'n laboratorion tulokset ruotsal. ja arkangelil. männylle | 10.0 | 42 | 12 | 0.44 | 411 | **77** | 893 | **110** | 133 | **116** |
| Ruotsalaisten omien tutkimusten tulokset ruotsalaiselle männylle | 6.5 | 20 | 12 | 0.46 | 533 | **100** | 856 | **105** | 124 | **108** |
| Wijkanderin numerot ruotsal. männylle | — | — | 13 | — | — | — | 662 | **81** | 112 | **97** |
| Metsätieteellisen tutkimuslaitoksen tulokset suomalaiselle männylle: Etelä-Suomi, punnitut keskiarvot | 8.5 | 28.5 | 12 | 0.49 | 535 | **100** | 815 | **100** | 115 | **100** |
| Pohjois-Suomi, raaka-keskiarvot | 10.3 | 24.0 | 12 | 0.45 | 472 | **88** | 732 | **90** | 98 | **85** |
| Madisonin laboratoriossa yhdysvaltalaisella puulla tehdyt kokeet: | | | | | | | | | | |
| Pinus taeda | 3.2 | 42 | 12 | 0.59 | 644 | **120** | 910 | **112** | 135 | **117** |
| » palustris | 7.1 | 38 | » | 0.64 | 707 | **132** | 1085 | **133** | 144 | **125** |
| » echinata | 4.7 | 40 | » | 0.58 | 609 | **114** | 935 | **115** | 134 | **117** |
| » lambertiana | 4.7 | 34 | » | 0.39 | 399 | **75** | 567 | **70** | 84 | **73** |
| » ponderosa | 7.9 | 22 | » | 0.42 | 448 | **84** | 651 | **80** | 89 | **77** |
| » strobus | 6.3 | 31 | » | 0.39 | 434 | **81** | 623 | **76** | 91 | **79** |
| Douglas-kuusi (rannikolla kasvanut) | 5.1 | 35 | » | 0.51 | 630 | **118** | 860 | **106** | 143 | **124** |
| » (vuoristossa » ) | 8.7 | 27 | » | 0.44 | 450 | **84** | 680 | **83** | 99 | **86** |
| Ottawan laboratoriossa kanadalaisella puulla tehdyt kokeet: | | | | | | | | | | |
| Pinus banksiana | 5.5 | 22 | 13 | 0.45 | 420 | **79** | 714 | **88** | 103 | **90** |
| » resinosa | 5.9 | 23 | 13 | 0.43 | 406 | **76** | 714 | **88** | 101 | **88** |
| » ponderosa | 10.2 | 16 | 12 | 0.49 | 441 | **82** | 714 | **88** | 108 | **94** |
| » strobus | 5.1 | 18 | 12 | 0.36 | 364 | **68** | 609 | **75** | 87 | **76** |
| Douglas-kuusi (rannikolla kasvanut) | 5.9 | 33 | 12 | 0.47 | 620 | **116** | 944 | **116** | 151 | **131** |
| » (vuoristossa » ) | 7.9 | 28 | 12 | 0.46 | 590 | **110** | 912 | **112** | 123 | **107** |

Pohjoisamerikkalaisista on otettu vertailtavaksi tärkeimpien mäntylajien lisäksi vielä Douglas-kuusi sen takia, että se viime vuosina on esiintynyt Euroopan markkinoilla meidän mäntymme pahana kilpailijana.

Kaikki amerikkalaiset ja englantilaiset, tuumina ja nauloina ilmaistut luvut on muunnettu metrijärjestelmäisiksi, samalla hiukan pyöristäen niitä. Tuoreita puita koskevia lukuja ei erilaisen kosteusprosentin takia ole muunnettu, koska tämä ruotsalaisia kokeita lukuun ottamatta, on ollut aina vähintään puunsyiden kyllästymis-

**saatujen puun lujuusarvojen välillä.**

kuivilla puilla.

| Puristus puunsyid. suunt. | | | | | | Puristus ⊥ puuns. vast. | | Kovuus | | | | | | Halkaisu | | | | Veto ⊥ puuns. vast. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Kantomoduli | | Murtomoduli | | Kimmomoduli | | Kantomoduli | | R | | T | | P | | R | | T | | R | | T | |
| kg sm²:lle | Vertailuluku | kg sm²:lle | Vertailuluku | 1 000 kg sm²:lle | Vertailuluku | kg sm²:lle | Vertailuluku | kg | Vertailuluku | kg | Vertailuluku | kg | Vertailuluku | kg sm²:lle | Vertailuluku | kg sm²:lle | Vertailuluku | kg sm²:lle | Vertailuluku | kg sm²:lle | Vertailuluku |
| 248 | **63** | 434 | **90** | 118 | **67** | 50 | **98** | 308 | **122** | 322 | **113** | 350 | **114** | 46 | **105** | 57 | **130** | 32 | **114** | 44 | **138** |
| 319 | **81** | 465 | **97** | 118 | **67** | 40 | **78** | 224 | **89** | 237 | **83** | 273 | **89** | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 327 | **83** | 510 | **106** | — | — | 44 | **86** | 249 | **98** | — | — | 289 | **94** | — | — | — | — | — | — | — | — |
| — | — | 413 | **86** | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 395 | **100** | 480 | **100** | 175 | **100** | 51 | **100** | 253 | **100** | 286 | **100** | 308 | **100** | 44 | **100** | 44 | **100** | 28 | **100** | 32 | **100** |
| 307 | **78** | 390 | **81** | 126 | **72** | 42 | **82** | 212 | **84** | 233 | **81** | 275 | **89** | 43 | **98** | 47 | **107** | 30 | **107** | 32 | **100** |
| — | — | 574 | **120** | — | — | 85 | **167** | 322 | **119** | — | — | 367 | **119** | — | — | — | — | 37 | **132** | 32 | **100** |
| — | — | 634 | **132** | — | — | 99 | **194** | 413 | **153** | — | — | 454 | **147** | — | — | — | — | 45 | **161** | 41 | **128** |
| — | — | 550 | **115** | — | — | 82 | **161** | 363 | **134** | — | — | 367 | **119** | — | — | — | — | 37 | **132** | 36 | **113** |
| — | — | 334 | **70** | — | — | 41 | **80** | 177 | **66** | — | — | 240 | **78** | — | — | — | — | 24 | **86** | 18 | **56** |
| — | — | 375 | **78** | — | — | 52 | **102** | 204 | **76** | — | — | 254 | **82** | — | — | — | — | 25 | **89** | 20 | **63** |
| — | — | 354 | **74** | — | — | 41 | **80** | 186 | **69** | — | — | 231 | **75** | — | — | — | — | 23 | **82** | 19 | **59** |
| — | — | 620 | **129** | — | — | 72 | **141** | 326 | **121** | — | — | 367 | **119** | — | — | — | — | 21 | **75** | — | — |
| — | — | 455 | **95** | — | — | 62 | **122** | 284 | **105** | — | — | 322 | **105** | — | — | — | — | 22 | **79** | — | — |
| 223 | **56** | 355 | **74** | 97 | **55** | 49 | **96** | 222 | **88** | 254 | **89** | 277 | **90** | 43 | **98** | 43 | **98** | 34 | **121** | 37 | **116** |
| 226 | **57** | 375 | **78** | 100 | **57** | 49 | **96** | 204 | **81** | 236 | **83** | 254 | **82** | 45 | **102** | 48 | **109** | 34 | **121** | 41 | **128** |
| 266 | **67** | 428 | **89** | 96 | **55** | 53 | **104** | 263 | **104** | 277 | **97** | 340 | **110** | 43 | **98** | 55 | **125** | 30 | **107** | 35 | **109** |
| 228 | **58** | 334 | **70** | 89 | **51** | 41 | **80** | 150 | **59** | 159 | **56** | 204 | **66** | 30 | **68** | 36 | **82** | 21 | **75** | 27 | **84** |
| 351 | **89** | 482 | **100** | 145 | **83** | 62 | **122** | 280 | **111** | 276 | **97** | 334 | **108** | 36 | **84** | 43 | **98** | 25 | **89** | 29 | **91** |
| 269 | **68** | 488 | **102** | 127 | **73** | 67 | **131** | 292 | **115** | 300 | **105** | 344 | **112** | 43 | **98** | 52 | **118** | 32 | **114** | 32 | **100** |

pisteen kohdalla tai sen yläpuolella, joten kosteuden erilaisuus ei ole vaikuttanut lujuusarvoihin. Kuivia puita koskevat lujuusarvot on taas muunnettu kaikki amerikkalaisten ja englantilaisten käyttämää 12 %:a vastaaviksi, paitsi muutamissa harvoissa tapauksissa, joissa kosteus-% eroaa vain hiukan 12 :sta.

Kaikille lujuusarvoille on vertailujen helpottamiseksi merkitty rinnakkais-sarakkeisiin vielä vertailuluvut, jotka on saatu siten, että on laskettu eri arvojen prosenttinen suhde Etelä-Suomen männyn vastaaviin arvoihin, joka on merkitty 100:ksi.

Taulukkoa tarkasteltaessa voidaan tehdä se huomio, että eteläsuomalainen mänty kestää hyvin vertailun englantilaisen ja ruotsalaisenkin männyn rinnalla. Ruotsalaisten kokeistaan saamat arvot ovat tosin jonkin verran korkeammat kuin suomalaisen männyn lujuusarvot, mutta kuten jo edellä on huomautettu, ruotsalaisten käyttämää koeaineistoa vastaan voidaan tehdä painavia muistutuksia. Samaan suuntaan viittaa sekin seikka, että Englannissa ruotsalaiselle männylle saadut arvot ovat huomattavasti alhaisemmat kuin ruotsalaisten omat arvot. Tähän eroavaisuuteen voi tosin myös vaikuttaa se, että englantilaisten suorittamiin ruotsalaista mäntyä koskeviin kokeisiin on käytetty myöskin jonkin verran arkangelilaista mäntyä, ja kun tuloksia ei sen kohdalta ole ilmoitettu erikseen, voivat viimeksi mainitut arvot hiukan alentaa ruotsalaisen männyn arvoja, edellyttäen, että arkangelilainen mänty, kuten suomalaisten tutkimusten mukaan pohjoissuomalainen mänty, on heikompaa kuin etelämmässä kasvanut.

Ikävä kyllä vastaavanlaisia numeroita ei ole saatavissa muista läheisistä kilpailevista maista. Sen verran on tutkimuksia kuitenkin tehty, että voidaan sanoa Itämeren eteläpuolella kasvaneen männyn olevan lujuudeltaan huonompaa kuin meidän mäntymme (vrt. esim. K a l n i n s c h i n tuloksia). Erittäin mielenkiintoista olisi myöskin saada tietoja ankarimman kilpailijamme, Venäjän, männystä. Sieltä on saatavissa koetuloksia ainoastaan lentokoneteollisuuden tarpeiksi tehdyistä tutkimuksista, jotka lisäksi on suoritettu erilaisia menetelmiä noudattaen kuin edellä mainituissa maissa. Nämä tutkimukset ovat antaneet venäläiselle männylle hiukan korkeampia lujuusarvoja kuin mitä edellä mainitut suomalaiset tulokset ovat, mutta kun venäläiset tutkimukset on tehty erityisesti lentokoneteollisuutta varten valituista mäntyrungoista otetuilla koekappaleilla, eivät tulokset tietenkään voi edustaa venäläisen männyn keskiarvoa, vaan ovat sitä paljon korkeammat. Ei olekaan mitään syitä, jotka oikeuttaisivat otaksumaan, että pohjoisvenäläinen mänty yleensä olisi meidän mäntyämme lujempaa. Paljon todennäköisempää on, että se on lujuudeltaan suunnilleen meidän mäntymme veroista.

Vertailtaessa suomalaista ja pohjoisamerikkalaista mäntyä keskenään havaitaan, että kaikki Kanadan mäntylajit ovat suomalaista mäntyä heikompia, samoin yhdysvaltalaisista männyistä *Pinus lambertiana*, *P. ponderosa* ja *P. strobus*, Etelän keltamännyt (pitchpine) sen sijaan ovat lujuusominaisuuksiltaan suomalaista mäntyä parempia, mutta tärkeimpien ominaisuuksien välinen ero ei kuitenkaan ole suurempi kuin 20—30 %. Kun vielä ottaa huomioon, että pitchpine-lajit ovat suomalaista mäntyä huomattavasti ras-

kaampia, joka ominaisuus kaikkein useimmissa käyttömuodoissa on haitallinen, havaitaan, että suomalainen mänty ei lujuusominaisuuksiltaan ole paljoakaan huonompaa kuin puheena olevat maailman parhaat mäntylajit.

Viime vuosina amerikkalaiset ovat paljon mainostaneet Douglas-kuusta, ylistäen sen lujuusominaisuuksia. Taulukossa esitetyt numerot kuitenkin osoittavat, että tässä suhteessa on paljon liioiteltu. Douglas-kuusi ei näytä olevan lujuusominaisuuksiltaan kovinkaan paljon suomalaista mäntyä parempaa. Eräiltä seuduilta, kuten Länsi-Yhdysvaltain vuoristosta (Montanasta ja Wyomingista) tullut Douglas-kuusi on huomattavasti heikompaakin kuin suomalainen mänty.

Kuten jo edellä on mainittu, eivät eri lujuusominaisuuksia kuvaavat numerot sinänsä ole vielä ehdottoman päteviä mittapuita jonkin puulajin yleistä hyvyyttä, kelpoisuutta osoittamaan. Ensinnäkin on huomattava, että esitetyt numerot kuvastavat virheettömien kappaleiden lujuutta, ja puun käyttökelpoisuuteenhan vaikuttaa suuresti se, miten virheettömiä ja miten paljon käytännöllisiin tarkoituksiin käytettäviä kappaleita puusta voidaan saada. Useissa käyttömuodoissa on saatavissa olevien kappaleiden koko myöskin huomioon otettava seikka. Toiseksi esitetyt lujuusarvot ovat suuren koeaineiston perusteella saatuja keskiarvoja. Mitä enemmän yksityiset arvot poikkeavat keskiarvosta, sitä epätasaisempaa puu on laadultaan ja sitä suurempaa varmuusastetta on käytettävä rakenteissa. Tätä haittaa voi tosin lieventää tavaran huolellisella lajittelulla, mutta yleensä on tietysti puulajin eduksi, jos se ominaisuuksiltaan on mahdollisimman tasaista. Toiselta puolen ominaisuuksien suuri vaihtelevaisuus voi jossakin tapauksessa olla eduksikin: silloin erikoisen vaativiin käyttötarkoituksiin voidaan valita poikkeuksellisen hyviä kappaleita.

Puun käyttökelpoisuutta erilaisiin käytännön tarkoituksiin arvosteltaessa huomioon otettavia seikkoja lujuusominaisuuksien lisäksi ovat vielä puun ulkonäkö, väri, haju, maku, kutistuminen, kieroileminen ym., sekä ennen kaikkea sen kestävyys l. pitkäikäisyys. Johonkin erikoistarkoitukseen voi vielä jokin yleensä toisarvoisena pidetty ominaisuus vaikuttaa aivan ratkaisevasti. Tästä nähdään, että pelkkien lujuusominaisuuksien perusteella ei voida ehdottoman varmasti ja joka tapauksessa pätevästi sanoa, että jonkin maan puut tai jotkin puulajit ovat niin ja niin monta prosenttia parempia kuin toiset, mutta jonkinlaisia yleisiä vertailuja eri puiden välillä lujuusarvojen avulla kuitenkin voidaan tehdä.

## Loppusanat.

Suoritetut tutkimukset vahvistavat sitä jo ennenkin havaittua seikkaa, että puun teknilliset ominaisuudet ovat ilmeisesti metsätyypistä riippuvaisia, joten siis metsätyypit soveltuvat hyvin myöskin näitä ominaisuuksia selvittelevien tutkimusten perustaksi.

Myöskin käytännölliselle metsätaloudelle tutkimus voi antaa viitteitä. Jo nyt voidaan jotenkin varmasti sanoa, että esim. lentokoneiden rakentamiseen käytettävää mäntyä, jolta mm. vaaditaan, että sen kesäpuuprosentin pitää olla vähintään 25, ei kannata etsiä Pohjois-Suomesta, vaan Etelä-Suomen puolukka- ja kanervatyyppien metsistä.

Ei ole silti kuitenkaan varmaa, että läheskään kaikki mainittujen metsätyyppien männyt olisivat sanottuun tarkoitukseen kelvollisia, sillä on myös havaittu, että puun eri ominaisuudet voivat vaihdella verraten paljon samalla alueella ja samalla tyypilläkin kasvaneissa puissa. Tyypin vaikutus puun ominaisuuksiin ei ole siis aivan vakinainen ja muuttumaton. Tällä ensi katsannolta epäedulliselta näyttävällä seikalla on kuitenkin hyvinkin tärkeä hyvä puoli: se osoittaa, että jonkin metsätyypin puun laatuun vaikuttavat maanlaadun, ilmaston ym. enemmän tai vähemmän muuttumattomien kasvutekijäin ohella muutkin, muuttuvaiset tekijät. Näiden joukossa on todennäköisesti sellaisiakin, joihin ihminen toiminnallaan voi vaikuttaa. Tästä johtuu suorastaan, että erilaisilla metsänhoitotoimenpiteillä todennäköisesti voidaan puun teknillisiä ominaisuuksia kehittää haluttuun suuntaan.

Kun tiedetään, että jollakin metsätyypillä kasvaneella puulla eräät ominaisuudet ovat yleensä hyvin kehittyneet, voidaan erikoisesti juuri näitä ominaisuuksia vielä tehostaa hoitomenetelmien avulla. Sitä seikkaa, että puu ei ole lujuusominaisuuksiltaan yhtä hyvää kaikilla tyypeillä, voidaan myös käyttää hyväksi. Lujuuden ollessa alhainen muutamat toiset ominaisuudet voivat sen sijaan olla hyvin kehittyneet. Kun joihinkin käytännön tarkoituksiin soveltuu sellainen puu, jossa esim. keveys, pieni kutistuminen tms. on tärkein ominaisuus lujuuden ollessa toisarvoisella sijalla, voidaan tällaistakin puuta kasvattaa joillakin määrätyillä metsätyypeillä.

Jatkuvan tutkimuksen asiaksi jää selvitellä, miten erilaiset hoitotoimenpiteet milläkin tyypillä vaikuttavat kasvavien puiden eri ominaisuuksiin. Täten metsäteknologisen tutkimuksen avulla saadaan selville, m i t e n metsiä on kasvatettava niin, että niistä ei saada ainoastaan mahdollisimman paljon puuta, vaan että se tietyiltä ominaisuuksiltaan on mahdollisimman hyvää.

## Kirjallisuutta.


Baterden, J. R. 1908. Timber. New York.

Baumann, R. 1922. Die bisherigen Ergebnisse der Holzprüfungen in der Materialprüfungsanstalt an der Technischen Hochschule Stuttgart. Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens, Heft 231. Berlin.

—»— Ks. myös Lang, Gustav.

Bauschinger, J. 1879. Einige Resultate über die Festigkeit von Bauhölzern. Forstwiss. Centralbl. Berlin.

—»— 1883. Untersuchungen über die Elastizität und Festigkeit von Fichten- und Kiefern-Bauhölzern. München.

—»— 1886. Verhandlungen der Münchener Conferenz und der von ihr gewählten ständigen Commission zur Vereinbarung einheitlicher Prüfungsmethoden für Bau- und Constructionsmaterialien. München.

—»— 1887. Untersuchungen über die Elastizität und Festigkeit verschiedener Nadelhölzer. München.

Betts, H. S. & Greely, W. B. 1915. Structural timber in the United States. International Engineering Congress. Paper 95.

Betts, H. S. 1917. The seasoning of wood. U. S. Dept. of Agriculture. Bulletin 552.

—»— 1919. Timber. Its strength, seasoning and grading. New York.

Brown, N. C. 1919. Forest products, their manufacture and use. New York.

Buffon, G. L. L. 1742. Expériences sur la force du bois. Paris.

Burgess, H. T. 1931. Manual of methods and procedure in computing results of strength tests. (Hektograafimonistus). Madison, Wisc.

Büsgen, M. 1897. Bau und Leben unserer Waldbäume. Jena.

—»— 1904. Zur Bestimmung der Holzhärten. Zeitschr. f. Forst- u. Jagdwes. Berlin.

—»— 1911. Studien über den Wassergehalt einiger Baumstämme. Ibid. Berlin.

Chaplin, C. J. Ks. Department of scientific and industrial research.

Chevandier, E. & Wertheim, G. 1848. Mémoire sur les propriétés mécaniques du bois. Paris.

Cieslar, A. 1902. Studien über die Qualität rasch erwachsenen Fichtenholzes. Centralbl. f. d. ges. Forstw. ss. 337—403. Wien.

—»— 1907. Einige Beziehungen zwischen Holzzuwachs und Witterung. Ibid. Wien.

—»— und Janka, G. 1895. Untersuchungen über den Wuchs und das Holz der Tanne und Fichte. Forstlich-naturwissenschaftliche Zeitung.

Department of scientific and industrial research. Forest products research. 1928 a. Project I. Mechanical and physical properties of timbers. Tests of small clear specimens. By C. J. Chaplin. London.

Department of scientific and industrial research. Forest products research. 1928 b. Project I, progress report 1. Tests of some home-grown timbers in their green condition. By C. J. Chaplin. London.
—»— 1930. Project I, progress report 2. Tests of some home-grown timbers in their green and seasoned conditions. London.
—»— 1931. Bulletin 10. The timber of home-grown Douglas-fir. London.
Duhamel du Monceau. 1730. De la force des bois. Paris.
—»— 1745. Réflexions et expériences sur la force des bois. Paris.
—»— 1758. La physiques des arbes pour servir introduction au traité complet des bois et des forets. I & II. Paris.
—»— 1764. De l'exploitation des bois ou moyens de tirer un parti avantageux des taillis, demi-futaies et hautes-futaies, et d'en faire une juste estimation avec la description des arts qui se pratiquent dans les forets. I & II. Paris.
—»— 1767. Du transport, de la conservation et de la force des bois. Paris.
—»— 1770. Expériences pour connoître la force des bois. Paris.
—»— 1780. Traité de la conservation et de la force des bois. Paris.
Dupin, Charles. 1815. Expériences sur la flexibilité, la force et l'élasticité des bois. Journal de l'Ecole Polytechnique. Tome X. Paris.
Ekman, W. ym. 1922. Handbok i skogsteknologi. Stockholm.
Exner, Wilhelm Franz. 1925. Die technischen Eigenschaften der Hölzer. Lorey-Wagner: Handbuch der Forstwissenschaft. II Bd. Produktionslehre. Für die 4. Aufl. bearb. von G. Janka. Tübingen.
Fabricius, Ludwig, ks. Gayer, Karl.
Fowke, Francis. 1867. Tables of the results of a series of experiments on the strength of British colonial and other woods.
Gayer, Karl & Mayr, Heinrich. 1909. Die Forstbenutzung. Berlin.
—»— & Fabricius, Ludwig. 1921. Die Forstbenutzung. Berlin.
Greely, W. B., ks. Betts, H. S.
Hadek, Anton & Janka, Gabriel. 1900—1904. Untersuchungen über die Elastizität und Festigkeit der österreichischen Bauhölzer. Mitt. a. d. forstl. Versuchswes. Österr. I & II. Wien.
Hartig, Robert. 1884. Der Einfluss des Baumalters und der Jahrringbreite auf die Beschaffenheit des Holzes. Allg. Forst u. Jagdz. LX, ss. 128—137.
—»— 1885 a. Das Holz der deutschen Nadelwaldbäume. Berlin.
—»— 1885 b. Die Qualität des Nadelholzes. Botan. Centralbl. XXXIII, ss. 368—369.
—»— 1888. Das Fichten- und Tannenholz des bayerischen Waldes. Centralbl. f. d. ges. Forstwes. XIV.
Helander, A. Benj. 1922. Metsänkäyttö-oppi. Porvoo.
Ilvessalo, Yrjö. 1927. Suomen metsät. Metsätiet. Tutkimusl. Julk. 11. Helsinki.
Jalava, Matti. 1932. Puun kosteuspitoisuuden, koon ja muodon muutoksista. Metsätiet. Tutkimusl. Julk. 18. 2. Helsinki.
Janka, Gabriel. 1900. Untersuchungen über die Elastizität und Festigkeit der österreichischen Bauhölzer. I Fichte Südtirols.
—»— 1904. S:n. II Fichte von Nordtirol, vom Wienerwalde und Erzgebirge.

Janka, Gabriel. 1909. S:n. III Fichte aus den Karpathen, aus dem Böhmerwalde, Ternovanerwalde und Zentralalpen. Mitt. a. d. forstl. Versuchswes. Österr. Wien.
—»— 1904. Untersuchungen über Holzqualität. Centralbl. f. d. ges. Forstwes. ss. 95—115. Wien.
—»— 1906 a. Die Härte des Holzes. Ibid. ss. 193—202, 241—260.
—»— 1906 b. Ueber neuere holztechnologische Untersuchungen. Österr. Vierteljahresschrift für Forstwesen, ss. 248—269. Wien.
—»— 1907 a. Die Einwirkung von Süss- und Salzwässern auf die gewerblichen Eigenschaften der Hauptholzarten. I Untersuchungen und Ergebnisse in mechanisch-technischer Hinsicht. Mitt. a. d. forstl. Versuchswes. Österr., 33. Heft. Wien.
—»— 1907 b. Ueber die an k. k. forstlichen Versuchsanstalt Mariabrunnen gewonnenen Resultate der Holzfestigkeitsprüfungen. Zeitschr. d. Österr. Ing. u. Arch. Ver. Aug. 9. Wien.
—»— 1908. Ueber Holzhärteprüfung. Centralbl. f. d. ges. Forstwes. ss. 443—456. Wien.
—»— 1912. Testing the hardness of wood by means of the ball test. Proc. Int. Assn. Test. Mat. XXIII.
—»— 1915. Die Härte der Hölzer. Mitt. a. d. forstl. Versuchswes. Österr. XXXIX.
—»— Ks. myös Cieslar, A., Hadek, Anton ja Exner, W. F.
Jenny, Karl. 1873. Untersuchungen über die Festigkeit der Hölzer aus den Ländern der ungarischen Krone. Buda-Pest.
Jones, W. S. 1924. Timbers, their structure & identification. Oxford.
Kalninsch, A. 1930. Die technischen Eigenschaften der Hölzer Lettlands. Verhandlungen des internationalen Kongresses forstlicher Versuchsanstalten, Stockholm 1929. Stockholm.
Kinnman, Gunno. 1923. Bestämning av vedens volymvikt. Skogsvårdsföreningens Tidskrift, s. 39. Stockholm.
Koehler, Arthur. 1924. The properties and uses of wood. New York.
Lang, Gustav. 1915. Das Holz als Baustoff, sein Wachstum und seine Anwendung zu Bauverbänden. Wiesbaden.
—»— & Bauman, R. 1927. Das Holz als Baustoff. München.
Lassila, I. 1926. Puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkimuksesta, sen tuloksista ja tehtävistä. Acta Forest. Fenn. 31. Helsinki.
—»— 1929. Metsäteknologisen tutkimuksen lähiaikojen tehtävistä Suomessa. Ibid. 34. Helsinki.
—»— 1930 a. Metsätyypin vaikutuksesta puun painoon. Ibid. 36. Helsinki.
—»— 1930 b. Puun teknilliset ominaisuudet. Maa ja Metsä IV. Porvoo.
—»— 1932. Untersuchungen über den Einfluss des Waldtypes auf die Qualität der Kiefer. Acta Forest. Fenn. 37. Helsinki.
Levón, Martti. 1928. Puun keinotekoinen kuivaaminen. Helsinki.
Markwardt, L. J. 1927. The density of wood as a guide to its properties. (Hektograafimonistus). Forest Products Laboratory, Madison, Wisc.
—»— 1930. Comparative strength properties of woods grown in the United States. Technical Bulletin N:o 158. Washington, D. C.
Mayr, Heinrich, ks. Gayer, Karl.
Mikolaschek, Karl. 1879. Untersuchungen über die Elastizität und Festigkeit der wichtigsten Bau- und Nutzhölzer Böhmens. Mitt. a. d. forstl. Versuchswes. Österr. Band II, Heft I. Wien.

v. Monroy, J. A. 1929. Das Holz. Berlin.

Musschenbroeck, H. 1762. Introductio ad philosophiam naturalem. Tom I.

Newlin, J. A. & Wilson, T. R. C. 1919. The relation of the shrinkage and strength properties of wood to its specific gravity. U. S. Dept. of Agriculture, Bulletin 676. Washington, D. C.

—»— Mechanical properties of woods grown in the United States. Ibid., Bulletin 556. Washington, D. C.

Nördlinger, H. 1860. Die technischen Eigenschaften der Hölzer. Stuttgart.

—»— 1880. Festigkeit der Hölzer zu verschiedenen Jahreszeiten. Centralbl. f. d. ges. Forstwes. VI. Wien.

—»— 1882. Druckfestigkeit des Holzes. Ibid. VIII. Wien.

—»— 1887—88. Zug-, Druck- und Biegungsfestigkeit der Hölzer. Ibid. XIII —XIV. Wien.

—»— 1889. Die Federkraft der Hölzer. Ibid. XV. Wien.

—»— 1890. Die gewerblichen Eigenschaften der Hölzer. Stuggart.

Ohsawa, Masayuki. 1930. Vergleichende Untersuchungen über die Qualitäten, insbesondere die Elastizität und Festigkeit der Tannen- und Fichtenhölzer Hokkaidos. Sapporo.

Record, Sam. J. 1914 a. The mechanical properties of wood. New York.

—»— 1914 b. Identification of the economic woods of the U. S. A. New York.

Reuter, Jonatan. 1921. Lujuusopin alkeet. Porvoo.

Ritter, George J. 1925. Distribution of lignin in wood. Reprinted from Industrial and Engineering Chemistry. Vol. 17, N:o 11, page 1194. November 1925.

—»— 1928. Composition and structure of the cell wall of wood. Ibid. Vol. 20, N:o 9, page 941. September 1928.

—»— 1929. Dissection of wood fibrils by chemical means. Ibid. Vol. 21, page 289. March 1929.

—»— 1930. Wood fibers. Reprinted from Journal of Forestry, Vol. XXVIII, N:o 4, April 1930.

—»— & Seborg, R. M. 1930. Newly discovered microscopic structural units of wood fibers. Reprinted from Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 22, page 1329, December 1930.

Rudeloff, M. 1889. Bericht über die Auftrage des Herrn Minister für Landwirtschaft, Domänen und Forsten ausgeführten Holzuntersuchungen. Berlin.

—»— 1897. Untersuchung über den Einfluss des Blauwerdens auf die Festigkeit von Kiefernholz. I. Mitt. a. d. Mechan. — Techn. Versuchsanstalten. Berlin.

—»— 1899 a. Untersuchungen über den Einfluss des Blauwerdens auf die Festigkeit von Kiefernholz. II. Ibid. Berlin.

—»— 1899 b. Die heutige Stand der Holzuntersuchungen und die Vereinheitlichung der Prüfungsverfahren. Ibid. Berlin.

—»— 1907. Aufstellung einheitlicher Methoden für die Prüfung von Holz. Ibid. Berlin.

—»— 1912. Ueber Holzprüfung. Int. Verb. f. d. Mat.-prüf. der Technik. VI Kongress, New York.

Schlyter, Ragnar. 1928. The strength of Swedish redwood timber (pine) and its dependence on moisture content and apparent specific gravity. Proceedings of the international congress for testing material in Amsterdam 1927. Haag.

—»— 1930. Mechanical properties of Swedish timber (pine and spruce). Proceedings of the international congress of forestry experimental stations in Stockholm 1929. Stockholm.

—»— och Winberg, Gustaf. 1929. Svenskt furuvirkes hållfasthetsegenskaper och deras beroende av fuktighetshalt och volymvikt. Stockholm.

Schwappach, A. 1892. Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen der Breite des Herbstholzes und der Holzqualität. Zeitschr. f. Forst- u. Jagdwes. Berlin.

—»— 1897—98. Untersuchungen über Raumgewicht und Druckfestigkeit des Holzes wichtiger Waldbäume. I Kiefer 1897, II Fichte 1898. Berlin.

—»— 1907. Referat über die Begründung und Erziehung von Waldbeständen unter Rücksichtnahme auf hohen Massenzuwachs und gute Holzqualität. Internat. landw. Kongress, Wien 1907. Wien.

Seborg, R. M., ks. Ritter, George J.

Snow, Ch. H. 1917. Wood and other structural materials . New York.

Tetmajer, L. 1883. Methoden und Resultate der Prüfung der schweizerischen Bauhölzer. Zürich.

—»— 1884. Holz. Zürich.

Thelen Rolf, ks. Koehler, Arthur.

Tiemann, H. D. 1906. Effect of moisture upon the strength and stiffness of wood. U. S. Dept. of Agriculture. Bulletin 70. Washington, D. C.

—»— 1907. The strength of wood as influenced by moisture. Ibid. Circular 108. Washington, D. C.

Wertheim, G., ks. Chevandier, E.

Wijkander, Aug. 1897. Untersuchung der Festigkeits-Eigenschaften Schwedischer Holzarten. Göteborg.

Wilson, T. R. C., ks. Newlin, J. A.

Winberg, Gustaf, ks. Schlyter, Ragnar.

Савков, Е. И. 1930. Исследование Физико-механических свойств древесины сосны. Москва.

Чулицкий, Н. Н. 1931. Исследование Физико-механических свойств древесины сосны II. Москва.

# STRENGTH PROPERTIES OF FINNISH PINE (PINUS SILVESTRIS)

*MATTI JALAVA*

---

SUMMARY IN ENGLISH

*

# Index.


Page

**Introduction** ..... 133
**Properties of wood in general** ..... 135
**Classification of the properties of wood** ..... 137
**Characteristics of the Strength of Wood** ..... 139
*Elasticity* ..... 139
*Moduli* ..... 140
*Standard experiments* ..... 140


## Experiments performed.


**Experimental material** ..... 146
**Performance of the experiments** ..... 151
*Experiments regarding strength characteristics* ..... 151
Static bending ..... 151
Compression parallel to the grain ..... 153
Compression perpendicular to the grain ..... 155
Hardness ..... 157
Cleavage ..... 158
Tension perpendicular to the grain ..... 159
*Examinations regarding physical and structural characteristics* ..... 161
Specific gravity during the experiment and while the wood is absolutely dry ..... 161
Percentage of moisture during the experiment ..... 161
Thickness of the yearly rings ..... 161
Percentage of summerwood ..... 162
Percentage of sapwood ..... 163
Shrinkage ..... 163
**Calculation and treatment of the results obtained** ..... 164
Reduction of moisture ..... 164
The unit of examination and the average values ..... 165
**Results of the examinations** ..... 167
Strength values ..... 167
Percentage of moisture ..... 172
Thickness of the yearly rings ..... 173
Percentage of summerwood ..... 174
Shrinkage ..... 174
**A comparison of the results of various researches** ..... 178
**Concluding remarks** ..... 187

## Introduction.

Forest technology in the widest sense of the word is a many-sided branch of science. It embraces everything that is known of wood, its characteristics, improvement, refining and use.

Although wood plays an exceedingly important part in the economic life of Finland, wood research in this country has up to recent times remained comparatively neglected. Use has been made of the results of research work carried out abroad, which have partially satisfied requirements, but to a large extent one has been forced to rely on knowledge acquired through practical experience. The results of scientific research obtained in other countries cannot, however, in all cases be applied to Finnish conditions. Practical experience again fails to throw light on every side of the question and the information acquired is in many cases incomplete. Under these circumstances forest technological research carried out in view of the conditions prevailing in Finland has a wide field before it and is of a great importance, because it is undoubtedly in a position to furnish necessary aid and support to practical experience.

It is true that certain particular, in themselves very valuable, forest technological investigations have already been accomplished in Finland, but owing to the large extent of the field and taking into consideration the importance of the work, it must be admitted that this kind of research has remained very modest. Many explanations can be offered regarding this state of affairs. The importance of forest technological research has not yet attracted sufficient public attention. The use and refining of wood have been considered as such natural spheres of economic activity in Finland that their further development would not require the support of scientific research. The nature of such research is furthermore often very extensive and requires too much labor to be undertaken by private scientists and small institutes, and there have not existed any larger institutes equipped with the necessary funds and apparatus. And finally there has existed no common program more than a common organ, which has taken care of the necessary division of work between individual scientists and interested institutes.

Lately, however, very good progress has been made in many respects. A professorship in forest technology has been founded at the Helsingfors University, and the Technical University has not only a professor for the mechanical technology of wood, but has also well equipped laboratories for the study of the chemical and technical properties of wood. The association founded to support the study of wood technics has started its work effectively and a forest technological department has been established in connection with the Institute for Forest Research.

The forest technological department of the institute is principally engaged in research work involving activities in the forests and requiring the support of other branches of forestry.

The main purpose of forest technological research is to analyze the various properties of wood. Inasmuch as these properties depend largely on the conditions under which the tree has grown, and as their elucidation requires the aid of other branches of forestry, it seems natural that the work has been entrusted to the Institute for Forest Research, especially as the object is not only to verify the results of scientific investigation, but also to find out under what conditions the best results in respect to the quality of wood can be obtained. It has been noticed that the properties of wood depend on many circumstances, some of which can be improved by human enterprise. When these circumstances are known it will be possible to develop the properties of a growing tree in a desired direction. The object of research work is consequently not only to ascertain what kinds of wood can be produced under certain given circumstances, but also to find out how forests should be taken care of in order to secure the best possible kind of wood for each particular purpose.

This study is intended to describe and explain the properties of the pine and to furnish some basis for future forest technological research.

## Properties of wood in general.

Wood has through the ages been one of the most used commodities in the world.

The wide use of wood depends chiefly on the fact that it has been easily obtained in every place inhabited by the human race. Before civilization had time to affect the vegetation of the earth most of the land was covered by forests, and even now, although man has brought expensive forest areas under the plow and employed wood for a great variety of purposes, nearly one fourth of the land on earth, not counting the arctic regions, is still forest clad.

The deposits of most of the other commodities used by man, such as metals, coal and oil, which still are very large, are, however, not unlimited and will be exhausted sooner or later. Wood, on the other hand, can always be grown to replace the supply used, and insofar as man does not require all the land on earth for his fields and dwellings, the supply of wood can remain inexhaustible, provided, of course, that new trees are planted in the place of those cut down. Forests have in addition the unusual quality that trees can in many cases be succesfully planted in regions where there is no natural forest vegetation, or where such vegetation has been completely exhausted. And the development of modern transportation has made it possible to transport wood over long distances to countries lacking their own forests or having an inadequate timber supply.

In addition to the fact that wood is commonly found almost everywhere on the globe, its manner of growth above the surface of earth at places which can easily be reached by man has helped to bring it into extensive use during the early times. Certain other vegetable products, such as reeds, rushes, grass, leaves, etc., and stones, mud, sand, etc., have in this respect been in an equally advantageous position, which explains why they came to be the first commodities used by man.

Although man continues to employ all of the aforementioned materials for various purposes, wood is, however, the one that has been put to the most extensive and general use. This again, in addition to what has been said before, is a consequence of the remarkably many advantageously technical properties of wood.

There are existing several thousands of known varieties of wood in the world differing greatly in respect to their technical properties, but all of them have certain qualities in common. The most important of these are given in the following in order to illustrate the general features of wood.

a) Wood is comparatively light and very strong in proportion to its weight.
b) Wood is relatively easy to handle and to shape.
c) Wood is elastic and tough.
d) The texture of wood is beautiful and variable. The color scale of wood is wide and it can easily be dyed and polished.
e) Dry wood is a poor conductor of heat and electricity.
f) Changes of temperature have relatively little effect on the volume of wood.

In the foregoing some properties of wood, generally considered as very excellent and tending to increase the value of wood, have been mentioned. All of these properties are, however, not so advantageous for every purpose. Elasticity, for instance, is an excellent quality in wood used by a ski manufacturer, but decidedly a defect in a floor-timber. Easy combustibility is what one hopes to find in firewood, but it is a drawback in building material. In view of the use of wood in general the following disadvantageous properties characteristic to all kinds of wood may be mentioned.

a) Wood in certain conditions lacks durability and is relatively short lived.
b) Wood is highly combustible when dry.
c) Wood does not stand up well against wear.
d) Wood shrinks in drying and expands when wet.

## Classification of the properties of wood.

The large variety of properties found in wood was noticed in the foregoing chapter. The fact that these properties differ considerably in different kinds of wood, in individual species and even in the different parts of the same trunk, tends to increase the diversity of the properties of wood still further. If it is desired to subject this manifold of properties found in wood to a systematic examination, these must first be classified and organized into a system founded on some fixed principle.

It is extremely difficult to classify all the technical properties of wood, because most of them cannot be closely defined and fixed. Usually these properties depend at the same time on so many different factors that it is practically impossible to determine into which class or group each property should be included. A system of classification of some kind is, however, suggested below.

I. Chemical Properties of Wood.
   1. Chemical composition of wood.
      a) Composition of actual wood substance.
      b) Other substances found in wood.
   2. Chemical efficiency of wood.
      a) Combustibility of wood.
      b) Reaction of wood toward chemical substances.
      c) Reaction of wood toward heat.
      d) Reaction of wood toward climatic changes.
      e) Reaction of wood toward the effects of fungus, bacteria, etc.

II. Physical Properties of Wood.
   1. Specific gravity.
   2. Color, taste and smell.
   3. Hygroscopy.
      a) Changes in moisture content and their effects (shrinkage, swelling, warping).
      b) Occlusion.
   4. Conductor of electricity.
      Insulating constant.
   5. Heat conductor.
      a) Heat expansion.
      b) Specific heat.
   6. Sound conductor.
      Resonance.
   7. Penetrativeness by radiation.
      Roentgen, electron, light, violet and heat rays.
   8. Organic structure.

III. Structural Properties of Wood.

1. Size of cells, their position and arrangement.
   a) Thickness of annual rings.
   b) Proportionate density of spring and summerwood.
   c) Length of fibers.
   d) Thinness of fibers.
2. Structural defects.

IV. Strength Properties of Wood.

1. Compression strength.
   a) Parallel to grain.
   b) Perpendicular to grain.
2. Tension strength.
   a) Parallel to grain.
   b) Perpendicular to grain.
3. Shearing strength.
4. Bending strength.
5. Stiffness.
6. Toughness.
7. Twisting strength.
8. Hardness.
9. Splitting.
10. Plasticity.
11. Wear.
12. Exhaustion.

The following discussion deals principally with the strength properties of wood, but, as it has been mentioned in the foregoing, they are so closely related with certain physical and structural properties of wood that the latter cannot be disregarded.

## The Characteristics of the Strength of Wood.

By the strength of an object is meant its property to resist external forces which attempt to change its size or shape.

Before strength characteristics are begun to be examined individually, several theoretical conceptions which always make their appearance in researches regarding strength must however be explained.

### Elasticity.

When external forces place a weight on an object, they accordingly attempt to effect changes in its shape, such as lengthening, shortening, bending, twisting, etc. Solid objects however resist such changes of form by the assistance of their cohesive powers, which keep the small particles of the object intact and in an unalterable, interdependent position. However if the external force is sufficiently great, it can accomplish the alteration of the positions of its parts, and the whole object then changes in its size or shape. To what extent these changes take place depends upon the magnitude of the external force. In this respect three separate cases can be differentiated: when the effect of the external force has ceased (a) the object reverts back to its former state, (b) the object remains at least partially in its changed form or size, or (c) the force increases to such an extent that the object becomes crushed, broken or shattered.

The characteristic of the object, that it returns to its former shape when the external force has ceased, is called elasticity. The limit beyond which the object will not fully revert any more to its former shape is called the limit of elasticity, and the point where the object is broken is called the breaking point. The force which effects changes equivalent to the limit of elasticity is considered to be the theoretical carrying force, and the force which accomplishes the breakage is called the breaking force or breaking load.

Those inner forces which the external force causes among the small particles of the object are called stress. The stress produced on a unit of area of the cross-section of an object is called unit fiber stress or stress per square unit in any fiber.

When the external force affects the object causing changes in form, the addition of force and the addition in the change of the form remain proportionate up to a certain limit; as for example a force twice as great affects twice as great a change in the form. On the other side of this limit the addition of force affects proportionately larger changes in the form. This limit is called the limit of proportionality. It is usually quite close to the limit of elasticity, and as the limit of proportionality is comparatively easy to determine with the assistance of bending elasticity as it will be later shown, it is usually used in researches concerning the strength of woods instead of the limit of elasticity.

In many researches in which the limit of elasticity is spoken of, there is actually meant the limit of proportionality. If the said changes and stresses of form in the various stages of the experiment are noted in a graph whose abscissa shows bending, elasticity or shrinkage and ordinate stress, there is obtained a line which in the beginning is quite straight, then it begins to bend more and more in the direction of the abscissa. That point where the line begins to bend shows the limit of proportionality.

## Moduli.

The theoretical carrying force affecting the cross-sectional unit area of the object is called the carrying modulus of the substance, the breaking force affecting the unit of area is on the other hand called the modulus of rupture or breaking stress. By the modulus of elasticity is meant the force which is capable of lengthening or compressing the size of the object per unit of area, the amount of its own length. Such a large change of form is of course impossible with wood, as the limit of elasticity and even the breaking point are reached long before, but the modulus of elasticity is calculated on the basis of the force needed to attain the limit of elasticity, and the change in form which has taken place up to that point, presupposing that the stretching or compressing in size of the length of the object would be possible without reaching the limit of elasticity.

All moduli are usually shown in kilograms per square centimeter, or if the sum thus obtained is very large as for instance the modulus of elasticity, in tons per square centimeter.

---

D u p i n in his examination of wood was the first to take into consideration the curve of elasticity. After him, P o n c e l e t has used this curve as an aid; he computed by its assistance the modulus of elasticity. P a c c i n o t t i and P e r i have also conducted researches regarding the elasticity of wood in pulling, bending and twisting experiments.

N ö r d l i n g e r in his work treats elasticity, as such, as a distinct characteristic. He mentions that it can be examined in two different ways, by stretching and by bending the test specimens. Then he explains principally the experiments carried on in the latter manner, and the results of these experiments. Even though elasticity can be regarded for sufficient reasons as an independent characteristic, observations have been made on this subject lately principally in connection with other experiments, and the elasticity of bending, stretching, compressing and twisting are also spoken of.

## Standard Experiments.

Up to the present time a great number of examinations explaining the strength characteristics of wood have already been performed in different countries. By means of them many facts have been disclosed, but the results obtained as compared to the time and work sacrificed are nevertheless meager. The results of various investigators often differ from each other to a great extent, they are even capable of being contradictory to each other. This has in the first place doubtlessly been influenced by the fact that investigations

have been performed differently, without a common and logical plan, using different courses of procedure and very often with the assistance of heterogeneous and poor research material. Therefore the results are not comparable with each other.

This drawback has been known for a long time and measures for its correction have been begun. As the most important of the attempts aiming toward this may be mentioned the working program approved for research in the technical characteristics of wood by the congress of the international society of institutes for testing materials held at Brussels in 1906. The committee, composed of foresters and technicians, upon the proposal of Rudeloff and with Schwappach as chairman, prepared this program.

Inasmuch as this program means a noticeable improvement in research regarding the characteristics of wood, its principal features are presented in the following.

According to the decision reached at the congress held at Brussels, the following facts are to be determined and the following stipulations are to be observed:

I The origin of the experimental wood,

II The external signs on the basis of which the characteristics of the wood can be determined,

III Procedure of experimentation,

IV The obtaining of test specimens from experimental woods.

I. As regards the origin of experimental wood, there should be ascertained the place and description of the locality of growth, the quality of the forest and the circumstances under which the experimental wood has grown, likewise the age, the time of felling, the manner of storing and drying subsequent to felling, and location of the test specimens in the experimental tree.

II. Regarding the external signs, on the basis of which the characteristics of the wood can be judged, there is to be recorded the outward appearance of the length and cross-section of the test specimens, the uniformity and closeness of the annual rings and the proportionate abundance of springwood and summerwood.

III. As regards the experiments it is provided that they are to be performed in every respect with faultless test specimens or at least the experiments being made with the faultless and the faulty specimens being kept separate.

In order to discover strength characteristics the experiments concerning compressing (parallel to the grain), bending and shearing are to be regarded as most important; even pulling and splitting experiments are to be recommended, but these are not however regarded as necessary. In the compressing and bending experiments the area of the cross-section of the test specimen is to be $10 \times 10$ centimeters.

IV. As regards the manner in which the test specimen is to be taken from the trunk of experimental trees, it is prescribed that if it is desired to find out the average characteristics of a trunk, the specimens used in the bending experiment are to be taken from that part of the trunk which is 7 to 10 meters above the ground, and the specimens needed for other experiments from immediately above or below this section. In examining the strength of various beams and piles which are needed in actual use, the test specimen is to be taken in such a manner that the middle of it falls as near as possible

to the middle section of the beams and piles obtained from the trunk. If it is on the other hand desired to examine the characteristics of wood at different heights of the trunk, the first test specimens are to be taken at a height of 1.3 meters above the ground and the following pieces in each case at a space of six meters. In examining the average characteristics of trees growing in some particular localities, at least three specimen trees are to be taken from each place.

---

In scrutinizing the stipulations presented above it is observed that they obviously signify a noticeable improvement in the former, confused and disorderly methods. In spite of this, these practices have not received general support. In Germany they are observed somewhat, and the Swiss engineers' and architects' association in 1926 approved regulations for the examination of wood, which were very much like these, but at just about every place else these have been deviated from in different norms, especially as regards the size of the test specimens.

It might be able to be regarded as the worst drawback of the regulations approved at the Brussels congress was the excessive size of the test specimens in most experiments when the cross-section surface of the experimental object is 10 × 10 centimeters. In testing with such large pieces there is first needed rather large, powerful and expensive machines, and in addition it is difficult to get such large, quite flawless pieces of experimental wood. Especially bending test specimens 1.5 meters in length are quite impossible to obtain free from knots.

Even though in examining large test specimens results are obtained which are applicable in heavy wooden buildings, they do not however answer all practical purposes. Especially in the airplane industry there are used very small sized pieces of wood, and as the research of the strength characteristics of wood has lately for a particularly large part been coupled just in connection with this industry, it is easily understood that small sized experimental objects have been begun to be used.

In the researches regarding the strength of wood carried out in the English airplane factories the following sizes of test specimens are used:

in experiments concerning compression 25 × 25 × 50 millimeters,

in experiments concerning static bending 25 × 50 × 1 000 m/m,

in experiments concerning impact bending and toughness 22 × 22 × 125 m/m when the cross-section of the central portion is 12.5 × 22 m/m.

The test specimens used in experiments on airplane wood in Sweden are of about the same size as in England. In many other countries such as France, Russia, Germany and others there are used still smaller test specimens in research of wood carried out for the needs of the airplane industry, whose cross-section is 2 × 2 centimeters.

In the English speaking countries and Sweden in the researches regarding the strength of wood, which are not performed especially for the needs of the airplane industry, there has been begun to be observed the methods of procedure developed in the Madison laboratory and the test specimens taken for general use there, which in regard to the cross-section are 2 × 2 inches or 5 × 5 centimeters.

In addition to these, especially the Americans, English and Swedes have lately begun to test also with large beams, small timbers, railroad ties, mine props and other such sizes as they come into use.

If the suitability of these different test specimens is being judged, it appears at first glance that test specimens which are a natural size would be best, as the results of the experiments carried out with them would be applicable in practice. The results obtained in researches of small and flawless test specimens especially chosen should not on the other hand seem to have much practical value, as wood in every day use appears most frequently in much larger sizes —— airplane structures excepted —— and then there are always all kinds of defects, knots, cracks, etc., and the strength of such a piece cannot be judged by the strength of a flawless piece. In examining the matter more closely it is noticed however that the researches carried out with small flawless pieces nevertheless form the foundation for all strength researches of wood.

By testing two large, and accordingly more or less heterogeneous pieces of wood, it cannot be clearly ascertained from what circumstances the possible dissimilarities arise, as it is almost impossible to know the general influence of the many different factors affecting at the same time. If for example it should be desired to examine what relation the specific gravity, percentage of water, locality, position of the test specimen in the trunk of the tree, etc. are to its strength, the factors affecting all other conditions should be eliminated. Accordingly all other circumstances in the specimens to be examined should be quite similar. Inasmuch as there can hardly be in two pieces two quite similar knots or other flaws, one of the first conditions is therefore that both be quite flawless.

Only then when with the help of small flawless pieces it has been learned how the different factors have an influence upon the strength of the flawless wood, can it be begun to examine what effect the various faults have on it, and accordingly use large test specimens. Thereby the researches performed on small, flawless pieces form the basis on which the research on large specimens can then be constructed.

If the researches as to the strength of wood are then to be begun with small experimental pieces, it is yet to be decided what size should be the most suitable for them. From the foregoing presentation it was observed that there is not yet unanimity in this respect, but that in different countries and institutions very different-sized test specimens are still used.

In order to avoid splitting, the test specimens are to be taken from the trunk in such a manner that the pith of the tree does not remain inside the test specimens. The heart is accordingly to be sawed through. If such test specimens whose cross-section is $10 \times 10$ centimeters should be used, the smallest diameter of the experimental block would have to be already nearly 10 inches. Such blocks from any place than from the base part are possibly obtainable from the general run of trees of few forests. Trees of this size growing in marshes and on bad ground are comparatively seldom still healthy in the pith, and trees of suppressed tree classes on even good growing ground seldom become so large. If it should still be desired to know the difference in the characteristics of sapwood and heartwood the research would become in most cases impossible when using such large specimens. Because of these and previously mentioned reasons it can accordingly be stated, disregarding everything else, that at least in considering circumstances in our country the $10 \times 10$ centimeter size of test specimen is too large.

Another size of test specimen previously mentioned is $2 \times 2$ inches or $5 \times 5$ centimeters. This size is for us inside the limits of possibility as four

such pieces are obtainable from even a 6 inch block. Inasmuch as this size is also used in Sweden and the Anglo-Saxon countries where there is reason to compare more closely the results of our examinations with the examinations performed it would apparently be most suitable even for us to use.

Test specimens with the size of cross-section of 2 × 2 centimeters, which are used principally in the material testing laboratories of airplane factories and in several countries such as for example in France in even other wood researches, have many good points, but they also have their disadvantages. Such small experimental pieces are easily obtainable from even small experimental trees and they are also flawless, the machines which are needed are small and accordingly relatively cheap, the transportation of the experimental material from the forest and its storing are comparatively easy inasmuch as it is not necessary to take anything more from the experimental trees than small blocks or sectional pieces and not large beams such as when using large test specimens. Small test specimens are also practical if it is desired to examine for example what characteristics a wood has in different parts of the same trunk, different heights from the ground, different distances from the heart, etc. With large test specimens it would be difficult to explain the differences in the characteristics of sapwood and heartwood, as the sapwood layer is often so thin that a large test specimen cannot be obtained only from the sapwood. As regards the inconvenience of small test specimens it can on the other hand be mentioned the fact that when measuring these the errors of measurement made are in every case relatively large. The experimental results when testing with small test specimens are also much more variable than when testing with large specimens as the test specimen prepared from a very heterogeneous wood can contain only very weak or strong wood. Large test specimens usually contain both bad and good sections. Therefore when using them, characteristics nearer the average of the trunk are obtained with much fewer experiments than when using small test specimens. As the primary object of the examination for us is to discover the average characteristics of woods which have grown in different types of forests and under different circumstances, it is apparent that fairly small test specimens are not suitable.

On the basis of the above presentation the experimental methods and sizes of test specimens used in Anglo-Saxon countries and Sweden may be regarded as being the most suitable for us in Finland also. The experimental methods themselves are practically the same in all the above-mentioned countries, the sizes of the test specimens are differing only in the fact that in the Anglo-Saxon countries measurements of specimens based on inches are used while in Sweden the measurements are based on centimeters. As the latter measurements are used also in our country the Swedish methods should therefore be the nearest for us to observe.

As it appears from the foregoing presentation, the research methods which have been generally approved will not for some time yet be accepted everywhere, but as at least in all the largest and most important research institutions the Madison methods are followed, the experiments made according to them in the following can be called »standard experiments», as is done in also the English language technical literature.

The following fall under the standard experiments performed in Anglo-Saxon countries and in Sweden:

(1) Static bending
(2) Impact bending
(3) Compression parallel to the grain
(4) Compression perpendicular to the grain
(5) Hardness
(6) Shearing
(7) Cleavage
(8) Tension perpendicular to the grain

The tension experiment made parallel to the grain is not generally taken into the group of standard experiments because of the practical difficulties which make their appearance in these experiments and also for the reason that the tension strength parallel to the grain is so great that in use it is always sufficient. In Sweden there have been planned, it is true, various practical contrivances for the performance of this experiment, but this experiment has not at least yet come into general use even there.

Also for the experiment of wearing out wood, there has been built a machine in Sweden, but as regards this experiment the same can be said as even about the previous; it is not generally included in the group of standard experiments. Also toughness tests are made in America and England in such a manner that a comparatively thin prism-shaped specimen is broken with one blow (with a pendulum) and it is observed how much force was used in the breaking, but even this experiment is not usually included in standard experiments.

In connection with the ordinary, above-mentioned experiments regarding strength, observations are always made also regarding the particular physical and structural characteristics, in order to be able to discover in which respect these are comparable to each other. The most important of these facts which are to be observed are:

(1) The specific gravity of the test specimen during the time of the experiment, and when absolutely dry.
(2) Percentage of moisture during the time of the experiment.
(3) Thickness of the yearly rings.
(4) Percentage of summerwood.
(5) Percentage of sapwood.

## Experiments Performed.

### Experimental Material.

When beginning to plan the collection of experimental material, the fact was observed that the experimental procedures were similar in the English-speaking countries and in Sweden, and that the size of the test specimens used there were to be regarded as suitable even for our purposes. But in the selection of the specimen wood there, there were still found to exist various imperfections however which were attempted to be avoided in the examination under consideration. Even though the nature and the topographical character of the ground at the locality of the growth of the specimen wood, the rate of slope, the basic vegetation, etc. are to be remembered, the whole of the experimental material however can not be divided on the basis of these facts, even though it should be comparatively complete, into any natural groups according to the nature of the locality of growth. Furthermore, these facts are often comparatively insufficient, even sometimes as in the Swedish publication »Svenskt furuvirkes hållfasthetsegenskaper och deras beroende av fuktighetshalt och volymvikt» they are not found at all, but that a part of the material is stated to have been taken from the lumber yards of various sawmills.

The nature of the wood is however dependent to such an extent upon the locality of growth that an explanation of the various characteristics is impossible if the influence of the locality of growth is not at the same time taken into consideration. Inasmuch as the criticism and comparison of the localities of growth on the other hand are most properly made on the basis of Cajander's plan of forest types, this is to be taken, in the examination under consideration, as the starting point for everything and the experimental material is to be chosen on the basis of the forest types.

The experimental material included the prevailing class of pines from various types of forests in various parts of Finland according to the figures shown by table 1.

As specimen trees were chosen the most typical, prevailing class of trees of forest types most generally existing and regarded as normal from every angle and as coming from the most naturally abundant and clear pine groves. The length of the whole trunk and the branchless portion of the trunk was measured by the use of a hypsometer, the shape of the top viewed from the south side was drawn approximately and an outline sketch was prepared on which was marked the designs of the test trees and of the tops of the closest nearby trees, the kinds of such trees, and the class of top. Still different notations were made of all the peculiarities appearing in the trunk and the top. Likewise a memorandum was made of the density of the grove, the cubical contents per hektare (2.471 acres), the mixture of the kinds of trees, the age

Table 1. **Specimen trees.**

| Shipment and forest region | Forest types | Number of trees | Age of trees | | Over all length of trees | | Length of branchless portion of trunk | | | Diameter at height of 3 meters (under the bark) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Average years | Limits of variation years | Average meters | Limits of variation meters | Average meters | Limits of variation meters | | Average cms. | Limits of variation cms. |
| *Shipment I* Southern Finland | Myrtillus ..... | 5 | 74 | 57—79 | 23.2 | 22—24 | 14.4 | 12—17 | | 25.2 | 23—27 |
| | Vaccinium .... | 5 | 84 | 79—87 | 20.2 | 20—21 | 11.6 | 11—12 | | 23.2 | 22—24 |
| | Calluna ..... | 5 | 99 | 95—110 | 20.3 | 19—21 | 7.2 | 6—8 | | 26.4 | 26—29 |
| *Shipment II* Southeastern Finland | Oxalis-myrtillus | 5 | 90 | 80—110 | 26.4 | 25—28 | 19.2 | 18—20 | | 28.0 | 25—31 |
| | Myrtillus ..... | 5 | 103 | 95—110 | 28.4 | 28—30 | 21.2 | 18—23 | | 29.6 | 28—31 |
| | Vaccinium .... | 5 | 144 | 135—160 | 25.0 | 24—26 | 18.4 | 16—20 | | 26.8 | 23—30 |
| | Calluna ..... | 5 | 115 | 85—130 | 21.6 | 19—23 | 13.0 | 7—15 | | 26.8 | 23—29 |
| | Bog ..... | 5 | 150 | 130—165 | 15.2 | 13—17 | 11.0 | 10—12 | | 25.1 | 21—30 |
| *Shipment III* Central Finland | Oxalis-myrtillus | 5 | 76 | 70—80 | 23.0 | 22—25 | 15.8 | 15—18 | | 28.2 | 25—30 |
| | Vaccinium .... | 5 | 122 | 110—130 | 21.1 | 19—23 | 11.8 | 9—14 | | 21.7 | 20—24 |
| | Calluna ..... | 5 | 134 | 130—145 | 19.8 | 19—21 | 13.0 | 11—15 | | 26.8 | 24—28 |
| | Bog ..... | 5 | 130 | 120—140 | 13.2 | 12—15 | 8.8 | 8—10 | | 19.6 | 18—22 |
| *Shipment IV* Northern Finland | Myrtillus ..... | 10 | 71 | 68—80 | 18.4 | 17—21 | 9.2 | 6—12 | | 24.3 | 21—28 |
| | Vaccinium .... | 10 | 82 | 65—100 | 18.0 | 16—21 | 7.0 | 3—12 | | 26.7 | 23—29 |
| | Hylocomium-myrtillus .... | 5 | 116 | 80—170 | 15.8 | 12—21 | 6.8 | 4—11 | | 25.6 | 19—33 |
| | Cladina ..... | 5 | 146 | 140—150 | 13.4 | 12—15 | 6.2 | 6—7 | | 23.8 | 22—26 |
| | Bog ..... | 5 | 154 | 150—160 | 11.8 | 8—14 | 6.6 | 5—8 | | 22.0 | 19—24 |
| | | Total 95 | | | | | | | | | |

and manner of formation of the grove, the soil, the ratio of slope and the basic vegetation of the locality. The index number and the south side of the trunk of the trees from each shipment were also noted on each specimen tree.

The test specimen trees were felled in February 1932 and from each trunk there was taken a base beam six meters long, which was sent immediately after the felling to the wood research laboratory of the Helsingfors Technical University there to be further examined.

At the laboratory the number of yearly rings at the stump end was first calculated. Thereby the approximate age of each test specimen tree was obtained. Then there was sawed from the middle of the beam a disk about 1.5 centimeters thick, and the sawed test specimen sticks were marked at the ends of the top portion of each part of the log by the use of the marking plate especially punched in the manner shown in plate 1.

The portion of heartwood in relation to the whole cross-sectional surface was first determined from the disk taken from the center of the log — the same was also done with the top of the log — and from the disk there were then sawed pieces for the inspection of shrinkage, in so far as in each case possible, in the direction of the tangent and the radius from the sapwood and heartwood. From the same disk there were cut test specimens shaped like circular sectors from which the heartwood and sapwood were sawed out and they were used for the determination of the moisture content and specific gravity.

The two three-meter specimens obtained from the original six meter log were sawed with a gangsaw in a north-south or east-west direction into planks six centimeters thick, and then into sticks by turning these planks flatwise and by still using the same six centimeter arrangement. The sticks were then sawed off in the middle. They therefore became 1.5 meters in length. From each log there were obtained four pieces, end on end, of the above-mentioned sizes of sticks. These were marked in such a manner that the sticks taken from the base were given the marking A, those following the markings B, C and D. Thus for each stick there was obtained a notation which was for example something like the following: 1—3—C—$N_2$, which means that the stick was from the third tree of the first shipment, from the third group of sticks (bolt) counting from the base, and the second stick from the north side of the heart.

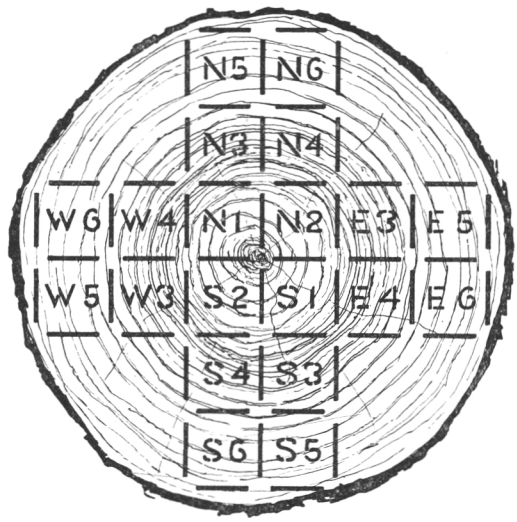



Plate 1. Marking of the test specimen beams.

The examinations were conducted in three series, of which the first comprised the green, the second the oven-dry and the third the air-dry experimental material.

The sticks were divided among these series in such a manner that all the even numbered sticks (for example $N_2$, $N_4$, $S_2$, $S_4$, etc.) from every other bolt, thus from A and C, and all the odd numbered sticks from bolts B and D were taken into the air-dry series. The remainder were divided among the oven-dry and green series in such a manner that the number one sticks of the A and C bolts and the number four sticks of the B and D bolts were taken into the former while the remainder were left to the green series.

The sticks to be experimented with as air-dry were then piled outside to become dry in a place protected from rain and excessive sunshine. The specimens to be experimented with as oven-dry were dried in the dry kilns of the laboratory, where both the temperature and the relative humidity are automatically regulated. The drying process was begun by using a low tem-

perature and a high relative humidity, and to the extent that the drying process progressed, these were changed, the temperature becoming higher and the relative humidity lower. Before the drying process was finished the test specimen sticks were also steamed for a period of a couple of hours in order to remove any possible surface hardening. The drying process lasted in all about three weeks and the percentage of moisture in the specimen sticks was when finished about 10 %.

After the oven-drying process test specimens were prepared of the sticks, which when then ready were still kept about three months piled in a room equipped with a central heating plant. During this period the possible differences in moisture, surface hardening and inner strains would presumably even themselves out quite completely.

Before placing the sticks to be dried, the ends were painted with aluminilac, which retards evaporation, in order that the ends would not become dry faster than the central parts of the sticks, and then crack.

The green sticks were kept outside in damp sawdust buried in the snow and from these were prepared test specimens only to the extent that there was time to experiment with them, so that there would not be a chance for the moisture to evaporate before experimentation.

In preparing the test specimens the sticks were first planed to a thickness of $5 \times 5$ centimeters. From these sticks were chosen and marked the test specimens for each experiment in the following manner:

There were taken for the bending experiment as many specimens as were obtainable of such long, as flawless as possible test specimens of sticks. Inasmuch as the number of absolutely flawless bending test specimens would have become comparatively small, the fact was principally observed that there were at least no flaws in the center of the test specimen, that is in the part to be bent. Small flaws were permissible near the ends, as there they would not affect to any particular extent the results of the experimentation.

In the test for compression parallel to the grain, test specimens were taken from as many sticks as it was possible.

In the test made of the cross grain and in the hardness test, as many test specimens were taken alternately for both of them as were obtainable from the sticks after test specimens had been taken for the two tests mentioned first.

In the cleavage test and in the tension test made of the cross grain as many test specimens were taken as were obtainable from the sticks after test specimens had been obtained for all the other tests mentioned above. For the last two tests mentioned test specimens were always taken in pairs, end on end, from the same stick; the specimens were prepared in such a manner that in one of the specimens the cleavage surface was in the direction of the radius in the other in the direction of the tangent.

From the green test specimens of all the bending experiments, both the compression experiments and the hardness experiment and from one test specimen of each oven-dry stick there was sawed from the undamaged point immediately after the experiment a specimen about one centimeter in thickness, which was used for the examination of its physical and structural characteristics.

The figures in table 2 show the number of test specimens in the various experiments. The examination under consideration comprises only the green

material (examination 1) and the oven-dry material (examination 2). The air dry process (examination 3), accordingly the other portion of the original subject matter, is treated separately later on.

Table 2. **Quantity of test specimens.**

| Test | Shipment I | | Shipment II | | Shipment III | | Shipment IV | | Total |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Green | Kiln-dry | Green | Kiln-dry | Green | Kiln-dry | Green | Kiln-dry | |
| Static bending | 30 | 44 | 84 | 67 | 46 | 47 | 58 | 37 | 413 |
| Compression parallel to grain | 70 | 78 | 116 | 161 | 118 | 113 | 167 | 175 | 998 |
| Compression perpendicular to grain | 42 | 32 | 62 | 80 | 28 | 55 | 83 | 87 | 469 |
| Hardness | 38 | 35 | 60 | 81 | 53 | 57 | 81 | 85 | 490 |
| Cleavage | 42 | 34 | 107 | 82 | 70 | 53 | 124 | 87 | 599 |
| Tension perpendicular to grain | 58 | 38 | 107 | 67 | 73 | 60 | 132 | 87 | 622 |
| Specific gravity and moisture content | 116 | 105 | 202 | 158 | 128 | 120 | 203 | 182 | 1 214 |
| Shrinkage | 56 | — | 81 | — | 65 | — | 116 | — | 318 |
| Total | 452 | 366 | 819 | 696 | 581 | 505 | 964 | 740 | 5 123 |

## Performance of the Experiments.

### Experiments Regarding Strength Characteristics.

The experiments were performed in the wood technical laboratory of the Technical University with a 30-ton Alfred J. Amsler & Co. machine, used for testing materials (plate 2). In the machine there is an oilpress, by which the oil pump through using an electric motor accomplishes the compres-

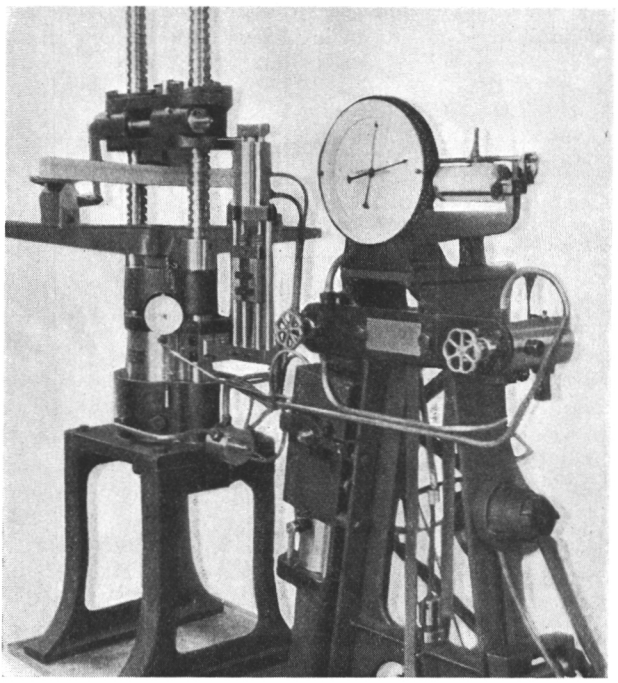


Plate 2.

sion. The speed of the portion of the machine applying the load can be regulated within known limits according to the need.

*Static bending.*

By bending strength is meant, as it is also apparent from the term, the ability of an object to resist a force perpendicular to its longitudinal direction, which attempts to change its longitudinal line into another shape. Bending

strength is really a combination of tension strength and compression strength because in bending an object tension stress arises on the convex side and compression stress on the concave side. These characteristics would accordingly become apparent in the special tension and compression experiments, but as the discovery of the fact as to how these characteristics together produce an effect, is in practice especially important, bending experiments have accordingly been in use for a long time. And in addition the fact that they are easy and convenient to perform operates for their advantage, while on the other hand tension experiments are difficult because of the difficulties of fastening the object.

The bending strength of wood is likewise one of the most important because just this matter becomes a question of prime importance perhaps in most forms of use such as in supports for the floor and roof, in bridge joists, in scaffold planking, etc.

The test specimens were prepared as accurately measured as possible with a size of $5 \times 5 \times 75$ centimeters. In the standard experiments the load was applied at the center point and the space between the supports AB was 70 centimeters (Plate 3). The side facing toward the pith of the experimental

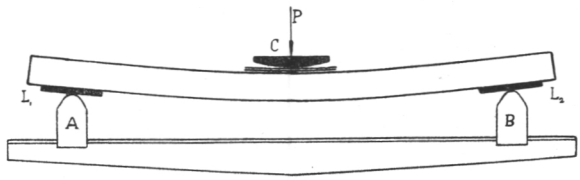



Plate 3. Model picture for the bending test.

beam was always placed upward. The speed of the machine was 2.6 millimeters per minute.

There are meters placed in the machine for measuring the distance traveled by C $\triangle$ (= the bend of the beam) and the force P (= load) affecting it, of which the meter used for the latter purpose is equipped also with a maximum indicator.

Just before beginning the experiment the test beams were weighed and measured.

The observations were made as follows:

When the beam had been placed in position and the point of C which touched the beam had been attached to it, both meters were turned to zero and the compression was begun. Each of the observers, two being needed for this experiment, watches his own meter. The person reading the bending meter records the bending shown by the meter at those periods when the other observer states by means of a sound signal that the load meter shows $\delta P$, $2\delta P$, $3\delta P \ldots$ The bending values obtained correspond accordingly to the equally spaced values for the load. The interval $\delta P$ was in experiment 1 (green test specimens) 50 kilograms, and in experiment 2 (oven-dry test specimens) 100 kilograms.

Curves were drawn of the values obtained by using suitable scales with the depression as the abscissa and the load as the ordinate.

If the following are used:
$P'$ = the load at the limit of elasticity
$\triangle'$ = the bend at the limit of elasticity
$P$ = maximum load
$L$ = span of the stress
$h$ = height of the beam
$b$ = width of the beam

the greatest fiber stress is at the limit of elasticity (on the opposite side of C in the outermost part):

$$(1) \qquad F' = \frac{1.5\ P'L}{bh^2} \text{ kg/cm}^2$$

modulus of rupture, the greatest fiber stress at the limit of rupture:

$$(2) \qquad F = \frac{1.5\ PL}{bh^2} \text{ kg/cm}^2$$

modulus of elasticity:

$$(3) \qquad E = \frac{P'L^3}{4\ bh^3 \triangle'} = \frac{L^3}{4\ bh^3} \cdot \frac{P'}{\triangle'} \text{ kg/cm}^2 \text{ and}$$

the maximum shearing:

$$(4) \qquad S = \frac{0.75\ P}{bh} \text{ kg/cm}^2$$

The values computed and the specific gravity at the time of the experiment as well as the values obtained from the summerwood slab, the percentage of moisture, the percentage of summerwood, specific gravity when dry and the number of yearly rings (per centimeter) were written on a card on which were also entered the figures regarding the examination, experiment, wood and bolt and the notation as to the type of forest.

In examination one, there were 218 experiments and in examination two, 195 experiments.

*Compression parallel to the grain.*

When a comparatively short piece of wood, in comparison to its thickness, becomes compressed end against end, there arises the question of its strength when being compressed parallel to the grain.

If the object compressed is at least 7 to 8 times longer than its thickness it will bend sidewise when being compressed end against end. Then it is not possible any more to speak of ordinary compression strength but there is then said to be a question of bending strength. In ordinary compression the object ought to be at the most 4 to 5 times longer than its thickness.

The question of compression strength parallel to the grain; that is, the compression of short objects in comparison to their thickness, arises in prac-

tice comparatively seldom, and when it does arise, this strength is generally so great that it seldom gives way. As the experiments showing compression strength are comparatively easy to perform and as a question of this strength arises in bending strength, it has accordingly been begun to be examined separately.

Test specimens of a size of about 5 × 5 × 20 centimeters were weighed, measured and then fastened to the handle of the meter (plate 4) in such a manner that the space (d) between the points of the screws (R) = 15 centimeters. The test specimen was placed as accurately as possible in the center and between the compression plates. One of the plates was equipped with a ball joint. Then the object was weighted with the regular beginning load (25 kilograms) after which the bending meter was placed at zero and the com-

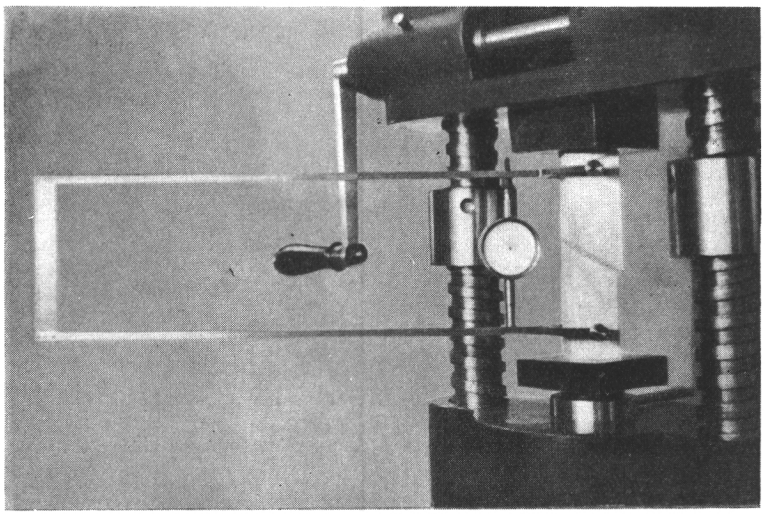


Plate 4. Compression parallel to the grain.

pression was begun. The bend corresponding to the equally spaced values of the load was verified by the same procedure as in experiment one. The interval in both examinations was 500 kilograms. The speed of compression was in all the experiments $\leq 0.8$ mm. per minute.

On the basis of the observations made the curves were drawn as in the first experiment. Similarly as in the American and English examinations the experiment was performed completely with only one-fourth of the test specimens, in order that the compression curve could be drawn. Only the maximum load was determined for the remainder of the test specimens.

The values obtained in the experiments performed completely were noted on a coordinate in such a manner that the abscissa-axis showed the maximum compression strength, the ordinate-axis the fiber stress at the limit of elasticity or the modulus of elasticity, and by means of the group of points obtained, the curves were drawn. With the assistance of these curves the values of the fiber stress at the limit of elasticity and of the modulus of

elasticity were determined in all those experiments in which only the maximum compression strength had been ascertained.

The compression curve was drawn and the final observation point which was within the straight line area was taken as the limit of elasticity. Thereafter P′ and P were measured and OA = △′ for the determination of the ratio $\frac{P'}{\triangle'}$.

By using these values the following were computed:

(5) $C' = \frac{P'}{bh}$ (fiber stress at the limit of elasticity)

(6) $C = \frac{P}{bh}$ (modulus of rupture) and

(7) $E = \frac{P'}{bh} \cdot \frac{d}{\triangle'}$ (modulus of elasticity)

The values calculated were written on a card, which otherwise was filled out as in the first examination.

The number of experiments in examination one was 471 and in examination two 527.

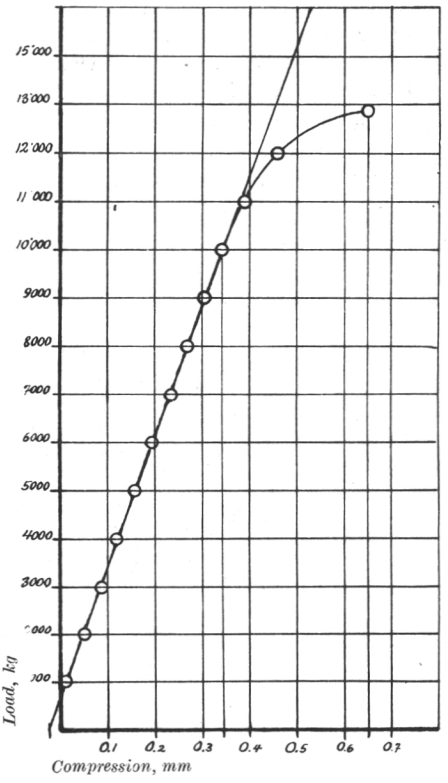



Plate 5. Curve of elasticity in the compression experiment parallel to the grain.

*Compression perpendicular to the grain.*

In compressing perpendicular to the grain there arises the question of strength when a force produces an effect upon the side surface of wood, as for example the weight of a train and rails upon railroad ties, the weight of the upper floors of a log wall upon the lower floors, etc. Generally speaking this strength is accordingly so great that it is more than adequate for practical requirements, but its examination has nevertheless been included in the group of standard experiments.

This compression experiment is performed in such a manner that an iron plate is placed crosswise on top and on the center of the test specimen which is lying flat. This plate is then compressed against the test specimen, by the use of a machine, and the compression corresponding to the known addition of the load is observed somewhat past the limit of elasticity by the use of a particular apparatus for the purpose.

The size of test specimens in this experiment was 5 × 5 × 15 centimeters. The interval in examination one was 100 kilograms and in examination two 250 kilograms. For the sake of uniformity the test specimen was always placed in such a manner that the compression developed on that side which

was nearest the direction of the radius (R-side), accordingly in the same manner as the American and the English experts have done. In Sweden the test specimen is compressed in addition from the tangent side (T-side) and the mean value of the figures obtained is accordingly taken.

In the experiment it is difficult to determine when the limit of rupture has been reached as the load increases generally at the same time as the compression. In America and England this limit of rupture is usually not

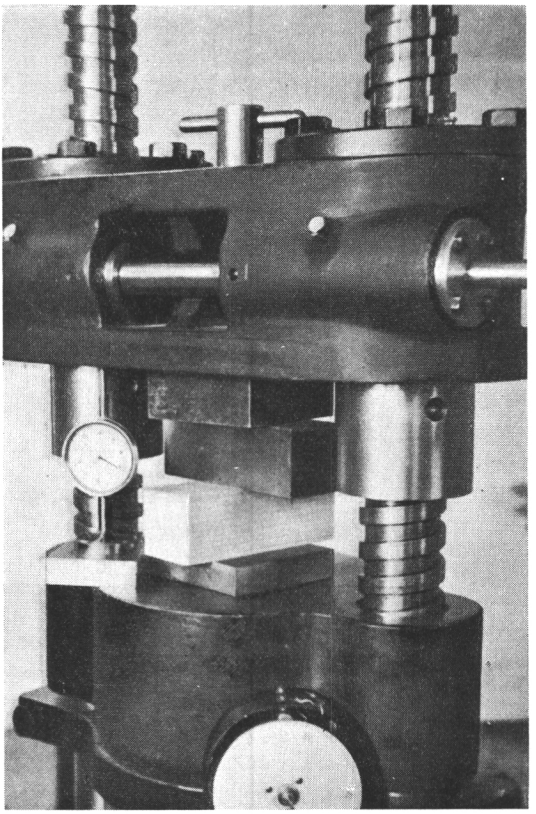


Plate 6. Compression perpendicular to the grain.

attempted to be determined but the experiment is discontinued when the compression $= 0.1''$, when the limit of rupture has surely been passed. In the experiments conducted the compression was likewise discontinued at the point where the compression $\triangle = 2.5$ millimeters. The speed in all experiments was $\leq 0.8$ mm. per minute.

Curves were drawn from the observations and there were then measured $P'$, $\triangle'$ and the load corresponding to the bend of 2.5 millimeters, similarly as previously.

The fiber stress at the limit of elasticity was obtained from the formula

(8) $C' = \frac{P'}{b_0 b}$ and the modulus of elasticity from the formula

(9) $E = \frac{P'h}{b_0 b \triangle'} = \frac{h}{\triangle'} \cdot C'$, in which $b_0$ = the breadth of the compressing prism = 5.00 centimeters, b = the breadth of the test specimen, h = its height.

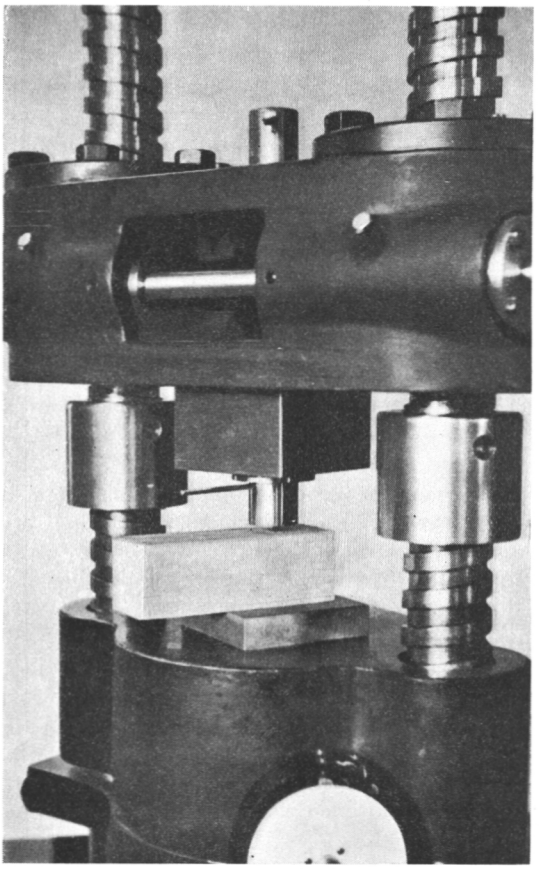


Plate 7. Hardness test.

A card was written out for each test, just as in the previous test.

The number of tests in examination one was 215 and in examination two 254.

*Hardness.*

By the hardness of an object is meant its ability to resist outside objects, which endeavor to penetrate its interior.

The hardness of wood is sometimes an advantageous, sometimes a disadvantageous characteristic, depending of course upon its use. In floors, furniture, etc. hardness in the material used is a desired characteristic, because dents and scratches do not easily come in hard wood and it is not subject to wearing out. On the other hand when nailing up lumber and when working it with different kinds of steel tools it is desired that it be soft, because then the work is easy.

The size of the test specimens was 5 × 5 × 15 centimeters. The pressure was applied by the use of a steel ball (plate 7) once at each end and twice on both the T and R sides. The force required to sink the ball was read direct from the maximum indicator of the machine.

The speed of the machine was 0.8 millimeters per minute.

The values covering each test specimen and their mean average, which is regarded as the characteristic figure for hardness, were written on the proper card.

The number of experiments in the first examination was 232 and in the second 258.

*Cleavage.*

By cleavage strength of wood is meant its ability to resist a force, perpendicular to the grain of the wood centralized at one point or on one line, which endeavors to tear the grain of the wood apart along its longitudinal plane.

The cleavage strength of wood is comparatively small, because, due to the characteristic structure of wood, it splits lengthwise very easily. In a number of infrequent forms of use for wood easy splitting is of course an advantage as for example in chopping firewood and in tearing loose shingles, but most often it is regarded as a drawback.

The experiments were made with the test specimens shown by plate 8, the cross-sectional surface being 5 × 5 centimeters; the distance from the base of the notch to the end of the test specimen was 7.5 centimeters.

Half of the test specimens were prepared in such a manner that the cleavage surface was tangential to the yearly rings, the other half in such a manner that this surface was in the radial direction. The speed of the machine was 6 mm. per minute. In Sweden this experiment is usually not performed at all.

In the experiment the force required for the cleavage is ascertained. When this is divided by the width of the cleavage surface, which is measured, the cleavage force corresponding to one unit of length is obtained. A card was written out for each experiment.

By applying a force slowly and steadily, such a cleavage experiment performed does not actually correspond to usage, as in practice the cleavage takes place most often by means of a force applied suddenly. By using a steady application of force, the power required to accomplish the splitting depends also very greatly upon the fact as to how fast the additional force has been applied. A comparatively low degree of power, if permitted to be applied for a sufficiently long time, can accomplish the splitting. This test

would apparently correspond better to usage if it were performed by the application of a sudden force, for instance with such a pendulum experiment as is used in toughness tests.

The number of tests in the first examination was 343 and in the second examination 256.

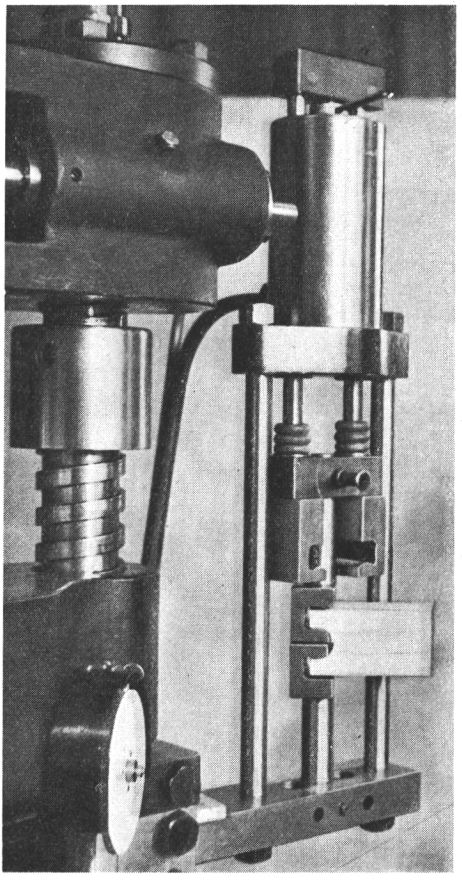


Plate 8. Cleavage test.

*Tension perpendicular to the grain.*

The experiment was made in the manner shown by plate 9. The cross-sectional surface of the test specimens was 5 × 5 centimeters. The smallest space of the openings was 2.5 centimeters. The speed of the machine was 6 mm. per minute.

In the test the amount of force required to tear the halves of the test specimen loose from each other was ascertained — it was obtained from the maximum indicator of the machine — and then was computed the force per surface unit of the torn surface.

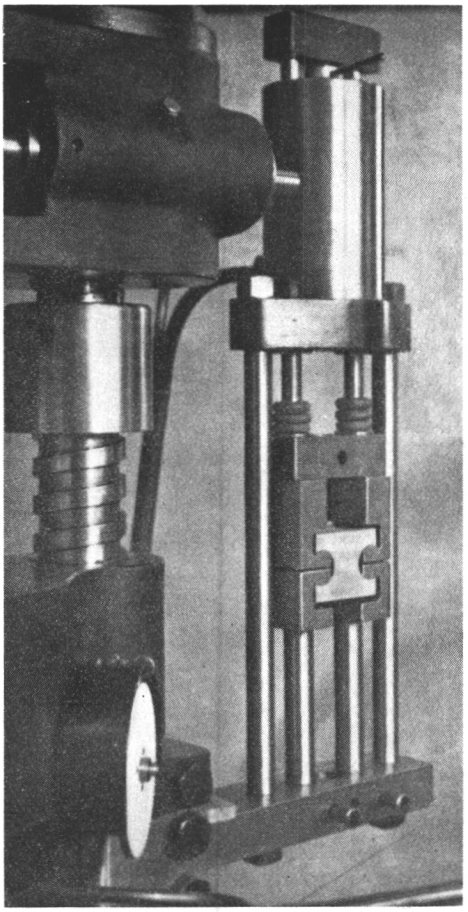


Plate 9. Tension test perpendicular to the grain.

A card similar to the previous was written out for each experiment.

The number of experiments in the first examination was 370 and in the second examination 252.

## Examinations Regarding Physical and Structural Characteristics.

### Specific Gravity during the Experiment and while the Wood is Absolutely Dry.

In connection with the standard tests also the specific gravity of the test specimens is usually ascertained, but as the methods of procedure in this respect are still very different in the various countries, there is possibly justification for examining these methods first somewhat further.

It has already been previously mentioned that the specific gravity is usually determined both when green and air-dried, and when absolutely dry.

Inasmuch as the specific gravity founded on the weight and volume of absolutely dry wood is constant and well describes a certain characteristic of wood, its »density», — to use this old word — and as the strength values obtained in the various experiments, immediately after they have been reduced to correspond to the same degree of moisture, are without any further operation comparable to this specific gravity, this method of procedure has been used in the examination now under consideration.

The specific gravity at the time of the experiment was also of course noted on the test specimen cards. It was obtained in such a manner that all the regular, long prism-shaped test specimens were weighed and their dimensions were measured just prior to making the experiment, and on the basis of the results of these measurements the specific gravity was calculated. This specific gravity does not have any practical significance worth mentioning, and it has been computed chiefly only in order to make the specific gravity of the absolutely dry wood more accurate.

### Percentage of Moisture during the Experiment.

From each of the green test specimens there was sawed from an undamaged portion immediately after the experiment a piece about one centimeter thick, it was weighed immediately after the sawing, dried absolutely dry and weighed again. The difference in the results of the weighing both times showed the loss in the quantity of water, and from this it was possible to calculate the percentage of moisture during the period of experiment.

### Thickness of the Yearly Rings.

The thickness of the yearly rings, in other words, the rapidity of growth of the tree is to be regarded as a factor influencing very greatly the strength characteristics of wood. Therefore this was also determined from one of the test specimens obtained from each beam in connection with the examinations

under consideration, by using the small sawn piece taken for determining the specific gravity and the percentage of moisture. The thickness measurement of the yearly rings performed on one of each of the beams can be regarded as fully sufficient, as each beam includes generally the same number of yearly rings and is from the same side of the trunk. The fact that the test specimens taken from the same beam are from somewhat different heights of the trunk, cannot influence the differences worth mentioning.

The thickness of the yearly rings was determined in such a manner that a line was drawn on the cross-sectional surface of the small test pieces perpendicular to the yearly rings, the number of yearly rings on this line was counted and this number was divided by the length of the line as stated in centimeters. Thereby the number of yearly rings per centimeter was obtained.

## Percentage of Summerwood.

The relative abundance of summerwood affects, so far as it is known, the strength characteristic of wood very definitely. Therefore attention has been paid also to this feature in the examination under consideration.

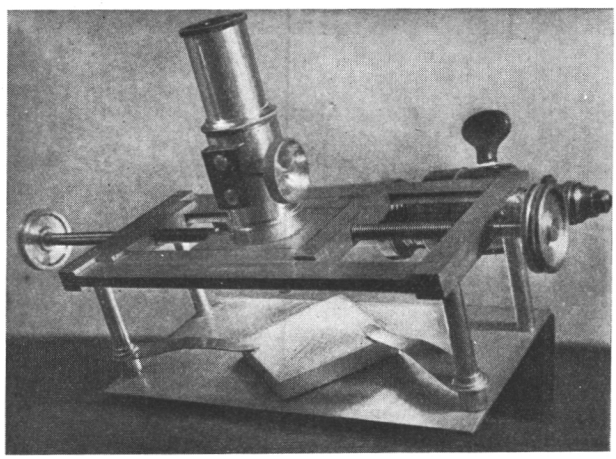


Plate 10. Apparatus used to measure springwood and summerwood.

In this examination the method of procedure corresponding most nearly to the Swedish methods was observed in the determination of the percentage of summerwood, varying however in the respect that if the yearly rings were in a slanting position in relation to the sides of the small test piece, and the relative abundance of springwood and summerwood varied noticeably, the longest line possible was not taken as the line of measurement, accordingly the line approximately between the two opposite angles of the square, but such a segment inside the square was sought, as measured by the eye, which cut most nearly the average number of yearly rings. On the other hand if the portion of summerwood in all the yearly rings was somewhat the same, only a part of the yearly rings was measured, in order to save time.

The summerwood measurements were made on those pieces which were taken in order to determine specific gravity when absolutely dry and the thickness of the yearly rings. The measurements themselves were performed with the measuring apparatus (plate 10) designed by the author.

### Percentage of Sapwood.

In accordance with the instructions observed in standard experiments the percentage of sapwood in the test specimens should also be determined. On the basis of the extensive examinations made in America and England the conclusions that sapwood or heartwood do not, as such, have any affect worth mentioning on the strength characteristics of wood have however been reached. Furthermore, as the boundary between sapwood and heartwood is most often quite impossible to determine exactly especially in the oven-dried test specimens particular attention has not been attached to this matter in the examination under consideration. In those cases where the portion of sapwood in the test specimens has been determinable accurately, it has of course been noted on the cards.

### Shrinkage.

It has been mentioned, when previously discussing the research material, that specimens for the examination of shrinkage were prepared of the discs sawed from the center of the original experimental logs. These specimens were about $1 \times 1 \times 7$—8 centimeters in size, the greatest dimensions being in the radial or tangential direction, and in so far as possible for the heartwood and sapwood separately. Immediately after the preparation of the specimens they were weighed and their greatest measurements were taken by using a special apparatus designed by the author, by the aid of which the measurements could be performed to an accuracy of 1/100 mm. The measurement points and the compression of the micrometer screws in all the later measurements were always the same. After the first weighing and measuring the small test pieces were dried absolutely dry. Then the weighing and measuring was performed again. On the basis of the differences in the results observed the percentage of moisture and shrinkage in the small test pieces could be calculated.

## Calculation and Treatment of the Results Obtained.

### Reduction of Moisture.

It was observed already in the very beginning stages of the examination of the strength of wood how closely connected the percentage of moisture and the various strength characteristics are to each other. Of two pieces of wood which are otherwise in all respects quite similar, the drier piece is stronger than the greener. This difference in strength is apparent however only when the amount of moisture fluctuates below a certain, special limit. If the moisture is increased above this limit, its variations do not cause any changes in strength. The limit should be observed by experimentation to be in the region of the fiber saturation point.

Two pieces of wood whose percentages of moisture are below the saturation point can accordingly be compared to each other as regards strength characteristics only in such a case as where the percentage of moisture in both pieces is quite the same. This condition is in practice however difficult to realize. Therefore the test specimens in strength examinations are dried only as close to the fixed percentage of moisture as possible, the percentage of moisture at the time of the experiment is determined accurately and the strength values are then converted to correspond to the same, fixed percentage of moisture. The term »reduction of moisture» is used for this operation.

In the manual of methods and procedure in computing results of strength tests issued by the Madison laboratory the strength values of wood are the exponential functions for the percentage of moisture:

(10) $S = 10^{-mx+b}$ or $\log S = -mx + b$ where $S$ = strength value, $x$ = percentage of moisture, $m$ and $b$ the positive constants concerning the wood, the test specimen and the strength value. According to the same manual the strength of green wood is independent of the moisture if the percentage of moisture is just as great or greater than a certain known figure (M), which equals the fiber saturation point. The regular strength of green wood having this quantity of moisture is accordingly:

$$G = 10^{-mM+b}. \tag{11}$$

If the constant $m$, which shows the bend of the curve (10) has been determined for the strength of some species of wood and if the strength S, for the moisture x, is known, the strength $S_2$ for some other quantity of moisture ($x_2$) can be computed from the formula

$$S_2 = S_1 \times 10^{m(x_1-x_2)}, \tag{12}$$

which arises direct from formula (10). The value $m$ concerning a certain strength value can also be computed from formula (12) if the strength values in two

different stages of moisture of the same or two entirely similar test specimens are known.

$$(12)^1 \qquad m = \frac{\log \frac{S_2}{S_1}}{x_1 - x_2} = \frac{\log S_2 - \log S_1}{x_1 - x_2}$$

Log in this case means the same as previously the logarithm of Briggs. If one of the values ($x_1$ $x_2$) is greater than M, M is to be placed in formulas (20) and (12)′ in its stead.

In order to determine the quantity $m$ for the various strength values the following procedure was observed. In both the examinations the average of all the strength values and the corresponding percentages of moisture were computed for the various types of forests; in the first examination were thus obtained for example the values $F_t$, $x_t$, in the second examination $F_{uk}$, $x_{uk}$. These were placed in formula (12)′ and $m$ was computed. The value 30 was used for M ($= x_1$), which can be regarded as the saturation point for pine.

In the various shipments and types of forests the corresponding values of $m$ for each experiment fluctuated therefore a little so that it was not regarded as necessary to keep them separate, but the common averages of $m$ for all the material were computed in each experiment. Thus the average values presented in table 3 for $m$ were obtained.

Table 3. **Reduction of moisture. Values for the constant $m$ in the formula $S = 10^{-mx+b}$.**

| Test | Carrying modulus | Modulus of rupture | Modulus of elasticity | R | T | Endes |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Static bending | 0.01669 | 0.01482 | 0.00706 | — | — | — |
| Compression parallel to the grain | 0.01686 | 0.01747 | 0.00324 | — | — | — |
| Compression perpendicular to the grain | 0.01605 | — | 0.01475 | — | — | — |
| Hardness | — | — | — | 0.00905 | 0.00993 | 0.01229 |
| Cleavage | — | — | — | 0.00662 | 0.00834 | — |
| Tension perpendicular to the grain | — | — | — | 0.00811 | 0.00946 | — |

As it appears from formula (10) the curves for each value showing strength are parallel and straight if drawing paper is used where the abscissa is equally spaced and the ordinate divided logarithmically. When the value $m$ is known, the arbitrarily dense, straight group of lines can accordingly be drawn for each strength value by using semi-logarithmic paper, by means of which the strength value corresponding to the known percentage of moisture can be changed to any other desired percentage of moisture.

Each original strength value in examination two was corrected to a moisture percentage of 10 %. In the first examination no values had to be corrected as the moisture of all the test specimens at the time of the experiment was at least at the fiber saturation point.

### The Unit of Examination and the Average Values.

In the American standard experiments each block of test wood is regarded as the unit of examination. The results of each experiment are accordingly grouped first by blocks. Then the strength and other characteristics ascer-

tained at different heights of the same test trunk can be compared. Thereupon the average values for the whole trunk are computed from the values calculated by blocks, and from these the average values for the various localities of growth, territories of growth and finally the whole species of wood.

Variations in the method of procedure in the examination under consideration have been made for several reasons. The most important of these is the fact that it has not been the intention to examine the characteristics of wood at various heights of the trunk nor the characteristics even in general of individual trees, but it has been endeavored to obtain a clear understanding as to how the various characteristics of trees grown otherwise under the same kinds of conditions vary in the different types of forests and in the different parts of Finland. As a second influencing element can be mentioned the small size comparatively of the test trees used in the examination. From one log there has been obtained so few test specimens for the various experiments that the average values obtained for the log are unreliable as the different values can vary quite considerably.

In this examination each type of forest from the various shipments has been regarded as the unit of examination because of the previously mentioned reasons. When the test specimens obtained from several trunks come then into every group to be treated, their number in the various experiments is already sufficiently large so that it can be regarded that their average value represents fairly well the various types of the shipment in question.

## Results of the Examinations.

### Strength Values.

The results of the examinations performed up to the present time have been summarized in tables 4 and 5. The values shown in them are the arithmetic average values of the results obtained from the experiments listed under each different group.

According to the material treated the average values have been divided into two main groups, of which in the one group the results are for the experiments made with green test specimens (table 4), and in the other with oven-dry test specimens (table 5).

In the examination of the oven-dry test specimens all the strength values obtained have on the other hand been transformed to correspond to a percentage of moisture of 10 %. This percentage of moisture has been chosen because of the fact that it is closest to the average percentage of moisture in oven-dry test specimens, and as the variation of moisture on the two sides of this figure is quite small, the errors possibly caused by the transformation are accordingly as small as possible and still the values applied to the various localities of growth and types of forests are in their relations to each other fully worthwhile for sake of comparison. Later on, when comparing the strength characteristics of the Finnish pine with the results obtained elsewhere, these values are of course to be transformed to correspond to the percentage of moisture used in other countries.

Inasmuch as the results obtained with the northern Finnish test wood (shipment IV) differ noticeably from the corresponding southern Finnish results (shipments I—III), these groups have been regarded separately and the arithmetic average values have been computed individually for every test species and type of forest for southern and for northern Finland. In the following the results for southern Finland are first examined and then later on and separately the northern Finnish results, at the same time analyzing those reasons which have influenced the dissimilarities.

When examining the results of the various shipments by types of forests, attention becomes immediately attached to the fact that the various types of forests have clear dissimilarities in the strength characteristics of the wood grown, but the relation between the various types is not quite the same in the different shipments. In the shipment from Central Finland (III) (Vilppula) the wood of the vaccinium type is much superior in strength than wood from other inferior or better types of forests. In the shipment from Southeastern Finland (II) (Veikkola) a similar phenomenon is also quite noticeable but not to such a superior degree however, because in this case the strength of the calluna type of wood begins to approach the corresponding characteristics of the vaccinium type of wood. As regards the wood from

Table 4. **The results obtained**

*Green test*

| Shipment and type of forest | Yearly rings per centimeter | % of summer wood | Specific gravity × 100 | 1. Static bending | | | 3. Compression parallel to the grain | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Carrying modulus | Modulus of rupture | Modulus of elasticity | Carrying modulus | Modulus of rupture | Modulus of elasticity |
| *Shipment . I* | | | | | | | | | |
| MT ..... | 4.9 | 29.1 | 51.0 | 229 | 456 | 71 | 162 | 197 | 125 |
| VT ..... | 6.4 | 26.8 | 48.9 | 259 | 472 | 78 | 193 | 226 | 150 |
| CT ..... | 6.1 | 26.1 | 49.3 | 265 | 439 | 93 | 197 | 234 | 147 |
| *Shipment II.* | | | | | | | | | |
| OMT ..... | 6.0 | 28.3 | 48.5 | 247 | 449 | 78 | 186 | 221 | 142 |
| MT..... | 7.1 | 30.0 | 50.4 | 252 | 478 | 87 | 191 | 223 | 147 |
| VT ..... | 11.9 | 26.2 | 52.3 | 258 | 487 | 95 | 212 | 246 | 164 |
| CT ..... | 7.8 | 28.8 | 53.1 | 253 | 482 | 86 | 213 | 246 | 157 |
| Bog ..... | 10.9 | 25.6 | 50.4 | 254 | 452 | 85 | 200 | 232 | 151 |
| *Shipment III.* | | | | | | | | | |
| OMT ..... | 5.7 | 26.5 | 48.3 | 255 | 374 | 85 | 173 | 208 | 136 |
| VT ..... | 10.9 | 30.0 | 54.5 | 328 | 489 | 104 | 231 | 271 | 173 |
| CT ..... | 10.2 | 22.9 | 52.6 | 284 | 428 | 100 | 209 | 243 | 162 |
| Bog ..... | 13.4 | 18.7 | 46.0 | 247 | 371 | 62 | 162 | 195 | 125 |
| *Shipment IV.* | | | | | | | | | |
| MT..... | 5.2 | 22.1 | 43.4 | 199 | 301 | 62 | 126 | 165 | 98 |
| VT ..... | 5.1 | 20.7 | 43.4 | 229 | 345 | 73 | 124 | 164 | 101 |
| HMT ..... | 9.7 | 18.3 | 45.4 | 239 | 342 | 74 | 152 | 187 | 121 |
| CIT ..... | 12.5 | 19.9 | 48.0 | 235 | 376 | 83 | 152 | 187 | 122 |
| Bog ..... | 17.5 | 21.1 | 48.3 | 278 | 404 | 81 | 168 | 201 | 131 |

Southern Finland (I) (Ruotsinkylä), this phenomenon is apparent to an even greater extent, because there the wood of the calluna type is as regards its strength characteristics either the equal of the vaccinium type of wood or considerably ahead of it.

It is also interesting to compare the same type of forests in the different shipments. The material is not yet quite complete in this respect because OMT and Bog are lacking in the first shipment, and MT in the third shipment, but some kinds of comparisons can nevertheless be made on the basis of the material already in use. The greatest values for VT appearing in all the test wood shipments from Southern Finland are in the wood from Vilppula. The values for Veikkola wood are already noticeably smaller, and still smaller than these are the corresponding values for Ruotsinkylä. In the values of CT appearing in all the test wood shipments no specially large differences are noticeable between the various shipments. In Ruotsinkylä MT is much inferior comparatively than in Veikkola, but in the values for OMT no clear differences are apparent. Bog on the other hand is better in Veikkola than in Vilppula.

In examining the tables attention is also aroused by the fact that the differences in the strength values of the various types of forests of the same shipment are much more distinctive in the oven-dry test material than in the green test material. This would indicate that in strong wood drying

**in the various experiments.**

*material.*

| 4. Compression perpendicular to the grain | | 5. Hardness | | | 7. Cleavage | | 8. Tension perpendicular to the grain | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Carrying modulus | Modulus of elasticity | Load R | Load T | Load E | Load R | Load T | Load R | Load T |
| 23 | 2 300 | 164 | 183 | 192 | 28.5 | 30.4 | 20.8 | 20.8 |
| 23 | 2 375 | 168 | 183 | 194 | 32.5 | 34.5 | 16.7 | 19.8 |
| 23 | 2 636 | 177 | 204 | 184 | 32.2 | 31.3 | 20.1 | 21.9 |
| 22 | 2 420 | 165 | 179 | 182 | 29.2 | 27.1 | 20.3 | 23.7 |
| 23 | 2 470 | 173 | 189 | 190 | 27.3 | 28.1 | 19.8 | 22.9 |
| 28 | 2 740 | 180 | 192 | 207 | 32.8 | 32.4 | 19.3 | 20.4 |
| 28 | 2 710 | 188 | 195 | 212 | 35.8 | 31.8 | 20.8 | 22.5 |
| 24 | 2 263 | 167 | 173 | 194 | 27.8 | 29.3 | 20.5 | 21.2 |
| 24 | 2 412 | 147 | 160 | 162 | 33.0 | 32.3 | 21.2 | 23.1 |
| 30 | 2 064 | 214 | 226 | 219 | 36.1 | 32.1 | 23.0 | 21.5 |
| 30 | 3 300 | 170 | 165 | 170 | 35.8 | 32.2 | 22.5 | 23.7 |
| 22 | 1 920 | 148 | 145 | 155 | 35.1 | 32.0 | 23.3 | 23.9 |
| 21 | 1 822 | 135 | 158 | 153 | 32.8 | 33.9 | 20.3 | 20.3 |
| 21 | 1 834 | 138 | 152 | 147 | 32.2 | 32.9 | 20.0 | 20.9 |
| 23 | 1 947 | 145 | 164 | 162 | 34.3 | 34.2 | 20.2 | 22.1 |
| 22 | 1 928 | 151 | 165 | 171 | 32.1 | 30.2 | 16.8 | 16.8 |
| 23 | 1 962 | 168 | 172 | 162 | 36.6 | 32.8 | 21.8 | 20.4 |

causes greater changes in strength than in weak wood. This points also to the fact that the value of the constant $m$ which was previously considered in connection with moisture reduction, varies slightly in the various types of forests, although actually, as it has already been mentioned, the variation is in most cases comparatively small and it is not exactly regular in all shipments and experiments. Nevertheless the values for this constant in the bending experiment in the first and second shipments can be presented as a specimen.

Value $m$ as the moisture reduction constant in the bending point.

| | Carrying modulus | Modulus of rupture |
|---|---|---|
| Shipment I | | |
| MT | 0.01602 | 0.01051 |
| VT | 0.01674 | 0.01231 |
| CT | 0.01828 | 0.01630 |
| Shipment II | | |
| OMT | 0.01633 | 0.01210 |
| MT | 0.01765 | 0.01245 |
| VT | 0.01833 | 0.01353 |
| CT | 0.01816 | 0.01277 |
| Bog | 0.01732 | 0.01218 |

Table 5. **The results obtained**

*Oven-dry test*

| Shipment and type of forest | Yearly rings per centimeter | % of summerwood | Specific gravity ×100 | 1. Static bending | | | 3. Compression parallel to the grain | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Carrying modulus | Modulus of rupture | Modulus of elasticity | Carrying modulus | Modulus of rupture | Modulus of elasticity |
| *Shipment I.* | | | | | | | | | |
| MT ..... | 5.4 | 27.8 | 47.1 | 488 | 740 | 99 | 341 | 423 | 137 |
| VT ..... | 6.8 | 29.7 | 47.9 | 560 | 832 | 112 | 402 | 485 | 167 |
| CT ..... | 7.4 | 30.1 | 53.4 | 615 | 930 | 130 | 454 | 576 | 190 |
| *Shipment II.* | | | | | | | | | |
| OMT ..... | 6.7 | 30.2 | 47.5 | 524 | 784 | 112 | 387 | 471 | 160 |
| MT ..... | 7.7 | 32.0 | 49.9 | 568 | 848 | 127 | 424 | 505 | 176 |
| VT ..... | 12.3 | 26.5 | 51.2 | 600 | 908 | 129 | 474 | 554 | 208 |
| CT ..... | 8.2 | 29.7 | 50.8 | 584 | 868 | 123 | 429 | 511 | 180 |
| Bog ..... | 10.9 | 26.2 | 47.9 | 564 | 792 | 116 | 403 | 486 | 167 |
| *Shipment III.* | | | | | | | | | |
| OMT ..... | 5.7 | 28.9 | 48.2 | 510 | 800 | 112 | 381 | 463 | 154 |
| VT ..... | 11.0 | 30.2 | 54.1 | 620 | 960 | 122 | 460 | 590 | 202 |
| CT ..... | 9.5 | 28.8 | 51.4 | 584 | 916 | 130 | 452 | 533 | 191 |
| Bog ..... | 14.1 | 25.3 | 46.9 | 579 | 794 | 111 | 365 | 452 | 148 |
| *Shipment IV.* | | | | | | | | | |
| MT ..... | 5.4 | 25.2 | 42.7 | 448 | 688 | 91 | 292 | 384 | 116 |
| VT ..... | 5.5 | 23.4 | 42.7 | 440 | 686 | 92 | 299 | 392 | 114 |
| HMT ..... | 9.9 | 24.6 | 44.9 | 524 | 788 | 99 | 328 | 415 | 128 |
| CIT ..... | 11.8 | 24.4 | 49.0 | 580 | 892 | 120 | 382 | 464 | 150 |
| Bog ..... | 20.8 | 22.9 | 46.2 | 516 | 840 | 102 | 338 | 426 | 133 |

As it appears from these figures for $m$, these values stand in relation to each other among the various types to a great extent in the same manner as even the corresponding strength values. Therefore it is possible that the locality of growth of the wood should be able to be determined on the basis of how much the drying of wood affects its strength.

If the corresponding kinds of examinations carried out elsewhere, based on types of forests, could be used, it would be particularly interesting to compare their results with those presented above. Exactly corresponding types of examinations have not been made as far as it is known, but some kinds of points of similarity can nevertheless be obtained from the researches carried out by Kalninsch as regards the Latvian pine (Kalninsch, A., 1930). Even though the types of forests which he has used do not correspond to Cajander's types, it appears clearly however in his examinations that in Latvia the strength characteristics of the pine improve when shifted from good localities of growth to inferior localities. Kalninsch has obtained the best strength values for the pine which has grown in the »pinetum sphagnosum»-type which apparently means some kind of a peat bog.

This result at first glance is in conflict with the results of the examination under consideration, but when examining the matter more closely the results fit well together and supplement each other as it will be apparent from the following explanation.

**i n the various experiments.**

*material.*

| 4. Compression perpendicular to the grain | | 5. Hardness | | | 7. Cleavage | | 8. Tension perpendicular to the grain | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Carrying modulus | Modulus of elasticity | Load R | Load T | Load E | Load R | Load T | Lood R | Load T |
| 53 | 4 870 | 228 | 280 | 290 | 48.9 | 40.1 | 23.5 | 30.4 |
| 47 | 4 000 | 228 | 283 | 298 | 43.5 | 44.8 | 30.2 | 30.8 |
| 71 | 6 300 | 330 | 350 | 390 | 49.2 | 48.8 | 34.1 | 41.9 |
| 54 | 4 370 | 228 | 272 | 296 | 40.5 | 43.6 | 27.0 | 29.6 |
| 54 | 4 510 | 271 | 312 | 308 | 45.8 | 44.2 | 28.9 | 28.9 |
| 62 | 5 340 | 264 | 283 | 323 | 49.6 | 47.5 | 30.5 | 32.5 |
| 49 | 4 740 | 274 | 326 | 323 | 43.4 | 49.7 | 29.4 | 33.4 |
| 42 | 3 330 | 249 | 276 | 305 | 40.9 | 42.3 | 30.1 | 33.7 |
| 51 | 4 560 | 269 | 272 | 295 | 41.6 | 46.9 | 27.6 | 32.0 |
| 53 | 4 360 | 311 | 335 | 380 | 41.0 | 47.0 | 26.6 | 32.2 |
| 59 | 5 330 | 271 | 316 | 340 | 41.5 | 44.1 | 33.0 | 39.7 |
| 47 | 3 950 | 226 | 242 | 306 | 47.1 | 45.5 | 31.3 | 36.7 |
| 41 | 3 850 | 207 | 234 | 272 | 44.5 | 48.5 | 28.3 | 31.5 |
| 43 | 4 190 | 230 | 230 | 270 | 41.3 | 48.9 | 27.9 | 32.2 |
| 49 | 4 790 | 218 | 232 | 301 | 43.3 | 48.9 | 29.8 | 39.5 |
| 39 | 3 950 | 213 | 257 | 288 | 51.3 | 52.1 | 29.3 | 28.0 |
| 49 | 4 440 | 236 | 257 | 314 | 38.0 | 46.3 | 38.2 | 34.3 |

According to the optimus theory of Mayr every kind of wood has a territory, determined by the climate and other factors of growth, where a tree creates as regards its quality the best kind of wood material. When shifted from this region to a more favorable or more unfavorable climate the quality of the wood becomes inferior.

In Mayr's optimus theory the influence of climate on the growth of wood has however been taken into consideration too one-sidedly. Besides climate, other factors are also important. Therefore in addition to the climate-optimus there are still to be taken into consideration even others, such as the optimus as to the quality of the soil, the optimus as to the density of the forest, etc., if it is desired to understand fully the conditions of growth for wood and to explain their influences. The general optimus (to use such a term) for each kind of wood is then encountered at the point where all the sub-optimii unite. But in such a region where the climate is too favorable for some species of wood, the ability of the various factors of growth to compensate for each other's imperfections has the effect of causing the combined influence of the various factors of growth to be most favorable for the wood in such a locality of growth which is on the other hand inferior as regards the optimus for the quality of the soil. From this it arises that when shifting from the climatic optimus southward, the optimus for the quality of the ground shifts to the inferior types of forests and vice versa.

We shall suppose that the general optimus for the pine is the vaccinium type in Central Finland. The strongest pine should under such circumstances be found in the vaccinium type in Central Finland. On the other hand the pine, growing for example in the bog, being away from the typical optimus, does not find in Central Finland the most favorable conditions for its development, and when the type of the site is so distant from the optimus, the climate must be better than the climate of the general optimus before it is able to compensate for the deficiencies in the quality of the soil.

In accordance with the above presentation it can accordingly be concluded that the strongest woods grow in Central Finland on VT, in Southern Finland and apparently also in Estonia on CT, in Latvia in the bog, and in proceeding from Central Finland northward the maximum strength characteristics of the pine should be first on MT and still further northward on OMT. The maximi for the various types are not however necessarily to be located in the same regions. Although the bog pine of Latvia is stronger than the pine grown on better types, the conditions of existence there for the bog pine are however so far from the ideal that the bog pine of Southern Finland is stronger than this pine just the same as it is also stronger than the bog pine of Central Finland. Accordingly the strongest bog pine should grow in Southern Finland and possibly somewhat toward the south of this region, the strongest pine on CT between Southern Finland and Central Finland, the strongest pine on VT between Vilppula and some distance to the northward, the strongest pines on MT and OMT, on the other hand, in the more northern belts.

The results obtained for the wood of Southern Finland in the examination under consideration sustain the hypotheses presented above almost without exception.

The test results obtained with woods from Northern Finland deviate on the other hand noticeably from the results for Southern Finnish woods. The test material treated up to the present time points to the fact that all the strength characteristics of the Northern Finnish pine are noticeably inferior to the Southern Finnish pine. But the relative standing of the various types of forests in Northern Finland seems to be different than in Southern Finland. The experimental material taken from Northern Finland has however come from only one locality and is so limited that no final conclusions can yet be drawn based on this material. The possibility is also conceivable that a particular, geographic class of pine, which has its own special characteristics, has been formed in Northern Finland. The most probable and influential reason for these differences is possibly, however, the fact that in the naturally growing forests of Northern Finland the trees grow generally far apart and they have comparatively large tops. This fact influences the strength characteristics of wood still more than the character of the locality of growth.

## Percentage of Moisture.

There is reason to attach attention to the percentage of moisture in the heartwood and sapwood of green trees, because of the diverse opinions prevailing regarding this matter. In many technological works it is mentioned that the percentage of moisture in the heartwood of old pine for example can be even 12 %. M o l l (1930, page 30) claims that the percentage of moisture

in a living tree (Baum) can not fall under the fiber saturation point.[1] The results obtained in the examination under consideration also point to this fact. Even though the experimental trees were comparatively old and large-sized, and the heartwood in most cases had become well developed, not a single case of such a situation was observed that the percentage of moisture in heartwood should have been less than 26 % and that figure in only a couple or three test specimens. The most usual moisture in heartwood was quite close to 30 %, on both sides of this figure. The differences of moisture in trees of various types of forests were particularly small, but on the other hand the trees of Northern Finland seem to contain slightly more moisture than the trees of Southern Finland.

The average values of moisture in the various test wood shipments and types of trees are seen in table 6.

Table 6. **Percentage of Moisture.**

| Shipment and type of forest | In heartwood | | In sapwood | |
|---|---|---|---|---|
| | % | Average value of the various shipments | % | Average value of the various shipments |
| I. MT | 31 | — | 121 | — |
| VT | 33 | — | 115 | — |
| CT | 30 | 31.3 | 110 | 115.3 |
| II. OMT | 29 | — | 126 | — |
| MT | 32 | — | 121 | — |
| VT | 30 | — | 128 | — |
| CT | 30 | — | 126 | — |
| Bog | 30 | 30.2 | 129 | 126.0 |
| III. OMT | 34 | — | 133 | — |
| VT | 29 | — | 128 | — |
| CT | 32 | — | 127 | — |
| Bog | 35 | 32.5 | 143 | 132.7 |
| IV. MT | 31 | — | 138 | — |
| VT | 31 | — | 141 | — |
| HMT | 37 | — | 144 | — |
| C1T | 33 | — | 143 | — |
| Bog | 42 | 34.8 | 153 | 144.0 |

## Thickness of the Yearly Rings.

In tables 4 and 5 there has also been noted the number of yearly rings per centimeter, which indicates the rapidity of growth of the tree. When comparing the figures obtained with the various strength values it is observed that there does not exist a clear, dependent relationship between them. At the most it can be said that the particularly fast or slow growing tree is generally inferior to such a tree whose rapidity of growth has been moderate or ordinary.

[1]) »Im lebenden Baum kann der Wassergehalt nie unter diesen Betrag (the fiber saturation point for which M o l l has taken 26 %) sinken, wenn anders der Baum nicht krank ist (Nonnenholz).»

## Percentage of Summerwood.

In examining the percentage of summerwood noted in tables 4 and 5, it is observed that this stands to some extent in relation to both specific gravity and the various strength values, but this phenomenon is not without exception.

In the material treated, the summerwood percentage in heart- and sapwood is very irregular, comparatively, and it follows almost exactly the specific gravity, as it is observed in table 7.

Table 7. **Percentage of Summerwood and Specific Gravity.**

| Shipment | % of summerwood | | Specific gravity | |
|---|---|---|---|---|
| | In heartwood | In sapwood | In heartwood | In sapwood |
| I. Ruotsinkylä ..... | 26.3 | 29.8 | 45.8 | 50.4 |
| II. Veikkola ..... | 26.7 | 32.8 | 48.3 | 50.7 |
| III. Vilppula ..... | 26.0 | 29.9 | 47.1 | 49.1 |
| IV. Kivalo ..... | 22.9 | 27.1 | 42.9 | 44.3 |

The difference in heartwood and sapwood arises apparently from the fact that naturally growing forests are, during the nursery and early period, most often comparatively sparse and irregular, the trees are types having wide tops and large branches. Then the maturing wood material is light and lacking in summerwood. At a later age the forest closes up, the tops of the trees become smaller and a stronger wood material begins to be developed in the trees.

## Shrinkage.

A thick-walled, small cavity cell shrinks more in becoming dry than a thin-walled cell. It therefore arises that a tree containing relatively a great deal of summerwood shrinks more than a tree having an abundance of springwood. This is also shown by the observations made. The average values of these results are presented in the following list.

| Percentage of Summerwood | Percentage of shrinkage | |
|---|---|---|
| | In the direction of the tangent | In the direction of the radius |
| <25 | 6.6 | 3.4 |
| 25—30 | 7.6 | 4.2 |
| 31—35 | 8.1 | 4.3 |
| 36—40 | 8.6 | 4.8 |
| 40+ | 8.6 | 5.8 |

The percentage of shrinkage in trees taken from the various types of forests and from the various parts of Finland amounts to the figures revealed by table 8.

Table 8. **Percentage of Shrinkage.**

| Shipment | Type of forest | Percentages of shrinkage | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | In the direction of the radius | In the direction of the tangent | Average of the shipment: In the direction of the radius | Average of the shipment: In the direction of the tangent |
| I. Ruotsinkylä ..... | MT | 3.6 | 8.2 | | |
| | VT | 4.2 | 8.7 | | |
| | CT | 4.8 | 8.9 | 4.2 | 8.6 |
| II. Veikkola ..... | OMT | 3.9 | 7.8 | | |
| | MT | 4.9 | 8.9 | | |
| | VT | 4.8 | 7.9 | | |
| | CT | 4.8 | 7.9 | | |
| | Bog | 4.5 | 8.0 | 4.6 | 8.1 |
| III. Vilppula ..... | OMT | 4.8 | 8.8 | | |
| | VT | 5.3 | 8.4 | | |
| | CT | 5.3 | 8.6 | | |
| | Bog | 4.4 | 7.3 | 5.0 | 8.3 |
| IV. Kivalo ..... | MT | 3.5 | 7.4 | | |
| | VT | 3.8 | 7.3 | | |
| | HMT | 4.2 | 7.1 | | |
| | CIT | 4.4 | 6.4 | | |
| | Bog | 4.3 | 6.7 | 4.0 | 7.0 |

In the foregoing the result has already been arrived at that the percentage of shrinkage is particularly closely dependent upon the amount of summerwood. On the other hand there is at least no straight-lined relationship between the thickness of the yearly rings and the percentage of shrinkage, as is seen from the schedule below, in which the average values of the results are presented.

| Yearly rings per cm. | Percentage of shrinkage: In the direction of the tangent | Percentage of shrinkage: In the direction of the radius |
|---|---|---|
| 2— 4 | 6.4 | 3.0 |
| 5— 9 | 8.0 | 4.1 |
| 10—15 | 8.0 | 4.6 |
| 16+ | 7.2 | 4.2 |

It has already previously been verified that a comparatively close relationship prevails between the percentage of summerwood and specific gravity, and, as it was just mentioned, that the amount of summerwood influences the shrinkage quite decidedly. From this it follows that there is a known relationship between specific gravity and the percentage of shrinkage. The results of the examination also show this as is seen from the following group of average values.

| Specific gravity | Percentage of shrinkage: In the direction of the radius | Percentage of shrinkage: In the direction of the tangent |
|---|---|---|
| <0.40 | 3.4 | 6.4 |
| 0.40—0.45 | 3.9 | 7.4 |
| 0.46—0.50 | 4.4 | 8.0 |
| 0.50+ | 4.8 | 8.6 |

It has already become apparent in the foregoing that changes in the percentage of moisture influence the strength characteristics only below the fiber saturation point. Likewise it has been mentioned that the shrinkage in wood begins at the same point and it has been explained why both these phenomena, the increase and shrinkage in strength, are so closely connected to each other.

In literature on the matter somewhat differing opinions are presented as regards at what degree of moisture the fiber saturation point is to be found. Most usually it is mentioned that it is found at a percentage of moisture fluctuating between 25 % and 30 % and that it varies somewhat in the various species of wood.

In connection with the examination under consideration, several special experiments were made in order to ascertain the matter in question. Several typical cases are shown of these results in the graphic plate 11.

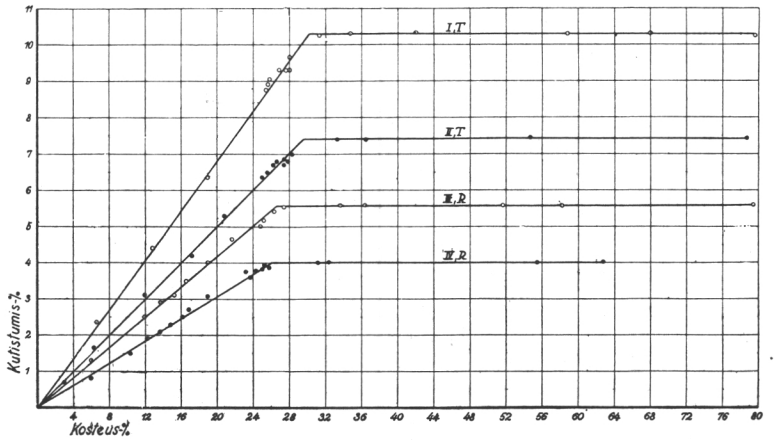



Plate 11. The initial point for the shrinkage of wood.

As it is observed from the drawings, in test specimens I and II in which shrinkage was measured in the direction of the tangent, the shrinkage began almost exactly at the point where the percentage of moisture was 30 %. In test specimens III and IV, measured in the direction of the radius, the shrinkage began, on the other hand, at a point of 26 % to 27 %.

The difference between the initial points of shrinkage in the direction of the tangent and the radius was noticeable in all the cases. Therefore it does not evidently arise from any accidental circumstances but may be regarded as a rule. In view of the structure of wood it can also be well explained as arising because of plausible reasons.

When the moisture in wood falls below 30 %, the water between the fibrils of the wood cell begins to decrease and the fibrils press closer to each other, the whole cell becomes smaller and the texture formed by these cells begins to shrink. Shrinkage in the direction of the tangent does not have any outward hindrances. Therefore the decrease in the size of the cells causes immediately a shrinkage of the whole texture. Shrinkage in the direction of the radius is not so free, but the heart ray cells which are in a perpendicular

position as regards the other cells, resist it because, as it is known, the wood cells do not shrink lengthwise to a degree worth mentioning. Because of this resistance of the heart ray cells, shrinkage in the direction of the rays does not begin at once when the cells begin to become smaller, but only then when the contraction of the cells has progressed so far that the shrinkage force caused by this is able to overcome the resistance of the heart cell rays.

Inasmuch as shrinkage in the direction of the tangent begins already at least at a point of 30 %, and the strength accordingly begins then to increase, it has been presumed in this examination that the fiber saturation point is at a percentage of moisture of 30 %.

## A Comparison of the Results of Various Researches.

Inasmuch as the various strength values for the Finnish pine have been discovered on the basis of the examination under consideration, it should no doubt be particularly interesting to compare these results with corresponding strength values for the pine obtained in other countries and also with other kinds of trees, in order that some kind of a picture should be obtained of the fact as to in what relation the Finnish pine stands first to similar types of trees grown in other countries, second to other types of pines, and third to other types of trees. However, it must be admitted immediately that fully competent comparisons are difficult to make. In one tree some strength characteristics can happen to be good, others, on the other hand, in other trees. Therefore, for some particular purpose, one tree is better than another whose many characteristics are better than the former.

A comparison of the figures showing the various characteristics of wood to the corresponding figures obtained in another country presupposes nevertheless that the experiments on which the figures are based are carried out in a similar manner and that the figures obtained are converted as regards the various facts affecting the results, such as, for example, the percentage of moisture, in order to be capable of comparison, and also that the figures obtained can be regarded as representing trees of the species in question grown throughout the whole country or in some part of it.

When keeping in mind these points of view the material for comparison becomes restricted to a very great extent. No other experiments in general than those made in the United States, Canada, England, Sweden, and Finland fulfil the conditions regarding uniformity in the procedures of research. Inasmuch as the results obtained in these countries are accordingly the only ones possible for purposes of comparison, there may be reason to investigate how the other conditions of comparison stand in relation to the results ascertained.

In the United States during the last two decades so many systematically conducted strength examinations of trees have been made that the number of experiments concerning important species of trees already goes up to many tens of thousands. Inasmuch as the experimental material has also been gathered as extensively as possible from the locality of growth of each type of tree, the average values obtained may comparatively well be regarded as representing the corresponding species of trees throughout the whole country. Possibly the average values are somewhat too high as generally there have been chosen as experimental trees the best and most beautiful specimens from each locality of growth.

As regards the experiments performed in Canada, somewhat the same can be said as previously stated concerning the experiments performed in the United States, observing however the fact that the Canadian experiments are

not so multitudinous as those of the United States. Nevertheless their average values are no doubt worthy of comparison as additional experiments would hardly change to any great degree the average values obtained heretofore.

The material which has been examined in England is relatively limited. There have been only 22 test specimens of test trunks used in examinations concerning the pine but these were sufficiently large, at breast height 17 $^1/_2$″ —30 $^1/_2$″, so that close to 4 000 test specimens were obtained from them. Furthermore, the experimental trees were taken from several different regions and in addition, judging from the sketches of the localities of growth, from comparatively divers types of forests. Therefore the average values of the results can be regarded as representing at least to some extent the pines of the whole of England.

In addition to the experiments performed with wood grown in England, tests have also been conducted in that country with wood imported from Sweden and Archangel (320 planks from the region of Skellefteå and 128 planks from Archangel).

All the strength values obtained in experiments performed with dry test specimens in the above-mentioned countries have been reduced to correspond to the same percentage of moisture (12 %), and all the experiments applying to green wood have been performed with test specimens in which the percentage of moisture is for certain above the saturation point, at which point the variation in moisture does not in any way affect the strength. Accordingly the results, as between themselves, are worthwhile for purposes of comparison.

The material used in researches in Sweden is particularly poor. It includes 8 trunks grown on the sandy plain of the province of Upsala and 28 planks and strips which were brought from sawmills in the provinces of Upsala, Jönköping, and western Norrland. About 1 800 test specimens were obtained from the whole supply of material.

As regards this material quite a number of remarks can be made. In the first place the test trees taken from the forest were chosen very one-sidedly. Secondly, nothing was mentioned regarding the principles which were observed in the selection of the material taken from the sawmills. Therefore there is no guaranteeing of the fact that it would have been made impartially.

Because of the research material thus used, the Swedish results can not be regarded as worthwhile for purposes of comparison. Inasmuch as the Swedes themselves have, however, used these results in comparing the trees of their own country and other countries and especially inasmuch as these comparisons have been presented before such a worthy forum as the world congress of the forestry experimental stations held in Stockholm in 1929 and the article treating this matter has been entered into the records of this congress (Proceedings of the international congress of forestry experimental stations, Stockholm 1929), these results can not in even this connection be passed by entirely and there accordingly is perhaps justification for examining them somewhat more closely.

In the above mentioned publication (on page 268) there is a graphic presentation in which the specific gravity (0.40—0.60) has been noted on the abscissa and on the ordinate the verified compression strength when compressing parallel to the grain. In this coordinate there have been noted the compression strength values of the Swedish and »American» pine.

First of all the fact becomes conspicuous in this drawing that compression strength has been compared in trees in which the percentages of moisture are vastly different, 23 %—30 % for the green Swedish pine and 6 %—10 % for the dry, 30 % for the green American tree and 12 % for the dry. Inasmuch as it is known that each percent of moisture near these values affects the compression strength values by about 4 %, they should have been converted to correspond to the same percentages of moisture before they could be compared to each other. A second peculiarity in this drawing is the fact that the comparisons of the strength values have been made upon the supposition that the specific gravity of the trees being compared is in all cases the same. Accordingly such a result has been arrived at as is apparent from a certain other graphic drawing (Schlyter och Winberg, 1929, page 22 fig. 3); namely, that the bending strength of the long needle pine *(Pinus palustris)* is inferior to the Swedish pine. On quite the same basis it could be claimed that if the specific gravity of the Swedish pine should be 7.0, its compression strength would be more than twice as great as that of steel. At the same time this may show how a comparison performed on such a basis is misleading. Another peculiar »incident» is the fact that the »*Pinus ponderosa*» has been taken to represent the United States pines in the comparisons pictured above. This is of course explained in the manner that this pine grows in a region which climatically resembles Swedish conditions most closely and that this pine is to a high degree like the Swedish pine as regards its physical and structural characteristics. Even though such is the case there should not be permitted to be taken, in the name of all fairness, a species of trees which forms only about $^1/_{10}$ of the whole United States production of coniferous lumber and which in addition is the most inferior as regards its strength characteristics of the 15 species of United States pines whose characteristics have been examined in the Madison laboratory, as representative of all the United States pines, at least in the manner that has been made in the comparison under consideration.

Still another peculiarity appears in the above mentioned publication of Schlyter and Winberg. In this publication (page 22, figure 5) there are presented comparisons of the Swedish pine and »United States» wood. The figures showing the bending strength of the latter have been obtained by computing some kind of average values for the bending strength of 113 United States trees. All the coniferous and deciduous trees examined in the Madison laboratory up to the end of the year 1919 are contained in these 113 types of trees. It need not be necessary even to mention that through the assistance of this average-value monstrosity, the Swedish pine has been found to be better than »United States wood».

The test material in the research under consideration regarding the strength characteristics of the Finnish pine embraces in all 95 trunks, as it has already been previously mentioned. The material is not therefore particularly extensive for an examination of this nature, but values representing the Finnish pine in its entirety can however be computed comparatively satisfactorily from the results. The material includes trees from all those types of forests where the pine grows generally, and the strength values of the pine corresponding to each type are obtained by computing the corresponding average values for the results obtained from trees taken from the various regions — Northern and Southern Finland have been regarded separately

inasmuch as they differ from each other particularly noticeably. On the other hand it is observed from the valuation results of the Finnish forests (Ilvessalo 1927, table 85) that the supply of pine trees in Southern Finland has been divided as follows among the various types of forests (only those types of forests have been taken into consideration which are represented in the material of the research under consideration):

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 3.5 | % | of | the | supply | of | pine | trees | is | found | on | OMT | and PyT land |
| 27.6 | » | » | » | » | » | » | » | » | » | » | MT | land |
| 47.1 | » | » | » | » | » | » | » | » | » | » | VT | land |
| 7.8 | » | » | » | » | » | » | » | » | » | » | CT | land |
| 5.9 | » | » | » | » | » | » | » | » | » | » | in vegetative bogs | |
| 91.9 | % | Total | | | | | | | | | | |

When the average values weighted with the above percentage figures for the corresponding strength values for each of these types of forests are calculated, there will be obtained figures which place the Southern Finnish pine in a comparatively favorable position.

In opposition to these average values can of course be made the statement that they represent only the prevailing class of trees of naturally normal, clear pine forests and not the whole supply of pine trees. The statement is justified, it is true, but when it is taken into consideration that the experimental material used in other countries is not nearly so well chosen, the results obtained are accordingly perhaps well worth while in comparing with the results obtained in other countries and these can also be regarded for a perfectly good reason as portraying the strength characteristics of pine lumber and other rough pine products obtained from Southern Finland.

It has already previously been mentioned that the experimental material obtained from Northern Finland is comparatively scanty and the results obtained for this material quite irregular. Therefore no weighted average values have been computed for them, but only the unweighted arithmetic average values of the figures showing strength obtained from the various types of forests have been taken into the following comparisons to represent the Northern Finnish pine.

The figures showing the strength of the pine as obtained in the researches performed in the above mentioned countries have been compiled in tables 9 and 10. In addition to the most important species of pine of North America there has also been taken for purposes of comparison the Douglas fir, inasmuch as it has made its appearance on the European market during the past few years as a close competitor of our pine.

All the American and English figures which have appeared in inches and pounds have been converted into the metric system, at the same time rounding them out somewhat. The figures concerning green trees have not been converted by reason of the various percentages of moisture inasmuch as these percentages with the exception of the Swedish experiments have always been found to be at least at the fiber saturation point or above this figure. Therefore the differences in the amount of moisture have not affected the strength values. On the other hand all the strength values concerning dry trees have been converted to correspond to the figure of 12 % used by the Americans and the English, except in comparatively few cases where the percentage of moisture varied only a trifle from 12 %.

Table 9. **Comparisons between the strength values**
*Experiments with*

| Experimental locality and type of tree | Yearly rings per cm. | % of summerwood | % of moisture | Specific gravity | Static bending | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Carrying modulus | | Modulus of rupture | | Modulus of elasticity | |
| | | | | | kg. per cm². | Index of comparison | kg. per cm². | Index of comparison | 1 000 kg. per cm². | Index of comparison |
| Experiments conducted at Princes Risborough with English pine; rough, average values | 4.35 | 41 | 84.75 | 0.43 | 237 | **88** | 412 | **87** | 89 | **102** |
| Results obtained at the Princes Risborough laboratory for the Swedish and Archangel pines | 10.0 | 40 | 77.5 | 0.40 | 237 | **88** | 408 | **87** | 90 | **103** |
| Results of the Swedish researches for the Swedish pine | 6.5 | 20 | 23-30 | 0.46 | 300 | **112** | 515 | **109** | 120 | **138** |
| Results of the Forestry research institute for the Finnish pine — Southern Finnish weighted average values | 7.7 | 25.2 | **30** + | 0.50 | 269 | **100** | 471 | **100** | 87 | **100** |
| Results of the Forestry research institute for the Finnish pine — Northern Finnish rough average values | 10.0 | 19.8 | **30** + | 0.46 | 236 | **88** | 354 | **75** | 75 | **86** |
| Experiments conducted at the Madison laboratory with United States wood | | | | | | | | | | |
| Pinus taeda | 3.2 | 42 | 70 | 0.59 | 329 | **122** | 532 | **113** | 100 | **115** |
| » palustris | 7.1 | 39 | 47 | 0.64 | 378 | **141** | 609 | **129** | 114 | **131** |
| » echinata | 4.7 | 40 | 64 | 0.50 | 315 | **117** | 560 | **119** | 102 | **117** |
| » lambertiana | 4.7 | 34 | 123 | 0.39 | 238 | **88** | 357 | **76** | 66 | **76** |
| » ponderosa | 7.9 | 22 | 95 | 0.42 | 217 | **81** | 350 | **74** | 68 | **78** |
| » strobus | 6.3 | 31 | 74 | 0.39 | 224 | **83** | 357 | **76** | 71 | **82** |
| Douglas fir (grown on the coast) | 5.1 | 35 | 36 | 0.52 | 350 | **130** | 546 | **116** | 111 | **128** |
| » » (grown in the mountains) | 8.7 | 27 | 38 | 0.44 | 252 | **94** | 448 | **95** | 83 | **95** |
| Experiments conducted at the Ottawa laboratory with Canadian wood | | | | | | | | | | |
| Pinus banksiana | 5.5 | 22 | 42 | 0.45 | 252 | **94** | 441 | **94** | 82 | **94** |
| » Murrayana | 9.8 | 23 | 58 | 0.45 | 210 | **78** | 399 | **84** | 90 | **103** |
| » resinosa | 5.9 | 23 | 75 | 0.43 | 203 | **75** | 357 | **76** | 76 | **87** |
| » ponderosa | 10.2 | 16 | 70 | 0.49 | 231 | **86** | 399 | **84** | 80 | **92** |
| » strobus | 5.1 | 18 | 97 | 0.36 | 203 | **75** | 329 | **70** | 74 | **85** |
| Douglas fir (grown on the coast) | 5.9 | 33 | 33 | 0.47 | 329 | **122** | 525 | **111** | 113 | **130** |
| » » (grown in the mountains) | 7.9 | 28 | 34 | 0.46 | 280 | **104** | 483 | **103** | 92 | **106** |

In order to facilitate comparisons there have been noted in addition in parallel columns the comparative figures for all strength values in such a manner that the relation in percent between the various values has been computed in order to compare with the corresponding values for the Southern Finnish pine, which has been listed as 100 %.

In examining the tables the observation can be made that the Southern Finnish pine stands up well in comparison alongside the English and even the Swedish pine. The values obtained from the experiments performed by the Swedes are somewhat higher, it is true, than the strength values for the

**of different woods as obtained in the various countries.**

*green wood.*

| Compression parallel to the grain | | | | | | Compression perpendicular to the grain | | Hardness | | | | | | Cleavage | | | | Tension perpendicular to the grain | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Carrying modulus | | Modulus of rupture | | Modulus of elasticity | | Carrying modulus | | R | | T | | E | | R | | T | | R | | T | |
| kg. per cm². | Index of comparison | kg. per cm². | Index of comparison | 1 000 kg. per cm². | Index of comparison | kg. per cm². | Index of comparison | kg. | Index of comparison | kg. | Index of comparison | kg. | Index of comparison | kg. per cm². | Index of comparison | kg. per cm². | Index of comparison | kg. per cm². | Index of comparison | kg. per cm². | Index of comparison |
| 140 | **70** | 203 | **86** | 97 | **63** | 25 | **100** | 201 | **112** | 199 | **104** | 205 | **104** | 37 | **119** | 41 | **128** | 25 | **125** | 33 | **157** |
| 128 | **64** | 207 | **88** | 94 | **61** | 19 | **76** | 169 | **94** | 163 | **85** | 168 | **85** | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 175 | **88** | 255 | **109** | — | — | 30 | **120** | 205 | **111** | — | — | 185 | **94** | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 200 | **100** | 235 | **100** | 153 | **100** | 25 | **100** | 179 | **100** | 191 | **100** | 197 | **100** | 31 | **100** | 32 | **100** | 20 | **100** | 21 | **100** |
| 144 | **72** | 181 | **77** | 115 | **75** | 22 | **88** | 147 | **82** | 162 | **85** | 159 | **81** | 34 | **110** | 33 | **103** | 20 | **100** | 20 | **95** |
| 200 | **100** | 257 | **109** | — | — | 39 | **156** | 204 | **110** | — | — | 186 | **94** | — | — | — | — | 19 | **95** | 20 | **95** |
| 269 | **135** | 307 | **131** | — | — | 42 | **168** | 268 | **145** | — | — | 249 | **126** | — | — | — | — | 25 | **125** | 27 | **129** |
| 256 | **128** | 267 | **114** | — | — | 34 | **136** | 254 | **137** | — | — | 222 | **113** | — | — | — | — | 22 | **110** | 25 | **119** |
| 164 | **82** | 177 | **75** | — | — | 25 | **100** | 141 | **76** | — | — | 145 | **74** | — | — | — | — | 15 | **75** | 14 | **67** |
| 146 | **73** | 167 | **71** | — | — | 25 | **100** | 141 | **76** | — | — | 136 | **69** | — | — | — | — | 14 | **70** | 14 | **67** |
| 166 | **83** | 176 | **75** | — | — | 20 | **80** | 136 | **74** | — | — | 141 | **72** | — | — | — | — | 14 | **70** | 14 | **67** |
| 238 | **119** | 276 | **117** | — | — | 37 | **148** | 213 | **115** | — | — | 232 | **118** | — | — | — | — | 14 | **70** | — | — |
| 176 | **88** | 210 | **89** | — | — | 32 | **128** | 182 | **98** | — | — | 204 | **104** | — | — | — | — | 25 | **125** | — | — |
| 141 | **70** | 210 | **89** | 88 | **58** | 27 | **108** | 181 | **101** | 186 | **97** | 191 | **97** | 36 | **116** | 32 | **100** | 24 | **120** | 25 | **119** |
| 155 | **78** | 199 | **85** | 100 | **65** | 20 | **80** | 159 | **89** | 168 | **88** | 154 | **78** | 34 | **110** | 34 | **106** | 22 | **110** | 25 | **119** |
| 107 | **54** | 163 | **69** | 80 | **52** | 20 | **80** | 150 | **84** | 159 | **83** | 150 | **76** | 32 | **103** | 34 | **106** | 23 | **115** | 29 | **138** |
| 151 | **75** | 199 | **85** | 88 | **58** | 25 | **100** | 186 | **104** | 195 | **102** | 181 | **92** | 36 | **116** | 39 | **122** | 25 | **125** | 29 | **138** |
| 118 | **59** | 165 | **70** | 83 | **54** | 15 | **60** | 118 | **66** | 122 | **64** | 122 | **62** | 29 | **94** | 30 | **94** | 20 | **100** | 25 | **119** |
| 204 | **102** | 258 | **110** | 121 | **79** | 33 | **132** | 195 | **109** | 204 | **107** | 240 | **122** | 34 | **110** | 36 | **113** | 25 | **125** | 26 | **124** |
| 181 | **91** | 212 | **90** | 109 | **71** | 32 | **128** | 195 | **109** | 195 | **102** | 231 | **117** | 41 | **132** | 41 | **128** | 29 | **145** | 33 | **157** |

Finnish pine but as it has already been previously mentioned, weighty objections can be made against the test material used by the Swedes. Also the fact that the values obtained in England for the Swedish pine are noticeably lower than the Swedes' own values points in this same direction. This variation can, it is true, also be affected by the fact that there has been also used to some extent the pine of Archangel in the experiments concerning the Swedish pine and performed by the English, and inasmuch as the results have not been stated separately as regards this aspect, these latter values can reduce slightly the values for the Swedish pine, presupposing of course that the pine

Table 10. **Comparisons between the strength values**
*Experiments with*

| Experimental locality and type of tree | Yearly rings per cm. | % of summerwood | % of moisture | Specific gravity | Static bending | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Carrying modulus | | Modulus of rupture | | Modulus of elasticity | |
| | | | | | kg. per cm². | Index of comparison | kg. per cm². | Index of comparison | kg. per cm². 1 000 | Index of comparison |
| Experiments conducted at Princes Risborough with English pine; rough, average values | 4.23 | 40 | 12 | 0.45 | 483 | **90** | 806 | **99** | 112 | **97** |
| Results obtained at the Princes Risborough laboratory for the Swedish and Archangel pines | 10.0 | 42 | 12 | 0.44 | 411 | **77** | 893 | **110** | 133 | **116** |
| Results of the Swedish researches for the Swedish pine | 6.5 | 20 | 12 | 0.46 | 533 | **100** | 856 | **105** | 124 | **108** |
| Results of the Forestry research institute for the Finnish pine — Southern Finnish weighted average values | — | — | 13 | — | — | — | 662 | **81** | 112 | **97** |
| Results of the Forestry research institute for the Finnish pine — Northern Finnish rough average values | 8.5 | 28.5 | 12 | 0.49 | 535 | **100** | 815 | **100** | 115 | **100** |
| | 10.3 | 24.0 | 12 | 0.45 | 472 | **88** | 732 | **90** | 98 | **85** |
| Experiments conducted at the Madison laboratory with United States wood | | | | | | | | | | |
| Pinus taeda | 3.2 | 42 | 12 | 0.59 | 644 | **120** | 910 | **112** | 135 | **117** |
| » palustris | 7.1 | 38 | » | 0.64 | 707 | **132** | 1085 | **133** | 144 | **125** |
| » echinata | 4.7 | 40 | » | 0.58 | 609 | **114** | 935 | **115** | 134 | **117** |
| » lambertiana | 4.7 | 34 | » | 0.39 | 399 | **75** | 567 | **70** | 84 | **73** |
| » ponderosa | 7.9 | 22 | » | 0.42 | 448 | **84** | 651 | **80** | 89 | **77** |
| » strobus | 6.3 | 31 | » | 0.39 | 434 | **81** | 623 | **76** | 91 | **79** |
| Douglas fir (grown on the coast) | 5.1 | 35 | » | 0.51 | 630 | **118** | 860 | **106** | 143 | **124** |
| » » (grown in the mountains) | 8.7 | 27 | » | 0.44 | 450 | **84** | 680 | **83** | 99 | **86** |
| Experiments conducted at the Ottawa laboratory with Canadian wood | | | | | | | | | | |
| Pinus banksiana | 5.5 | 22 | 13 | 0.45 | 420 | **79** | 714 | **88** | 103 | **90** |
| » resinosa | 5.9 | 23 | 13 | 0.43 | 406 | **76** | 714 | **88** | 101 | **88** |
| » ponderosa | 10.2 | 16 | 12 | 0.49 | 441 | **82** | 714 | **88** | 108 | **94** |
| » strobus | 5.1 | 18 | 12 | 0.36 | 364 | **68** | 609 | **75** | 87 | **76** |
| Douglas fir (grown on the coast) | 5.9 | 33 | 12 | 0.47 | 620 | **116** | 944 | **116** | 151 | **131** |
| » » (grown in the mountains) | 7.9 | 28 | 12 | 0.46 | 590 | **110** | 912 | **112** | 123 | **107** |

of Archangel, just as the Northern Finnish pine according to Finnish researches, is inferior to that grown more to the south.

It is of course too bad that such corresponding figures are not obtainable from other nearby competing countries. Researches have however been made to such an extent that it can be said that the pine grown on the southern side of the Baltic Sea is, as regards strength, inferior to our pine (compare, for example, the results of Kalninsch). It would also be particularly interesting to obtain information regarding the pine of our closest competitor, Russia. Experimental results are obtainable from that country only as regards

**of different woods as obtained in the various countries.**

*oven-dry wood.*

| Compression parallel to the grain | | | | | | Compression perpendicular to the grain | | Hardness | | | | | | Cleavage | | | | Tension perpendicular to the grain | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Carrying modulus | | Modulus of rupture | | Modulus of elasticity | | Carrying modulus | | R | | T | | E | | R | | T | | R | | T | |
| kg. per cm². | Index of comprsaion | kg. per cm². | Index of comparison | kg. per cm². | Index of comparison | kg. per cm². | Index of comparison | kg | Index of comparison | kg. | Index of comparison | kg. | Index of comparison | kg. per cm². | Index of comparison | kg. per cm². | Index of comparison | kg. per cm². | Index of comparison | kg. per cm². | Index of comparison |
| 248 | **63** | 434 | **90** | 118 | **67** | 50 | **98** | 308 | **122** | 322 | **113** | 350 | **114** | 46 | **105** | 57 | **130** | 32 | **114** | 44 | **138** |
| 319 | **81** | 465 | **97** | 118 | **67** | 40 | **78** | 224 | **89** | 237 | **83** | 273 | **89** | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 327 | **83** | 510 | **106** | — | — | 44 | **86** | 249 | **98** | — | — | 289 | **94** | — | — | — | — | — | — | — | — |
| — | — | 413 | **86** | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 395 | **100** | 480 | **100** | 175 | **100** | 51 | **100** | 253 | **100** | 286 | **100** | 308 | **100** | 44 | **100** | 44 | **100** | 28 | **100** | 32 | **100** |
| 307 | **78** | 390 | **81** | 126 | **72** | 42 | **82** | 212 | **84** | 233 | **81** | 275 | **89** | 43 | **98** | 47 | **107** | 30 | **107** | 32 | **100** |
| — | — | 574 | **120** | — | — | 85 | **167** | 322 | **119** | — | — | 367 | **119** | — | — | — | — | 37 | **132** | 32 | **100** |
| — | — | 634 | **132** | — | — | 99 | **194** | 413 | **153** | — | — | 454 | **147** | — | — | — | — | 45 | **161** | 41 | **128** |
| — | — | 550 | **115** | — | — | 82 | **161** | 363 | **134** | — | — | 367 | **119** | — | — | — | — | 37 | **132** | 36 | **113** |
| — | — | 334 | **70** | — | — | 41 | **80** | 177 | **66** | — | — | 240 | **78** | — | — | — | — | 24 | **86** | 18 | **56** |
| — | — | 375 | **78** | — | — | 52 | **102** | 204 | **76** | — | — | 254 | **82** | — | — | — | — | 25 | **89** | 20 | **63** |
| — | — | 354 | **74** | — | — | 41 | **80** | 186 | **69** | — | — | 231 | **75** | — | — | — | — | 23 | **82** | 19 | **59** |
| — | — | 620 | **129** | — | — | 72 | **141** | 326 | **121** | — | — | 367 | **119** | — | — | — | — | 21 | **75** | — | — |
| — | — | 455 | **95** | — | — | 62 | **122** | 284 | **105** | — | — | 322 | **105** | — | — | — | — | 22 | **79** | — | — |
| 223 | **56** | 355 | **74** | 97 | **55** | 49 | **96** | 222 | **88** | 254 | **89** | 277 | **90** | 43 | **98** | 43 | **98** | 34 | **121** | 37 | **116** |
| 226 | **57** | 375 | **78** | 100 | **57** | 49 | **96** | 204 | **81** | 236 | **83** | 254 | **82** | 45 | **102** | 48 | **109** | 34 | **121** | 41 | **128** |
| 266 | **67** | 428 | **89** | 96 | **55** | 53 | **104** | 263 | **104** | 277 | **97** | 340 | **110** | 43 | **98** | 55 | **125** | 30 | **107** | 35 | **109** |
| 228 | **58** | 334 | **70** | 89 | **51** | 41 | **80** | 150 | **59** | 159 | **56** | 204 | **66** | 30 | **68** | 36 | **82** | 21 | **75** | 27 | **84** |
| 351 | **89** | 482 | **100** | 145 | **83** | 62 | **122** | 280 | **111** | 276 | **97** | 334 | **108** | 36 | **84** | 43 | **98** | 25 | **89** | 29 | **91** |
| 269 | **68** | 488 | **102** | 127 | **73** | 67 | **131** | 292 | **115** | 300 | **105** | 344 | **112** | 43 | **98** | 52 | **118** | 32 | **114** | 32 | **100** |

researches made for the needs of the airplane industry, which in addition have been carried out by observing different processes than in the countries mentioned above. These researches have given the Russian pine slightly higher strength values than those given by the Finnish results noted above, but inasmuch as the Russian researches have been made especially for the airplane industry with test specimens taken from carefully chosen pine trunks, the results can by no means represent the average values for the Russian pine but are much higher than that. There are likewise no reasons which should justify the right to take for granted that the Northern Russian pine generally

should be stronger than our pine. It is much more probable that it is as regards strength about the equal of our pine.

When comparing the Finnish pine and the North American pine with each other, it is observed that all the Canadian types of pine are inferior to the Finnish pine, likewise the *Pinus lambertiana*, *P. ponderosa*, and *P. strobus* of the United States pines, the pitch-pines of the south, on the other hand, are better as regards strength characteristics than the Finnish pine, but the difference between the most important characteristics is not however greater than 20—30 %. When it is also taken into consideration that the pitch-pine species are noticeably heavier than the Finnish pine, a characteristic which in all the forms most often used is a detriment, it is observed that the Finnish pine as regards its strength characteristics is not even much inferior to the best species of pine in question of the world.

During the past few years the Americans have extensively advertised the Douglas fir, praising its strength characteristics. The figures presented in the tables show however that it has been exaggerated greatly in this respect. The Douglas fir does not appear to be even very much superior as regards its strength characteristics, to the Finnish pine. The Douglas fir coming from certain regions such as from the mountain ranges of western United States (Montana and Wyoming) is even noticeably inferior to the Finnish pine.

As it has already been mentioned, the figures portraying the various strength characteristics are not, as such, absolutely competent standards to show the general quality or efficiency of some species of wood. First it is to be observed that the figures presented reflect the strength of flawless specimens, and the practical suitability of wood is affected greatly by the method as to how the flawless specimens and how many specimens being used for practical purposes can be obtained from the tree. In many forms of usage the size of the pieces obtainable is also a fact to be taken into consideration. Second, the strength values presented are average values obtained on the basis of an extensive supply of test material. The more the individual values deviate from the average value, the more irregular the wood is as regards quality and the greater the degree of certainty to be used in construction. This disadvantage can, it is true, be alleviated by the careful sorting of material, but generally it is of course to the advantage of the species of wood if it is, as regards its characteristics, as regular as possible. On the other hand a great degree of variation can in some cases be even an advantage: then exeptionally good pieces can be chosen for the practical purposes especially required.

In judging the practical suitability of wood for the various purposes of usage, facts to be taken into consideration in addition to strength characteristics are the outward appearance, color, odor, taste, contraction, warp, etc. of wood, and first of all its permanency or longevity. Some particular purpose can be affected quite decisively by some characteristic regarded generally as of secondary importance. It is seen from this that it can not be said absolutely for certain and in each case competently on the basis of nothing but the strength characteristics that the trees or some species of trees of some country are so and so many percent better than others, but some kinds of general comparisons can, however, be made by the use of strength values as between various trees.

## Concluding Remarks.

The examinations carried out confirm the fact already previously observed that the technical characteristics of wood are apparently dependent upon the types of forests. Therefore the types of forests are accordingly well adapted also as a basis for the examinations explaining these characteristics.

The examination can also give practical forest management considerable assistance. It can already now be stated somewhat certainly that it does not pay to search for a pine used for example in the building of airplanes, for which among other necessities it is required that its percentage of summerwood should be at least 25 %, in Northern Finland, but in the vaccinium and calluna types of forests of Southern Finland.

It is not yet however certain that even nearly all the pines of the types of forests mentioned would be suitable for the purpose stated, because it has also been observed that the various characteristics of wood can vary a great deal in the same region and among trees of even the same type. The influence of the type on the characteristics of wood is not accordingly exactly regular and unchanging. This fact, which at first glance appears as a disadvantage, has however a very important favorable side: it shows that in addition to the quality of the ground, the climate and other more or less unchangeable factors of growth, even other, changeable factors affect the quality of tree of some type of forest. Among this group of factors there are no doubt even such which a person can influence by his own actions. It arises from this that technical characteristics of wood can probably be developed in the desired direction by means of various measures for the care of forests.

Inasmuch as it is known that certain characteristics in wood grown in a particular type of forest have generally been well developed, just these characteristics can be especially worked on through the assistance of processes of management. The fact that a wood is not as regards its strength characteristics just as good among all types, can also be taken advantage of. When the strength is low, several other characteristics can on the other hand be well developed. Inasmuch as such a tree, in which for example lightness, small shrinkage, or something similar is a most important characteristic when strength has a secondary position, is suitable for some practical purposes, even this kind of a tree can be grown among some specified types of forests.

It remains to be explained as a matter of further research how the various measures of care among the various types affect the different characteristics of growing trees. Thus it will be disclosed through the aid of forest technological research how forests are to be grown so that there is not only obtained from them as much wood as possible but that it is as good as possible as regards its known characteristics.