

PUUN MEKAANILLIS-TEKNILLISTEN
OMINAISUUKSIEN TUTKIMUKSESTA,
SEN TULOKSISTA JA TEHTÄVISTÄ.

KIRJOITANUT
I. LASSILA.

THE MECHANICO-TECHNICAL PROPERTIES OF
WOOD; THEIR STUDY AND ITS OBJECTS.

HELSINKI 1926.

Alkulause.

Metsäteknologia on laajin metsätieteistä. Siihen kuuluu m.m. puun jalostus, joka nykyään on jo siksi laaja ala, että se yksinään käsittää ainakin kaksi laajaa tiedettä, nim. puun mekaanillisen ja puun kemiallisen teknologian. Metsäteknologia onkin senvuoksi jo aikoja sitten menettänyt sen yhtenäisyyden, joka sillä vielä esim. GAYER'in aikoina oli, ja suotavaa olisi, että se jo metsätieteellisessä opetuksessa jaettaisiin ainakin 3:een osaan, nim. metsäteknologiaan (= metsäteknologia sanan ahtaammassa merkityksessä) sekä puun mekaaniseen ja kemialliseen teknologiaan. Teknillisessä korkeakoulussamme esim. on tämäntapainen jako jo asiallisesti suoritettu.

Rajaa puun mekaanisen teknologian ja metsäteknologian sanan ahtaammassa merkityksessä välille on sangen vaikea vetää, mutta vähitellen kai sekin muodostuneee sangen tarkaksi, niin että kaikki ne puun ominaisuudet, jotka eivät edellytä muutoksia itse puuaineessa tulevat kuulumaan jälkimmäiseen, jota vastoin edellinen tulee käsittämään puun korjaamisen ja sen mekaanisen jalostuksen.

Seuraavassa on käsitelty puun mekaanillis-tekniillisten ominaisuuksien tutkimusta, sen tuloksia ja tehtäviä. Tarkoitus on ollut pääasiallisesti luoda järjestelmä näiden ominaisuuksien käsittelylle sekä todeta, kuinka pitkälle niiden tutkimuksen alalla tähän asti on päästy. Lopuksi on myös viitattu muutamaiin tärkeimpiin kysymyksiin, joiden tutkimus tekijän mielestä on lähitulevaisuuden tehtävä.

Kuten lukija teosta seuratessaan huomaa, ovat kirjallisuusluettelot usein puutteelliset. Niinpä viitataan teoksessa usein tekijöihin, joiden nimiä ei kirjallisuusluettelossa tapaa. Syystä, että tekijä on tehnyt suuren osan muistiinpanoistaan opintomatkoillaan ulkomailla, osaksi *Englannissa*, mutta pääasiallisesti *Ranskassa*, *Tanskassa* ja *Ruotsissa* ja syystä, että tekijä ei silloin ole ollut täysin selvillä siitä, mitä muistiinpanoja hän tulisi julkaisujansa varten tarvitsemaan, ovat usein teosten nimet, julkaisuvuodet j.n.e. jääneet merkitsemättä muistiin, eikä tekijä ole myöhemmin voinut tätä puutteellisuutta korjata.

Meiltä puuttuu eräs sangen tärkeä edellytys metsäteknologisten tutkimusten suorittamiseen, nim. metsäteknologinen laboratorio. Tekijä toivoo, että hänen jul-

kaisunsa osaltaan antaisi käsityksen sen perustamisen tärkeydestä maahamme, ja sen vuoksi on tekijä osaltaan tahtonut viitata niihin seikkoihin, joiden tutkimus meillä olisi otettava päiväjärjestykseen.

Erikoisesti pyytää tekijä puolestaan huomauttaa, että prof. A. K. CAJANDER'in metsätuotannoteoria varmasti tulee muodostumaan myös metsäteknologisen tutkimuksen pohjaksi ja tekemään mahdolliseksi metsäteknologian alalla sellaisten tulosten saavuttamisen, jotka voidaan paremmin soveluttaa käytäntöön kuin tähänastiset.

Korkeakoskella heinäkuulla 1926.

Tekijä.

Sisällysluettelo:

	Siv.
I. Johdanto. Puun mekaanillis-teknilliset ominaisuudet.	9
II. Historiallinen yleiskatsaus puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkimukseen.	11
III. Puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkimus ja sen tulokset	39
A. <i>Puun paino</i>	45
1. Absoluutisesti kuivan puun ominaispaino	49
2. Kuivan puun ominaispaino	51
a. Maapallon osien vaikutus	52
b. Puun horisontaalinen leveneminen	53
c. Puun vertikaalisen levenemisen vaikutus	55
d. Maanlaadun vaikutus	55
e. Puun aseman metsikossa vaikutus	59
f. Iän vaikutus	62
g. Puun eri osien vaikutus	64
h. Kaato-ajan vaikutus	67
i. Puun vikanaisuuksien vaikutus	67
j. Solujen väriaine- ja hartsipitoisuuden vaikutus	68
k. Puun uiton vaikutus	69
3. Tuoreen puun paino	72
a. Vuodenaikojen vaikutus	73
b. Eri puunosien vaikutus	74
c. Puun aseman vaikutus	77
d. Kaato-ajan vaikutus	78
e. Maanlaadun vaikutus	78
B. <i>Puun vesipitoisuus</i>	82
1. Puun absoluuttinen vesipitoisuus	84
a. Puun kuivan painon vaikutus	84
b. Puulajin vaikutus	84
c. Puun aseman metsikossa vaikutus	85
d. Eri rungonosien vesipitoisuuden vaikutus	86
e. Vuodenajan vaikutus	86
f. Vuorokauden ajan vaikutus	90
g. Ilmastollisten tekijöiden vaikutus	91
h. Maan vesipitoisuuden vaikutus	92
i. Haihtumisvirtauksien puussa vaikutus	93

	Siv.
2. Puun kuivumisilmiö	95
a. Kaadetun, karsimattoman ja katkomattoman puun kuivuminen ..	96
b. Kaadetun, karsitun, kuorimattoman puun kuivuminen	97
c. Kaadetun, karsitun, katkotun ja osaksi tai kokonaan kuoritun puun kuivuminen	100
d. Kaadetun, karsitun, katkotun, kuoritun tai halaistun puun kuivuminen	105
3. Puun vedenimemis- ja uppoamisilmiö	108
4. Vesipitoisuuden vaihteluista johtuvat puun ko'on muutokset	109
a. Puun kokoonkutistuminen	109
b. Puun paisuminen	112
c. Puun halkeileminen	113
d. Puun kieroileminen	117
C. Puun lujuusominaisuudet	123
1. Puun vetolujuus	126
2. Puun puristuslujuus	128
a. Vesipitoisuuden vaikutus	131
b. Puun aseman metsikossa vaikutus	131
c. Leikkauksen aseman puussa vaikutus	132
d. Maanlaadun vaikutus	133
e. Vertikaalisen ja horisontaalisen levenemisen vaikutus	134
f. Painon vaikutus	134
3. Puun taivutuslujuus	135
a. Puun horisontaalisen ja vertikaalisen levenemisen vaikutus	140
b. Puulajin vaikutus	140
c. Puun aseman metsikossa vaikutus	141
d. Puuleikkauksen aseman puussa vaikutus	141
e. Kosteuden vaikutus	142
f. Ominaispainon vaikutus	142
g. Iän vaikutus	142
4. Leikkauslujuus	144
5. Nurjahduslujuus	146
6. Vääntölujuus	147
7. Kovuus	148
a. Voiman suunnan vaikutus	150
b. Puulajin vaikutus	150
c. Puun sisärakenteen vaikutus	150
d. Leikkauksen aseman puussa vaikutus	151
e. Vesipitoisuuden vaikutus	151
f. Puun lämpötilan vaikutus	151
g. Puun painon vaikutus	152
h. Katsaus kovuuteen ja sen merkitykseen	152
8. Puun halkeilevaisuus	154
a. Puun luonnollinen halkeaminen	154
b. Puun keinotekoinen halkeilevaisuus	155
aa. Suunnan vaikutus	157

	Siv.
bb. Kovuuden vaikutus	157
cc. Vesipitoisuuden vaikutus	157
dd. Puun osien vaikutus	157
ee. Lämpötilan vaikutus	158
ff. Puun aseman metsikossa vaikutus	158
gg. Puun ominaispainon vaikutus	158
hh. Puun anatoomisen rakenteen vaikutus	158
ii. Työkalun muodon vaikutus	159
D. Puun johtokyky	162
1. Lämpöön nähden	162
2. Ääneen nähden	163
3. Sähköön nähden	165
IV. Yleissilmäys puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tähänastiseen tutkimukseen sekä tutkimuksen tehtäviin tulevaisuudessa	167
Summary:	
The mechanico-technical properties of wood; their study and its objects	178

I. Johdanto.

Puun mekaanillis-teknilliset ominaisuudet.

Metsäteknologia käsittää kokemuksen ja tieteellisen tutkimuksen kautta saavutetut ja systemaattisesti järjestetyt tiedot metsäntuotteiden tuntemisesta, ominaisuuksista, korjaamisesta, jalostamisesta ja käyttämisestä.

Täten määriteltynä on metsäteknologia käsitelty laajimmassa merkityksessään. Metsäteknologia sanan ahtaimmassa merkityksessä käsittää ainoastaan kokemuksen ja tieteellisen tutkimuksen kautta saavutetut ja systemaattisesti järjestetyt tiedot puun (oikeammin puu-aineen, saks. *Holz*, ransk. *bois*, ruots. *ved*) ominaisuuksista.

Puuaineen ominaisuuksilla on, olivatpa ne mitä laatua tahansa, aina merkitys tekniikassa ja senvuoksi kutsutaankin kaikkia puuaineen l. puun ominaisuuksia yhteisellä nimellä *puun teknillisiksi ominaisuuksiksi*. Ne puiden teknillisistä ominaisuuksista, joiden merkitys on pääasiallisesti mekaaninen ja joiden tutkimustavoissa mekaanisilla menettelytavoilla on pääasiallisin merkityksensä, kutsutaan *puun mekaanillis-teknillisiksi ominaisuuksiksi*. Näistä voidaan vielä erottaa kaksi alaryhmää, nim. *puun fysikaaliset ominaisuudet* eli ne ominaisuudet, joiden tutkimuksessa puuainetta käsitellään aineena sanan fysikaalisessa merkityksessä ja puusta tehtyä kappaletta kappaleena sanan fysikaalisessa merkityksessä ja *puun mekaanillis-teknilliset ominaisuudet* sanan ahtaammassa merkityksessä, jolloin puun ominaisuuksia käsitellään ottamalla huomioon mekaniikan lait ja puuaineen mekaaninen erikoisuus.

Veisi tässä yhteydessä liian pitkälle esittää kaikkia erilaisia ja'oituksia puun ominaisuuksien suhteen; yllä oleva on esitetty ainoastaan senvuoksi, että siitä selviää, mitä jakoperustetta puun ominaisuuksien tutkimusta selviteltäessä seuraavassa tullaan käyttämään. Seuraavan esityksen pohjana on siis ja'oitus, jossa kaikki puun ominaisuudet käsitetään

teknillisiksi ja jaetaan ne kahteen osaan nim. kemiallis-teknillisiin ja mekaanillis-teknillisiin ja on mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkimus menettelytapoinen ja tuloksineen seuraavan esityksen aiheena.

Esitys jakaantuu aluksi nim. *historialliseen katsaukseen*, jossa luodaan yleissilmäys puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkimukseen pääpiirteissään ja *yksityiskohtaiseen selostukseen* puun tärkeimpien mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkimuksesta ja tutkimussaavutuksista yleensä. Viimemainitussa osassa on myös, mikäli on voitu, noudatettu aikajärjestyttä, sillä siten on käynyt mahdolliseksi seurata metsäteknologisen tutkimuksen kehitystä puun kunkin tärkeimmän mekaanillis-teknillisen ominaisuuden suhteen siinä järjestyksessä kuin kyseenalaisen ominaisuuden tunteminen, tuntemisen tarve ja tutkimusmenettelyt ovat kehittyneet. Kolmantena luonnollisena osana liittyy esitykseen *yleisarvostelu* tutkimustavoista ja tutkimussaavutuksista *ehdotuksineen* osaksi *tutkimustapojen parantamiseksi* ja osaksi *tutkimusalan laajentamiseksi*.

II. Historiallinen yleiskatsaus puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkimukseen.

Puuaineen ominaisuuksien, varsinkin puuaineen lujuuden, tunteminen on jo ihmiskunnan sangen varhaisella kehitysasteella käynyt tarpeelliseksi. Kokemusten kerääminen tällä alalla lienee kuitenkin ensin käynyt välttämättömäksi laivanrakennuksen yhteydessä. Kun oli lähdettävä vuolaasti virtaavalle joelle tai myrskyisille rannikoille, puhumattakaan matkoista aavalle merelle, niin oli saatava jonkunlainen varmuus siitä, että alus kestää luonnonvoimien koetukset. Saavutettujen kokemusten perusteella tultiin tuntemaan, millaisesta puusta alus oli rakennettava, jotta se täyttäisi tehtävänsä. Sen täytyi olla puusta, jota voitiin taivuttaa ja muovailta sopivaan muotoon, sen täytyi kestää vedessä mahdollisimman kauan lahoamattomana ja sen täytyi kestää ne kolahdukset, joiden alaiseksi alus mahdollisesti joutui. Sitäpaitsi täytyi aluksen jokaisen osan ja siihen kuuluvien lisä-osien, airojen, mastojen y.m. olla mahdollisimman lujat. Näin tulikin merenkulkija huolellisesti valinneeksi puuaineen, jota hän tarvitsi, ja ottaneeksi selvää siitä, millainen puuaine aluksen kuhunkin osaan oli soveliaain.

Maailman ensimmäinen merenkulkijakansa oli foiniikialaiset, josta tiedetään, että se jo noin 2800 e.Kr. harjotti huomattavaa rannikko-liikennettä. Myöhemmin tekivät foiniikialaiset jo sangen huomattavia merimatkoja. Niinpä lienevät he v. 600-tienoilla e.Kr. purjehtineet Gibraltarin salmen kautta aavalle merelle ja jatkaneet matkaa Britannian ympäri. Edelleen kerrotaan, että he olisivat purjehtineet Afrikan ympäri suunnassa idästä länteen. Selvää on, että näin pitkille merimatkoille tarvittiin kunnolliset alukset, ja tästä syystä ovatkin muinaiset foiniikialaiset saaneet perinpohjaisesti tutkia laivanrakennuspuun ominaisuuksia. Foiniikialaisten kokemuksista tällä alalla ei ole säilynyt mitään heidän aikuisiaan muistiinpanoja, mutta ovat heidän tietonsa siirtyneet niille kansoille, jotka lähinnä heitä oppivat laivanrakennustaidon ja vähitellen

ovat heidän tietonsa myös siirtyneet sellaisille kansoille, jotka merkitsivät ne muistiin. Näistä kansoista mainittakoon etusijassa muinaiset kartaagolaiset, joiden välityksellä laivarakennustaito siirtyi roomalaisille, jotka siitä ovat jättäneet kirjallisia muistiinpanoja.

Vaikk'eivät muinaiset egyptiläiset olleetkaan mitään varsinaista laivanrakentajakansaa, harjottivat hekin jo v. 1500-tienoissa e.Kr. laajaa joki-liikennettä sangen kehittyneillä aluksilla. Muinaiset egyptiläiset taas merkitsivät tärkeimmät tietonsa muistiin. Heidän hieroglyyffikirjoituksensa oli hidasta ja vaikeaa, joten ainoastaan kaikkein tärkeimmät asiat voitiin säilyttää tuleville sukupolville, ja jos oli kysymys erikoisesti jostakin ammattisalaisuudesta, niin olivat muistiinpanot hyvin suppeita ja siihen muotoon laadittuja, ett'eivät niistä muut kuin ne, joilla oli kirjoituksen avain, voineet saada selvää. Laivanrakennuspuun ominaisuuksista on olemassa heidän tekemiään muistiinpanoja, ja käsitellään niissä erikoisesti m.m. airopuuksi kelpaavan puuaineen ominaisuuksia, veneen kaarien rakennetta, mastopuun ominaisuuksia j.n.e.

Kaikkien tieteiden ja taiteiden alalla pääsivät kuitenkin muinaiset kreikkalaiset korkeimpaan kehitykseen. He osasivat käyttää hyväkseen suuren osan heitä ennen eläneiden sivistyskansojen jättämää perintöä, jotapaitsi he osasivat tehdä omia tutkimuksia ja havaintoja ja luoda niiden perusteella laajan teknillisen kirjallisuuden, kirjallisuuden, joka nykyäänkin on kunnioitusta herättävä. Ensimmäinen huomattava kreikkalainen, joka kiinnitti huomiota puuaineen ominaisuuksiin, lienee ollut PYTAGORAS, (570—500 e.Kr.), josta on sanottu, että hän on tutkinut enemmän kuin kukaan muu ihminen. PYTAGORAS muodosti koulukunnan, jolle hän antoi opetusta siten, että ulkopuolella olevat eivät saaneet päästä sitä kuulemaan. Hänen koulukuntansa oli jonkunlainen salainen seura, joka ei yleistyttänyt tietojaan, korkeintaan se jätti ne perinnöksi seuran uusille jäsenille. Näin ollen ei PYTAGORAS'kaan jättänyt jälkeensä mitään kirjallisia muistiinpanoja, vaan siirtyivät hänen oppinsa ensiksi perintönä uusille oppilassukupolville ja sen jälkeen vasta myöhemmin kirjallisuuteen. Mainitaan, että PYTAGORAS on tehnyt tutkimuksia puuaineen lujuusominaisuuksista, mutta on vaikea sanoa, mikä n.k. PYTAGORAAN opeista on hänen ja mikä hänen oppilaittensa. PYTAGORAAN lujuustutkimukset koskivat sillan- ja katon-kannatuspelkkoja.

Runsaasti kirjallisia muistiinpanoja on sitävastoin jättänyt jälkeensä ARISTOTELES (384—322 e.Kr.), Kalkediken niemimaalta kotoisin oleva filosofi ja Aleksanteri Suuren opettaja. Hänen kerrotaan kirjoittaneen

kaikkiaan 1000 teosta, joista kuitenkin vain noin 400 on säilynyt jälki-maailmalle. Näistä 8 käsittää fysiikkaa ja mekaniikkaa, ja niissä hän useissa paikoin käsittelee puiden ominaisuuksia. Meren rannalla syntyneenä hän käsittelee puiden kuljetusta metsästä meren rantaan, siihen tarpeellisia kulkuneuvoja, laivanrakennusta, siltojen, möljiä, puisten nostokoneiden rakentamista y.m.

Myös sotatiede on kehittänyt puiden ominaisuuksien tuntemista. Alkuperäisistä sota-aseista oli suurin osa puusta, sotavankkurit, heitto-koneet j.n.e. sisälsivät puuosia ja sotarakenteissa tarvittiin puuta esim. siltoihin, sota-aluksiin, joiden täytyi olla tavallista lujempia ja tavallista kantavampia y.m. Muinaisten sotien yhteydessä usein kehittyi puu-ainetakin koskeva tutkimus ja erikoisesti mainittakoon tässä suhteessa ARCHIMEDES, joka kartaagolaisten sodassa roomalaisia vastaan teki monta puiden lujuutta ja muita puiden ominaisuuksia koskevaa keksintöä. Hän m.m. ensimmäisenä käsitti puun suuren vetolujuuden. Tässä yhteydessä kannattanee mainita, että ARCHIMEDEEN laki ja parituhatta vuotta myöhemmin lausuttu SIMPSON'in sääntö vielä tätä nykyä CHAPMAN'in nerokkaasti käyttäminä ovat laivanrakennustyön perustana. ARCHIMEDES kykenikin tarkemmin kuin monet sangen paljon myöhemmin eläneet lausumaan johtopäätöksensä lujuuskysymyksissä.

Keskiajan alussa olivat normannit huomattavin merenkulkukansa ja olivat he ensimmäiset, jotka osasivat käyttää purjetta samaan tapaan kuin nykyään. Tähän tarkoitukseen tarvitsivat he vahvoja mastoja ja sen vuoksi täytyi heidän oppia tuntemaan masto- ja raakapuiden ominaisuudet. Välimeren kansat taas kehittivät airojen käytön korkeimmalleen, joten he saivat oppia mitä huolellisimpaan airopuiden ominaisuuksien tuntemiseen.

Jo edellä mainittiin, että sotaretket usein ovat saaneet tekniikan alalla aikaan tärkeitä parannuksia. Myös laivanrakennuksen ja sen yhteydessä olevan puuaineen teknologisen käytön suhteen voidaan tämä sangen selvästi huomata esim. ristiretkien aikoina, jolloin suuria sotajoukkoja kuljetettiin Europasta Palestiinaan. Ristiretkien käytännölliseksi tulokseksi jäikin se, että esim. Venetsiasta, Genovasta ja Pisasta kehittyi ne suuret merenkulkukaupungit, joihin ne sittemmin vuosisatoja pysyivät.

Jokainen uusi kehitysaskel merenkulussa tiesi uutta kehitystä puuaineen ominaisuuksien tuntemisessa, ja jo aikoja sitten oli kehittynyt erityinen laivarakentajain ammattikunta, jolla oli omat mestariohjeensa, joissa tarkimmiten tehtiin selvää siitä, minkälaisesta puusta kukin lai-

vanosa oli rakennettava, miten kukin eri puosa oli kaadettava, kuoritava, kuivattava ja säilytettävä.

Itämeren ympärillä olevissa maissa on laivanrakennus pääasiallisesti saanut kehityksensä rauhallista tietä. Se kehittyi kaupan kehittyessä ja mahtava Hansa-liitto keräsi täällä ensiksi kokemukset laivarakennuksesta ja puuaineen käytöstä. Hansa-kauppias oli usein puutavaraliikemies aivan sanan nykyaikaisessa merkityksessä ja hansakauppiaan toimesta on moni uljas honka- ja tammipuu Suomenkin niemeltä saanut siirtyä rauhallisesta kasvupaikastaan johonkin hansalaivaan masto-, raaka- tai kölipuuksi tai johonkin muuhun tarkoitukseen käytettäväksi.

Rauhallisella tavalla sai myös muinainen Hollannin merimahti alkunsa ja Intian kauppaseura on rakentanut monta uljasta kauppalaivaa, joihin on käytetty tropiikien puulajeja, joilla oli sellaisia ominaisuuksia, joita ei ennen tunnetuilla puulajeilla ollut. Hollannin merivalta sai kuten tunnettua alkunsa vuoden 1300-tienoilla, mutta jo tätä ennen olivat hollantilaiset m.m. sangen perehtyneitä puutavaran jalostajia, (esim. tuulella käyvät sahamyllyt). Puun taivutustekniikka on myös Hollannissa huomattavalla tavalla kehittynyt.

Suuria kauppalaivoja ja sotalaivoja rakennettaessa kehittyivät myöskin puunjalostuskoneet ja niiden nykyaikaiset muodot ovat suureksi osaksi saaneet alkukehityksensä laivatelakoilla.

Ranskan loistoaika merivaltiona oli COLBERT'in aikoina (1660—1692) ja COLBERT'in ansioksi on m.m. luettava se, että asetettiin erikoinen virasto tutkimaan, miten laivarakennusta varten käytettävää puutavaraa parhaiten voidaan hankkia, ja mitä vaatimuksia laivarakennuspuulle semmoisenaan on asetettava, miten sitä on käsiteltävä, miten säilytettävä, parannettava j.n.e. Nämä COLBERT'in Ranskassa aikaansaamat tutkimukset antoivat sittemmin alun koko metsäteknologiselle tutkimukselle, ja johtivat Ranskassa pian kauniisiin tuloksiin.

Englantiin siirtyi laivanrakennustaito osaksi Hollannista ja osaksi Ranskasta. Myös täällä se johti pian monipuolisiin keksintöihin puunjalostuksen alalla. Tässä yhteydessä mainittakoon, että sekä sirkkelisaha että höyrysaha ja höyläyskone ovat saaneet alkunsa Englannin laivaveistämöillä. Englantilaiset oppivat myös sopivasti paloitlemaan puuaineen ja valitsemaan puuaineen eri osat sopivimpiin tarkoituksiinsa ja tällä tavalla saavuttivat he laajan kokemuksen esim. puunrungon eri osien ominaisuuksista.

Samoihin aikoihin kuin laivanrakennustiede ja -taito johtuivat käyttämään hyväkseen puiden ominaisuuksia ja niitä tutkimaan, kehittyi myös

rakennustaide ja rakennustiede tuntemaan puiden ominaisuuksia. Jo kaukaisessa muinaisuudessa oli käynyt tarpeelliseksi tehdä rakennuksia varten suunnitelmia ja piirustuksia. Ensimmäiset rakennuspiirustukset lienevät jo noin 2700-tienoilta e.Kr. On sanottu, että rakennustaide on kaikkien taiteiden äiti. Se on myös useiden tieteiden äiti, sillä rakennusta suunniteltaessa on ollut pakko kehittää paljon puhtaita tieteitä, niinkuin matematiikkaa, fysiikkaa ja kemiaa, geologiaa, minerologiaa sekä empirisiä tieteitä niinkuin mekaniikkaa, mekaanillista teknologiaa ja kemiallista teknologiaa. Että puuaineen ominaisuuksien tunteminen rakennusalalla jo aikaisin on ollut tärkeätä, on ilman muuta selvää. Metsärikkaita maissa on puu ollut luonnollisin rakennusaine ja huomattavaa on, että metsät ennen ovat olleet paljon yleisempiä kuin nykyään. Mutta sielläkin, missä rakennusaineena pääasiallisesti on käytetty kiveä, on myös erinäisiin rakennusten osiin ollut välttämätöntä käyttää puuta. Esim. muinaiset egyptiläiset tarvitsivat rakennuksiinsa sangen huomattavassa määrin puutavaraa ja muinaiset assyrialaiset ja babylonialaiset olivat jo aikaisin pakotetut käyttämään puuaineita virtojen törmille rakentamiensa rakennusten peruspaalutuksiin. Mitä korkeampia rakennuksia rakennettiin, esim. Eufratin ja Tigriksen varsille, sitä enemmän käytettiin puutavaraa rakennuksien korkeammalla oleviin osiin, joihin raskaampia rakennusaineita oli vaikea nostaa. Kun näin ollen tuli kysymykseen puutavaran nostaminen, tultiin myös ottamaan huomioon sen paino ja tällä tavalla tultiin tutkineeksi puuaineen painoa. Kun kuitenkin puuaineella täytyy olla määrätty lujuutensa, tultiin myös tehneeksi huomioita siitä, mitä yhteyttä puuaineen painolla ja lujuudella oli toisiinsa.

Muinaisten kreikkalaisten rakennuksissa oli paljon puuta. Niinpä oli tavallisesti niiden sisäkattona puisten palkkien kannattama laaka kasettikatto. Kattorakenteiden yhteydessä tultiin sekä kauneus- että lujuussyistä tutkineeksi puuliitoksia ja tässä yhteydessä esiintyy ensimmäisen kerran n.s. leikkauslujuus ja sitä koskevat tutkimukset. Rakennusaineiden käytössä muinaiset kreikkalaiset ovat myös tulleet tutkineeksi puuaineen halkeilevaisuutta.

Rakennuksien sisustukseen käytettiin myös puuta ja varmana voitaneekin pitää, että puunleikkaustaito on saanut alkunsa rakennustaiteen yhteydessä. Puunleikkaustaito taas johti tutkimaan puun halkeilevaisuutta, puun kovuutta, puun väriä, puun hienosyisyyttä ja monta muuta puun ominaisuutta. Jo muinaiset egyptiläiset joutuivat kulttikuvia tehdessään tutkimaan puun näitä ominaisuuksia.

Selvää on muuten, että puun veistotaito on suuressa määrin kehittä-

nyt eri puulajien puuaineen ja sen ominaisuuksien tuntemista. Harvinaisia ja kauniita puulajeja käytettiin ensiksi temppelien kalustukseen ja keskiajalla madonnan kuviin, alttariarkkuihin, alttarikaappeihin, kuorituoleihin j.n.e. Keski-aikaisissa luostareissa näpertelivät hurskaat luostariasukkaat tällaisia töitä ja luostareissa säilyi puiden tuntemus niinkuin moni muukin tieto ja taito maailman myrskyiltä. Luostareissa kehitettiin myös rakennustaitoa ja moni nerokas puinen kattotuolirakenne esim. on hurskaan munkin suunnittelema. Moni munkkirakennusmestari on myös kirjoitellut muistiin kokemuksia, joita on saavutettu rakennuksiin käytetystä puutavarasta.

Edelleen on huonekaluteollisuudella tärkeä merkitys puuaineen ominaisuuksia tutkittaessa. Muinaiset egyptiläiset tekivät jo paljon huonekaluja puusta, muinaisten roomalaisten ja kreikkalaisten huonekalustoista on suuri osa myös ollut kivistä, ja yleensä on mainittava, että huonekalujen tarve ennen muinoin oli paljon pienempi kuin nykyään, sillä muinaisaikojen sivistyneet kansat asuivat paljon lämpimämmässä ilmanalassa kuin me ja viettivät paljon suuremman osan ajastaan ulkosalla. Huonekaluja tarvittiin luonnollisesti enemmän siellä, missä ilmanala pakotti ihmiset viettämään suurimman osan ajastaan huoneessa. Huonekaluja alkaakin esiintyä suuremmassa määrin vasta silloin kuin kylmempien maiden kansat alkoivat kehittyä korkeammalle sivistysasteelle. Huonekaluteollisuuden voidaan sanoa alkavan Keski-Europassa vasta 1400-tienoilla. Huonekaluteollisuuden kehitys merkitsi luonnollisesti myös huomattavaa puuaineen tuntemisen kehitystä, jolloin luonnollisesti puuaineen värin, puuaineen syiden rakenteen, puuaineen tekoönkäypäisyyden j.n.e. tunteminen kävi tärkeäksi. Muodostui erityinen puuseppien ammattikunta, jolla taas oli omat kokemuksensa ja tietonsa näistä asioista. Ammattikunta taas säilytti tarkkaan tietonsa osaksi muistiinkirjoitetuinakin ja näin on ammattikuntalaitoksen kautta moni tärkeä metsäteknologinen seikka, esim. liimaus, säilynyt nykyaikaan.

Puun käyttö oli jo keskiaikaan saavuttaessa tullut yleiseksi monella ammattialalla. Puuta käytti hyväkseen rakentaja, laivanrakentaja, puuseppä ja kuvanveistäjä, muista ammattikunnista puhumattakaan. Jokainen ammattikunta tunsikin ne puiden ominaisuudet, jotka olivat sen omalle alalle tärkeimmät.

Vielä on kuitenkin mainittava eräs ala, jossa puuta jo ammoisista ajoista on käytetty. Tämä ala on puun käyttö polttoaineena. Alkuperäisinkin polttopuun käyttäminen johtaa eräiden puuaineen ominaisuuksien tuntemiseen. Opitaan tuntemaan, missä tilassa puu parhaiten syt-

tyy, mikä puulaji syttyy nopeammin ja mikä hitaammin, mikä antaa lyhempi- ja mikä pitempiaikaisen hiilloksen, mikä puu palaa lyhemmässä, mikä pitemmässä ajassa j.n.e. Sitäpaitsi tarvittiin jo aikaisin puuhiiltä, metallien pelkistämiseen. Tällöin jouduttiin kokeilemaan, mistä puulajeista ja miten menetellen paras pelkistämishiili oli saatavissa, s.o. jouduttiin kokeilemaan hiilenpolton alalla. Näin syntyi taas erityinen hiilenpolttaja-ammattikunta ja voidaanpa sanoa, että hiilenpoltoista on saanut alkunsa koko puukemia. Tämän tutkimuksen piiriin kuuluu tältä alalta kuitenkin ainoastaan ne tutkimukset ja kokemukset, joita hiili-puun kaadon yhteydessä on tehty puun kaato-ajasta, puun kuivumisesta ja puun painosta.

Puuaineen ominaisuuksien tunteminen on kehittynyt käytännön pakotuksesta. Se on kehittynyt eri ammattitehoissa ja eri tarkoituksia silmällä pitäen. Entisajan tutkijat, jotka hyvin usein, varsinkin muinaisessa Kreikassa ja Roomassa, harrastivat käytännöllisiä asioita, ovat useissa teoksissaan merkinneet muistiin neuvoja siitä, kuinka erinäisiä kokemuksia puiden käytön alalla on hyväkseen käytettävä. Kun nyt usein ne tarkoituksiperät, joita silmällä pitäen kokemukset ovat tehdyt, ovat olleet sangen erilaiset, niin on selvää, että tiedot ovat olleet sangen ristiriitaisia ja sen vuoksi on niitä yhdisteltäessä tullut mitä erilaisimpiin tuloksiin. Niinpä esim. ARISTOTELES mainitsee, että paras puuhiili saadaan kuoritusta kuivasta puusta, jotavastoin PLINIUS NUOREMPI mainitsee, että paras puuhiili saadaan kuorimattomasta kuivasta puusta. Näiden tietojen välillä oleva ristiriita vähenee kuitenkin paljon, kun otetaan huomioon, että ARISTOTELEEN kokemukset koskevat lehtipuita, jotavastoin PLINIUKSEN kokemukset koskevat havupuuta. Lehtipuun kuoren runsas fosforipitoisuus saa aikaan sen, että rauta, sitä pelkistettäessä lehtipuuhiilellä, käy hauraaksi, jotavastoin siihen käytettäessä kuorellista havupuuhiiltä ei samaa haittaa ole yhtä suurella määrällä huomattavissa, sillä havupuuhiilen fosforipitoisuus on pienempi kuin lehtipuuhiilen.

Samantapaisia esimerkkejä löytyy hyvin paljon juuri hiilenpolton alalla: toinen esim. suosittelee lamamiilua toinen pystymiilua, mutta tulosten eroavaisuus voi riippua esim. käytettyjen puiden laadusta. Joka tapauksessa on se hajanainen tieto, joka muinaisaikojen teoksissa puiden ominaisuuksista löytyy, jo sen kautta arvokas, että se sisältää paljon ilmoituksia sellaisista asioista, joita myöhemmin on voitu ruveta tutkimaan.

Syystä, että kirjojen julkaiseminen ei entisaikoina ollut yhtä helppoa kuin nykyään, ja pienenkin »käsikirjan» aikaansaaminen vaati suuria

kustannuksia, täytyi tyytyä siihen, että ainoastaan mainittiin johtopäätös, johon tekijä oli tullut ilman, että sitä sanallakaan perusteltiin. On siis usein sangen vaikea tietää, onko tekijä itse tutkinut asiaa ja puhuuko hän omasta kokemuksestaan vai onko hän saanut tietonsa muilta. Ainoastaan silloin kuin jotkut muut historialliset tosiseikat tulevat avuksi, voidaan vasta päättää, milloin on kysymyksessä ensi ja milloin toisen käden tiedot.

Siitä, että tietoisuuden piiri oli muinoin paljon ahtaampi kuin nykyään, johtui, että ihmiset muinoin tavallaan olivat nykyisiä monipuolisempia ja että esim. heidän teoksensa käsittelivät useampia aloja kuin nykyään. Tästä syystä ovat myös tieteellisetkin teokset »monialaisempia» kuin nykyään ja varsinkin metsätieteitä koskevat seikat saadaan etsiä monia muita aloja, esim. maanviljelystieteitä, fysiikkaa, vuoriteollisuutta j.n.e. käsittelevistä teoksista.

Seuraavassa mainittakoon lyhyesti muutamia vanhan ja keskiajan tärkeimpiä teoksia, joissa on käsitelty metsäteknologiaa koskevia asioita.

MARCUS PORCIUS CATO on kirjoittanut teoksen nimeltä *De re rustica*. Tämä teos käsittelee maataloutta ja on siinä myös kiinnitetty huomiota puutarhanhoitoon ja metsänviljelykseen. Metsänviljelyksen yhteydessä puhutaan eri puulajien merkityksestä maataloudessa esim. mainitsemalla, mihin maataloudelliseen tarkoitukseen kukin puulaji on sopivin: mikä sopii aisapuuksi, mikä paalutuksiin, mikä siltoihin j.n.e. CATON teoksissa on myös puhtaasti maataloudellisissa osissa kiinnitetty huomiota metsäteknologiaan kuuluviin asioihin, joten hänen teoksestaan voi löytää paljon tätä alaa käsittävää.

Yksinomaan metsätaloutta ja osaksi myöskin puutarhanhoitoa käsiteli COLUMELLA'n kirja *De arboribus*. Tässä teoksessa tekijä pääasiallisesti puhuu puiden viljelemisestä, mutta johtuu myös puhumaan siitä, miten puita on viljeltävä, jotta saavutettaisiin haluttua puutavaraa. Niinpä puhutaan siinä siitä, miten tammimetsää on kasvatettava, jotta siitä saataisiin mahdollisimman suoraa ja oksatonta puuta, ja samassa yhteydessä tullaan myös puhumaan siitä, minkälaisiin tarkoituksiin oksaton puu on tarpeen j.n.e.

Lopuksi mainittakoon vielä PALLADIUKSEN teos, *De re rustica*, joka kokoonpanolleen on suunnilleen samantapainen kuin CATON edellä mainittu teos. Tässä mainitaan m.m. kokemuksia siitä, mitä puulajeja on käytettävä maataloudellisiin tarkoituksiin ja miten käytettävät puut ovat kaadettavat, kuorittavat ja muuten käsiteltävät, jotta ne parhaiten kestäisivät sellaisina pylväinä, joista osa on maassa ja osa ilmassa.

Kaikki nämät teokset ilmestyivät ennen vuotta 500 j.Kr.

V. 500-tienoissa vallitsi kansainvaellusten aika ja ne sekaannukset, jotka siitä johtuivat. Kirjallisuus varsinkin tästä kärsi ja sen vuoksi alkaa, varsinkin luonnontieteiden alalla, sangen hedelmätön aika. Keski-aikaisella luonnontieteellisellä kirjallisuudella on sitäpaitsi oma erikoispiirteensä siinä, että se ei perustu tieteelliseen tutkimukseen luonnossa, vaan vanhojen teosten perusteella syntyneeseen filosofiseen mietiskelyyn.

Tällainen kirjallisuuden johdolla laadittu teos, jota siihen aikaan myös kutsuttiin komplanioksi, oli bolognalaisen senaattorin PETRUS DE CRESCENTIIN kirjoittama teos, *Ruralium commodorum libri XII*, jonka kolmannen osan nimi oli *De arboribus*. Tässä osassa tekijä esittää ensiksi kaikki aristotelisen ja arabialaisen filosofian tiedot puista, joten hänen ansiokseen on luettava, että hän ensimmäiseksi kiinnitti huomiota m.m. niihin tutkimuksiin, joita ARISTOTELES ja hänen oppilaansa tällä alalla ovat tehneet. Mutta kaikkein pahinta asiassa on se, että hän useimmiten omilla skolastisilla viisasteluillaan tekee asioista johtopäätöksiä, joilla ei ole mitään yhteyttä ARISTOTELEEN oppien sen paremmin kuin arabialaisten oppienkaan kanssa. Kun esim. ARISTOTELES puhuu hyvin raskaista, keskinkertaisen raskaista ja keveistä puulajeista, ja jossain arabialaisessa teoksessa on puhuttu puusta, joka on kova kuin kivi ja joka ei pala, siis todennäköisesti kivettyneestä puusta, niin katsoo PETRUS DE CRESCENTIUS tästä voivansa tehdä sen johtopäätöksen, että puut ovat syntyneet siten, että kivet aikoinaan ovat muuttuneet puiksi ja mainitsee hän nähneensäkin sellaisia kiviä, jotka ovat puiksi muuttuneet. Tarkoittaako hän tällä kivetymistä, ei esityksestä selviä.

Keskiaikaisesta spekulatiosta vapaa oli jo sangen suuressa määrin *Praedium rusticum*, jonka laatiminen aloitettiin v. 1550 ja lopetettiin v. 1592. Teosta alkoi kirjoittaa ranskalainen lääkäri ETIENNE, sitä jatkoi ranskalainen LIBAULT, kunnes lopulta ranskalainen lääkäri SEBIZIUS sen saattoi onnelliseen loppuun. Se oli myöskin samantapainen komplatio kuin edellinen, mutta SEBIZIUS ilmoitti nimenomaan teoksen alkulauseessa, että on tärkeätä itse ottaa selvää sellaisista asioista, joita ei käsitä. Tästä syystä on teoksessa aina siellä täällä tekijän omia tutkimuksia sellaisissa kohdin, missä hän on niihin ollut tilaisuudessa, ja tällöin on aina huomautettu, tukevatko tekijän omat tulokset entisiä tutkimuksia tai ei. On siis helposti ymmärrettävissä, että teoksen laatiminen vaati niin pitkän ajan kuin 40 vuotta. Erittäin onnistunut on tässä teoksessa harvennushakkausten käsittely, ja näiden yhteydessä

puhutaan niiden vaikutuksesta puiden hienosyisyyteen ja puiden rakenteen tasaisuuteen.

Nämät kolme tutkijaa ovat oikeastaan ensimmäiset, jotka olivat selvillä siitä, että metsäteknologisten tutkimusten suorittaminen vaatii paljon aikaa ja uhrauksia ja omalla yli 40 vuotta kestäneellä työllään ovat he antaneet tuleville polville kauniin esimerkin.

Kaikille niille metsäteknologisille tutkimuksille, joita edellä on käsitelty, on ollut ominaista se, että niissä tuskin ollenkaan on esitetty puiden ominaisuuksia numeroilla. Yhteistä on niille myöskin se, että aineiston käsittely ei numeroiden puutteessa useimmiten ole voinut saavuttaa edes vaatimatontakaan tieteellistä tarkkuutta.

Ensimmäinen, joka yritti lausua numeroilla puiden ominaisuuksia, oli ranskalainen PARENT. Hän julkaisi *Mémoires de l'Académie des Sciences*'ssä tutkimuksia tammen ja hopeakuusen lujusominaisuuksista. Hän ehdotti, että näitä ominaisuuksia koskeva tutkimustyö järjestettäisiin siten, että jonkun puulajin lujusominaisuus, tässä tapauksessa taivutuslujuus, merkittäisiin numerolla 100, ja muiden puulajien lujusnumerot verrattaisiin siihen. Hänen tutkimustensa tuloksena oli, että tammen lujus suhtautuu hopeakuusen lujuteen = 119:100. Mitä itse tähän lukuun tulee, niin ei se edes suurena keskimääränäkään pidä paikkaansa. Nykyisten tutkimusten perusteella voitaisiin suhteen ehkä sanoa olevan suurena keskimääränä = 150 : 100. PARENT'in ansioksi onkin ainoastaan luettava lukujen käyttö tällaisissa tapauksissa sekä se seikka, että hän ensimmäisenä käytti punnuksia lujustutkimuksissaan ja että hän tarkoin selitti, miten hän oli valinnut tutkimusaineistonsa ja miten hän oli tutkimuksensa suorittanut.

Tarkempia tutkimuksia on tehnyt MUSSCHENBROECK. Tämä hollantilainen tutkija on julkaissut teoksen, jonka nimi on *Intruductio ad philosophiam naturalem*, joka ilmestyi v. 1762. Hän tutki yksityisen puunrungon lujussuhteita. Hän otti selville, minkälainen on puun lujus juurenniskassa, minkälainen se on oksatomassa rungonosassa ja minkälainen latvukseen kuuluvassa rungonosassa. Paitsi näitä seikkoja otti hän selville, kuinka puun lujusominaisuudet vaihtelevat, kun siirrytään määrättyt välimatkat kantoleikkauksesta ylöspäin. Hän oli ensimmäinen, joka tutki, minkälaisia olivat oksien lujussuhteet runkoon verraten, oliko puun eteläpuolella olevan osan ja pohjoispuolella olevan osan lujussuhteilla eroa keskenään, oliko puu lujempaa lähellä sydäntä kuin lähellä pintaa j.n.e. MUSSCHENBROECK'in tutkimuksille on ominaista niiden erikoinen selvyys ja loogisuus sekä

varovaisuus johtopäätöksiä tekemisessä, jotka eivät voineet ollakaan kau'askantoisia, sillä MUSSCHENBROECK'in materiaali oli sangen pieni.

Seuraava huomattava nimi puiden ominaisuuksien tutkimisessa oli LINNE'n vastustajan ja kuuluisan luonnontutkijan GEORGE LOUIS LECLERC BUFFON'in (1707—88)¹⁾. Hänen teoksensa julkaistiin vuosina 1825—29 nimellä *Oevres complètes de Buffon*. Näiden ensimmäinen osa käsittelee puiden ominaisuuksia. Niistä seikoista, joita BUFFON on tutkinut, mainittakoon m.m. seuraavat: mitä vaikuttaa puun kasvunopeus puun lujuteen, mitä siihen vaikuttaa puun ikä, mitenkä vaihtelevat eri puun osien lujusominaisuudet, mitä vaikuttaa puun lujuteen puun erilainen kuivattaminen, mitä siihen vaikuttaa maan laatu, mitenkä suhtautuvat toisiinsa puun ominaispaino ja puun lujus, minkälainen on puun eri osien paino ja mistä seikoista riippuvat painovaihtelut puun eri osissa, minkälaisilta maanlaaduilta saadaan parasta puuta y.m.

Puun ominaisuuksia tutkiessaan pani BUFFON sangen suuren merkityksen vuosiluston rakenteelle ja olisi hän epäilemättä päässyt sangen laajoihin tuloksiin, elleivät hänen tutkimuksensa olisi liikkuneet sangen rajoitetulla alalla, hän tutki nim. ainoastaan tammaa. Hän on m.m. tavallaan ensimmäisenä lausunut, että lujusominaisuuksiltaan hyvä lehtipuu tunnetaan leveistä vuosilustoista ja hän mainitsee, että, jos on verrattava toisiinsa kahta samalla maanlaadulla kasvavaa tammipuuta, on se puu aina parasta, jossa vuosirenkaat ovat leveimmät. Itse asiassa pitääkin tämä väite suuresti katsoen paikkansa, vaikkakin se on liian kategorinen. BUFFON'in nimi on muuten todistuksena siitä, että ranskalaiset tiedemiehet hänen aikanaan pitivät sangen tärkeänä niinkin käytännöllisten asioiden tutkimista kuin puiden ominaisuuksien.

Itse asiassa oli metsäteknologisen tutkimuksen alalla BUFFON'in aikoihin mennessä paljon saavutettu, oli tutkittu puuaineen kaksi ehkä tärkeintä ominaisuutta, nim. puun paino eli niinkuin sitä silloin kutsuttiin puun tiheys, ranskaksi *densité*, ja puiden eri lujusominaisuudet, siksi tarkkaan, että oltiin saavutettu käytännöllisesti katsoen sellaiset tiedot, jotka merkitykseltään lähentelevät nykyaikaisia. Oli myös tutkittu puiden vuosilustoja ja saatu selville niiden perustava merkitys puiden ominaisuuksia tutkittaessa. Puuttui ainoastaan henkilö, joka yhdisti kaikkien entisten tutkimusten tulokset ja asetti puiden ominaisuuksien tutkimuksen tieteelliseen järjestelmään. Tämä mies oli DUHAMEL

¹⁾ BUFFON oli metsänhoitaja. Kts. esim. CHR. GUYOT: *l'Enseignement Forstier en France*. Nancy 1898, siv. 9.

DU MONCEAU. Hän julkaisi v. 1730 ensimmäisen sillä kertaa vielä sängen vaatimattoman teoksensa nimeltä *De la force des bois* sekä sittemmin v. 1780 teoksensa *Traite de la conservation et de la force des bois*.

DUHAMEL DU MONCEAU oli ranskalaisen merisotaväen kenraalitarkastaja ja hänen teoksistaan sanoo kuuluisa metsäteknologian tutkija NÖRDLINGER, että hänen tutkimuksensa puiden ominaisuuksista voidaan terävä-älyisyytensä, filosofisen henkensä, perusteellisuutensa, luonnolakiensa tarkkan seuraamisensa puolesta, jotka viimeainitut tutkija laajasti näyttää tunteneen, pitää esikuvana, jota kaikkina aikoina tulee olemaan vaikea saavuttaa.

DU MONCEAU'n tutkimukset käsittävät ensinnäkin puuaineen säilyttämisen s.o. tutkimuksen siitä, kuinka puu on visseihin tarkoituksiin kasvatettava, kaadettava, kuorittava ja kuivattava, selityksen puun eri osista sekä tutkimuksen puiden ominaisuuksista, joita DUHAMEL kutsuu nimellä puuaineen fysikaaliset erilaisuudet. Nämä ovat hänen teoksessaan seuraavat:

1) puun hygroskooppisuus, jossa DUHAMEL on tutkinut puun vesipitoisuuden vaihtelua eri vuodenaikoina, kuoritun puun vedenhaihduttamista, vedenhaihduttamisen riippuvaisuutta puun poikkileikkauspinta-alan suuruudesta, haihtumisen kulkua yleensä, kuorellisen puun haihduttamista, puun kuivattamista j.n.e.;

2) puun uppoaminen (imbibition), esim. terveen puun, lahovikaisen puun, vastakaadetun puun, kuivan puun, sydänpuun, pintapuun, sääsuhteiden vaikutuksen puun uppoamiseen j.n.e.;

3) kuivan puun veden otto ilmasta (absorbition de vapeur, état hygrométrique du bois);

4) tiheys l. tiiveys (densité) jonka määrittelemiseksi DUHAMEL käytti kaksivartista vaakaa, jonka toisessa varressa oleva puupalanen voitiin upottaa veteen;

5) kovuus (dureté);

6) halkeavaisuus (fissibilité);

7) lujuus (force), josta annetaan siksi perusteellinen esitys, että se vieläkin on perustana puiden lujuustutkimukselle. Erikoisesti mainittakoon että DUHAMEL huomasi tässä suhteessa monta tärkeätä seikkaa, kuten esim., mitä vuosilustojen asema koekappaleessa merkitsee sen lujuudelle.

Jo tämä pieni katsaus osoittaa, että DUHAMEL DU MONCEAU on luonut varsinaisen metsäteknologian eli metsäteknologian sanan ahtaamassa merkityksessä. Hänen tutkimuksensa käsittävät siksi monia puu-

lajeja ja hänen aineistonsa oli siksi laaja, että nämä tutkimukset ovat saavuttaneet klassillisen arvon. DUHAMEL DU MONCEAU'ta onkin pidettävä yhtenä metsätieteen perustajista ja mainitaankin hän täydellä syyllä metsäteknologian isäksi. Voidaan myös sanoa, että jos muut metsäteknologian perustieteet niinkuin esim. fysiikka ja kemia olisivat olleet hänen aikanaan kehittyneemmät kuin ne olivat, ja jos hänellä olisi ollut käytettävänä edes 18-vuosisadan alkuvuosienkaan apuneuvot, niin metsäteknologisella tutkimuksella olisi paljon vähemmän tehtävää kuin mitä sillä nykyään on. Voidaan nim. sanoa, että DUHAMEL DU MONCEAU kaikilla niillä aloilla, joita hän tutki, keksi kaikki senaikaisilla apuneuvoilla keksittävisissä olevat perusseinikat, ja sen vuoksi onkin DUHAMEL'in suurteos ollut se lähde, josta tutkimusaiheita tulevia tutkimuksia varten on ammennettu.

Ennenkuin voidaan jatkaa esitystä puiden ominaisuuksien tutkimustyön kehityksestä on mainittava muutama sana käsitteestä kimmoisuus eli elastisuus. Jos jossain kappaleessa jonkun voiman vaikutuksesta tapahtuu muodonmuutos, pyrkii kappale voiman vaikutuksen tauottua takaisin entiseen asentoonsa. Tätä kappaleen ominaisuutta kutsutaan kimmoisuudeksi eli elastisuudeksi. Jos suorakulmaiseen koordinaatistoon asetetaan ordinaata-akselille vaikuttava voima mitattuna painoyksiköllä pintayksiköllä kohti ja abskissa-akselille neutraalisen kerroksen siirtymisen taivutusasteessa mitattuna pituusyksiköllä, niin syntyy, kun tällaisia mittauksia tehdään tarpeeksi useita, täten merkittyjen pisteiden kautta kulkeva käyrä, jota kutsutaan kimmoisuuskäyräksi.

Aluksi on voiman vaikuttama siirtyminen suhteellinen voiman lisääntymiseen, mutta lopulta tullaan sellaiseen pisteeseen, jossa käyrän siirtyminen tapahtuu nopeammin kuin voiman lisääntyminen edellyttäisi. Tämän pisteen kohdalla on saavutettu n.k. kimmoisuusraja, jonka jälkeen kappale ei enää palaa entiseen muotoonsa. Sitä voimaa, joka vaikuttaa kimmoisuusrajaa vastaavan muodonmuutoksen, sanotaan tietopuoliseksi kantovoimaksi ja ennen aikaan elastisuus-koefficientiksi.

Jos voima kasvaa tietopuolista kantovoimaa suuremmaksi, ei kappale enää palaa entiseen muotoonsa, mutta ei kuitenkaan vielä heti murru. Lopulta tulee kuitenkin kappaleen eri osien välinen kiinnevoima voitetuksi ja voimaa, joka kykenee tämän tekemään, kutsutaan kappaleen murtovoimaksi.

Puiden lujuuden tutkimuksessa ottivat näiden seikkojen tutkimisen ensimmäisenä¹⁾ tehtäväkseen GIRARD ja PERONNET, jotka jo 1800-tienoissa

¹⁾ DU MONCEAU ei tutkimuksissaan ollut selvillä elastisuus käsitteestä, jonka YOUNG ja TREGOLD ovat tuoneet tieteeseen.

tutkivat näiden uusien seikkojen valossa tammen ja valkokuusen lujuusominaisuuksia.

Vähän myöhemmin eli v. 1815 ilmestyi CHARLES DUPIN'in teos *Expériences sur la flexibilité, la force et l'élasticité des bois*. DUPIN otti ensimmäisen kerran käytäntöön puun tutkimisessa kimmoisuuskäyrän, josta jo edellä on mainittu, määritteli tutkittavan puukappaleen neutraalisen tason l. n.k. neutraalisen akselin sekä tutki kimmoisuuskäyrän luonnetta. Hän huomasi m.m. että neutraalisen akselin siirtyminen ennen kimmoisuusrajaa oli suhteellinen taivuttavaan voimaan. Sitäpaitsi pani hän merkille, että kimmoisuusrajan saavuttamiseen tarvittiin muutamille puulajeille verrattain vähän voimaa, jotavastoin murtumisrajan saavuttaminen oli vaikeampi. Tällaisia puulajeja olivat m.m. pyökki, pähkinäpuu, jalava ja valkokuusi. Muutamat puulajit taas kestivät paljon taivutusta, mutta sen sijaan murtuivat helposti, esim. sypressi ja mahonki. Toisille puulajeille taas oli kummankin rajan saavuttaminen vaikea ja näistä mainittakoon korsikalainen mänty ja tammi.

Tämäntapaisen luokittelun perusteella arvosteli DUPIN senjälkeen, mihin tarkoituksiin kutakin puulajia voitiin käyttää.

PONCELET on myöskin tehnyt samansuuntaisia tarkkoja tutkimuksia. Hän on tutkinut puiden kimmoisuuden yksityiskohtia ja etenkin puiden laajenemista kimmoisuuskokeissa. Sitäpaitsi on hän tehnyt MINARD'in ja DESORMEN ja ARDANT'in kokeiden perusteella sen johtopäätöksen, että alkukuormitukset ovat suhteelliset puun vastaaviin pitenemisiin sekä laskenut tämän perusteella kimmoisuuskoeffisientin. Tammi saavuttaa hänen, MINARD'in ja DESORME'n tutkimusten mukaan kimmoisuusrajansa silloin kuin sitä jokaista neliömillimetriä kohti rasittaa 2.13 kilon suuruinen pituussuuntainen voima, jolloin se pitenee 0.0016 alkuperäisestä pituudestaan. Vastaavat luvut ovat ARDANT'in mukaan vogesilaiselle kuuselle 1.85 ja 0.00117. Nämät tutkimuksensa julkaisi PONCELET teoksessaan *Mécanique Industrielle*, v. 1839.

Tämän jälkeen ovat italialaiset PACCINOTTI ja PERI tehneet sangen tarkkoja tutkimuksia puiden kimmoisuudesta. He ovat käyttäneet useita menettelytapoja kimmoisuuskoeffisientin määrittämiseksi ja koettaneet päästä selville menettelytapojensa luotettavuudesta huolellisesti arvostellen niitä. He käyttivät kokeisiinsa puutankoja, joiden poikkileikkaus oli neliö, jonka sivu oli 27—35 mm. He tutkivat vetolujuutta, taivutuslujuutta ja vääntölujuutta eli oikeammin sanoen kimmoisuuskoeffisientteja näissä lujuuksissa. Paitsi tätä ottivat he huomioon sen seikan, että

erilainen puiden kiinnittäminen vaikuttaa tutkimusten tuloksiin ja käyttivät sen vuoksi 5 eri kiinnittämistapaa.

Heidän huomioistaan mainittakoon seuraavaa:

1) puun kimmoisuus aiheuttaa puun eri osissa ko'on muutoksia, jotka ovat suhteellisia kuormituksiin niin kauan kuin ei ole saavutettu murtorajaa ja vieläpä sangen lähellekin murtorajaa;

2) taivutuskokeiden perusteella piirretyt käyrät ovat samanlaisia samoille puulajeille edellyttäen, ettei häiritseviä olosuhteita, kuten esim. oksaisuutta ja epänormaalia kasvua, ole olemassa;

3) jos kimmoisuuskoeffisientti jaetaan ominaispainolla, niin on täten saatu osamäärä kaikille puulajeille konstantti, nim. = 2000.

PACCINOTTIN ja PERIN tutkimukset olivat eräässä suhteessa kuitenkin vaillinaiset. He eivät nim. ottaneet huomioon sitä seikkaa, että ilman kosteus sangen suuressa määrin vaikuttaa näin pienien puukappaleiden kimmoisuuteen. Kun yleensä kimmoisuus on sitä suurempi mitä kuivempaa puu on, niin on myös selvää, että suuremmassa koekappaleessa ilman kosteus vähemmässä määrin tulee samassa ajassa lisänneeksi koekappaleen kosteutta kuin pienemmässä kappaleessa, jossa se nopeasti ehtii tunkeutua suhteellisesti syvälle kappaleeseen.

Hyvin suurta kehitystä puun ominaisuuksien tutkimiselle merkitsi CHEVANDERIER'in ja WERTHEIM'in 1848 Parisissa julkaisema teos *Mémoire sur les Propriétés mécaniques du bois*.

Koska tämä tutkimus on alallaan melkein ainutlaatuinen, kannattaa mainita vähän sen syntymisestä. Tutkimus suoritettiin eräällä Vogeseilla sijaitsevalla 4,000 hehtaarin laajuisella metsäalueella, joka käsitti sangen erilaisia kasvupaikkoja. Koekappaleet valittiin mitä tarkimmin ja selitettiin tarkoin millaisilta paikoilta, millaisessa asemassa kasvaneesta puusta ne olivat otettuja. Samoin otettiin huomioon maaperä, ilman-suunnat j.n.e. Sitäpaitsi oli tutkijoilla käytettävänä mitä parhaimmat tutkimusvälineet ja koneet. 5 päivänä lokak. 1846 he jättivät tutkimuksensa Ranskan Tiedeakatemiaan arvosteltaviksi. Tutkimuksen tarkkuutta todistaa m.m. niiden kysymysten laatu, jotka tutkijat olivat ottaneet vastattavakseen. Ne olivat seuraavat:

1) mitä vaikuttaa vähitellen kasvava kuormitus puuhun, mitä lakeja noudattavat puun muodonmuutokset kuormituksen kasvaessa, mitkä menettelytavat ovat käytännöllisimmät puiden mekaanisten ominaisuuksien arvostelemiseksi ja määrittämiseksi ja

2) vaihtelevatko puun mekaaniset ominaisuudet:

a) puun sijaitsemiseen ilmansuuntiin nähden,

- b) vesipitoisuuden mukaan,
 c) puun eri osien mukaan puun sydämmestä pintaan edeten yhtä korkealla maanpinnasta,
 d) eri korkeuksilla maanpinnasta,
 3) mitä vaikuttaa puun mekaanisiin ominaisuuksiin puusuiden pituus;
 4) mitä vaikuttaa niihin puiden ikä;
 5) mitä vaikuttaa niihin vuosilustojen leveys, expositioni ja maanlaatu;
 6) missä suhteessa ovat puiden ominaisuudet toisiinsa;
 7) mitä keskilukuja voidaan antaa puiden mekaanisista ominaisuuksista ja missä suhteessa nämä ovat toisiinsa?

Heidän saamistaan lopullisista numeroista mainittakoon m.m. seuraavat:

Puulaji	Tiheys (om. paino)	Elastisuus-koefficientti	Lujuus
Tammi	0.616—0.993	500—1600	5—12
Pyökki	0.600—0.811	950—1483	8—12
Hopeakuusi	0.443—0.703	611—1615	5—9
Kuusi	0.396—0.753	433—1776	4—8

Kuten ennen jo on mainittu, käyttivät aikaisemmat tutkijat puun ominaispainolle nimitystä tiheys, ransk. *densité*. Ne luvut, joita yllä on esitetty puiden ominaispainolle, ovat arvioidut n.k. ilmakuivalle puulle. Kun CHEVANDIER ja WERTHEIM eivät olleet tilaisuudessa tutki- maan kaikkien koekappaleittensa ominaispainoa vastakaadettuina, niin keksivät he menettelytavan laskea vastakaadetun puun paino, joka perus- tui siihen, että ominaispainon ja vesipitoisuuden välillä vallitsisi määrätty suhde. Tähän otaksumaan perustuen he keksivät menettelytavan, jota myöhemmin tullaan tarkemmin selostamaan. Kuten myös myöhemmin tullaan huomaamaan, ei heidän otaksumansa täydellisesti pidä paik- kaansa jo senkin vuoksi, että puut kuivuessaan halkeilevat, joten niiden kuutiosisällys ei säännöllisesti haihdunnan kautta kutistu ja sen vuoksi ei myöskään tällaista suoranaista suhdetta ole olemassa. Tästä syystä eivät CHEVANDIER'in ja WERTHEIM'in ominaispainoa osoittavat luvut ole oikeat, mutta poikkeavat ne sängen vähän oikeista. Oikeat luvut olisi- vat suunnilleen seuraavat:

tammi	0.69—1.03
pyökki	0.66—0.83
hopeakuusi	0.37—0.60
kuusi	0.35—0.60

Kuten huomataan ovat erot sängen pienet, melkein pä sellaiset, että keskimäärät tulevat käytännöllisesti katsoen samoiksi.

Edelleen mainittakoon heidän tutkimuksistaan, että he ovat tarkim- miten tutkineet lehtipuiden ja havupuiden suhdetta ilman kosteuden imemiseen ja todistaneet että lehtipuut yleensä pikemmin imevät itseensä vettä kuin havupuut.

Paitsi puiden n.k. fysikaalisista ominaisuuksista ovat he myös tehneet tärkeitä huomioita puiden kemiallisista ominaisuuksista. He ovat m.m. tutkineet puun käyttöä potaskan valmistukseen ja sillä tavalla tulleet tutkineeksi m.m. puun tuhka-ainepitoisuutta. Niinpä ovat he huomaneet että toisista puulajeista tulee enemmän tuhkaa kuin toisista, että talvella ja syksyllä kaadetusta puusta saadaan enemmän tuhkaa kuin kesällä kaadetusta, että juuripuusta saadaan enemmän tuhkaa kuin runkopuusta, että vanhemmasta puusta saadaan enemmän tuhkaa kuin nuoremasta, että uitetusta puusta saadaan sitä paljon vähemmän kuin uittamattomasta. Tässä yhteydessä he ovat tulleet myös lausuneeksi arvosteluja monesta tärkeästä mekaanillis-teknillisestä seikasta.

Sitäpaitsi ovat CHEVANDIER ja WERTHEIM tutkineet puuaineen tuhka- pitoisuutta eri maanlaaduilla. Heidän tutkimusalueillaan oli m.m. seu- raavat maanlaadut: kirjavaa hiekkakiveä, vogesilaista hiekkakiveä, ja kalkkikiveä, joka oli syntynyt maatuneista simpukoista. Niinpä he huomasivat, että viimeainittujen maanlaatu- jen puiden tuhkapitoisuus oli huomattavasti pienempi kuin edellisten ja sitäpaitsi huomasivat he, että laiha hiekkamaan puut olivat tuhkapitoisempia kuin savimaan.

Edellä ei ole mainittu vielä mitään niistä tutkimuksista, joita on tehty puiden polttoarvoon nähden. Huomiot puiden polttoarvoon nähden ovat luonnollisesti ikivanhat ja kuuluu niiden tutkiminen hyvin läheisesti; kuten tuhkapitoisuudenkin tutkiminen, myös puukemian alalle, joten nämä seikat tässä yhteydessä suureksi osaksi sivuutetaan. Mainittakoon kuitenkin, että tältä alalta on sängen vanhoja tutkimuksia, esim. GEORG LUDVIG HARTIGIN tutkimus, jonka nimi on *Physikalische Versuche über das Verhältniss der Brennbarkeit der meisten deutschen Waldbaumhölzer*, joka ilmestyi Marburg'issa v. 1794. Hän rakensi erityisen laitteen tutkimuksiaan varten, erään-

laisen muuratun kattilan, jonka hän täytti vedellä ja jonka lämpötilan hän kohotti 0°:sta 100°:een C sekä mittasi osaksi sen puumäärän, joka tarvittiin tähän lämmön lisäykseen tai poltti määrätyn määrän halkoja ja mittasi sen lämmön lisäyksen, joka syntyi kattilassa olleessa vedessä, tai otti huomioon sen lämmön lisäyksen, joka syntyi kattilassa hiiloksen hehkumisesta sammumiseen asti.

Vähän myöhemmin teki VON WERNECK samantapaisia kokeita käyttäen veden asemasta hienoa hiekkaa. Hän julkaisi tutkimuksensa v. 1808 nimellä *Physikalisch-chemische Abhandlungen über die spezieifischen Gewichte der vorzüglichsten deutschen Holzarten und ihre verschiedene Brennkraft*.

Sekä kokeellisesti että teoreettisesti on polttoarvoa tutkinut DE JUSSIEU teoksessa *Cours de botanique*, joka ilmestyi v. 1842. Hän mainitsee m.m. että puun erilaiseen polttoarvoon paitsi ominaispainoa vaikuttaa puun rakenne. Niinpä esim. pyökissä n.k. primäärinen puu sisältää lingniiniä yhtä paljon kuin selluloosaa, jotavastoin sitä tammen sekundäärisessä puuaineessa on $\frac{2}{3}$ ja ebenholzin sekundäärisessä puuaineessa on $\frac{9}{10}$. Suurempi lingniinipitoisuus lisää polttoarvoa samoin kuin myöskin suurempi väriaineiden, joita J. kutsui nimellä *Xylochrompitoisuus*. Tästä syystä on tammen polttoarvo suurempi kuin nuoren pyökin ja ebenholzin suurempi kuin tammen.

1850-luvulle mennessä oli, niinkuin edellä olevat selostukset osoittavat, jo sängen paljon tutkimuksia ja kirjallisuutta olemassa puiden ominaisuuksien alalta. Oli jo määritelty puiden tärkeimmät ominaisuudet, ja oli keksitty tutkimustapoja ja koneita niiden tutkimiseen. Sitäpaitsi oli jo tällä alalla saavutettu arvokkaita tuloksia, sellaisia tuloksia, joiden arvo oli säilynyt meidän päiviimme asti. Tämä kaikki on tärkeätä tietää, jotta on mahdollista ymmärtää ne suuret tulokset, jotka NÖRDLINGER saavutti. Tunnettu saksalainen metsäteknologian tutkija ja metsäteknologinen kirjailija EXNER on sanonut, että NÖRDLINGER'in saavutukset ovat yhtä suuret kuin hänen edeltäjiensä yhteensä. Tavallaan pitää tämä paikkansa, mutta toiselta puolen voidaan sanoa, että NÖRDLINGER ei olisi voinut saavuttaa niitä tuloksia, joihin hän on päässyt, ellei hänellä olisi ollut niitä edeltäjiä, joista edellä olemme puhuneet. Tämän NÖRDLINGER itse myöntääkin teoksensa alkulauseessa, jonka hän v. 1860 julkaisi Stuttgart'issa J. G. COTTA'n tunnetun kustannusliikkeen kustannuksella. Erikoisesti hän antaa suuren arvon DUHAMEL DU MONCEAU'lle, jonka teoksien huonoa saksankielistä käännöstä hän valittaa. Hän mainitsee, että DUHAMEL DU MONCEAU aina on huomattava yhtenä metsä-

teknologian tärkeimmistä perustajista. Edelleen on mainittava, että NÖRDLINGER on tarkoin käyttänyt hyväkseen kaiken sen, mitä DUHAMEL DU MONCEAU on julkaissut ja että hän on tarkoin tuntenut kaikki DUHAMEL DU MONCEAU'n menettelytavat ja tulokset. Samoin hän antaa suuren arvon CHEVANDIER'in ja WERTHEIM'in tutkimuksille, joiden tulokset ja menettelytavat yhtä mittaa esiintyvät hänen tutkimuksissaan.

Ennenkuin luodaan lyhyt silmäys NÖRDLINGER'in edellä mainittuun pääteokseen, mainittakoon muutama sana NÖRDLINGER'istä itsestään ja siitä, miten mainittu teos syntyi. NÖRDLINGER oli metsänhoitajasukua, hänen isänsä oli tunnettu metsänhoitomies JULIUS NÖRDLINGER. Hän oli saanut perinpohjaisen luonnontieteellisen sivistyksen ja ymmärsi ennen kaikkea, kuinka suuri merkitys puiden ominaisuuksien tuntemisella on metsänhoitomiehelle ja puuta hyväkseen käyttävälle teknikolle. Teoksensa alkulauseessa hän mainitsee: »puiden tarkka tunteminen metsänhoitomiehelle ja puuta käyttävälle teknikolle on siksi tärkeä, ettei siinä suhteessa tarvitse esittää mitään todistuksia. Metsänhoitomiehet ja suuremmat puutavaran käyttäjät tulevat aniharvoin tekemisiin keskenään, varsinkaan välittömästi. Tästä syystä eivät metsänhoitomiehet useimmitenkaan tiedä, mitä ominaisuuksia heidän hankkimallaan puutavaralla on ollut ja toiselta puolen taas rakennusmiehet käsityöläiset ja tehtailijat kokoavat käyttämästään puutavarasta kokemuksia, joiden perussyitä he eivät tunne, sillä heiltä puuttuu kaiken punainen lanka, nim. tieto siitä, millaisissa olosuhteissa puut ovat kasvaneet. Kumpikin seuraa omaa tietänsä, välittämättä toisistaan. Tällä tavalla saavat selityksensä metsänhoitajien tekemät, juurtuneet erehdykset ja ne monet vastakkaiset mielipiteet puiden ominaisuuksista, joita rakennusmiesten ja puutyöläisten keskuudessa oikeidenkin kokemusten ohella tavataan.»

Samalla tavalla kuin laivanrakennus kaikkialla on ollut alkusyynä metsäteknologian kehittymiseen, samalla tavalla myöskin NÖRDLINGER mainitsee kaksi syytä, jotka ovat aiheuttaneet Saksassa metsäteknologisen tutkimuksen kehittymistä. Hän mainitsee, että löytyy kaksi seikkaa, joiden täytyy tässä suhteessa olla Saksassa uranuurtavia, nim. tammipuun suuri käyttö valtionrautateilla sekä vasta alkanut sotailavaston rakentaminen, jotka molemmat seikat ovat saaneet aikaan, että puutavaran hinnat ovat päivä päivältä nousseet.

NÖRDLINGER'in pääteos syntyi siten, että hän joutuessaan luennoimaan metsäteknologiaa, tuli huomaamaan omasta maasta saatujen kokemusten puutteen. Tämän johdosta hän kääntyi Hohenheimin akatemian puoleen anomuksella saada avustusta metsäteknologisten tutkimusten-

toimeenpanemiseksi. Hohenheimin akatemia puolestaan kääntyi Würtembergin kuningaskunnan rahaministeriön puoleen, joka v. 1847 myönsi tarvittavan avustuksen. Suurella innolla ryhtyi NÖRDLINGER valmistamaan yksityiskohtaista ohjelmaansa tutkimuksiaan varten. Juuri näihin aikoihin eli v. 1848 ilmestyi CHEVANDIER'in ja WERTHEIM'in edellä mainittu teos. Sen ilmestymistä tervehti NÖRDLINGER suurella ilolla, lausuen m.m.: »se tuli minulle sitä mieluisempana, koska se etupäässä tutkii kimmoisuutta ja lujuutta, s.t.s. juuri niitä aloja, jotka varsinkin mitä koneisiin ja koneiden hankkimiskustannuksiin tulee olivat minulle vähemmän tunnetut. Niinpä en esim. kyennyt murtamaan koekappaleitani omilla koneillani.»

Työssään oli NÖRDLINGER'illä paljon innostuneita apulaisia. Näistä mainittakoon Tübingen'in yliopiston professori REUSCH, joka alkuaan oli Stuttgartin polyteknillisen opiston opettaja ja sanotun opiston assistentti sittemmin yliopettaja HÄBERLE, joka viimeainittu auttoi NÖRDLINGER'ia tarpeellisten koneiden valmistamisessa sekä tutkimusten tulosten laskemisessa.

Hyvin suurena apuna tässä suhteessa oli NÖRDLINGER'ille myös École forestiere de Nancy'n opettajan GRIMBLOT'in aikaisemmin alkuunpanemat kokeet, joista hän on julkaissut yhteenvedon nimellä, *Precis du cours de construction a l'École de Nancy*, joka teos selvittää Nancy'n metsäopistossa alotettuja tutkimuksia puiden lujuussuhteiden alalla ja joka teos myöskin on EXNER'in mukaan ollut perustavana metsäteknologiselle koetoiminnalle.

Kokonaista 13 vuotta käytti NÖRDLINGER teoksensa laatimiseen, sillä se ilmestyi v. 1860. Sen nimi oli *Die technischen Eigenschaften der Hölzer für Forst- und Baubeamte Technologen und Gewerbetreibende*. Teoksen omistaa hän isällensä JULIUS NÖRDLINGER'ille, »isänmaallisen metsänhoitolaitoksen ansiokkaalle veteraanille hänen 89 syntymäpäivänään uudenvuoden päivänä 1860». Ei ole monta syntymäpäivää sen kunniakkaammin vietetty eikä moni isä ole elämänsä ehtoolla saanut iloita poikansa ansiokkaammasta työstä.

NÖRDLINGER'in teos luo metsäteknologian perusteet, kun metsäteknologia käsitetään sanan ahtaammassa merkityksessä. Se on teos, joka on säilynyt läpi aikojen ja ainoastaan kehittynyt tekniikka ja luonnontieteiden edistyminen ovat tehneet mahdolliseksi sitä täydentää. Sanoimme täydentää senvuoksi, että tosiasiasa ei NÖRDLINGER'ia ole asiallisesti korjattu, on ainoastaan voitu parannella hänen tutkimuksiaan. Päinvastoin täytyy sanoa, että myöhemmät kirjailijat eivät ole osanneet käsitellä

puiden ominaisuuksia niin perusteellisesti ja niin valaisevalla tavalla kuin NÖRDLINGER, joka riippuu siitä, että he eivät ole vaivautuneet edes tarpeeksi tutkimaan NÖRDLINGER'in teosta, eivätkä ole niin ollen olleet selvillä siitä, kuinka perinpohjaisiin tutkimuksiin ja terävään ajatteluun perustui.

Seuraavassa luodaan ainoastaan pintapuolinen silmäys tämän monumentaalisen teoksen sisällykseen, sillä jo se antaa käsityksen siitä perinpohjaisesta työstä, minkä NÖRDLINGER on tehnyt. Teos sisältää seuraavaa:

1) puun anatominen rakenne l. sisäinen rakenne, kuten NÖRDLINGER sitä kutsuu. Tämä käsittää sekä euroopalaiset puulajit että palmut että saniaiskasvit. Se käsittää puun makroskooppisen rakenteen kuvaamalla erikoisia esimerkiksi sopivia puulajeja. Kuvaus on järjestelmällinen erottaen makroskooppisesti puun eri osat määrätyssä järjestyksessä sisältä ulospäin. Sen jälkeen seuraa metsäteknologisia tarkoituksia varten tarpeellinen esitys puun mikroskooppisesta rakenteesta, jossa selvitetään yksityiskohtia myöten, miten ja minkälaisista soluista kukin edellisessä ja'oituksessa mainittu osa on rakennettu.

Tämän jälkeen seuraavat järjestyksessä puiden ominaisuudet. Ne mainitaan seuraavassa ainoastaan luvun nimellä silloin kuin niiden esitys ei ole sen perusteellisempi kuin nykyisissä käsikirjoissa, jotavastoin luvusta tehdään tarkemmin selvää silloin kuin esitys on uudempien oppikirjojen esitystä parempi. Puiden ominaisuudet ovat, edellä mainittu *Innere Bau* niihin luettuna, seuraavat:

2) hienosyisyys.

3) väri, kiilto, läpinäkyväisyys.

4) haju.

5) lämmönjohtokyky.

6) puun kyky imeä ja haihduttaa vettä ja vesihöyryä. Tämä luku on täydellisempi kuin missään nykyaikaisessa teoksessa. Se käsittelee m.m. puun upottamista veteen, jolla on merkityksensä tukinuitossa ja otetaan siinä m.m. huomioon lehti- ja havupuiden uppoaminen, vastakaadetun ja kuivuneen puun uppoaminen, pinta- ja sydänpuun uppoaminen, lahovikaisen puun uppoaminen j.n.e. Edelleen otetaan huomioon vuodenaikojen vaikutus, uppoamisen kehitys heti puun kaadosta kyllästymiseen asti, atmosfäärin seikkojen vaikutus uppoamiseen, uppoaminen makeassa ja suolaisessa vedessä j.n.e. Toiselta puolelta taas tutkitaan sitä, kuinka vesi haihtuu puusta, kun puu on ollut vedessä määrättyihin kosteusasteisiin asti.

7) Ominaispaino l. tiheys l. tiiveys. Myöskin tämä osa on perusteellisempi kuin missään nykyisessä teoksessa, sillä se käsittää m.m. ominais-

painot erilaisille puunleikkauksille, siis sellaisille, jotka ovat suurimmaksi osaksi sydänpuusta tai pintapuusta tai näiden väliltä, jotka käsittävät enemmän vuosilustoja säteen suunnassa tai pitemmältä vuosilustoja pituusakselin suunnassa j.n.e.

8) kovuus.

9) halkeilevaisuus.

10) kutistuminen, paisuminen ja kieroutuminen. Tämä luku käsittää m.m. hyvin ansiokkaan esityksen näiden ominaisuuksien merkityksestä yleisessä jokapäiväisessä elämässä sekä keinoja niistä johtuneiden haitallisuuksien poistamiseksi.

11) kimmoisuus. Tämä luku on käsitelty laajemmin kuin missään nykyaikaisessa teoksessa ja antaa se varmasti paljon ohjeita vastaisille kimmoisuustutkimuksille.

12) notkeus ja sitkeys.

13) lujuus.

14) puun kemiallinen kokoomus. Tästä luvusta mainittakoon erikoisesti, että se osottaa kuinka hämmästyttävän tarkat tiedot NÖRDLINGER'illä oli senaikuisesta puukemiasta. Hänen esityksensä oli täydellisesti senaikuisen tieteen tasalla, jotavastoin myöhemmissä varsinkin saksalaisissa teoksissa tämä osa on ollut sangen vaillinainen, jopa harhaan johtavakin.

15) polttoarvo. Tämä luku käsittää puun polttoarvon erilaisissa tulipesissä ja erilaisiin lämmitystarkoituksiin käytettynä. Se ei ole samanlainen turhanpäiväinen lukujen esittely kuin se kaikissa metsäteknologian käsikirjoissa on, vaan se esittää kaiken sen, mitä silloin puusta polttoaineena polttoainetalouden kannalta tiedettiin, sekä syyt puuaineen erilaiseen käytäntöön polttoaineena, jona mainittakoon erilaiset solussa löytyvät kemialliset aineet, puun terveys, ominaispaino kuivana, ilmanala, kasvupaikka, kaatoaika, ikä, puunosa, uitto j.n.e.

16) kestävyys. Myöskin tämä luku on tavallista täydellisempi käsitäen paitsi puun kestävyyttä eri tilanteissa myös syyt kestäväisyyden erilaisuuteen sekä kestäväisyysvaihtelut puun eri osissa.

17) puun viat.

Kuten jo tästä lyhyestä sisällysluettelosta näkyy, ei oppiin puiden ominaisuuksista ole myöhemmin voitu mitään sellaista lisätä, josta NÖRDLINGER'ille aikoinaan oli mahdollista saada selvää. Ainoa seikka, mikä NÖRDLINGER'iltä näyttää osaksi unohtuneen, on puun äänenjohtokyky ja sähkönjohtokyky. Mutta näistä ominaisuuksista ovat tutkimukset vielä tätä nykyäkin sangen vähäiset. Tunnettua, että NÖRD-

LINGER nämäkin seikat tunsu, mutta yleensä näkyy, että hän on tahtonut välttää teoksessaan kaikkea, joka on liian vähäarvoista niihin asioihin nähden, mitä hän teoksessaan esitti.

Suurimerkityksellisiä metsäteknologisen tutkimuksen kehitykselle 19-vuosisadan puolivälin jälkeen olivat n.k. aineenkoetukset, joita näihin aikoihin alkaa entistä runsaammin ilmestyä. Niitä alkaa ilmestyä teknillisten oppilaitosten yhteyteen ja oli niiden tarkoituksena tutkia kaikkien tekniikassa käytettyjen aineiden ominaisuuksia ja määrätä niiden käytännöllinen arvo. Aineenkoetus on sekä mekaaninen että kemiallinen ja luonnollista oli, että myöskin puu joutui useiden tutkimusten alaiseksi. Näihin aikoihin alkavat valtiotkin antaa suoranaista avustusta metsäteknologiselle tutkimukselle.

V. 1855 pidettyyn Pariisin maailmannäyttelyyn oli englantilainen insinöörikapteeni FRANCIS FOWKE järjestänyt tutkimuksia Englannin siirtomaiden puulajien lujuusominaisuuksista. Samanlaisen näyttelyn järjesti hän myöskin Lontoon maailmannäyttelyyn v. 1862. Tähän näyttelyyn kokoontuneen puumateriaalin tutkiminen, jota saapui kaikista Suur-Britannian siirtomaista, jätettiin näyttelyn jälkeen FOWKEN huoleksi. Hän sai käytettäväkseen HAYWARD TYLER & Co:n valmistaman hydraulisen puristimen, jota hän yksinomaan käytti kokeisiinsa. Tämän koneen avulla tutkittiin 3,000 koekappaletta ja määriteltiin niiden lujuusominaisuudet. Aineisto oli, mitä varsinkin puulajien lukuisuuteen tulee, siis sangen suuri. Mutta puulajit olivat merkityt luetteloihin ainoastaan niillä paikallisilla nimillä, joita milloin minkin maan alkuasukkaat käyttivät, eikä aina ole edes mainittu paikkakuntaa, mistä puulajit olivat kotoisin, puhumattakaan muista tämäntapaisten tutkimusten yhteydessä tärkeistä seikoista. Tästä syystä on tämän jättiläistyön arvo jäänyt sangen pieneksi kaikille muille paitsi niille, jotka voivat saada selvän kyseessä olevien puulajien nimien oikeasta merkityksestä. Tutkimuksensa tulokset julkaisi FOWKE Science and Art Department Committee of Council on Education'in kustannuksella Lontoossa v. 1867 nimellä: Tables of the results of a series of experiments on the strength of british colonial and other woods.

Samalla tavoin julkaistiin Unkarin hallituksen kustannuksella von JENNY'n tutkimus nimeltä Untersuchungen über die Festigkeit der Hölzer aus den Ländern der ungarischen Krone, Budapestissa v. 1873. JENNY on tutkinut puristus-kimmoisuutta ja -lujuutta, leikkauslujuutta puusyiden suuntaan koekappaleille, joiden

suhteen tunnettiin kotipaikka, maanlaatu ja vuosilustojen leveys. Tutkimuksiin liittyi myöskin teoreettisia huomioita.

Näihin aikoihin oli jo milt'ei kaikissa maissa, joissa metsätaloudella on jonkinmoinen merkitys, alettu perustaa metsätieteellisiä koelaitoksia, joiden tehtäväksi tuli tutkia kaikkia niitä seikkoja, joista metsätalouden menestyminen riippuu ja jotka voivat olla omiansa korottamaan metsätalouden aineellista tai rahallista tuottavuutta.

Näitä perustettiin v. 1870 Saksiin ja Badeniin, 1872 Preussiin, Württembergiin ja Thüringeniin, 1875 Baijeriin ja Itävaltaan, 1876 Braunschweigiin, 1882 Unkariin, Ranskaan, Hesseniin ja Elsas-Lothringeniin, 1885 Sveitsiin, 1887 Japaniin, 1901 Tanskaan, 1902 Ruotsiin ja 1917 Suomeen. Sitäpaitsi on osittain täydellisiä tutkimuslaitoksia, osittain tutkimusasemia olemassa Pohjois-Amerikassa, Venäjällä, Rumaniaassa, Italiassa, Belgiassa, Norjassa y.m.

Näiden sekä aineenkoetuslaitosten tutkimuksista mainittakoon m.m. seuraavat: EXNER, Studien über das Rothbuchenholtz, joka ilmestyi Wienissä 1879, Pragin polyteknillisen opiston assistentin KARL MIKOLASCHEKIN tutkimus, Untersuchungen über die Elasticität und Festigkeit der wichtigsten Bau- und Nutzholzer Böhmens. MIKOLASCHEK on tutkinut Böhmissä esiintyviä puulajeja GOLLNER'in koneen avulla ja oli kustakin koepuusta otettu kolme leikkausta nim. yksi heti kannon yläpuolelta, yksi määrättyltä korkeudelta rungosta ja yksi jostakin oksasta. Tutkittiin kimmoisuus, lujuus, nim. veto- ja puristus syiden suuntaan, taivutus- ja torsionikimmoisuus ja lujuus sekä leikkauslujuus puusyiden ja puusyitä vastaan kohtisuorassa suunnassa. Mitään johtopäätöksiä ei näiden tutkimusten perusteella ole tehty. Tutkimukset ovat julkaistuina Itävallan Metsätieteellisen koelaitoksen julkaisuissa.

Erittäin huomattavaa työtä on tällä alalla tehnyt Sveitsin aineenkoetuslaitos Zürichissä. Sen perustaja ja johtaja professori TETMAJER julkaisi tutkimuksensa nimellä Methoden und Resultate der Prüfung der Schweizerischen Bauholzer, joka ilmestyi v. 1883. Tutkimusta varten kaadettiin kaikkiaan 31 kokonaista rakennuspuun runkoa ja näiden suhteen tehtiin seuraavat muistiinpanot: kasvupaikan geologia, kasvupaikan sijaitseminen, kasvupaikan korkeus merenpinnasta, puun ikä ja selitys puun ulkonäöstä.

Samana vuonna ilmestyi BAUSCHINGER'in tutkimus Münchenissä nimellä Untersuchungen über die Elastizität und Festigkeit von Fichten und Kiefern Bauholzer. Tutkimukset

tätä varten olivat tehdyt Münchenin teknillisen korkeakoulun laboratoriossa. BAUSCHINGER tahtoi erikoisesti tutkia kasvupaikan ja kaatoajan merkitystä näihin seikkoihin. Hän käsitti, että pienien koekappaleiden tutkiminen ei voi antaa käytännöllisiä tuloksia sen vuoksi, että puuaine niissä on laadultaan paljon yhdenlaatusempaa kuin suurissa. Senvuoksi hän käytti koekappaleita, joiden jänneväli oli $2\frac{1}{2}$ m. Aineistonsa hän valitsi sangen huolellisesti. Koepuut kaadettiin neljältä maanlaadulta ja olivat ne 90—100-vuotisia. Sitäpaitsi hän valitsi mahdollisimman terveitä ja virheettömiä puita, sillä hänen mielestään olivat puiden vikanaisuudet siksi moninaisia, ettei niiden vaikutusta erikseen voitu määritellä. Tämä tapa on oikeastaan virheellinen, sillä käytännössä saadaan aniharvoin näin hyvää tavaraa, mutta toiselta puolelta voidaan myös määritellä jokseenkin tarkoin, minkälaista puuta BAUSCHINGER oli tutkimuksiinsa käyttänyt. Kun tarkat tiedot lujuudesta ovat välttämättömät juuri silloin kun kuormitukset ovat suuret, niin itse asiassa tällaisessa tapauksessa aina valitaan mahdollisimman hyvää puutavaraa, ja senvuoksi on BAUSCHINGER'in tutkimuksilla merkityksensä silloin kun suurista kuormituksista on kysymys. Kasvupaikkojen määräämisessä noudatti BAUSCHINGER tarkoin Baijerin metsätieteellisen koelaitoksen antamia ohjeita, joten hänen aineistoaan tältäkin kannalta voidaan arvostella. Kaatoajan vaikutuksen selville saamiseksi kaadettiin osa koepuista elokuussa ja osa joulun- ja tammikuussa. Ennen lujuuskokeita tutkittiin koekappaleiden ominaispaino ja kosteus, joten ei tultu vertaamaan tässä suhteessa eriarvoisia koekappaleita toisiinsa. Kun vielä mainitaan, että laskelmissa otettiin huomioon kaikki muodolliset seikat, niin on selvää, että BAUSCHINGER'in tutkimuksilla on suuri arvo ja ovat ne vielä tätä nykyäkin alallaan voittamattomia.

Uudemmissa tutkimuksista mainittakoon RUDELOFF'in lujuustutkimukset vuodelta 1899 sekä SCHWAPPACH'in tutkimukset männyn, kuusen, Strobus-männyn ja pyökin puristuslujuudesta ja irtomittaisesta painosta, jotka ilmestyivät vuosina 1897 ja 1898. Tämän jälkeen ilmestyi 1900-luvun alussa suuret määrät puun lujuutta koskevia tutkimuksia, joista mainittakoon HADEK'in, CIESLAR'in, JANKA'n, WIJKANDER'in, FLURY'n y.m. tekemät tutkimukset.

Kaikkein pisimmällä ovat nykyään lujuustutkimusten alalla ameriikalaiset metsäkoelaitokset, jotka toimivat maanviljelysministeriön alaisena. Nämä ovat m.m. ottaneet tutkiakseen puita sen kokoisina kuin ne käytännöllisissä tarkoituksissa esiintyvät sekä luokitelleet puut sel-

laisia lajitteluperusteita käyttäen, jotka yleensä esiintyvät puutavaramarkkinoilla.

Metsätaloudellinen tutkimustyö on Amerikassa sangen nuori. Vasta 1870-luvun lopulla (1878) perustettiin maanviljelysdepartementin yhteyteen erikoinen metsäosasto (Division of Forestry), v. 1901 se muutettiin erikoistoimistoksi (The Bureau of Forestry). Nykyinen nimitys (Forest Service) on vuodelta 1905. Yhdysvaltojen kuuluisan Forests Products Laboratory'n, Madison, Wisconsinin, perustajina on mainittava Forest Servicen miehet MC GARVEY CLINE ja HOWARD T. WEISS. Vielä 1910 tienoissa sisältyi koko laboratorio MR WEISS'in persoonaan ja arvonimeen sekä — — kahteen galvanisoituun rautasilinteriin, jotka MR WEISS oli hankkinut opettaakseen eräälle lousianalaiselle liikkeelle puun impregnoimista. Seuraava aste oli 125 dollarin suuruinen kuukautinen määräraha huoneuston vuokrausta varten, joka määräraha oli sikäläisissä oloissa siksi mitätön, että sillä ei olisi voinut vuokrata edes kunnollista autotallia. Vasta sittenkin MADISON'in yliopisto oli luovuttanut laboratoriolle ilmaiseksi huoneet, lämmön ja valaistuksen, voidaan tämän kuuluisan laboratorion sanoa saaneen alkunsa. Nykyään on MADISON'in laboratorion henkilökunta yli 200 ja sen vuosimääräraha on noin 300,000 dollaria.

Kun on kysymys MADISON-laboratorion saavutuksista, niin on huomattava, että laboratorio on vielä sangen nuori. Ei siis ole ilman muuta pidettävä sen saavutuksia »maailman parhaina» ja sen tutkimusmenetelmistä huomaa usein, etteivät laboratorion tutkijat läheskään ole selvillä eurolalaisista saavutuksista. Tästä syystä on laboratorio monella alalla varsinkin puiden mekaanillis-tekniillisten ominaisuuksien tutkimuksessa takapajulla eurolalaisista tutkimuksista, mutta toiselta puolen on se puuttunut moneen käytännölliseen seikkaan tavalla, johon eurolalaiset laboratoriot eivät ole pystyneet. Näistä mainittakoon erikoisesti *III:n* sektorin tutkimukset (hygroskooppisuus, lämmönjohtokyky, puun uuni-kuivaus, kuivauksen vaikutus puun ominaisuuksiin y.m.) ja *I:sen* sektorin tutkimukset (erikoisesti suurempien hirsien ja pelkkojen lujouden ja käyttökelpoisuuden tutkiminen, puiden luokittelu erilaisiin n.k. density rules j.n.e., puuseppäteollisuuden tuotteiden lujuustutkimukset, esim. kärrynpyörät puupropellit j.n.e., lentokoneosien tutkimukset ja ennen kaikkea pakkilaatikoiden ja muiden pakkauslaitteiden tutkimukset). Mainittakoon vielä laboratorion laatimat »naiting schedules», jotka skemaattisesti osottavat, miten pakkilaatikkoja mitä erilaisimpia tarkoituksia varten on naulattava, kuinka suurina nauloja on käytettävä j.n.e. Labo-

ratorion tutkimusalaan kuuluu yleensä kaikki, mikä koskee puun sekä mekaanista että kemiallista teknologiaa, esim. puun konserveeraus, puun patologia, puuvanuke, sellulosa, paperi, puun sivutuotteet ja puuteollisuuden jätteet, metsänhakkuu-, sahalaitos- ja mekaaninen jalostustekniikka y.m.

Edellisessä on MADISON-laboratorio käsitelty näinkin laajasti syystä, että se on määrärahoihin ja koneellisiin apuneuvoihin nähden etusijalla kaikista puun mekaanillis-tekniilliselä alalla työskentelevistä laboratorioista ja senvuoksi, että seuraavassa usein tullaan käsittelemään sen menettelytapoja ja tuloksia.

Kanadassa on viitisen vuotta sitten perustettu The Forests Products Laboratories of Canada, joka on melkein kaikessa MADISON'in laboratorion mukainen, mutta sitä paljon pienempi. Sen pääasiallisin tutkimusala on rakennuspuun lujuustutkimukset ja niiden yhteydessä olevat seikat.

Myös Ranskassa on ulotettu lujuustutkimukset puukonstruktioihin. Tutkitaan m.m. erilaisten naulausten, erilaisten ympyräliitosten ja erilaisten poimulevyjen avulla yhdistettyjen puurakenteiden lujutta. 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 enään kuulu metsäteknologian alalle, vaan alkaa puun lujuustutkimus yhä enemmän siirtyä tekniilliselle 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 tulee joutumaan tämän tieteen ulkopuolelle. Samaa voidaan sanoa myös puiden monien muiden ominaisuuksien tutkimisesta. KARMARSCHE oli ensimmäinen, joka hänen aikanaan tunnettujen puiden tekniillisten ominaisuuksien perusteella otti tutkiakseen, miten puita oli käytettävä teollisuustarkoituksiin. Hänen teoksensa nimi on: Die Grundlage für die Örtterung aller technischen Eigenschaften, die zur Verarbeitung und Verwendung des Holzes in der Industrie in Relation stehen. Häntä seurasivat tällä samalla alalla HEYER, STÜBCHEN-KIRCHNER, KICK, GINTL, LEDEBUR y.m.

Kun puiden teknillisten ominaisuuksien tutkimuksesta on puhe, on myös mainittava GAYER'in nimi. Hän ei itse asiassa ole tällä alalla luonut kovinkaan paljon uutta, mutta hän on mainittava sen vuoksi, että hän ensimmäisenä NÖRDLINGER'in jälkeen käsittelee puiden teknillisiä ominaisuuksia sitä systeemiä noudattaen, jonka NÖRDLINGER on luonut. Hän on sitäpaitsi ensimmäinen, joka samalla koettaa luoda yleiskatsauksen puiden teknillisten ominaisuuksien vaikutukseen puun teolliseen käyttöön. Hän on myös mainittava siksi, että hänen julkaisemansa oppikirja on vaikuttanut paljon käsitykseen puiden ominaisuuksista meidän maassamme ja yleensä pohjoismaissa.

Samalla kertaa on myös mainittava henkilö, jolla on ollut sangen suuri merkitys käsityskannan luomiseen näistä asioista pohjoismaissa ja etenkin meillä viime aikoihin asti, nim. ruotsalainen THELAUS, joka oppikirjassaan *Lärobok i skogsteknologi* on ansiokkaasti esittänyt puiden teknilliset ominaisuudet. Hän on yleensä sangen tarkasti seurannut NÖRDLINGER'ia ja suurella arvostelukyvyllä osannut valita ne seikat, jotka hän faktoina esittää. Hän on myös aina osannut ottaa huomioon kunkin erikoisen ominaisuuden käytännöllisen merkityksen ja tällä tavalla on hän luonut teoksen, joka vielä nytkin on sangen arvokas.

Yllä olevassa on esitetty puiden teknillisten ominaisuuksien tutkimuksen pääpiirteet. On tarpeetonta luetella niitä lukuisia oppikirjoja, joita metsäteknologian ja ammatillisen tavaraopin alalla näiden lisäksi myöhemmin on ilmestynyt. Kun edellä oleva aineisto on ollut käytettävissä on yleensä ollut sangen helppo laatia ne teokset, joita näillä aloilla varsinkin Saksassa viime aikoina on tuhkatieheään ilmestynyt.

Puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien selvittelylle ei yleensä metsäteknologisissa teoksissa ole omistettu tarpeellista huolta. Siitä on syntynyt samantapainen yhteenveto kuin entisajan historian oppikirjat, joissa vuosiluvut ja hallitsijain nimet, sotaretket j.n.e. ovat olleet pääasiana, mutta joissa ei ole huomattu esittää historiallisten tapahtumien alkusyitä, eikä niitä suuria lakeja, joita historiallinen tutkimus voi todeta eikä niitä suuria kysymyksiä, joita historiallinen tutkimus tahtoo ratkaista.

Kun seuraavassa ryhdytään tarkastelemaan puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkimusta, tahdotaan niitä käsitellä luonnonilmiönä, joilla on käytännöllinen merkitys ja senvuoksi on seuraavassa tarkoituksena tutkia sitä, miten puiden ominaisuudet ovat määriteltävät, millä tarkkuudella niitä voidaan lausua, mikä on kunkin ominaisuuden käytännöllinen merkitys ja mitä ratkaisemattomia seikkoja tällä alalla vielä on olemassa, sekä miten tutkimusmenettelyjä tällä alalla voitaisiin

kehittää. Puiden ominaisuudet ovat laaja tutkimusalue. Yksityiselle tutkijalle on ollut mahdollista ainoastaan pienissä yksityisseikoissa korjata tai täydentää ennen saavutettuja tuloksia, ja missä tämän teoksen tekijä on sen tehnyt, on ainoastaan lopulliset numerot mainittu, sillä tutkimusmateriaalin esittäminen ei kuulu tämäntapaisen teoksen puitteisiin, yhtä vähän kuin tutkimusmenetelmien yksityiskohtainen selvittelykään. Ne ovat seikkoja, jotka ovat julkaistavat erikoisteoksessa.

Käytettyä kirjallisuutta:

- ARENHOLD, L.: Die historische Entwicklung der Schiffstypen. Kiel und Leipzig 1891.
 BARLOW, A.: Essay on the strength of timber. 1817.
 BELIDOR, E.: Architecture hydraulique. Paris 1782.
 BERTIN, L.E.: Notice sur la marine à vapeur. Paris 1875.
 BETTS, HAROLD S.: Timber, its strength, seasoning and grading. New-York 1919.
 BUFFON, GEORGE, LOUIS, LECLERC, Oeuvres complètes du Buffon, Tome I. Paris 1825.
 CHEVANDIER, E. et WERTHEIM, G.: Memoire sur les propriétés mécaniques du bois. Paris, Bachelier, imprimeur-libraire 1848.
 DUPIN, CHARLES: Expériences sur la flexibilité, la force et l'élasticité des bois. Journal d'Ecole polytechnique. Tome X. Paris 1815.
 DUPONT, et BOUQUET DE LA GRYE. Les bois indigènes et étrangers. Paris 1875.
 ENDRES, MAX: Die Waldbenutzung von 13 bis Ende des 18 Jahrhunderts. Tübingen 1888. Kapitel II.
 FITGER: Wirtschaftliche und technische Entwicklung der Seeschiffahrt.
 GAYER-FABRICIUS: Die Forstbenutzung. Berlin 1919.
 GIRARD, L.: Traité de la résistance des solides. Paris 1798.
 GREELEY, W. B.: Some Public and Economic Aspects of the Lumber industry. Rept 114 of the Office of the Secretary of the United States Department of Agriculture 1917.
 GRÖTSCH, F. W.: Zur Geschichte und dem Wesen der Baumrodung (Forstliche Blätter, 1891).
 HARTIG, GEORG LUDWIG: Physikalische Versuche über das Verhältniss der Brennbarkeit der meisten deutschen Wald-Baum-Hölzer. 2. Aufl. Herborn 1804.
 HESS, RICHARD: Encyklopädie und Methodologie der Forstwissenschaft. Teil II. Die forstliche Produktionslehre. München 1890. 3. Buch. Forstbenutzung.
 INSTRUCTION sur les bois de marine et leur application aux constructions navales. Publié par Ordre de S. Exc. ministre secrétaire d'état au département de la marine. Paris 1842.
 LINDSAY: History of merchant shipping.
 LOREY, TUISKO: Handbuch der Forstwissenschaft. II. Band. Produktionslehre. Tübingen 1912. Die technischen Eigenschaften der Hölzer von Wilhelm Franz Exner.

- LAAS, W.: Die grossen Segelschiffe, Ihre Entwicklung und Zukunft. Berlin 1908.
- DU MONCEAU, DUHAMEL: 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. A. Paris. M. DCC. LXIV, I et II.
- Du transport, de la conservation et de la force des bois. A. Paris MDCCLXVII.
- La Physiques des Arbres pour servir introduction au Traité complet des Bois et des forets. A. Paris MDCCLVIII. I & II.
- Traité de la conservation et de la force des bois. Paris 1780.
- MUSSCHENBROECK, H.: Introductio ad philosophiam naturalem. Ludguni Batavorum 1762. Tom. I.
- NEWLIN, J. A. & WILSON, THOMAS R. S.: Mechanical properties of woods grown in U.S.A. Washington 1917.
- PERONNET: Oeuvres de Peronnet. Tome I. Mémoire sur les pieux et pilotis. 1798.
- PFEIL, FRIEDRICH WILHELM LEFOLD: Vollständige Anleitung zur Behandlung, Benutzung und Schätzung der Forsten. Züllichau 1820. I. Band.
- PACCINOTTI et PERI: Il cemento. III. 1845.
- WINN, WREN: Timber and their uses. London 1919.

III. Puun mekaanillis-tekniellisten ominaisuuksien tutkimus ja sen tulokset.

Käsite, puun ominaisuudet, on aikojen kuluessa muuttunut. Edellä on (siv. 22) mainittu, että DUHAMEL DU MONCEAU erotti seuraavat 7 ominaisuutta: 1) puun hygroskoopisuus, 2) puun uppoaminen, 3) kuivan puun vedenotto ilmasta, 4) puun tiheys l. tiiveys, 5) kovuus, 6) halkeavaisuus ja 7) lujuus, jota vastoin NÖRDLINGER'illä vastaava lukumäärä oli 14, niin seuraavat: 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 l. tiiveys, 8) kovuus, 9) halkeilevaisuus, 10) kutistuminen, painuminen, kieroutuminen, 11) kimmoisuus (elastisuus), 12) notkeus ja sitkeys, 13) lujuus ja 14) puun kemiallinen kokoomus. NÖRDLINGER'in ja'oitus on sittemmin tullut kirjallisuuteen ja säilynyt siinä miltei koskemattomana meidän päiviimme asti. Kaikkia yllä-lueteltuja ominaisuuksia kutsuu NÖRDLINGER yhteisellä nimellä puun teknielliseksi ominaisuudeksi. Näiden ominaisuuksien tarkempaan järjestelmään saattaminen on luettava EXNER'in (Franz Wilhelm) ansioksi, jonka järjestelmä oli seuraava:

I. Puun ulko-muoto-ominaisuudet:

- 1) Puun väri;
- 2) Puun kiilto;
- 3) Puun hienosyisyys;
- 4) Puun tekstuuri;
- 5) Puun haju.

II. Puun aineellista tilaa osottavat ominaisuudet:

- 6) Ominaispaino;
- 7) Vesipitoisuus;
- 8) Ko'on muutokset;
- 9) Vesipitoisuuden ja ko'on muutosten seuraamukset.

III. Puun mekaanillis-teknilliset ominaisuudet:

- 10) Lujuus ja elastisuus;
- 11) Taipuvaisuus ja sitkeys;
- 12) »Varoituskky» (Warnfähigkeit);
- 13) Halkeavaisuus;
- 14) Kovuus.

Ylläolevista enemmän tai vähemmän yksityiskohdissa poikkeavat ja'oitukset voidaan huoletta sivuuttaa. EXNER'in jaoituksella on merkityksensä siinä suhteessa, että se ensikerran asetti puiden ominaisuudet, joiden lukumäärää monet tekijät ovat NÖRDLINGER'in jälkeen lisänneetkin, tieteellisesti pätevään, johdonmukaiseen järjestelmään. EXNER'in järjestelmä loi myös sopivan pohjan puun teknillisten ominaisuuksien käsittelylle, sillä sen kautta tultiin käsittelemään yhdessä niitä ominaisuuksia, jotka olivat sukua toisilleen. NÖRDLINGER'in esitys perustuu suoranaisesti havaintoihin ja kokeisiin. Siinä, missä ei omia havaintoja ole käytettävissä tai missä niitä on liika vähän, siteerataan muiden, pääasiallisesti DUHAMEL DU MONCEAU'n, CHEVANDIER'in ja WELTHEIM'in, TH. HARTIG'in, KARMARSCH'in y.m. havaintoja sekä muodostetaan numeron perusteella kukin johtopäätös. Tällä tavalla välttyy NÖRDLINGER joutumasta kehään, johon puiden ominaisuuksia käsiteltäessä useimmissa varsinkin saksalaisissa teoksissa on jouduttu, kehään, jossa puun ominaisuudet lopulta joutuvat riippuviksi toisistaan, esim. paino väristä, väri painosta, hienosyisyys painosta, paino hienosyisyydestä j.n.e.; jolloin lopulta ei ole voitu todeta muuta kuin se, että puun ominaisuudet ovat riippuvaiset toisistaan. Myös EXNER on suureksi osaksi välttynyt edellä mainitusta »kuolemanrenkaasta», ja senvuoksi tuleekin EXNER'in luomalla järjestelmällä siinä muodossa kuin sen JANKA on kehittänyt aina olemaan metsäteknologian alalla perustava merkitys.

EXNER'in järjestelmän pohjalle, vaikka aivan itsenäisenä ja ilman sen edelläkäyvää tuntemusta, ovat syntyneet ameriikalaiset järjestelmät, joista erikoisesti on mainittava uusimpana Wisconsin'in yliopiston professorin ja Madison'in laboratorin tutkijan ARTHUR KOEHLER'in käyttämä, jossa puun ominaisuudet ovat seuraavat:

I. Puun fysikaaliset ominaisuudet:

- 1) Puun paino;
- 2) Puun vesipitoisuus;
- 3) Puun kutistuminen ja laajeneminen;

- 4) Puun kokoonlysähtäminen;
- 5) Puun sähkön ja lämmönjohtokyky;
- 6) Puun haju ja maku;
- 7) Puun väri.

II. Puun mekaaniset ominaisuudet:

- 8) Puun lujuus;
- 9) Puun sitkeys;
- 10) Puun elastisuus;
- 11) Puun halkeilevaisuus;
- 12) Puun kovuus;
- 13) Puun plastillisuus.

III. Puun kemialliset ominaisuudet.

Fysikaaliset ominaisuudet määrittelee KOEHLER seuraavasti: »aineen fysikaalisia ominaisuuksia ovat ne sen ominaisuudet, joiden ilmeneminen ei edellytä kemiallista muutosta aineessa», ja hänen määritelmänsä mekaanisista ominaisuuksista on: »raaka-aineen (material) mekaanisilla ominaisuuksilla ymmärretään niitä sen ominaisuuksia, jotka antavat sille mahdollisuuden vastustaa ulkonaisia voimia, jotka koettavat muuttaa sen kokoa ja muotoa.»

KOEHLER'in ja'oituksen kautta on metsäteknologian käsittely, kun mainittu tiede käsitetään sanan ahtaammassa merkityksessä, käynyt entistä yksinkertaisemmaksi. Huomattava on kuitenkin, että KOEHLER'in viimeainitusta määritelmästä saadaan sangen pienellä muutoksella se määritelmä, joka pääpiirteissään vastaa yleisesti lujuudelle käytettävää määritelmää. Jos määritelmään nim. lisätään, että on kysymys ulkonaisista ja sisäisistä mekaanisista voimista, joita KOEHLER, kuten hänen oma esityksensä selvästi osottaa, on tarkoittanut, niin silloin onkin lujuusmääritelmä valmis. Täten voidaankin KOEHLER'in mekaanisten ominaisuuksien sijalle asettaa sana: puun lujuus-ominaisuudet.

Mitä taas ryhmään I tulee, niin ovat siinä mainitut ominaisuudet ehdottomasti puun fysikaalisia ominaisuuksia. Mutta toiselta puolelta voidaan niitä sanoa mekaanisiksikin m.m. sen perusteella, että niiden tutkimus ja toteaminen tapahtuu mekaanista tietä ja mekaanisia apuneuvoja käyttäen. Sen vuoksi ei ole mitään sitovaa ja välttämätöntä syytä erottaa niitä eri ryhmään jälkimäisistä. Tästä syystä onkin seuraavassa annettu käsitteelle mekaanillis-teknillinen hieman eri merkitys

kuin ennen, siten, että puun mekaanillis-teknillisillä ominaisuuksilla ymmärretään niitä teknillisesti merkityksellisiä puun (puu-aineen, puuraaka-aineen) ominaisuuksia, joiden toteaminen tapahtuu mekaanista tietä.

Täten tulee näiksi ominaisuuksiksi luettavaksi EXNER'in II (6—9) ja III (10—14) eli KOEHLER'in I (1—5) ja II (8—13).

Kun seuraavan tarkoituksena on esittää metsäteknologisen tutkimuksen tutkimusmetodien tuloksia ja niiden kehitystä, niin on selvää, että seuraavassa käsitellään ainoastaan ne ominaisuudet, joiden tutkimuksesta on exaktisia tuloksia nim. seuraavat:

- A. Puun paino.
- B. Puun vesipitoisuus.
- C. Puun lujuusominaisuudet.
- D. Puun johtokyky.

Käytettyä kirjallisuutta:

DU MONCEAU, DUHAMEL: Op. cit.

NÖRDLINGER, H.: Op. cit.

EXNER, W. F.: Op. cit.

WOOD, W.: A Manual of the Natural History and Industrial Application of Timbers of Commerce. New-York, 1908.

KOEHLER, ARTHUR: The Properties and Uses of Wood. Prepared in the Extension Division of the University of Wisconsin. 1924.

A. Puun paino.

Puun painoerot huomattiin jo aikaisin käytännössä. Se, joka joutui liikuttelemaan saman puun eri osia tai kappaleita eri puulajeista, oppi jo aikaisin etsimään keveintä puuta. Edellä on (siv. 15) mainittu, kuinka esim. assyrialaiden ja babylonilaisten täytyi rakentaa korkeita rakennuksia ja kuinka he tällöin joutuivat sangen tarkoin arvostelevaan käyttämänsä rakennuspuun painoa. Paino onkin sellaisenaan hankaluutta tuottava ominaisuus ja esim. P r a e d i u m r u s t i c u m'issa (esitely siv. 19) on jo jaettu puulajit niiden painon mukaan. Vasta sitten kun huomattiin, että painon perusteella voidaan arvostella muita puun ominaisuuksia, alettiin puun painoa tarkemmin tutkia.

Jos ajatellaan ainoastaan soluseinien painoa, niin saadaan sille määrätty luku, joka kuitenkin ei mitenkään kuvaa sitä, kuinka painava kukin puulaji on. Asianlaita on nim. se, että täten saatu luku on kaikille puulajeille sama, kaikkien puulajien soluseinien ominaispaino on nim. 1.56. Tämän luvun on ensiksi esittänyt SACHS ja on tätä seikkaa myöhemmin tutkinut HARTIG, joka on tehnyt tutkimuksia tammelle, pyökille, koivulle ja kuuselle, ja huomannut SACHS'in luvun oikeaksi, jotapaisi hän on todennut, että sekä pintapuun että sydänpuun paino on sama. Tässä yhteydessä mainittakoon vielä, että selluloosan ominaispaino on EKMAN'in mukaan 1.21. Kuitenkin on mainittava, että jo du MONCEAU ja NÖRDLINGER olivat selvillä soluseinien painon konstanttiudesta, vaikka he arvioivat sen pienemmäksi, nim. 1.40—1.50. S. RUTHERFORD pääsi vielä tarkempiin arvoihin, nim. 1.462—1.534, ainoastaan mekaanisesti jakamalla puuta.

Jo BUFFON'in ajoista asti on lausuttu puun paino ominaispainoa osottavalla luvulla. Kuten edellä on mainittu käytti du MONCEAU sille nimitystä densité, joka taas täydellisesti vastaa NÖRDLINGER'in käyttämää nimitystä Dichte. Myöhemmin on tullut käytäntöön nimitys ominaispaino (Spezifisches Gewicht, Specific Gravity).¹⁾

¹⁾ ENEROTH kutsuu (väärin) lukua 1.56 puun ominaispainoksi.

Puun ominaispaino määrätään siis teoreettisesti siten, että ensin esim. punnitaan joku määrätty kuutiomäärä puuta, ja sen jälkeen yhtä suuri kuutiomäärä vettä, jonka jälkeen edellistä painoa osoittava mittaluku jaetaan jälkimmäistä osottavalla.

DUHAMEL DU MONCEAU käytti tähän tarkoitukseen samanlaista vaakaa kuin ominaispainojen mittaukseen yleensä. Tällaisen vaa'an avulla voidaan puupalanen punnita ensin ilmassa s.o. astiassa, jossa ei ole vettä, ja kun sen jälkeen astia täytetään vedellä, niin laskeutuu vaa'an punnuspuoli alas. Tästä syystä lisätään vesiasian puoleiseen vaakakuppiin se määrä punnuksia, joka tarvitaan tasapainon jälleen saavuttamiseksi. Koska kappale vedessä punnittuna painaa sen verran vähemmän kuin ilmassa, mitä sen syrjäyttämä vesimäärä painaa, niin on vesiasian puoleiseen vaakakuppiin asetettujen punnusten paino yhtä suuri kuin punnitun puukappaleen syrjäyttämän vesimäärän paino. Kun siis vesiasian puoleisten punnuksien paino jaetaan toisen vaakakupin punnuksien painolla, saadaan luku, joka osottaa puun ominaispainoa.

Tällä tavalla voidaan kuitenkin määrätä ainoastaan sellaisten kappaleiden paino, jotka vain pienessä määrin imevät itseensä vettä. Mutta kuiva puukappale ja varsinkin kuiva pintapuukappale imee itseensä nopeasti vettä ja senvuoksi tulee puuaineen syrjäyttämä vesimäärä näyttämään pienemmältä kuin se todellisuudessa on. Nimittäjä puuaineen ominaispainoa osoittavassa murtoluvussa tulee siis oikeata arvoa pienemmäksi ja siitä on seurauksena, että ominaispaino tulee suuremmaksi kuin se todellisuudessa on. Tämän epäkohdan poistamiseksi voideltiin puu alkuaan öljyllä tai kolloidiumilla.

Erästä NÖRDLINGER'in tekemästä kokeesta selviää, että vaikka puu onkin öljytty, niin voi se veteen upotettuna imeä itseensä siksi paljon vettä, että ominaispainon määrittämisessä voidaan tehdä aivan helposti parin % erehdys. Sitäpaitsi aiheuttaa puun öljyminen tai sen siveleminen kolloidiumilla puun kuutiosisällön lisääntymistä, joka seikka myös, kun pieniä koekappaleita käytetään, aiheuttaa virheellisyyksiä.

Jonkun verran parannettu oli SMALIAN'in tapa määrätä puun ominaispaino. Hän käytti ensinnäkin paljon suurempia kappaleita kuin DUHAMEL DU MONCEAU ja menetteli muuten seuraavalla tavalla.

Ensin hän punnitsi puukappaleen mahdollisimman tarkalla vaa'alla, upotti sen jälkeen puupalasen veteen ja määräsi, kuinka paljon vesi astiassa upottamisen kautta oli kohonnut. Täten sai hän tietää, kuinka suuri syrjäytetty vesimäärä oli ja koska veden ominaispaino on 1.0, tiesi hän samalla kertaa syrjäytetyn vesimäärän painon. Tämän jälkeen otti hän

puukappaleen heti vedestä ylös ja punnitsi sen uudelleen. Tällöin huomattiin säännöllisesti, että puukappale vedestä nostettuna painoi enemmän kuin ennen veteen laskemista. Kun nyt vettä oli imeytynyt puuhun, niin oli siis todellisuudessa puun syrjäyttämä vesimäärä tullut arvioitua liian suureksi. Kun SMALIAN tiesi, kuinka paljon puun paino oli lisääntynyt veteen laskemisen jälkeen, niin hän myös samalla kertaa tiesi, kuinka suuri oli tätä painoa vastaava vesikuutiomäärä ja vähennettyänsä sen mittarinsa osottamasta vesimäärästä, hän mielestään sai tietää puun syrjäyttämän vesimäärän oikean volyymin. Mitä tähän SMALIAN'in käyttämään tapaan tulee, niin on se itse asiassa harhaan johtava, vaikka se luonnollisesti onkin tarkempi kuin DUHAMEL DU MONCEAU'n käyttämä tapa. Huomattava on nim., että puu vettyessään paisuu ja että tämä paisuminen ei suinkaan tapahdu samassa suhteessa kuin puuhun imeytyvän vesimäärän painon lisääntyminen. Näin ollen ei siis myöskään SMALIAN'in imeytyvän vesimäärän volyymin perustuva korrekatio ollut täysin oikea.

Joka tapauksessa on myönnettävä, että SMALIAN'in menettelytapa merkitsi suurta edistysaskelta ja saatiin sen kautta aika hyviä lukuja, varsinkin silloin kuin veteen upottaminen toimitettiin erittäin nopeaan.

TH. HARTIG on parantanut menettelytapaa rakentamalla ensiksi varsinaisen yhtyvien astioiden lakiin perustuvan xylometrin. Kun vesi kummassakin yhtyvässä astiassa nousee yhtä korkealle, niin voitiin yhdistämällä xylometriin yhtyväksi astiaksi lasiputki suuremmalla tarkkuudella määrätä vedenpinnan kohoaminen.

Lasiputki varustettiin skaalalla, josta voitiin tarvittavat vesikuutiomäärät suoraan lukea.

CHEVANDIER ja WERTHEIM taas käyttivät mittauksiaan varten elohopeaa syystä, että se ei voinut imeytyä puuhun. Mutta tämä menettelytapa ei myöskään ole osottautunut tarkoituksenmukaiseksi, sillä elohopea ei asetu tarkalleen puun pintaan kiinni, vaan jää sen ja puun pinnan välille ilmarakkuloita.¹⁾

NÖRDLINGER taas menetteli seuraavalla tavalla. Hän antoi sorvata puusta mahdollisimman tarkasti sylinterinmuotoisia kappaleita. Kun kappaleiden läpileikkauspinta ei kuitenkaan pysynyt ympyränmuotoisena, niin mittasi NÖRDLINGER aina kaksi toisiansa vastaan kohtisuoraa diametria ja otti näistä keskiarvon. Eri korkeuksilla olevien diametrien vaihtelut otti NÖRDLINGER huomioon kuutiomalla koekappaleen sopivina pätkinä. Jos taas oli kysymyksessä ilmakeivän puun ominaispainon mää-

¹⁾ Tätä tapaa on myös ruotsal. KINNMAN käyttänyt.

rääminen, niin oli luonnollisesti puun halkeilemisen kautta tapahtunut volyymin lisäys otettava huomioon. Tämä tapahtui siten, että puukappale uudestaan sorvattiin entisiin mittoihinsa, jonka jälkeen sen kuutiosisällys määrättiin entisellä tavalla.

Kun puu kaadetaan, haiduttaa se heti vettä poikkileikkauspintansa kautta. Jotta saataisiin tietää puun tuore paino eli puun paino kasvaessaan, on puu punnittava heti kaadon jälkeen. Kun haihtuminen tapahtuu poikkileikkauspintojen kautta, niin on luonnollisesti haihtumisprosentti suurempi lyhyissä kuin pitkissä puukappaleissa. Selvää on siis, että saadaan sitä tarkempi tulos mitä pitempiä koekappaleita ollaan tilaisuudessa käyttämään. Tästä syystä NÖRDLINGER käyttikin mahdollisimman pitkiä koekappaleita. Kun nyt kuitenkin punnitsemista ei voida heti kaadon jälkeen suorittaa, niin on keksittävä keinoja haihdunnan vuoksi syntyvien erehdysten välttämiseksi. NÖRDLINGER ruiskutti vettä puun kumpaankin päähän ja kun vesi talvella jäättyi, niin syntyi puun kumpaankin päähän haihduntaa vähentävä jääkerros. Kesällä taas peitti NÖRDLINGER puun molemmat päät savella. Sitäpaitsi leikkasi NÖRDLINGER ennen punnitusta jonkun määrän puun kummastakin päästä pois.

Kokeisiinsa käytti NÖRDLINGER puukappaleita, joiden läpimitta oli 40 mm. ja jotka olivat 150 mm. pitkiä.

Kuten ylläolevasta näkyy, perusti siis NÖRDLINGER ominaispainon määräämistapansa sellaisten koekappaleiden käyttöön, joiden kuutiosisällys voitiin sängen suurella tarkkuudella määrätä.

NÖRDLINGER'in tapa lähentelee suuresti oikeaa, ja ainoa parannus, mikä siihen vielä 1880-luvulle mennessä voitiin tehdä, oli se, että koekappaleiden muotoa muutettiin. Ruvettiin nim. käyttämään koekappaleita, jotka olivat suorakulmaisen särmiön muotoisia, jonka särmillä oli määrätty pituutensa ja lopuksi koekappaleita jotka olivat kuution muotoisia, sillä tällaisen kappaleen mitat muuttuivat kaikkein vähemmän ja tällainen kappale voitiin myös kaikkein helpoimmin muodostaa. Myös on muutosta tehty siinä, että on pyritty käyttämään suuria koekappaleita, sillä pieni koekappale voi antaa poikkeuksellisen ja erehdyttävän tuloksen.

Käytännöllisiä tarkoituksia varten on usein tarpeellista tietää puun ominaispaino kuorineen ja tässä suhteessa on ollut ja on yhä edelleenkin olemassa suuria vaikeuksia. Kuoren rosainen pinta tekee mahdottomaksi puun tarkan mittauksen ja senvuoksi on tässä tapauksessa täytynyt yhä vieläkin turvautua xylometriseen menettelytapaan käyttäen SMALIAN'in korjausta, joka sittenkin antaa lähinnä oikean tuloksen. On kuitenkin

huomattavaa, että kuorimatonta puuta usein käsitellään irtomittaisen kuution perusteella ja tällöin on tullut kysymykseen ainoastaan puun pinnoamistapa, joka on täytynyt tarkoin määritellä. Tavallisinta on, että puut pinotaan määrätynmittaiseen vähintään 1 m³ irtomittaa käsittävään kehukseen.

Puun painosta puhuttaessa on aina etukäteen määriteltävä puun kosteusaste. Puussa olevasta vesimäärästä riippuu nim. ensi sijassa puun paino. Jotta saataisiin toisiinsa verrannollisia lukuja, on täytynyt sopia määrättyistä kosteusasteista ja täten erotetaankin seuraavat eri kosteusluokat puuaineen ominaispainoa tutkittaessa.

1) absoluutisesti kuiva puu, jolla ymmärretään puuta, josta vesi on haihdutettu kuumentamalla puu niin korkeaan lämpötilaan, että siitä vesi haihtuu pois, ilman että puussa ei kuitenkaan vielä ole tapahtunut mainittavia kemiallisia prosesseja;

2) kuiva puu, jolla tarkoitetaan puuta, joka on saanut kuivua huoneen lämmössä niin kauan, ettei puussa enää synny kuivumisesta johtuvia muodon ja ko'on muutoksia. Tällöin sisältää puu noin 8—12 % vettä; ¹⁾

3) ulkokuiva puu, jolla ymmärretään puuta, joka on ainakin yhden kuivan vuodenajan kuivanut pinossa tai katoksessa. Tämä sisältää tavallisesti noin 15—30 % vettä;

4) vastakaadettu puu, jolla ymmärretään puuta, josta ei sanottavasti ensinkään ole haihtunut vettä ja joka siis sisältää sen vesimäärän, mikä puussa metsässä kasvaessaan on.

1. Absoluutisesti kuivan puun ominaispaino.

Jos tahdotään tarkalleen tietää, mitä puun puuaine sellaisenaan painaa, niin on siitä poistettava vesi. Tämä tapahtuu, kuten jo edellä on mainittu, haihduttamalla. Toiselta puolen on kuitenkin huomattava, että puun kuumentaminen aiheuttaa puussa kemiallisia reaktioita, ja että puusta näin ollen, jos sitä kuumennetaan liika suureen lämpö määrään, haihtuu muutakin kuin vettä. Jos ajatellaan, että puukappaleella on vähänkin suurempi koko, niin on lämpö määrä kuumennettaessa aivan toinen puun pinta- kuin sisäosissa, joten pintaosat tulevat kuumennetuiksi enemmän kuin sisäosat.

Tieteellisiä tarkoituksia varten, mainittakoon tässä vain esimerkkinä puun kemiallinen tutkimus, on tarpeellista tietää puun ominaispaino

¹⁾ Europal. puulajit.

absoluutisesti kuivana. Tämä on välttämätöntä, jos esim. tahdotaan tutkia, kuinka monta % puun painosta on kutakin puun eri hajaantumistulosta.

Edelleen on huomattava, että puu ei kauan pysy absoluutisesti kuivana, sillä absoluutisesti kuiva puu imee sangen nopeasti kosteutta ilmasta. Sen kyky imeä kosteutta ilmasta on verrannollinen puuta ympäröivän ilman kosteusmäärään ja kosteuden imemiskyky riippuu hyvin paljon siitä, kuinka paljon puussa on esim. sokeria, kumia, tärkkelystä, munanvalkuaisainetta y.m.

Kaikkien niiden vaikeuksien voittaminen, mitä yllä on esitetty, on ollut sangen vaivalloista. Puun ko'on haitallinen vaikutus on kaikkein helpommin poistettu sillä, että kuivattava puu on hienonnettu hienoiksi lastuiksi, tai on käytetty pieniä höylänlastuja tai sahanpurua. Ja liika kuumuus taas on aikoinaan vältetty siten, että puu kuumennettiin ainoastaan 70° C asti, jonka jälkeen puu säilytettiin mahdollisimman kuivassa paikassa. Näin menetteli DUHAMEL DU MONCEAU. CHEVANDIER'in ja WERTHEIM'in menettelytapa taas oli seuraava: puut asetettiin ensiksi kuivaushuoneeseen, jonka lämpö määrä oli 40—50° C. Sen jälkeen hienonnettiin puu sahanpuruksi, joka asetettiin retorttiin 140° C lämpötilaan. Tässä tulivat kuitenkin CHEVANDIER ja WERTHEIM tehneeksi sen virheen, joka jo edellä on mainittu nim., että puun lämpötila kohotettiin liika suureksi, jolloin puussa ehdottomasti on täytynyt tapahtua kemiallista hajaantumista, sillä jo 150° C lämpö määrässä on tavallisen hiiltopuun tislanne 2 % kuivan puun painosta. Paremmiin onnistui gieseniläinen WERNECK, joka jo 1808 julkaisi tutkimuksen puun ominaispainosta. Hän valmisti puusta pieniä kuutioita, joiden antoi ensin kuivaa kuivaushuoneessa, jonka lämpö määrä oli 50° C. Sen jälkeen kuivasi hän kuutiot lämmittämällä ne vähitellen 107° C, jatkaen tätä lämmitystä siksi kauan aikaa, lämpö määrää kuitenkin kohottamatta, kunnes puun paino ei enää laskeutunut. Nämät kuutiot jakoi hän sen jälkeen vielä 4 osaan ja asetti ne kuivumaan suljettuun lasiastiaan, jonka piti sisältää aivan kuivaa ilmaa.

Tätä nykyä on VON WERNECK'in menettelytapa pääasiallisesti käytännössä. Puu kuivataan 98—110° C lämpötilassa siksi, kunnes sen paino lakkaa laskeutumasta ja tämän jälkeen asetetaan puu exsikkatoriin, jonka ilma pidetään rikkihapon kautta kuivana.

Puun painolla absoluutisesti kuivana on ainoastaan merkityksensä silloin kuin sen paino samalla kertaa jossain muussa kosteusasteessa tunnetaan. Tavallisesti tunnetaan puun paino ilmakeivana ja määrätään

ilmakeivana ja absoluutisesti kuivan puun ominaispainojen suhde. Tällaisia suhdelukuvia ovat m.m. BERGSTRÖM & WESSLEN esittäneet.

Niillä luvuilla, mitä muuten teoksissa on esitetty absoluutisesti kuivan puun painosta, ei ole kovinkaan suurta merkitystä, kun ei ole mainittu, mitä puu on jossain toisessa kosteus tilassa painanut. Mainittakoon kuitenkin, että absoluutisesti kuivan puun ominaispainoa osottavat luvut eivät vaihtelee läheskään niin paljon havupuilla kuin lehtipuilla. Niinpä esim. mänty absoluutisesti kuivassa tilassa on sangen vähän raskaampaa kuin kuusi ja samoin esim. lehtikuusi ja hopeakuusi voivat absoluutisesti kuivassa tilassa olla jokseenkin yhtä raskaita. Lehtipuiden ominaispaino absoluutisesti kuivassa tilassa vaihtelee sitävastoin sangen paljon.

2. Kuivan puun paino.

Edellä määriteltiin kuivaksi puuksi puu, joka sisältää 8—12 % vettä. Tämän vesipitoisuuden saavuttaa puu kuivuessaan 1 vuoden vajassa, jonka lämpö määrä on 0—10° C. Selvää on kuitenkin, että esim. tavallisessa asuinhuoneessa puu saavuttaa huomattavasti alemman kosteusasteen. Asuinhuoneessa käytetyn tai säilytetyn puun kosteus määrä on noin 8 %. Edelleen on selvää, että eri puulajien ja eri kokoisten puiden vesipitoisuus jää eri suureksi. Niinpä esim. suurista puulajeista, esim. amerikalaisista otetut puukappaleet voivat (Koehler) sisältää ainoastaan 4—8 % vettä ja samantapainen voi vesipitoisuus olla esim. keskuslämmityshuoneissa säilytetyissä puissa. Tutkimustapaan nähden merkitsee tämä sitä, että koekappaleen vesipitoisuus on aina tunnettava.

Kuten edellä mainittiin, on siis n.k. kuivan puun kosteus pitoisuus sangen laajoissa rajoissa vaihteleva, vaihdellen yleensä 8—12 %, mutta siitä huolimatta on käsite, kuiva puu, jokseenkin tarkoin määriteltävissä. Määrittely tapahtuu parhaiten eräiden käytännöllisten huomioiden avulla. Tärkein on se, että puu kuivalla asteellaan säilyttää käytännöllisiä tarkoituksia varten tyydyttävästi muotonsa ja kokonsa. Siitä voidaan valmistaa huonekaluja, jotka kestävät liimauksissa, siitä voidaan valmistaa lattioita, jotka eivät rakoile, sisäkattoja, ovia, akkunoita j.n.e. Itse asiassa onkin tämä suuri kosteusmariginaali riippuvainen puun erilaisesta rakenteesta ja siitä, kuinka paljon puu sisältää inkruustoituja aineita, puulajista, puunosasta j.n.e. Jos esim. verrataan toisiinsa kappaletta huonekuivaa koivupuuta ja kappaletta huonekuivaa mäntypuuta, niin nämä samoissa olosuhteissa kuivuttuaan sisältävät eri määrän vettä.

Sama on asianlaita, jos on verrattavana toisiinsa kappale männyn sydänpuuta ja kappale männyn pintapuuta. Näin ollen ei olekaan teknillisiä tarkoituksia varten aivan välttämätöntä, että 2 erilaista tutkittavaa puukappaletta sisältää yhtä paljon vettä, koska teknillisesti kuitenkin on mahdollista sangen tarkoin määrätä, milloin puu on teknillisessä merkityksessä kuiva. Sellaista puuta, jota tässä kutsutaan kuivaksi puuksi, kutsutaan myöskin teknillisesti kuivaksi puuksi. Tässä yhteydessä mainittakoon myös, että vanhemmat saksalaiset kirjailijat ovat sille antaneet nimen ilmakuiva (lufttrocken) puu, joka nimi myös esiintyy EXNER'in edellämainitussa teoksessa. Tämä nimi on kuitenkin harhaanjohtava senvuoksi, että sillä helposti voi luulla ymmärrettävän ulkoilmassa kuiva-tettua puuta, joka ei suinkaan ole asianlaita.

Sen johdosta, että puu sangen helposti voidaan saattaa kuivaan tilaan, on kuivan puun painoa sangen laajasti tutkittu ja se, mitä tiedetään puiden ominaispainojen la'eista, on pääasiallisesti saatu selville n.k. kuivan puun tutkimuksen perusteella.

Tässä tutkimustyössä, joka on suoritettu vuosisatojen aikana, on tahdottu vastata mitä erilaisimpiin kysymyksiin ja senvuoksi esitettäköön seuraavassa ne tärkeät kysymykset, joihin tällä alalla on tahdottu vastausta löytää.

Ne kysymykset, joihin tämä tutkimustyö on etsinyt vastausta kohdistuvat allamainittujen seikkojen vaikutukseen kuivan puun painoon.

- a. Missä osissa maapalloa ovat raskaimmat ja missä keveimmät puut?
- b. Mitä vaikuttaa puun painoon sen horisontaalinen leveneminen?
- c. Puun vertikaalinen leveneminen.
- d. Maanlaatu.
- e. Puun asema metsikossa.
- f. Ikä.
- g. Puun eri osat 1. toisin sanoen, mistä osasta puuta kysymyksen alainen kappale on otettu.
- h. Kaatoaika.
- i. Puun vikanaisuus.
- j. Solujen väriaine- ja hartsipitoisuus.
- k. Puun uitto.

a. Mitä tulee kysymykseen siitä, missä osissa maapalloa yleensä kasvavat raskaimmat ja missä osissa keveimmät puut, niin mainitsee jo NÖRDLINGER, että lämmin ilmanala on yhteydessä puiden painon kanssa siten, että yleensä lämpimässä ilmanalassa kasvaa raskaita puita. Tämä pitää paikkansa ymmär-

rettynä siten, että trooppilisista seuduista ovat yleensä kotoisin raskaimmat puulajit mitä tunnetaan. Samoin väittää NÖRDLINGER olevan asianlaidan myöskin Saksan rajojen sisäpuolella niin, että sielläkin raskaammat tammet tavataan maan eteläosissa. Edelleen viittaa NÖRDLINGER DUHAMEL DU MONCEAU'n tutkimuksiin tammen painosta Ranskan eri osissa. Niinpä painoivat burgundilaiset tammet DUHAMEL DU MONCEAU'n mukaan 0.753—0.785, champagnelaiset 0.800, bretagnelaiset 0.829, saintongelaiset 0.810—0.885, ja provencelaiset 0.928—1.085.

Tämä NÖRDLINGER'in ja tavallaan myöskin jo DUHAMEL DU MONCEAU'n lausuma laki on sen jälkeen kau'an aikaa pysynyt ainoana oikeana. Mutta pian kuitenkin osotti tarkempi tutkimus, että trooppilisissa maissa voitiin myös löytää keveitä puulajeja, ja että esiintyi tapauksia, jolloin sama puulaji trooppilisissa seuduissa voi olla keveämpi kuin kylmemmässä ilmanalassa. Varsinkin sen tutkimuksen kautta, jonka FOWKE v. 1855 ja 1862 toimitti, huomattiin, etteivät puut yleensä ja siis asiaa suurena keskimääränä katsoen ole trooppilisissa maissa sen raskaampia kuin lauhkean ilmanalan maissa, vaan, että ero on siinä, että raskaimmat puulajit samoin kuin myöskin keveimmät löydetään juuri trooppilisilta seuduilta. Ja tätä nykyä ollaankin sitä mieltä, että mitä lämpimämpään ilmanalaa siirrytään, sitä suurempia ominaispainon äärimmäisyys-rajojen vaihteluita voidaan yleensä tavata.

b. Puun horisontaalinen leveneminen. Vanhimmat tutkijat olivat tässä suhteessa sitä mieltä, että havupuut yleensä käyvät sitä raskaammiksi mitä pohjoisemmassa ne kasvavat ja että joku määrätty lehtipuulaji myöskin on sitä raskaampi mitä etelämmässä se kasvaa. Tämä teoria oli etualalla vuoteen 1909, jolloin sen kumosi Münchenin yliopiston professori HEINRICH MAYR. Hän erotti puulajien esiintymiseen nähden seuraavat eri levenemisalueet:

- | | |
|----------------------------|---|
| Keinollinen levenemisalue | III. K. kylmempi kuin luonnollinen levenemisalue. |
| | II. K. kylmempi kuin optimum. |
| Luonnollinen levenemisalue | I. optimum. |
| | II. W. lämpimämpi kuin optimum. |
| Keinollinen levenemisalue | III. W. lämpimämpi kuin luonnollinen levenemisalue. |

MAYR'in laki kuuluu, että jokainen puulaji, kun mennään optimista (I) II K:ta ja III K:ta kohti sekä kun mennään optimista (I) II W:tä ja III W:tä kohti, tulee keveämmäksi. Tämän luonnonlain on MAYR to-

distanut tutkimalla kuusia Baierin kylmimmillä ja lämpimimmillä kasvupaikoilla suunnilleen samanlaisella maaperällä. Sen jälkeen on MAYR täydentänyt näitä tutkimuksia hyvin monista osista maapalloa keräämällä aineistolla ja huomannut, että hänen lausumansa luonnonlaki pitää paikkansa.

Samaa asiaa on tutkinut myös ruotsalainen WIJKANDER ja tehnyt sen huomion, että Keski- ja Etelä-Ruotsin puut yleensä ovat raskaampia kuin Pohjois-Ruotsin. Sitävastoin eivät WIJKANDER'in tutkimukset osota mainittua eroa Keski- ja Etelä-Ruotsin välillä.

Kun arvostellaan näitä molempia tutkimuksia, on huomautettava, että on hyvin epävarmaa, ovatko MAYR'in ja WIJKANDER'in tutkimat puut samalta boniteetiltä, jolta niiden välttämättömästi täytyy olla, jotta tutkimuksilla olisi jotakin arvoa. Tämän kirjoittaja on tutkinut tässä suhteessa kuivilta kanervakankailta kaadettuja mäntyjä Etelä-Suomesta (Vihti), Keski-Suomesta (Tuusjärvi) ja Pohjois-Suomesta (Kolari). Tutkimukset suoritettiin siten, että tutkittava puukappale otettiin ensimmäisen latvatukin päästä, siis noin 6 m. korkeudella maasta ja sellaisista puista, joissa latvusosa ei vielä tällä korkeudella ollut alkanut. Sitäpaitsi valittiin suunnilleen samanmittaisia puut, ollen puiden läpimitta 8—10 tuumaa. Sen lisäksi merkittiin puiden ikä. Etelä-Suomessa kasvaneet puut olivat luonnollisesti säännöllisesti nuorempia kuin Pohjois-Suomessa kasvaneet. Kun puut luokiteltiin iän mukaan, ei siis saatu toisiinsa verratuksi samanikäisiä puita, vaan käytettiin puun ikämääräyksessä yksikkönä, ei vuotta, vaan nuorennusaikaa, joka otaksuttiin Vihdissä 20 vuodeksi, Tuusjärvellä 30 vuodeksi ja Kolarissa 50 vuodeksi ja otaksuttiin sellaiset puut, joiden ikä sisälsi yhtä monta nuorennusaikaa, kuuluvan samaan ikäluokkaan. Jos siis esim. puun ikä vastasi 4 nuorennusaikaa, oli se Vihdissä 80 vuotta, Tuusjärvellä 120 vuotta ja Kolarissa 200 vuotta. Nämä iät oikeastaan käytännössä merkitsevät sitä, että puu tässä iässä oli kussakin paikassa saavuttanut vähintään 8 tuuman koon.¹⁾ Huomattava on, että Kolarin luku, 200 vuotta on sangen alhainen, mutta puu on otettu metsikosta, joka on saanut rauhassa kasvaa (Hyötymännikkö). Kaikkiaan tutkittiin 50 puun sydänpuuleikkaus. Tulokset ovat seuraavat:

Kolari	0.48—0.52
Tuusjärvi	0.49—0.58
Vihti	0.53—0.55

¹⁾ 6 m korkeudella.

Nämä luvut eivät anna mitään lopullista vastausta kysymykseen, sillä niiden mukaan näyttää vihtiläisten puiden paino korkeimmalta myöskin keskimäärään nähden. Jokseenkin varmaa kuitenkin on, että suurempi tutkimusmateriaali olisi osoittanut keskisuomalaisen puun raskaimmaksi tutkituista.

Kysymys ilmanalan vaikutuksesta puun painoon on siksi laaja ja vaikeasti tutkittava, ettei sitä toistaiseksi voida pitää MAYR'in luonnonlailla ratkaistuna. Tässä asiassa voidaan ainoastaan asioiden nykyisellä kannalla ollen lausua hypoteeseja ja tämän kirjoittaja on puolestaan taipuva uskomaan, että sekä havu- että lehtipuut ovat raskaimpia siellä, missä ne muodostavat kauniimman ja oksattomimman rungon. Näin ollen olisi esim. Keski-Suomen mänty raskaampaa kuin maamme eteläosien karkeaoksaista mäntyä ja myös raskaampaa kuin Lapin mänty, jossa tosin oksat eivät ole karkeat, mutta joka on kuitenkin oksaisempaa kuin keskisuomalainen mänty.

c. Vertikaalisen levenemisen vaikutus puun painoon näyttää ensi silmäyksellä olevan melkein sama asia kuin maantieteellisen levenemisenkin. Tavataanhan korkeata vuotta ylös noustaessa sen rinteellä pienoisko'ossa tärkeimmät kasvuvyöhykkeet. Mutta todellisuudessa ei kuitenkaan näin ole asian laita. Vanhemmat tutkijat, kuten WERNECK, ovat kuitenkin sitä mieltä, että vuoristoseuduissa saadaan sitä raskaampaa puuta mitä korkeammalle tullaan. Mutta toiselta puolen ei tässä suhteessa ole esim. esitetty mitään optimiteoriaa, vaikka hyvin suuri osa puun ominaispainotutkimuksista on suoritettu seuduissa, joissa olisi ollut aivan erikoisen helppo tutkia tätä asiaa. Ja toiselta puolelta pitäisi kaikista tähän asti tehdyistä tutkimuksista, jos lakimääräisyyttä tässä suhteessa olisi olemassa, helposti voitaman tämä asia päättää. Niin ei kuitenkaan ole asian laita, vaan on osottautunut, että tässä suhteessa ei ole mitään selvää lakimääräisyyttä. Ainoastaan siinä tapauksessa, että puu on läheltä lumirajaa, tai että se on viljavista laaksoista, on sen ominaispaino keveämpää kuin rinteillä, mutta varsinaisella rinteellä, jossa metsä kuitenkin pääasiallisesti kasvaa, ei yleensä voida mitään huomattavaa eroa todeta. Voidaan sanoa tähänastisten tutkimusten tuloksena, että puun vertikaalinen leveneminen siis ainoastaan äärimmäisyystapauksissa vaikuttaa huomattavasti puun painoon.

d. Maanlaadun vaikutusta puun painoon on paljon tutkittu. NÖRDLINGER mainitsee m.m. tässä suhteessa tehneensä seuraavia huomioita: »yleensä luullaan, että sangen hedelmällisellä ja ravintorikkaalla maalla kasvava puu tuottaa raskasta ja hyvää puuainetta,

joten siinä on samalla kertaa sekä vahvat soluseinät että vahvat solumembraanit. Tämän olettamuksen harhaanjohtavuutta todistavat m.m. tutkimani puksipuun painosuhteet, joka kasvoi sangen hedelmällisellä puutarhamaalla. Sen ominaispaino oli sangen pieni, jotavastoin sen neste-pitoisuus oli huomattavan suuri.

Kuitenkin on meidän varottava arvioimasta maaperän vaikutusta konstantimmaksi kuin se on. Puun painoon vaikuttaa niin monta eri tekijää, että vaikka maaperä onkin sama, ei kuitenkaan muiden kasvusuhteiden tarvitse olla samat. Tästä johtuu, että muutamien yksityisten puiden perusteella ei tämän tapaisista seikoista voida mitään varmaa päätellä.»

Tämän jälkeen mainitsee NÖRDLINGER muutamia esimerkkejä pyökkipuista, jotka osottavat, että kaksi lähekkäin kasvavaa puuta samalla maalla voivat olla painoltaan aivan erilaisia, vaikka ikä, asema metsikossa j.n.e. ovat samat.

Yleensä pidettiin NÖRDLINGER'in aikaan ja pitkät ajat sen jälkeenkin luonnollisena seikkana, että havupuut ovat raskaampia huonommalla maalla ja lehtipuut paremmalla maalla, joka seikka johdettiin vuosilustojen leveydestä, sillä lehtipuillaan merkitsee leveä vuosilusto raskasta puuta ja kapea vuosilusto keveää puuta.

Tässä yhteydessä keksi jo NÖRDLINGER optimilain lehtikuuseen nähden, josta hän julkaisi tutkimuksen vuonna 1885. MAYR taas modifioi vuosirenkaan leveyden vaikutusta siten, että hän sanoi voitavan määrätä puun ominaispaino ei vuosirenkaan leveyden perusteella, vaan sen perusteella, kuinka suuri osa vuosirenkaasta on kesäpuuta ja kuinka suuri osa kevätpuuta. Hyvillä maanlaaduilla kehittyy yleensä kevätpuurengas kesäpuurenkaan kustannuksella ja sen vuoksi saadaan hyviltä maanlaaduilta keveätä puuta.

Mäntyä koskevissa tutkimuksissaan, jotka julkaistiin v. 1897, on SCHWAPPACH ottanut tätä asiaa tutkiakseen. Hän vertasi toisiinsa 60—120 vuotisten mäntyjen ominaispainoja eri boniteeteilla, jotka hän merkitsi I-V, siten, että paras boniteetti merkittiin I:lla. Luokat IV ja V merkitsivät suomaita. Kun otettiin keskimäärä ominaispainoista 3:lla parhaalla boniteetilla ja 2:lla huonommalla, niin huomattiin selvästi, että puiden ominaispainot paremmilla boniteeteilla kaikissa tutkituissa Saksan osissa, länsi-Preussissa, Posenissa, Brandenburgissa, ja itä-Preussissa olivat selvästi korkeammat kuin huonommilla boniteeteilla. Samantapaiset tulokset sai SCHWAPPACH myös tutkiessaan hopeakuusen ominaispainoja.

Samaa seikka on myös WIJKANDER tutkinut. Hän on tutkinut sekä tavallisimpia havupuitamme, mäntyä ja kuusta, että myöskin koivua. Männyn suhteen ei hän saanut mitään varmaa tulosta, mutta kuusen suhteen osottautui selvästi, että kangasmailla kasvaneet kuuset olivat raskaampia kuin vesiperäisillä mailla kasvaneet. WIJKANDER tuli siis samoihin tuloksiin kuin SCHWAPPACH'kin. Koivuista tutki WIJKANDER osaksi sellaisia, jotka olivat kasvaneet multavilla savi- ja hiekkapohjaisilla mailla, sekä sellaisia, jotka olivat kasvaneet alavilla savipohjaisilla mailla. Mitä viimeainituilla mailla tarkoitetaan, ei tutkimuksesta selviä, mutta yleensä näyttää siltä, että alavat savipohjaiset maat olisivat olleet kangaskorpia ja niinmuodoin laihempia kuin edelliset. Näiden tutkimus osotti, että myös koivu on laihemmalla maalla keveämpää.

Molemmat edelliset tutkimukset osottavat siis oikeastaan sitä, että suomaalla kasvavat puut ovat keveämpiä kuin kasvullisella metsämaalla kasvaneet. Vasta JANKA on tutkinut puiden ominaispainoa kasvullisen metsämaan eri boniteeteilla ja hänen tutkimuksensa osottavat, että tuoreella humuspitoisella ja ravintorikkaalla maalla kasvaneiden puiden ominaispainot ovat yleensä suuremmat kuin kuivalla ja humusköyhällä maalla kasvaneiden.

Edellä olevia tutkimuksia vastaan voidaan tehdä se muistutus, että niissä ei ole metsätyyppiä tarpeellisella tarkkuudella määrätty. Näin ollen on ollut vaikea tietää edes, milloin puu on kasvanut paremmalla ja milloin huonommalla boniteetilla.

Tämän kirjoittaja on Korkeakosken harjoitusalueesta otettujen koekappaleiden perusteella koettanut selvittää tätä asiaa. Kokeet koskivat mäntypuita Calluna- ja Myrtillustyypeillä. Koekappaleet olivat valitut siten, että koepuusta oli sahattu kiekko kannon korkeudelta, 1 m. korkeudelta ja senjälkeen aina 1 m. päästä. Nämä koekappaleet, joita muuten käytettiin m.m. tutkiakseen kevä- ja kesäpuun suhdetta y.m. (laudaturtyö) olivat huolellisesti valitut sekä höylätettiin sen jälkeen saman vahvuiseksi. Kunkin tällaisen koekappaleen ominaispaino määrättiin stereometrisesti ja senjälkeen määrättiin kunkin 1 m. pituisen kappaleen paino kuutioimalla se kaavalla $\frac{A+a}{a} \cdot h$, nämä yhteenlaskemalla koko puun paino sekä lopuksi koko rungon ominaispaino. Puita oli Myrtillus-tyypillä 25 ja Calluna-tyypillä 50. Tämän tutkimuksen tulokseksi jäi, ettei ainakaan siinä käytetyn aineiston perusteella ole voitu todeta eroa mustikka- ja Callunatyypillä kasvaneen kuivan mäntypuun painojen välillä.

Kysymys puun ominaispainon vaihteluista boniteetittain (resp. metsätyypittain) onkin osottautunut paljon monimutkaisemmaksi kuin luullaan. Se, että eroa ei ole voitu todeta kahden siksikin laadultaan läheisen tyyppin kuin calluna- ja mustikkatyypin puiden välillä, ei luonnollisesti vielä merkitse sitä, että tällaista eroa ei olisi olemassa. Ensinnäkin oli allekirjoittaneen aineisto tavallaan sangen pieni ja toiseksi on myönnettävä, että siinä on voinut sekaantua vallittujenkin luokkien puita vallitsevien joukkoon ja toiseksi olivat tutkitut tyyppit ehkä hyvyytensä puolesta liika lähellä toisiaan.

Siitä, millaiset puun painot hyvyytensä puolesta verrattain kaukana toisistaan olevilla maanlaaduilla ovat, on olemassa jo aikaisin tehtyjä tutkimuksia.

NÖRDLINGER on m.m. kirjoittanut aikakauskirjassa, *Centralblatt für das gesammte Forstwesen*, v. 1885 artikkelin, jossa kosketellaan kysymystä siitä, missä hyvää lehtikuusta kasvaa, ja tässä artikkelissa toteaa NÖRDLINGER tutkimusten perusteella myös sen seikan, että lehtikuusen ominaispaino kuivana vähenee sekä ylös että alaspäin kasvupaikan optimumista ja että erittäin lihavilla kasvupaikoilla, esim. puutarhamailloja ja viljelysmailla kasvavalla lehtikuusella, on huonot ominaispaino-ominaisuudet.

Jos sen jälkeen siirrytään tarkastamaan myöhempiä tutkimuksia, niin on otettava huomioon R. HARTIG'in tutkimus vuodelta 1898, joka koskee m.m. kuusen ja pyökin painoa eri maaperillä. HARTIG on tullut siihen tulokseen, että maaperällä ei ole mitään vaikutusta pyökin painoon, jota vastoin kuusi on raskainta parhaalla maalla, mutta HARTIG'in tutkimus koskee koko puunrunkoa ja senvuoksi HARTIG huomauttaakin, että jos otetaan kysymykseen puu ilman latvusosaa, niin silloin tullaan aivan erilaisiin tuloksiin. Parhailla mailloja ei suinkaan saada suurinta määrää raskasta hyötynuuta s.o. oksatonta rungonosaa, vaan on tässä suhteessa löydettävissä erikoinen optimum, joka ei suinkaan vastaa parhaita kasvupaikkoja.

Tämän kysymyksen valaisemiseksi ovat vielä CIESLAR ja JANKA tehneet tutkimuksia erittäin hyvässä maassa nim. vanhassa pellossa kasvaneisiin puihin nähden. Nämä tutkimukset osottavat poikkeuksetta, että tällaisten puiden ominaispainot ovat sangen alhaisia, pysyen yleensä 0.350 tienoilla. Kaikki tämä koskee kuitenkin havupuuta. Lehtipuiden suhteen ei ole tällä alalla mainittavia tutkimuksia tehty.

Kun tutkimukset siis tällä alalla ovat yleensä sangen hajanaiset ja kun yleensä bonitoiminen on ollut sangen epävarmaa, niin voidaan

sanoa, että toistaiseksi ei olla läheskään selvillä siitä, mitä maaperä vaikuttaa puun painoon ja tässä suhteessa lienee paikkansa pitävin МАУР'in hypoteesi, joka voidaan lausua sanoilla: »yleensä ei varsinaisen metsämaan laadun vaihtelu vaikuta kovinkaan tuntuvasti puiden ominaispainoon. Etenkin lehtipuissa on sen vaikutus pieni. Sekä lehtipuut että havupuut ovat keveimmillään erittäin hyvällä ja erittäin huonolla maalla.»

e. Kun halutaan tutkia puun aseman vaikutusta puun painoon, on siis ensin määriteltävä puuluokat, joiden mukaan tutkimus tapahtuu. Tässä suhteessa otetaan huomioon se luokittelu, joka on käytännössä metsiä harvennettaessa, mutta hyvin ymmärrettävistä syistä ei jako ole niin yksityiskohtainen kuin apuharvennusten vaikutuksia tutkittaessa. Hyvin riittää jo, että puut jaetaan kolmeen luokkaan, nim. valtapuihin, valtaanyhtyviin puihin ja vallittuihin puihin. Huomattavaa on myös, että metsäteknologisissa tutkimuksissa puiden tulee olla tuoreita ja eläviä, joten kaikki lahovikaiset ja kuivat puut on jätettävä tutkimusten ulkopuolelle.

Vanhimmat tutkimukset tässä suhteessa on tehnyt NÖRDLINGER, joka on v. 1878 julkaissut tutkimuksen siitä, mitä valonsaanti vaikuttaa mäntypuun laatuun, jossa todetaan, että avoimilla paikoilla kasvanut mäntypuu voi olla sangen keveätä ja samoin myöskin liian tiheässä kasvaneen mäntypuun paino on alhainen. Paitsi oman aineistonsa perusteella on NÖRDLINGER myös koettanut selvittää asiaa tutkimalla CHEVANDIER'in ja WERTHEIM'in aineistoa ja tällöin hän huomasi m.m., että hyvin tiheässä metsikossa kasvanut vaahtera oli tavallista keveämpää ja samoin oli myös laita sellaisen vaahteran, joka oli kasvanut tammimetsän varjossa. NÖRDLINGER tuleekin lopulta siihen johtopäätökseen, että yleensä tiheässä metsässä kasvaneiden varjoa sietävien puulajien vallittuihin puuluokkiin kuuluvat yksilöt aina kasvavat keveätä puuainetta. Tämä pitää varsinkin paikkansa pyökkiin ja hopeakuuseen nähden. Sama on myös sellaisen tammen laita, joka kasvaa varjostettuna hopeakuusimetsissä. Tämän seikan tueksi mainitaan vielä, että yleensä hopeakuusimetsissä kasvaneesta tammipolttopuusta ja vallittuihin luokkiin kuuluvista pyökki- apuharvennuspuihin maksetaan huono hinta. Sama seikka¹⁾ selviää CHEVANDIER'in ja WERTHEIM'in tutkimuksista myös mäntyyn nähden.

Tätä seikkaa on myös ROBERT HARTIG tutkinut. Hän johtaa puun painon oikeastaan puun vahvikekudosten tarpeesta. Jos puu on hento,

¹⁾ Keveämmät puut tiheämmässä metsikössä.

tarvitsee se vastustaakseen tuulen tai lumen taivutusta vankemmat vahvikekudokset ja tästä syystä sen täytyy myös olla rakennettu lujemmasta ja painavammasta puuaineesta. Jos puu sitävastoin on vankkarunkoinen, s.t.s. sen läpimitta on suuri, niin se luonnollisesti helpommin voi vastustaa tällaisia voimia ja saa senvuoksi olla heikommasta puuaineesta rakennettu.

Osaksi johtaa HARTIG puun painon myös ravinnonotosta. Jos puun latvus on pieni, liikkuu puussa vähän nesteitä ja senvuoksi saavat myös puuaineessa olla pienenä osana sellaiset solut, jotka kuljettavat vettä, jotavastoin suurilatvuksinen ja suuriläpimittainen puu tarvitsee runsaammin sellaisia soluja ja soluyhtymiä, jotka kuljettavat vettä. Näistä molemmista edellä mainituista seikoista johtuu, että puuaine yleensä suurilatvuksisissa ja suuriläpimittaisissa puissa on keveämpää kuin pienilatvuksisissa ja pieniläpimittaisissa.

Kun taas suurilatvuksiset ja suuriläpimittaiset puut yleensä kasvavat aukealla tai metsikon valtapuina ja pieniläpimittaiset ja pienilatvuksiset varjossa tai vallittuina puina, niin tuli HARTIG lopulta, siihen johtopäätökseen, että aukealla olevien puuyksilöiden puuaine yleensä on keveämpää kuin varjossa kasvaneiden puiden puuaine ja että harvennettujen metsien puuaine yleensä on keveämpää kuin harventamattomien metsien puuaine.

Myös CIESLAR ja JANKA ovat tutkineet tätä samaa asiaa. He tutkivat hyvällä maalla kasvaneita kuusia, joista toiset olivat kasvaneet istutetussa metsässä, jossa taimien välit lopulta olivat harvennetut 3,8:ksi m. ja toiset taas olivat kasvaneet kylvetyllä alueella. Nämä tutkimukset osottivat, että kummassakin metsikossa erikseen valtapuut olivat raskaampia kuin valtaanyhtyvät puut ja nämät taas puolestaan raskaampia kuin vallitut puut. Jos taas verrataan toisiinsa kutakin vastaavaa luokkaa, siis esim. vallittua puuta metsikossa, joka oli istutettu, vallitsevaan puuhun metsikossa, joka oli kylvetty j.n.e., niin huomattiin, että kukin luokka istutetussa metsikossa oli keveämpi kuin vastaava luokka kylvetyssä.

Myöskin MAYR on lausunut tästä asiasta mielipiteensä. Hän selittää, että harvennushakkaukset ja väljennyshakkaukset eivät oikeastaan merkitse mitään muuta kuin puun saattamista parempaan ilmastoon s.o. ilmastoon, jossa on enemmän lämpöä ja enemmän valoa ja samalla tavalla merkitsee taas puun joutuminen varjoon puulle aivan samaa kuin puun joutumista huonompaan ilmanalaan. Tästä syystä onkin puun aseman vaikutus puun painoon aivan yhdenmukainen ilmanalan vaikutuksen

kanssa puun painoon. Ja tällä tavalla joudutaan taas samaan optimilakiin, jonka Mayr on esittänyt ja joka on edellä siv. 53 jo mainittu.

Kun verrataan edellämäinittuja tutkimuksia toisiinsa, niin näyttävät NÖRDLINGER'in tulokset olevan näennäisesti ristiriidassa kaikkien myöhempien tutkimusten kanssa. Itse asiassa näyttääkin siltä, kuin NÖRDLINGER olisi väärässä, sillä paras selitys sittenkin puun painosuhteille on juuri etsittävä puun ravitsemistoiminnasta. Aivan niinkuin HARTIG on maininnut, on kaikki sellainen puu keveää, jossa on runsaasti ravintoaineita kuljettavia soluja, suurionteloisia trakeiideja, ohutseinäisiä ja suurionteloisia putkiloita j.n.e. Kysymys on siis ainoastaan siitä, kummalla osalla metsikon puista nämä ominaisuudet ovat huomattavampia vallitsevillako vai vallituilla ja juuri tähän kysymykseen ei HARTIG oikeastaan ole antanut tyydyttävää vastausta. Huomattava on nim., että puissa, jotka kasvavat sangen lihavalla maalla, täytyy olla huomattavasti suuret putkilot, jotta ne voisivat kuljettaa sen runsaan ravintoainepitoisen nestemäärän, joka puussa liikkuu, mutta toiselta puolelta täytyy tällaisten puiden myöskin kasvattaa vahvikekudoksiaan senvuoksi, että niiden latvus on suuri ja raskas ja että sen paino koko puun painoon nähden on suhteellisesti suuri. Jos puu sitäpaitsi kasvaa avoimella ja tuulille alttiilla paikalla, ja etelärinteellä, niin tarvitsee puu erikoisesti vielä lisää vahvikekudosta runkonsa eteläpuolelle, sillä tälle puolelle painaa latvus kaikkien eniten, joten siis eteläpuoli puusta tulee vielä sisältämään erikoisen runsaasti vahvikekudosta. Tästä syystä pitääkin paikkansa se, mitä NÖRDLINGER on sanonut, nim. että kaikkein raskaimpia ovat lehtokujissa kasvaneet puut tai rinteillä kasvaneet puut metsikoiden etelälaidoilla.

Saman aineiston perusteella, joka edellä on siv. 57 mainittu, tutki tämän kirjoittaja kyseenalaista seikkaa Calluna-tyypillä, koska siltä vallittu materiaali nimenomaan oli luokiteltu vallitseviin, valtaanyhtyviin ja vallittuihin puihin. Tämän materialin suurimman osan kerääjän, metsähoitoylioppilas, sittemmin metsänhoitaja, H. G. DUNCKER'in kaikki muistiinpanot ovat sangen luotettavat, mutta muodostuu aineisto tällaisen kysymyksen ratkaisua varten sangen pieneksi. Vallitsevien puiden lukumäärä oli 17, valtaan yhtyvien 14 ja vallittujen 19. Lukumäärä oli näin ollen verrattain tasaisesti jaettu eri puuluokkiin nähden. Senvuoksi, että osa latvimmaisista kiekkoista oli hävinnyt, otettiin tutkimuksen esineiksi ainoastaan puun tyviosa 5 m. korkeudelle saakka.

Tällöin saatiin seuraavat keskimäärät:

Vallitsevat puut	0. 55
Valtaanyhtyvät puut	0.561
Vallitut puut	0.528

Erot ovat jääneet sangen vähäpätöisiksi, mutta esim. valtaanyhtyvien puiden suurempi paino ei näytä satunnaiselta. Häiritsevästi on vaikuttanut tuloksiin ehkä se, että kustakin puusta on tutkimuksia varten mitattu 5 m. pituinen kappale, kun luonnollisesti olisi pitänyt mitata pituudesta yhtä suuri osa, esim. $\frac{1}{4}$ tai $\frac{1}{5}$. Vallittujen puiden sangen pieni paino on myös yllättävä ja vastoin kaikkea sitä, mitä edellä olevissa tutkimuksissa on lausuttu.

Tahtomatta mitenkään antaa edellä olevalle tutkimukselle ratkaisevaa merkitystä, voitane sanoa, että tämäkin tärkeä kysymys on toistaiseksi ratkaisematta, mutta todennäköisesti ovat sittenkin metsikön vallitsevat puut keveimmät.

f. Iän vaikutus puun painoon. Selvää on, ettei ikä sellaisenaan vaikuta puun painoon, vaan, että iän vaikutus tässä suhteessa ilmenee niinä erilaisina muutoksina puun kasvussa ja rakenteessa, joka puulla eri ikäkausina on, ja nämä muutokset taas puolestaan vaikuttavat sen, että puun paino eri ikäkausina on erilainen.

Tätä asiaa ovat jo DUHAMEL DU MONCEAU sekä CHEVANDIER ja WERTHEIM tutkineet. Samoin on myös NÖRDLINGER lausunut ajatuksensa tästä asiasta. Kaikki nämä kolme tulivat siihen johtopäätökseen, että iän vaikutus puun painoon on sama kuin sydänpuunmuodostuman vaikutus. Kun puu on nuori ja siinä ei ole sydänpuuta, niin se on keveämpää, mutta alkaa käydä raskaammaksi sitä myöten kuin sydänpuun määrä lisääntyy. Ja näin ollen ovat siis vanhat puut, joissa on paljon sydänpuuta, raskaampia kuin nuoret puut, joissa ei sitä ole. Mitä taas sydänpuuttomiin puihin tulee, niin on NÖRDLINGER lausunut sen otaksunan, että niillä on nuoremman puun paino suurempi kuin vanhan.

Tarkempia tutkimuksia on tässä suhteessa SCHWAPPACH tehnyt. Hän on tullut siihen tulokseen, että iän vaikutus puun ominaispainoon on erilainen paremmilla maanlaaduilla kuin huonommilla. Paremmalla maalla kasvava mänty saavuttaa painomaksiminsa noin 60:nneellä ikävuodellaan tai 30—60 ikävuosien välisenä aikana, jonka jälkeen paino pysyy jokseenkin samanlaisena noin 90:nneen ikävuoteen asti. Huonommalla maalla taas puu on painavinta nuoruudessaan, mutta alkaa sittemmin kevetä nopeanlaisesti 30:nneestä ikävuodesta alkaen 60:nneen ikävuoteensa saakka, jonka jälkeen painon aleneminen hidastuu. Nämä SCHWAPPACH'in tutkimukset koskevat havupuita.

Samantapaisia huomioita on WIJKANDER tehnyt ruotsalaisessa männyssä, jotavastoin hän ei ole voinut todeta kuuselle mitään varmaa iänmukaista painonlisäystä. WIJKANDER'in tulokset eroavat SCHWAPPACH'in tuloksista ainoastaan siinä, että puun painomaksimi siirtyy paljon myöhemmälle iälle ja samalla tavalla siirtyy eteenpäin myös puun painon väheneminen puun vanhemmaksi tullessa. Samaan tulokseen on itse asiassa myöskin JANKA tullut, vaikeivät hänen lukunsa osotakaan yhtä suurta säännöllisyyttä kuin SCHWAPPACH'in ja WIJKANDER'in.

Mitä taas lehtipuihin tulee, niin ovat WIJKANDER'in tutkimukset ainakin tammeen ja saarniin nähden osottaneet, että näiden puulajien ominaispainot puun vanhetessa alenevat.

Myöskin Yhdysvaltain Madison'in laboratorio on tehnyt tutkimuksia tällä alalla useihin ameriikalaisiin sekä havu- että lehtipuihin nähden ja tullut itse asiassa jokseenkin samoihin johtopäätöksiin kuin viimeksi mainitut tutkijat, vaikka näitä johtopäätöksiä on tulkittu hieman erilaisella tavalla, riippuen tämä tulkinta siitä, että painomaksimi yleensä on siellä sattunut paljon myöhäisemmälle iälle kuin esim. SCHWAPPACH'in tutkimuksissa ja osaksi siitä, että painominimiä ei ole saavutettu syystä, että tutkimuksia ei ole ulotettu tarpeeksi myöhäiselle ajalle.

Vetääkseen johtopäätökset niistä tutkimuksista, joita tällä alalla on suoritettu, on ensinnäkin mainittava, että on jokseenkin varmaa, että painomaksimin saavuttaminen on riippuvainen puun fyysillisestä iästä. Mitä suuremman iän puu yleensä voi saavuttaa, sitä pitemmälle siirtyy myöskin painomaksimi. Tästä syystä se esim. WIJKANDER'in ja ameriikalaisen metsäkoelaitoksen tutkimissa puissa on paljon myöhäisemmällä iällä kuin SCHWAPPACH'in tutkimissa puissa, joiden fyysillinen ikä on lyhempi. Tästä syystä ei voidakaan määritellä mitään kaikille puulajeille yhteistä painomaksimin ikää, vaan on tämä ikä aivan erilainen sen mukaan, kuinka kauan puu yleensä voi elää.

Havupuihin nähden voidaan sääntönä yleensä mainita, että aluksi puun paino kasvaa, kunnes se saavuttaa painomaksiminsa, jonka jälkeen se pitkän aikaa pysyy lähes konstantina alkaakseen vasta puun loppu-ikäällä hitaasti laskea. Sitä vastoin on mahdoton sanoa, kummatko puut ovat keveämpiä, hyvin nuoret vai hyvin vanhat puut. Lehtipuiden paino taas todennäköisesti vähenee iän kasvaessa.

Hypoteesina iän vaikutuksesta puun painoon haluaa tekijä vielä mainita, että puun painolla on yhteyttä puun pituuskasvun kanssa. Täten sattuisi puun painomaksimi suunnilleen sille puun iälle, jolla puun juokseva

pituuskasvu kulmineeraa ja puun painon väheneminen puun vanhemmalla iällä taas sille puun ikäkaudelle, jolloin puun pituuskasvu lakkaa ja puu alkaa käydä lakkapäiseksi. Sellaisilla puulajeilla taas, joiden pituuskasvu ei osota selvää loppumista, on myös puiden painon vaihtelevuus iän mukaan epäselvä, joten sen suhteen on vaikea mitään varmaa lakia sanoa. Se taas, että puun pituuskasvulla tällä tavoin tulee olemaan välillinen merkitys puun painoon, riippuu siitä, että pituuskasvun vaihtelut merkitsevät samalla vaihteluja soluseinien suuruudessa ja vahvuudessa. Niinpä esim. SCHWAPPACH'in tutkimusten mukaan suurempaa pituuskasvua aikaisemmalla iällä vastaa heikompi-seinäiset trakeiitit, samoin kuin myöskin taas myöhäisemmällä iällä puun trakeiitit käyvät paksuseinäisemmiksi.

g. Puun eri osien vaikutus puun painoon. Jos ajatellaan puun rungon painoa kokonaisuudessaan, niin on selvää, että puu on sitä raskaampi mitä enemmän siinä on raskaampia osia. Näin ollen voidaan siis, jos ajatellaan koko puuta oksineen, ensinnäkin sanoa, että puu on sitä raskaampaa mitä enemmän siinä on kesäpuuta ja jos taas ajatellaan rungon eri osia, voidaan sanoa, että ne rungon osat ovat raskaampia, joissa on kesäpuuta enimmänsä. Jo tämän perusteella voidaan sanoa, että havupuilla ovat oksat runkoa raskaammat ja lehtipuilla runkoa keveämmät, sillä oksien vuosirenkaat ovat yleensä kapeammat kuin rungon.

Jos taas ajatellaan itse runkoa, niin voidaan se jakaa meikäläisissä havupuissa kahteen eri osaan, nim. oksattomaan rungonosaan ja latvukseen kuuluvaan rungonosaan. Yleensä voidaan sanoa, että puun oksaton rungonosa, oli sitten kysymys havu- tai lehtipuista, on raskaampi kuin latvukseen kuuluva rungonosa. Kuitenkaan ei tätä ole käsiteltävä siten, että puun painon väheneminen jyrkästi alkaisi sillä kohdalla, missä latvus alkaa. Päinvastoin on asian laita se, että sellaisissakin puulajeissa, joissa latvus uletuu aivan milt'ei maahan asti, voidaan huomata painon vähenevän rungon yläosiin päin. Jos puu ajatellaan jaetuksi metrin pituisiin kappaleisiin, niin ovat useat tutkijat, esim. SCHWAPPACH sekä CIESLAR ja JANKA, tulleet siihen tulokseen, että puun paino vähenee tyvestä latvaan mennessä johonkin määrättyyn korkeuteen asti, esim. 24 m pitkällä männällä noin 16 m korkeuteen asti, jonka jälkeen se taas alkaa kohota. Samaa suuntaa menevät myös HARTIG'in tutkimukset ja HELANDER mainitsee tuloksensa siihen tulokseen, että männnyssä tyvi-

puu on raskainta ja että puun paino vähenee rungon ylemmissä osissa, mutta nousee ainakin syrjäytetyissä puissa jonkun verran latvassa. Kuusen runko-osien painossa ei taas havaita niin säännöllisiä vaihteluita. Se on suurin tyvässä, laskeutuen noin 40—50 pituus-% kohdalla ja nousee vähän puun latvaosissa. Koivun paino taas pysyy milt'ei samana, laskeutuen vähän latvaosissa.

Olkoon kuitenkin mainittu, että HELANDER'in tutkimukset koskevat absoluutisesti kuivaa puuta, joten niitä ei voida verrata edellä mainittuihin tutkimuksiin, jotka koskevat kuivaa puuta.

Myös alle kirjoittanut on tehnyt tutkimuksia tässä asiassa kotimaisiin puulajeihimme, mäntyyn, kuuseen ja koivuun nähden. Ennenkuin puu katkottiin ja siitä otettiin koekiekot, piirrettiin puun runkomuoto millimetripaperille. Tällä tavalla erotettiin puussa kolme osaa, nim. tyvipaksunema, varsinainen lieriömäinen runko ja koonimaisempi latvusosa. Koekiekot otettiin sen jälkeen siten, että puu jaettiin siksi moneen yhtä suureen osaan, että myöskin tyvipaksunemasta saatiin vähintään 3 havaintoa. Tutkimukset osottivat, että yleensä sellaisilla puilla, jotka selvästi muotonsa puolesta voitiin jakaa näihin 3 eri osaan, painovaihtelut olivat sellaiset, että tyvipaksunema oli raskain ja sen jälkeen rungon oksaton osa, jonka jälkeen runko taas alkoi kevetä jonkun verran yläpuolella rungon koonimaisen osan alkua. Jos taas rungossa ei voitu erottaa muuta kuin tyvipaksunema ja säännöllinen paraboloidimainen tai koonimainen rungonosa, niin ei myöskään mitään selvää painon kohoamista latvaosiin mennessä ollut havaittavissa. Että näin täytyykin olla asian laita, voidaan aivan helposti käytännöllisillä syillä selittää. Puun tyvipaksunema voidaan METZGER'in tapaan selittää tupeksi, johon puu on kiinnitetty. Puun täytyy siis lähelle tyveänsä valmistaa vuosilustoja, joissa on runsaasti vahvikekudosta, jotta puu kestäisi latvuksen painon ja tuulen taivuttavaa voimaa. Samalla tavalla kyetään latvuksen painopisteteorian mukaan selittämään se seikka, että myöskin ylempänä rungolla täytyy olla osia, joissa puun paino vahvikekudoksen lisääntymisen vuoksi kasvaa, joten on aivan luonnollista, että puun täällä tulee olla raskaampaa, jotta se täälläkin voisi vastustaa tuulen taivuttavaa voimaa, joka luonnollisesti on suurimmillaan jollain kohdalla tyvipaksuneman ja latvuksen painopisteen välillä. Se seikka taas, että latvaosat usein ovat rungon oksattomia osia raskaammat, riippuu siitä, että latvuosa on sangen hento, niiden oksien painoon nähden, joita sen täytyy kannattaa.

Tämän selityksen kanssa painomaksimin riippuvaisuudesta latvuk-

sen painopisteen asemasta pitää täydellisesti yhtä se havainto, jonka SCHWAPPACH on tehnyt, nim., että kuusen painomaksimi on 4—6 m korkeudella. Tämän teorian perusteella voidaan myös selittää WIJKANDER'in havainto siitä, että kuusi on 2 m korkeudella ollut keveämpää kuin 11 m korkeudella. 2 m mitta on nähtävästi sattunut tyvipaksuneman yläpuolelle ja sellaiseen kohtaan puussa, jossa taivuttava voima on ollut pieni, jotavastoin 11 m kohta on voinut sattua lähelle latvuksen painopistettä ja sellaiselle kohdalle, jossa taivuttava voima on ollut suuri.

Edelleen voidaan myös tutkia sitä, kummatko osat rungossa, sydäntä lähinnä vaiko sydäntä kauempana olevat osat, ovat raskaampia. Tässä suhteessa on olemassa sangen vähän tutkimuksia. GAYER on tutkinut tätä asiaa ja mainitsee tullessa siihen tulokseen, että useilla puulaejeilla, esim. männyllä, lehtikuusella, tammella ja pyökillä, sydänpuu on raskaampaa kuin pintapuuta, koivulla taas on tavallisesti pintapuuta raskaampaa kuin sydänpuuta ja kuusella taas ei ole mainittavaa eroa. Yleensä lisääntyy havupuilla usein paino sydänpuun ulko-osaan mennessä, jotavastoin kehäputkiloisilla lehtipuilla ja pyökillä on raskain puu lähempänä ydintä. Nuorissa puuosissa taas, oli sitten kysymys lehti- tai havupuusta, ei ole mainittavaa eroa pintapuun ja sydänpuun painon välillä. WIJKANDER'in mukaan ovat männyssä ytimen ympärillä olevat osat kaikkein kevyimmät ja HELANDER väittää, että puun paino on pienin sydämen ympäristössä, mutta kohoo sydämen ja puun pinnan puolivaiheille ja vähenee taas pintaanpäin.

Tämän kysymyksen ratkaisu on jo muuten oikeastaan edellä esitetty. Kun nim. puhuttiin puun painovaihteluista iän mukaan, mainittiin, että puulla on ikä, jolloin sen ominaispaino saavuttaa maksiminsa. Luonnollista on, että juuri ne osat puun poikkileikkauspinnassa ovat raskaimmat, jotka vastaavat sitä ikää, jolloin puu saavuttaa maksimipainonsa. Tästä seuraa myös, että vanhojen puiden pintaosat ovat keveitä.

Hyvin usein on myös esitetty kysymys, kumpiko puoli puusta, pohjoisvai eteläpuoli, on kevein. Tätä kysymystä ei myöskään ole lopullisesti ratkaistu, mutta jokseenkin varmaa on, että ero tässä tapauksessa on sangen pieni. Hyvin usein on kuitenkin eteläpuoli oksaisempi ja sen oksat ovat pitempiä ja paksumpia kuin pohjoispuolen. Tästä syystä myös puun pohjoispuolen on kestettävä suurempi paino ja senvuoksi muodostuu puu pohjoispuoleltaan lujemmaksi kuin eteläpuoleltaan.

h. Kaatoajan vaikutus puun painoon. Tätä asiaa on ensinnä laajemmin tutkinut TH. HARTIG ja julkaisee hän tutkimuksensa

puulajien polttoarvoa koskevassa teoksessaan. Hän tuli siihen johtopäätökseen, että kesällä kaadettu puu on keveämpää kuin talvella kaadettu ja että ero on 4—8.6 %, joka % määrä on vähennettävä puun painosta talvella, jotta saataisiin sen kesäpaino. Samanlaisiin tuloksiin on myöskin NÖRDLINGER tullut tutkimuksissaan, jotapaitsi NÖRDLINGER on tullut siihen tulokseen, että vanhoissa puissa tämä ero on sangen vähäinen. Suunnilleen samantapaisiin tuloksiin kuin edelliset tutkijat on myös GRABNER, tullut, vaikka hän ei ilmoita eroa yhtä suureksi kuin edelliset. Kaikki ne tutkijat, jotka sanovat talvella kaadettua puuta raskaammaksi kuin kesällä kaadettua, ovat yleensä ilmoittaneet, että tämä painolisäys johtuu siitä, että puussa on talvella enemmän varastoravintoaineita kuin kesällä. TH. HARTIG on ottanut tutkiakseen tätäkin asiaa ja tullut siihen hämmästyttävään tulokseen, että puussa olevien varastoravintoaineiden määrä voi korottaa puun painoa ainoastaan korkeintaan 1/2 %:illa. Kun on kysymys puusta, joilla on sama kuivuusaste, niin herää ehdottomasti kysymys siitä, mikä sitten on ollut syynä TH. HARTIG'in huomaamaan painolisäykseen. Ja tätä asiaa ei TH. HARTIG ole voinut selittää millään muulla kuin otaksumalla, että soluseinässä on yleensä kaikkia aineita talvella enemmän kuin kesällä.

Pitkät ajat oltiinkin tyytyväisiä edellä oleviin tutkimustuloksiin ja TH. HARTIG'in selitykseen, kunnes ROBERT HARTIG tutki tarkemmin asiaa. Hän huomasi, että varastoravintomäärät sekä tammella että pyökillä olivat aivan yhtäläiset niin hyvin talvi- kuin kesäkuukausinakin.

Tästä syystä voidaankin pitää oikeana GAYER'in mielipidettä tässä asiassa, nim. että tieteen nykyisellä kannalla ollen on sangen vaikea tietää, onko talvella kaadetun ja kesällä kaadetun puun painojen välillä mitään eroa. Voidaan siis sanoa, että kaatoajalla todennäköisesti ei ole mitään merkitystä puun painoon.

i. Vikanaisuuksien vaikutus puun painoon. Jo NÖRDLINGER mainitsee, että alkaneet lahoviat vähentävät puun painoa ja tämä pitääkin paikkansa, sillä lahovikaisesta puusta ovat sienet ja bakteerit käyttäneet ravinnokseen osan soluseiniä muodostavasta aineesta. Toinen on asianlaita sitävastoin, jos vikanaisuuksiin luetaan myös poikkeukselliset kudokset, kuten haavapuu, pakkasnystyrät, lylpuu, visa, nikaramuodostumat, pahkamuodostumat j.n.e., jotka yleensä kohottavat puun painoa ja tässä samassa yhteydessä voidaan myöskin mainita, että oksien alapuolella tavataan sangen usein lylmuodostumaa 1. janhusta, joten oksien alapuoli usein on raskaampi kuin niiden yläpuoli.

j. Solujen väri- ja hartsipitoisuuden vaikutus puun painoon. ROBERT HARTIG on tullut siihen tulokseen, että väriaineet kohottavat tammen sydänpuun painoa 6 %:lla. Sitten on MAYR tarkemmin tutkinut tätä asiaa ja huomannut ensinnäkin, että sellaiset puut, joiden soluontelot sisältävät väriaineita, esim. värikkääät troopilliset puulajit, ebenholz, pockenholz, ja yleensä n.k. veripuut, esim. quebracho, palisander y.m. ovat sangen raskaita. Sitäpaitsi voidaan yleisenä sääntönä mainita, että värillinen sydänpuu aina merkitsee raskasta puuta ja että puu yleensä on sitä raskaampaa mitä värillisempää se on, luonnollisesti edellyttäen, että on kysymys samasta puulajista. Selvä on kuitenkin, että puun tulee olla tervettä, sillä esim. alkavasta laho- viasta johtunut tummempi väri ei luonnollisesti merkitse raskaampaa puuta. Vaikka tummempi puu on raskaampaa kuin vaaleampi, ei värin perusteella kuitenkaan voida laatia mitään asteikkoa ominaispainolle, sillä niin suhteellinen ei värin tummuus ominaispainoon ole.

Puun hartsipitoisuuden vaikutusta sen painoon on m.m. tutkinut R. HARTIG. Hartsit ovat yleensä raskaampaa kuin puuaine ja senvuoksi on puu sitä raskaampaa mitä enemmän hartseja se sisältää. Jos on kysymys rungon eri osista, niin ovat rungossa kahdesta samanlaisesta osasta raskaampia ne osat, jotka sisältävät enemmän hartsia. Niinpä esim. männyn sydänpuuosa on hartsirikkaampi kuin pintapuuta ja senvuoksi tulee paino- erotus sydänpuun raskaampien osien ja pintapuun keveämpien osien välillä hartsipitoisuuden kautta vain jyrkemmäksi. Sitävastoin muodostaa kuusi pihkaa enimmäkseen pintapuun uloimmassa osassa, joten pihka- pitoisuudella ei ole niin suurta merkitystä kuusipuun painon lisääjänä, sillä muutoin esiintyy pihka jokseenkin tasaisesti puun kaikissa osissa. Lehtikuusella taas vaipuvat hartsit yleensä puun rungon alaosiin ja näin ollen ne aikaansaavat, että painoero rungon ylempien ja alempien osien välillä tulee jyrkemmäksi.

Näitä ROBERT HARTIG'in tutkimusten tuloksia ei oikeastaan vielä- kään ole kumottu, vaikka ne eivät kaikin puolin vastaakaan tieteen ny- kyistä kantaa. Kaikkein tarkimmat tutkimukset tällä alalla on tehnyt MAYR, ja ovat hänen johtopäätöksensä nyt esillä olevasta kysymyksestä seuraavat: Havupuiden hartsipitoisuus lisää niiden painoa. Vasta sen jäl- keen kuin mantopuu on muuttunut sydänpuuksi, alkavat juoksevassa ti- lassa olevat hartsit muuttua kiinteiksi ja raskaiksi hartseiksi. Vanhem- missa puuosissa ei siis muodostu mitään uutta hartsia, vaan pysyy hart- sin absoluuttinen määrä samana, hartsit muuttavat ainoastaan muotoaan konsentreerautuen ja oksideeraten raskaammiksi hartseiksi. Kaikkein

enemmän kohoavat painot sellaisilla puulajeilla, joissa on paljon hartsia, s.t.s. männyllä ja kuusella, ja kaikkein vähemmän niillä, joissa hartsia on vähän, esim. hopeakuusella.

Se seikka, että hartsipitoisuus kohottaa puun painoa, ilmenee monella tavalla. M.m. ilmenee tämä siinä, että juurenniska on raskaampi kuin muu puu, siinä, että sarvioksat ovat raskaampia kuin tavalliset oksat ja että haavapuu on raskaampaa kuin muu puu ja tervasroso raskaampaa kuin rososta vapaa puu.

k. Uiton vaikutus puun painoon. Tätä seikkaa on jo DU- HAMEL DU MONCEAU tutkinut. Hän tuli siihen johtopäätökseen, että Sei- neä myöten uitettu polttopuu, joka oli kaadettu kaukaisten purojen varsilta ja sen jälkeen joutunut välillä kuivamaan ja taas veteen ennenkuin se lopulta saapui määräpaikalleen, oli tullut huomattavasti keveäm- mäksi kuin uittamaton puu ja että tämä painon vähennys oli suurin koi- vulle, poppelille ja lehmukselle.

KLAUPRECHT ja PFEIL ovat samaa mieltä ja mainitsevat, että uite- tusta ja kuivasta halkotavarasta yleensä maksetaan painon vähennyksen takia 10—15 % alhaisempi hinta kuin uittamattomasta kuivasta tava- rasta. Tarkemmin on asiaa tutkinut WERNECK, joka on tutkinut sitä, kuinka paljon eri puulajien runkopuu vähentää painoansa uiton vuoksi. Hän on tutkinut kaikkiaan 23 eri puulajia ja huomannut, että painon hä- viö uiton kautta on noin 2.5—9.0 % ja vähenevät alla lueteltujen puiden painot seuraavilla %-määrillä:

mänty	7.0 %
kuusi	8.1 »
koivu	3.1 »
haapa	3.9 »
tammi	3.2 »
pyökki	3.8 »
leppä	5.2 »
lehmus	6.0 »
jalava	4.4 »

Näiden WERNECK'in lukujen mukaan on siis painon vähennys uiton vuoksi 2.5—9.0 %. Näitä WERNECK'in lukuja voidaan kuitenkin erinäisistä syistä epäillä. Kun puu oli kahteen kertaan kuivattava, nim. ennen ve- teen laskemista ja taas uudestaan vedessä oltuaan, joka vedessä pitämi- nen muuten tapahtui siten, että puut asetettiin erääseen puroon 42 vuoro-

kaudeksi, niin ei WERNECK oikeastaan ole millään tavalla kontrolloerannut sitä seikkaa, että puun kosteusaste kummallakin kerralla olisi tullut samaksi. Voi siis olla mahdollista, että puussa viimeisellä kerralla on ollut vähemmän vettä kuin edellisellä.

J. NÖRDLINGER, meidän usein mainitsemamme H. NÖRDLINGER'in isä, on myös tutkinut tätä asiaa yhdessä vuorineuvos DEGEN'in kanssa. Nämä tutkimukset suoritettiin Stuttgartin Polyteknillisen Opiston laboratoriossa ja tuli niiden tulokseksi se, että uitetun tavaran paino on 0.06—9 % pienempi kuin uittamattoman. Nämä tutkimukset koskevat yksinomaan pyökkipuuta. Myöskin näitä tutkimuksia vastaan voidaan tehdä eräs muistutus. Tutkimuksessa ei ole verrattu toisiinsa samoja puita, vaan on uitettu puu ollut kotoisin toisesta paikasta ja uittamaton toisesta, vaikka puutavara muuten on arvosteltu samanlaisiksi. Tulokset jäävät siis riippuvaiseksi yksinomaan tutkijoiden kyvystä arvostella, onko puutavara ollut samaa laatua vai ei, ja selvää on näin ollen, ettei heidän numeroillensa voida antaa ratkaisevaa merkitystä, sillä jo samalla kasvupaikalla voi saman puulajin paino erinäisissä tapauksissa vaihdella niin paljon kuin tässä esitetyt rajat osottavat.

Asiaa on myös tutkinut H. NÖRDLINGER, joka ryhtyi tutkimukseensa Württembergin rahaministeriön toimesta. NÖRDLINGER'in tutkimuksissa on korjattu ne virheet, joita edellisissä tutkimuksissa on tehty ja tuli hän myöskin sellaisiin tuloksiin, että ero tosiaankin on olemassa, mutta, että varmoja lukuja ei voida pienen tutkimusmateriaalin pienuuden vuoksi eron absoluuttisesta suuruudesta antaa, joten hän jättää tässä suhteessa lopulliset johtopäätökset lausumatta ja esittää ainoastaan ne tulokset, joihin hän on tullut. Jos näitä tuloksia tarkastetaan, niin huomataan, että yleensä painoerot NÖRDLINGER'in tutkimuksissa ovat paljon pienemmät kuin edellisissä, vaihdellen 1.3—6 %.

Tämän jälkeen on myös GAYER tutkinut asiaa ja tullut siihen johtopäätökseen, että, jos puu kevenee uiton vuoksi, niin kevenemisen täytyy johtua siitä, että puusta liukenee veteen erinäisiä aineita; tällaisia veteen liukenevia aineita puussa ovat munanvalkuaisaineet, sokeri, kumi, parkkihapot ja erinäiset orgaaniset ja epäorgaaniset suolat. Näiden aineiden määrä puussa on kuitenkin sangen pieni, niinpä esim. tyypipitoisia aineita on ainoastaan 0.1 % puun painosta. Tästä syystä on GAYER'in mielestä mahdotonta, että puu voisi uittamisen kautta näin huomattavasti vähentää painoaan.

Arvosteluna edellä mainitusta voidaan lausua, että puun keveneminen uitoissa on seikka, jota käytännössä on sangen vaikea tutkia. Kun

puu ensin kuivataan ja sen jälkeen asetetaan imemään vettä ja sen jälkeen uudestaan kuivataan, niin ei tulla menetelleeksi samalla tavalla kuin uitoissa yleensä. Uitettu puuhan on aina joko jonkun verran kuivempaa kuin kasvava puu tai korkeintaan metsäkuivaa. Jos taas tutkitaisiin puun kevenemistä harjoittamalla uittoja siten kuin se tavallisesti käytännössä harjoitetaan, niin voisi tutkimus tapahtua korkeintaan siten, että voitaisiin tutkia kahta välittömästi toisiinsa liittyvää saman puun osaa, mutta jo tällöin voivat kummankin puukappaleen kuivumis- ja vedenimemissuhteet olla erilaiset. Tutkiminen käy siis ylen vaikeaksi ja epävarmaksi, sillä painoero saman puun eri osien välillä voi jo olla suurempi kuin ne painoerot, mitä uitetun ja uittamattoman puun välillä voi tulla kysymykseen.

Asia voidaan siis käsitellä ainoastaan teoreetisesti, ja tässä suhteessa on siis ensinnäkin tutkittava, kuinka paljon sellaisia aineita on puussa, jotka liukenevat veteen. Munanvalkuaisaineita on puussa 1 % sen painosta, puukumia kuudessa ja männnyssä 6—7 %, toisten tietojen mukaan 8—13 %, sekä koivussa ja pyökissä vielä tätä runsaammin, kaikki absoluuttisesti kuivasta painosta. Nämä luvut muuttuvat tuntuvasti, silloin kun on kysymys n.k. kuivasta puusta. Jos näitä lukuja vertaa esim. NÖRDLINGER'in lukuihin, niin odottaisi, että esim. pyökillä aina olisi suurin painohäviö, koska se sisältää enemmän kumiaineita. Näin näyttää tosiaankin olevan asian laita, sillä NÖRDLINGER'in suurimmat %-luvut tavataan juuri pyökillä, mutta tavataan sillä myös sangen alhaisia %-lukuja. Joka tapauksessa näkyy, että puussa on veteen liukenevia aineita yleensä enemmän kuin GAYER on otaksunut ja hyvin suuri osa näistä aineista on puunesteessä, joten ne veden vaikutuksesta helposti voivat siirtyä puusta pois. Kun ottaa huomioon sen tarkkuuden, jolla NÖRDLINGER yleensä on tutkimuksensa suorittanut ja sen seikan, että myös ne tiedot, joita on olemassa puuaineen kemiallisesta kokoomuksesta, eivät ole sen otaksunnan vastaisia, että puu huomattavasti kevenisi uittamisen kautta, niin on meidän toistaiseksi pidettävä todennäköisenä, että puu voi kevetä jonkun verran uiton kautta. Edellä olevien lukujen perusteella voidaan sitäpaitsi päättää, ettei tämä keveneminen missään tapauksessa voi olla havupuulla 6—7 % suurempi. Kuinka suureksi se nousee lehtipuulla, on sitävastoin mahdotonta sanoa, mutta ei se niilläkään voi olla suurempi kuin 9 %, koskapa ei kukaan ole niillä sen suurempaa painon vähennystä huomannut.

3. Tuoreen puun paino.

Tuoren puun painolla on käytännössä sängen suuri merkitys. Puiden liikuttelemisen metsässä ja metsästä on antanut aiheita sen tuntemiseen ja jo *Praedium rusticum*'issa on luokittelu, joka perustuu siihen.

Tuore puu on raskaampaa kuin kuiva puu, ja riippuu tämä seikka siitä, että tuoreessa puussa on enemmän vettä. Tuoreessa puussa voi olla vettä aina 60—70 % ja on vettä sekä solujen onteloissa että solu-seinissä. Yleensä ei kuitenkaan kasvavan puun vesimäärä ole näin korkea, vaan vaihtelee se käytännöllisesti katsoen koko puussa 45 %:in ja 50 %:in välillä. Vesipitoisuus on erilainen pehmeissä havu- ja lehtipuissa, joissa se on suurempi, kuin kovissa lehtipuissa, joissa se on pienempi. Sitäpaitsi vaihtelee vesipitoisuus suuresti saman puun eri osissa. Kun n.k. tuoreen puun painoa tutkitaan, niin on huomattava, että puun poikkileikkauspinnasta alkaa heti kaadon jälkeen haihtua vettä ja on tämä haihtuminen luonnollisesti sitä suurempi mitä lämpimämpi ilma on. Tällä seikalla on merkityksensä puun painoja tuoreena määrättäessä. Jos tahdotaan tietää, kuinka paljon puussa on kasvaessaan vettä, on se luonnollisesti punnittava heti kaadon jälkeen tai jos punnitusta ei voida aivan heti suorittaa, on puu suojattava haihdunnalta esim. sivelemällä sen päätepinnat jollain ilmaa läpäisemättömällä aineella. Tällaista tarkkuutta ei kuitenkaan yleensä ole noudatettu puiden tuoretta painoa tutkittaessa ja senvuoksi ovatkin tutkimustulokset tässä erilaisia ja senvuoksi on myös usein sängen vaikea verrata eri tutkijoiden saamia lukuja toisiinsa.

Luulisi muuten olevan yksinkertaista laskea tuoreen puun paino kuivan painon perusteella, sillä itse asiassahan etupäässä veden lisäys on painon lisäyksen tärkein aiheuttaja. Näin ei ole kuitenkaan asian laita, sillä kuivuessaan puu kutistuu ja on tämä kutistuminen erilainen säteen, tangentin ja pituussuunnassa. Tästä syystä täytyisi myös voida laskea, millaiseksi puukappaleen volyymi on muuttunut, kun se esim. kuivana oltuaan on imenyt itseensä sen vesimäärän, joka siinä kasvaessaan oli. Mutta tämä laskelma on mahdoton suorittaa, ja senvuoksi ei olekaan mahdollista päästä selville puun tuoreesta painosta muuten kuin suoranaisten punnitsemisen avulla.

Sitävastoin voidaan tuoreen puun ja kuivan puun painon väliasteet, kun molemmat ovat tutkimalla otetut selville, siksi tarkkaan laskea, että näin saatuja arvoja jokseenkin pätevästi voidaan käyttää puiden painoa käytännöllisiä tarkoituksia varten määrättäessä. Tällöin käytetään CHEVANDIER'in ja WERTHEIM'in laatimaa seuraavaa kaavaa:

$$d = D [1 - c(F - f)],$$

jossa D merkitsee puun painoa tuoreena ja F sen kosteusmäärää tuoreena, f jonkun alemman kosteusasteen kosteusmäärää lausuttuna %:eissa tuoreesta painosta ja d alemman kosteusasteen ominaispainoa sekä c tuoreen painon muuntajakoeffisienttiä.

Kun c :n arvo tästä kaavasta lasketaan, saadaan:

$$c = \frac{F - f}{D - d}.$$

Selvää on, että puun painoon tuoreena vaikuttavat pääasiallisesti aivan samat seikat kuin sen painoon kuivanakin, mutta kaikkein suurimassa määrässä siihen kuitenkin vaikuttavat ne seikat, joista riippuu, kuinka suuri vesimäärä puussa kulloinkin on. Tästä syystä voidaankin puun painoa tuoreena käsitellä hieman erilailta kuin sen painoa kuivana. Tämä riippuu siitä, että monien niiden seikkojen vaikutus tuoreen puun painoon, jotka huomattavasti lisäsivät tai vähensivät kuivan puun painoa, on mitättömän pieni. Tästä syystä voidaan jättää huomioonottamatta esim. sellaiset seikat kuin puun horisontaalinen ja vertikaalinen leveneminen ja solujen väriaine- ja hartsipitoisuus. Osaksi tullaan myös käsittelemään puun vesipitoisuutta, josta puun paino tuoreena niin suuressa määrin riippuu, erikoisena puun ominaisuutena, puun vesipitoisuutena, ja tästä syystä ei tässä yhteydessä syvennytkään kaikkiin niihin ilmiöihin, jotka aikaansaavat muutoksia puun vesipitoisuudessa. Ne seikat, jotka tässä yhteydessä etupäässä ovat huomioon otettavat siitä syystä, että ne mahdollisimman itsenäisesti vaikuttavat juuri tuoreen puun painoon, ovat seuraavat:

- a. Vuodenaikojen vaikutus tuoreen puun painoon;
- b. Eri puunosan vaikutus;
- c. Puun aseman vaikutus;
- d. Kaatoajan vaikutus;
- e. Maanlaadun vaikutus.

a. Kysymys vuodenaikojen vaihtelujen merkityksestä tuoreen puun painoon on hyvin läheisessä yhteydessä puun vesipitoisuuden vaihtelujen kanssa, joten tämä ilmiö lähemmin tulee käsiteltäväksi siinä yhteydessä kuin näistä asioista tarkemmin puhutaan. Mainittakoon tässä yhteydessä kuitenkin se seikka, että jo NÖRDLINGER aikoinaan on todennut, että tuore puu on

raskaimmillaan talvella. NÖRDLINGER nim. mainitsee, että kaikkein keveintä on vastakaadettu puu kuivina kesinä, jolloin haihdunta on suurimmillaan ja kaikkein raskainta tavallisena talvena, jolloin puusta ei vesi pääse haihtumaan. Sitäpaitsi huomauttaa NÖRDLINGER, että puiden ominaispaino on suurin, jos se lasketaan juuri silloin kuin puu on jäänyt ja varsinkin tulee pienten jäätyneiden puuosien ominaispaino suureksi.

Nämä NÖRDLINGER'in johtopäätökset ovat myöhemmin osottautuneet oikeiksi. Niiden tutkimusten kautta, jotka ROBERT HARTIG on tehnyt, ovat ne nim. saaneet vahvistusta, ja samantapaisiin tuloksiin ovat myös TH. HARTIG ja myöhemmin CIESLAR tulleet.

b. Puun paino tuoreena on luonnollisesti myös riippuvainen siitä, mistä puunosasta koekappale on otettu. Yleensä voidaan sanoa, että oksat myös tuoreina ovat raskain osa puusta. Sen jälkeen voidaan muu puu jakaa juurenniskaan, varsinaiseen tyvipuuhun ja latvukseen.

Tuoreen puun painovaihtelua rungonosittain on jo aikojen sitten tutkittu. Ensimmäinen, joka tällä alalla on tehnyt tutkimuksia, on Hessenkasselilainen metsänhoitaja BERGER, joka on tutkinut tässä suhteessa 95—100-vuotisia pyökkejä. Hän on ottanut puusta ensimmäisen koepalasan 6 hessenkasselilaisen jalan korkeudelta ja sen jälkeen aina 6 jalan päästä aina 72 jalan päähän asti ja punninnut jokaisen koekappaleen kölniläisissä nauloissa. Näitä BERGER'in lukuja on käyttänyt hyväkseen NÖRDLINGER, joka on koettanut saada selvää näistä merkillisistä mitoista. Kölnin nauloissa lausutut painot on hän muuttanut ominaispainoiksi, mutta mitä tuohon edellämainittuun hessenkasselilaiseen jalkamittaan tulee, niin on NÖRDLINGER tullut huomaamaan, että Hessen-Kasselissa on kokonaista 3 erilaista jalkamittaa ja toivoo hän niistä jumalan avulla löytäneensä oikean, kun hän otaksuu, että BERGER on käyttänyt hessenkasselilaista normaalijalkaa. Näistä hessenkasselilaisista tutkimuksista selviää, että puiden paino yleensä lisääntyy tyvestä latvaan päin. Muutamissa tapauksissa on alimmainen leikkaus selvästi raskaampi kuin leikkaukset siitä lähinnä ylöspäin, ja tämän jälkeen seuraa useimmiten leikkauksia aina 30—36 jalan korkeudelle asti, jotka ovat alinta leikkausta keveämpiä, mutta, joiden paino nousee ylöspäin. Alinta leikkausta raskaammaksi käy puu yleensä 30 jopa vasta 40 jalan korkeudella.

Selvemmin on HUNDESHAGEN esittänyt tutkimuksensa, jotka käsittelevät 90—130-vuotisia pyökkejä, kuusia ja hopeakuusia. Nämä tut-

kimukset ovat tehdyt siten, että ensimmäinen leikkaus on otettu 1 m korkeudella ja seuraavat leikkaukset aina metrin päässä siitä, ja alimmaisen leikkauksen painoksi on merkitty 1.000 ja muut leikkaukset ovat arvoitellut tätä yksikkönä pitäen. HUNDESHAGEN'in tutkimukset osottavat, että puu yleensä on keveimmillään noin 6 m korkeudella ja että se saavuttaa saman painon kuin 1 m korkeudella vasta noin 10 m korkeudelta alkaen, ja sen jälkeen kohoaa puun paino suuresti katsoen sen mukaan mitä korkeammalle tullaan. Myöskin WEDEKIND on tutkinut tätä asiaa, tosin hieman toisella tavalla. Hän on jakanut puun runkopuuhun, kanto-puuhun, risupuuhun ja oksapuuhun ja tullut huomaamaan, että männyllä on risupuu (pienimmät oksat) kaikkein raskainta, sen jälkeen seuraa järjestyksessä: oksat, sitten kanto ja viimeiseksi runko. Sama on asiantaita myös kuusipuulla, vaikka tästä ei ole täyttä varmuutta senvuoksi, ettei ole tutkittu oksien painoa. Pyökillä ovat risut raskaimmat, sen jälkeen seuraa kanto, sen jälkeen oksat ja viimeiseksi runko. Tammella taas ovat raskaimpia risut ja kanto, jotka ovat yhtä raskaat, sen jälkeen seuraa runko ja viimeiseksi oksat.

Hyvin ansiokkaita tutkimuksia on tällä alalla tehnyt TH. HARTIG, joka on tutkinut samalla myös koko rungon painoa. Hänen tutkimuksensa koivuun nähden osottavat, että koivujen latvaosat yleensä ovat raskaampia kuin tyviosat, mutta että varsinaisen rungon paino vaihtelee verrattain epäsäännöllisesti.

Meillä on metsänhoitaja LAAKSONEN tehnyt tällä alalla jonkun verran tutkimuksia 7:stä eri paikoilla kasvaneesta männystä ja ovat nämä tutkimukset jokseenkin yhtäpitäviä tuloksiltaan niiden tutkimusten kanssa, joita edellä on esitetty. Ne osottavat, että paino kasvavassa männyssä alenee jotakuinkin jyrkästi tyvestä noin rinnankorkeudelle, siitä hitaammin noin $\frac{4}{10}$:n vaiheille tyvestä lukien, jonka jälkeen se alkaa nousta ensin hitaammin, noin $\frac{7}{10}$:n paikkeille, ja sittemmin jyrkästi aina latvaan asti. Noin $\frac{8}{10}$:n vaiheilla on ominaispaino yli 1.00 ja latvassa on se 1.17.

Koska puu, jonka ominaispaino on yli 1, painuu vedessä pohjaan, niin on tärkeätä tietää, mitkä osat vastakaadetusta puusta ovat tätä raskaammat. Jos on kysymys tukkipuista, niin näin raskaita osia löydetään vasta latvuksen sisältä, ja siis sitä alempana, mitä alemmaksi latvus puulla uletuu. Tämä pitää kuitenkin paikkansa havupuihin nähden, sillä lehtipuissa voidaan tällaisia osia löytää alempanakin, melkein missä rungonosassa tahansa. Sitävastoin voi juurenniskan paino usein kohota lähelle 1, varsinkin silloin kuin on kysymys hyötykasvuisesta puusta.

Myös tämän kirjoittaja on tutkinut tätä asiaa, erikoisesti ottaakseen selvää siitä, mitkä osat puusta ovat uppoamisen vaarassa, ellei puu saa olla tarpeeksi pitkää aikaa kuivumassa. Tästä syystä tutkittiin kaikkein ensiksi puiden paino heti kaadettua, sillä tavalla, että kaadettu puu jaettiin metrin pituisiin pätkiin, joiden ominaispaino kuoripäällisenä ottaen huomioon SMALIAN'in korrekzio mitattiin. Sitäpaitsi mitattiin myös 10 sm pituisen kantokiekon ominaispaino. Tutkimukset koskivat kuusta ja koivua Siikakankaan harjoitusalueella. Tällöin osottautui, että koivun ominaispaino tuoreena melkein koko rungolla oli suunnilleen samanlainen s.o. epäsäännöllisesti vaihteleva jokseenkin suurilla intervalleilla (0.072 ja vähemmän), ja että koivupuun juurenpuoleiset osat eivät suinkaan olleet raskaampia kuin siitä ylöspäin lähinnä olevat osat, vaan paremminkin päinvastoin. Tämän jälkeen ei myöskään voitu erottaa mitään huomattavaa painon lisäystä latvukseen kuuluvassa osassa. Kuorineen kaadettu kuusi taas osotti ehkä samantapaisia painonvaihteluita kuin LAAKSOSEN tutkimat männyt, vaikka erot eri korkeuksilla mitattujen painojen välillä olivat sangen pienet, ollen suurin ero rungolla noin 0.030 ja suurin ero koko puun suurimman ja pienimmän painon välillä 0.035.

Sellaisen painon, jossa puu uppoaa veteen, saavuttaa kuusi vasta hyvin lähellä latvaa, tukkipuunmittainen kuusi suunnilleen vasta siellä, missä viimeinen paperipuumitta jo on otettu. Voidaan sanoa, että männyssä ja koivussa on paljon sellaisia osia, jotka uppoavat, jos puu heti kaadettua tulee veteen, jotavastoin näitä osia ei koivussa voi niin helposti määritellä, sillä koivun paino vaihtelee epätasaisesti rungon osien kesken, mutta yleensä voitaneekin sanoa, että koivun alin tyvitukki ui parhaiten ja sitä paremmin mitä lyhempi se on, jotavastoin muut osat melkein heti painuvat pohjaan. Männyllä taas painuvat pohjaan, jos puu heti kaadon jälkeen heitetään veteen, sangen lyhyen ajan kuluttua ne rungon osat, jotka ovat suunnilleen paperipuunmittaisia ja sitä pienempiä.

Tuoreessa puussa on pintapuu yleensä raskaampaa kuin sydänpuu. Pintapuuhan on se osa, jossa vesi liikkuu, ja koska siinä soluntelot ja myöskin soluseinät ovat miltei vedellä kyllästetyt, niin on pintapuu useimmiten raskaampaa kuin vesi, s.o. sen ominaispaino on enemmän kuin 1. Edelleen on R. HARTIG'in tutkimusten mukaan pintapuun ulomainen rengas raskaampi kuin sisemmät osat. Sydänpuu on siis aina keveämpää kuin pintapuu, vieläpä lehtipuillakin, vaikka se niillä usein on sangen vesirikas. Havupuilla taas on ero tässä suhteessa huomattava,

joka riippuu siitä, että, kun pintapuun vesipitoisuus havupuulla on yli 50%, on se sydänpuussa ainoastaan noin 15 %. Tuoreen puun painoa voidaan siis oikeastaan sangen helposti myös arvostella sen perusteella, kuinka paljon puussa on sydänpuuta, ja ovat siis aina ne osat tuoreessa puussa, joiden sydänpuu-% on pieni, raskaimmat.

c. Samalla tavalla kuin puun asema metsikössä vaikuttaa kuivan puun painoon, on sillä luonnollisesti myös vaikutuksensa tuoreen puun painoon. Tätä vaikutusta on m.m. tutkinut TH. HARTIG, joka on tutkinut tässä suhteessa hyvin useita puulajeja, m.m. koivua, valkopyökkiä, pyökkiä, saarnia, lehtikuusta, weymouthmäntyä, tammea, jalavaa sekä senlisäksi useita muita tekniikassa vähemmänarvoisia puita, joten hänellä tätä tutkimusta varten on ollut erittäin laaja materiaali. Tutkimuksen tuloksena mainittakoon, että vallitsevien luokkien puiden paino oli keski-ikäisessä koivumetsässä kuorineen 0.894, II-runkoluokan 0.909, III-luokan 0.864, 110-vuotisessa pyökkimetsässä oli vallitsevan luokan tuore paino 0.971 ja II-luokan 0.969, siis tällä kertaa oli vallittu luokka keveämpi. Eräässä 80-vuotisessa pyökkimetsässä taas oli vallitun luokan paino 1.024, jotavastoin vallitsevan luokan paino oli 0.989. 30-vuotisessa pyökkimetsässä taas oli I-luokan puiden paino, 1.042 ja II-luokan 1.050, III-luokan 1.077 ja IV-luokan 1.148, joten siis puiden paino tässä tapauksessa säännöllisesti kasvaa sitä mukaa mitä varjostetumpaan luokkaan tullaan. Samantapaisiin tuloksiin tullaan myös, kun tarkastetaan muita puulajeja koskevia tutkimuksia.

Voitaneekin jo tämän perusteella pitää todennäköisenä, että yleensä vallittujen luokkien puiden ominaispainot ovat suuremmat kuin vallitsevien luokkien. On kuitenkin huomattava, että nämä tutkimukset koskevat ainoastaan runkopuuta. Jos verrataan toisiinsa puiden latvusosien painoa, niin tullaan hieman erilaisiin tuloksiin. Niinpä esim. HARTIG'in esittämässä koivututkimuksessa painoivat kaikkein enimmänsä vallitsevien luokkien latvusosat tai oli ero sangen mitätön, esim. valkopyökillä tuskin huomattava. Käytännössä on asia vielä jyrkemmin huomattavissa senvuoksi, että yleensä pienet puosotat kuivuvat nopeammin kuin suuret. Tästä syystä ovatkin yleensä vallittujen puiden latvukset keveämpiä kuin vallitsevien, ja tätä lisää vielä se, että oksien tyvileikkausten pinta-ala pieniläpimittaisissa puissa on suhteellisesti suurempi kuin puissa, joilla on suurempi läpimitta.

Se, mitä edellä on sanottu puun asemasta metsikössä, voidaan myöskin soveluttaa yleensä puun harvempaan ja tiheämpään asemaan, niin että siis sellaiset puut, jotka kasvavat harvoissa tai siemenpuu-asennossa

olevissa metsissä, ovat yleensä keveämpiä kuin ne puut, jotka kasvavat tiheissä metsiköissä.

Yleensä on tuoreen puun painoa tutkittaessa käytetty xylometrista menettelytapaa. Niistä virheistä, joita sen yhteydessä esiintyy on jo ennen mainittu. Suurin osa xylometristä mittauksista on kuitenkin tehty ilman mitään korrektiota ja sen vuoksi ovatkin puun tuoretta painoa osottavat luvut yleensä epäluotettavat, joten tässäkin suhteessa on tutkimuksella vielä laaja työala.

d. Kaatoajan vaikutus tuoreen puun painoon on asia, jota on verrattain vähän tutkittu. NÖRDLINGER mainitsee, että talvella kaadettu puu ja varsinkin talvella kaadetun puun pintapuuosat ovat jonkun verran raskaampia kuin kesällä kaadettu. GAYER taas mainitsee olevan täysin varmaa, että puun vesipitoisuus vaihtelee sangen huomattavissa määrin vuodenaikojen mukaan. Hän on tullut siihen tulokseen, että vesipitoisuus on tuoreissa lehtipuissa pienin talvella ja havupuissa pienin keväällä, sangen suuresti kuitenkin vaihdellen kunkin puulajin laadun mukaan.

Tarkempien tutkimuksien puutteessa on vaikeata sanoa, kuinka tämän asian laita todellisuudessa on. Että lehtipuiden paino on korkeimmillaan keväällä, on seikka, jota voidaan pitää jokseenkin varmana. Mutta, kuinka sitten on käsiteltävä se asia, että havupuut olisivat raskaimmillaan keväällä? Tähän kysymykseen ei nykyinen tutkimus anna tyydyttävää vastausta, ja niinpä mainittakoonkin, että esim. GRABNER'in mukaan lehtipuun pitäisi saavuttaa suurimman painonsa helmikuussa ja havupuut saavuttaisivat suurimman painonsa jo marraskuussa. Näin ollen onkin todennäköisintä, että havupuut yleensä ovat raskaimmillaan jonakin aikana talvesta, jotavastoin lehtipuut ovat raskaimmillaan kevättalvella tai keväällä.

e. Maanlaadun vaikutus tuoreen puun painoon on suurin piirtein sama kuin sen vaikutus kuivankin puun painoon. Kun kuitenkin sellainen puu, jonka vuosilustot ovat leveät, ja jonka soluontelot ovat suuret, kykenee imemään itseensä paljon enemmän vettä kuin puu, joka on kaikin puolin tiivisrakenteisempi, niin täten suurempi vesimäärä tasoittaa niitä painon eroavaisuuksia, jotka maanlaadun vaikutuksesta huomataan kuivassa puussa. Kuten edellä mainittiin, on tuoreen puun paino hyvin suurella määrin riippuvainen siitä, kuinka suuri osa sen puuaineesta on pintapuuta. Tästä syystä onkin tuore puu aina

raskaampa silloin kuin sen pintapuu-% on mahdollisimman suuri. Hyvin usein on juuri hyvillä ja sangen hyvillä maaperillä kasvaneissa puissa pintapuu-% sangen suuri, ja tästä syystä on tuoreen puun paino hyvillä maaperillä usein huomattavasti suurempi kuin huonoilla. Tätä osottavat m.m. HUNDESHAGEN'in ja BERGER'in tutkimukset, joiden mukaan basalttimaalla kasvaneet, noin 100-vuotiset tammets, olivat huomattavasti raskaampia kuin hiekkamaalla kasvaneet.

Jos sitävastoin ei ole kysymys erikoisen hyvistä maanlaaduista, ja jos siis sydänpuumäärä ei tuntuvasti vaihtelee, niin ei myöskään ole olemassa niin suuria eroja tuoreen puun painoissa eri maanlaaduilla.

Yhdessä suhteessa vaikuttaa maaperä kuitenkin sangen tuntuvasti tuoreen puun painoon. Sen vaikutus tulee nim. kaikkein parhaiten näkyviin silloin kuin tutkitaan puun kantoa lähinnä olevien osien ja äärimmäisten latvusosien painoa. Ne ovat nim. hyvällä maalla sangen huomattavassa määrässä raskaammat kuin huonolla. Erittäinkin pitää tämä paikkansa puun latvusosiin nähden, jotka siis ovat hyvällä maalla huomattavasti raskaammat kuin huonolla.

Edellä mainittiin, että yleensä sydänpuun määrä lopulta on tärkein tekijä arvosteltaessa tuoreen puun painoa. Tutkimuksia siitä, vaihteleeko sydänpuun määrä maanlaadun mukaan, ei ole olemassa. Todennäköisesti ei kuitenkaan näin ole asian laita, vaan on sydänpuumuodostuksella aivan omat erikoiset lakinsa, joten tässä suhteessa ei yleistä kaikkia puulajeja koskevaa sääntöä voida antaa. Mitä meidän mäntyymme tulee, niin on sen sydänpuun painolla huomattava ero pintapuun painoon verraten. Kuusella taas on ero pienempi, osaksi senkin tähden, että kuusen sydänpuuosat sisältävät huomattavasti vähemmän hartseja ja pihkaa kuin pintapuuosat. Sellainen mäntypuu, jossa on runsaasti sydänpuuta, ja huomattava on, että tällaista mäntypuuta voi myös löytyä sangen hyvillä, jopa erikoisen hyvillä maanlaaduilla, on huomattavasti keveämpää kuin mäntypuu, jossa ei ole sydänpuuta.

HOLMERZ ja ÖRTENBLAD ovat Norrbotten'in metsiä tutkiessaan tulleet siihen tulokseen, että sydänpuuta muodostuu aikaisemmin nopeasti kasvaneissa puissa kuin hitaasti kasvaneissa. Jos samanikäisiä puita verrataan toisiinsa, niin on siis nopeakasvuilla ja suurempimittaisilla puilla suhteellisesti enemmän sydänpuuta kuin hitaasti kasvaneilla ja pienempimittaisilla. Jos näin on asian laita, niin tämäkin seikka puolestaan todistaa sen olettamuksen oikeutta, että kuivan puun paino ei osoita suhteellisesti katsoen siksi suuria vaihteluita kuin tuoreen puun paino.

Käytettyä kirjallisuutta:

- BAUR, F.: IV Untersuchungen über den Festgehalt und das Gewicht der Hölzer. (Monatschrift für das Forst- und Jagdwesen 1874).
- BÜHLER, A.: Untersuchungen über die Qualität des im lichten und im geschlossenen Stand erwachsenen Tannen- und Fichtenholzes. (Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen, 1889.)
- V. BULTEJUS: Untersuchungen über das Gewicht verschiedener Nutz- und Brennholz-Sortimente der häufigeren Holzarten im grünen und Waldtrockenen Zustand. (Forstliche Blätter, 1878.)
- BÖHMERLE, EMIL: Das waldtrockne Holz in Bezug auf dessen Festgehalt und Gewicht im Raummasse. Wien 1879.
- CHEVANDIER & WERTHEIM: Recherches sur la composition élémentaire des differents bois. Paris lu à l'Académie des Sciences le 20 jan. 1845.
- FOREST PRODUCTS LABORATORY, Madison Wisconsin, Washington 1923.
- GAYER, KARL: Die Forstbenutzung, 8 Aufl. Berlin 1894.
- HARTIG, ROBERT: Das spezifische Frisch und Trockengewicht, der Wassergehalt und das Schwinden des Kiefernholzes. Berlin 1874.
- Der Einfluss des Baumalters und der Jahringbreite auf die Beschaffenheit des Holzes. (Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 1884.)
- Das Holz der deutschen Nadelwaldbäume. 1885.
- Ueber den Einfluss der Erziehung auf die Beschaffenheit des Holzes der Waldbäume. (Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen. 1897.)
- Das Holz der deutschen Nadelwaldbäume. 1901.
- HARTIG, TH.: Forstculturpflanzen Deutschlands. 1840.
- Ueber das Verhältniss des Brennwerths verschiedener Holz- und Torfarten. Braunschweig 1855.
- Anatomie und Physiologie der Holzpflanzen. Berlin 1878.
- HUNDESHAGEN: Beiträge zur gesammten Forstwissenschaft. I. Band, 3 Heft.
- KEGHEL, M. DE: Traité de la conservation et de l'amélioration des bois. Paris 1921.
- KESTERCANEK, FRANZ X.: Das spezifische Gewicht diverser in Obercroatien und den croatischen Küstenlande heimischer Holzarten (Centralblatt für das gesammte Forstwesen, 1880, S. 127.)
- MOHR, CHARLES, ROTH FILIBERT: The timber of the Southern United States.
- NÖRDLINGER, H.: Die Ringbreite allein noch kein Massstab für die Güte des Holzes. (Kritische Blätter, 48 Band, 1 Heft. 1866.)
- Einfluss des Lichtstandes auf die Beschaffenheit des Föhrenholzes. (Cbl. f. d. g. F. 1875.)
- Liegt an schiefen Bäumen das bessere Holz auf der dem Himmel zugekehrten oder auf der unteren Seite. (Centralblatt für das gesammte Forstwesen. 1898.)
- Saftgehalt der Bäume und spezifisches Gewicht des Holzes. (Centralblatt für das gesammte Forstwesen, 1879.)
- Weitere Betrachtungen über spezifisches Grüngewicht, Saftgehalt und spezifisches Trockengewicht der Hölzer. (Centralblatt für das gesammte Forstwesen, 1880.)
- Wo erwächst gutes Lärchenholz? (Centralblatt für das gesammte Forstwesen, 1885.)
- RUMFORD: Recherches sur les bois et le charbon. Paris 1812.

- SCHWAPPACH, A.: Beiträge zur Kenntnis der Qualität des Rothbuchenholzes. (Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen, 1894).
- Untersuchungen über Raumgewicht und Druckfestigkeit des Holzes wichtiger Waldbäume, u.s.w. I. Die Kiefer. Berlin 1897.
- Untersuchungen über Raumgewicht und Druckfestigkeit des Holzes wichtiger Waldbäume. II. Fichte, Weymonthskiefer und Rotbucke. 1898.
- SMALIAN: Beitrag zur Holzmesskunst. Stralsund 1837.
- V. WERNECK, LDW. FRDR. FRZ: Physikalisch-chemische Abhandlungen über die spezif. Gewichte der vorzüglichsten deutschen Holzarten und ihre verschiedene Brennkraft als Holz u. Kohlen. Giessen & Darmstadt. 1808.

B. Puun vesipitoisuus.

Puun vesipitoisuudella (engl. moisture) ymmärretään puun kykyä haihduttaa ja imeä itseensä vettä sekä kaikkia niitä ilmiöitä, jotka esiintyvät puussa näiden tapahtumien yhteydessä.

Eräät käytännölliset asianhaarat puun käytössä ovat johtaneet siihen, että puuta, niinkuin edellä on jo mainittukin, käytetään silloin kuin se on saavuttanut vissit kosteusasteet. Nämä kosteusasteet ovat seuraavat:

1. Vastakaadettu l. tuore puu. Tällaisena käsitellään puuta heti sen jälkeen kuin se on metsässä kaadettu. Koko puun kuljetus maitse ennenkuin puutavaraa on jalostettu, käsittelee siis juuri pääasiallisesti tällaista puuta. Tällaisen vastakaadetun puun vesipitoisuus vaihtelee suuresti puulajin mukaan. Kaikkein enimmänsä vettä sisältävät kevyet lehti- ja havupuut, joiden vesipitoisuus on keskimäärin 45—55 %. Näihin puulajeihin kuuluvat esim. haapa, hopeakuusi, lehmus ja weymouthmänty. Sen jälkeen seuraavat ne puulajit, joiden vesipitoisuus on 35—45 %, ja näihin puulajeihin kuuluvat esim. mänty, kuusi, lehtikuusi, tammi, vaahtera, jalava ja valkopyökki. Lopuksi tulevat ne puulajit, joissa tuoreenakin on vettä alle 35 %, ja näihin kuuluvat saarni ja pyökki.

2. Metsäkuiva puu on taas sekin soveltuva useihin käytännöllisiin tarkoituksiin. Pyökki ja saarni sekä usein tammikin palavat jo melkein heti kaadon jälkeen. Muiden puulajien täytyy sitävastoin kuivaa ennenkuin niitä voidaan polttaa, ja se kuivusaste, jossa puita yleensä voidaan käyttää polttopuuna, on metsäkuiva aste. Metsäkuivalla asteellaan on puulla myös se ominaisuus, että sitä voidaan käyttää ulkoseiniin ilman, että se niissä muuttaa muotoansa. Tässä asteessaan puu sisältää 25—30 % vettä.

3. Vajakuiva l. lautatarhakuiva puu on sekin käytännöllisiltä ominaisuuksistaan hieman erilainen kuin edellinen. Tässä kuivusasteessaan sopii puu parhaiten polttopuuksi. Se palaa helpommin kuin edellisessä kuivusasteessa ja käytännöllisesti katsoen ei lämmittäessä mene liika suurta polttoainemäärää hukkaan kosteuden haihduttamiseen puusta. Mitä taas tulee sahattuun ja veistettyyn puutavaraan, niin on mainittava, että ne vielä tässä kuivusasteessa suuresti katsoen säilyvät halkeamatta.

Tällainen vaja- ja lautatarhakuiva puu sisältää hyvin erilaiset määrät vettä vaihdellen sen vesimäärä 8—25 %. Tämä riippuu pääasiallisesti ympäröivän ilman kosteusmäärästä, sillä vajakuiva ja lautatarhakuiva puu sisältävät vettä suunnilleen yhtä paljon kuin niitä ympäröivä ilma ja tästä syystä vaihtelee niiden vesipitoisuus ympäröivän ilman relatiivisen kosteuden mukaan. Tämä määrä riippuu myös siitä, miten puu on paloitetu ja miten paljon se sisältää sydänpuuta.

4. Kuiva l. huonekuiva puu on taas saanut kuivaa tavallisessa asuintai muussa samaan tapaan lämmitetyssä huoneessa siksi, kunnes se on saavuttanut ympäröivän ilman kosteusmäärän. Tällöin on sen vesipitoisuus 4—12 %. Myöskin tällaisella puutavaraalla on omat ominaisuutensa. Tässä asteessa puutavara ensinnäkin halkeilee käytännöllisesti suurimman määränsä ja tässä asteessa saavuttaa se ko'on, joka ei puun huoneessa ollen käytännöllisesti katsoen muutu.

5. Absoluutisesti kuivalla puulla on merkitystä esim. kemiallisia tutkimuksia varten. Tässä asteessa on puuaineella tarkasti määriteltävä kemiallinen kokoomuksensa, ja senvuoksi saatetaan puu tähän tilaan sitä kemiallisesti tutkittaessa. Löytyy luonnollisesti muitakin tieteellisiä tarkoituksia, joihin absoluutisesti kuivaa puuta tarvitaan.

Nämä kosteusasteet johtuvat siitä, kuinka vesi on puun eri osiin, mantopuuhun, sydänpuuhun, soluonteloihin, soluseinän huokosiin, soluseiniin j.n.e., sijoittunut. Tutkittaessa sitä, mitkä seikat saavat aikaan kunkin yllä luetelluista kuivusasteista, on seurattava veden haihtumista puusta. Toiselta puolen tavataan luonnossa myös päinvastainen ilmiö, nim. veden imeytyminen puuhun. Jos siis absoluutisesti kuiva puu asetetaan ilmaan, niin alkaa se imeä itseensä vettä tullen hyvin pian samaan kosteusasteeseen kuin ympäröivä ilma. Tässä suhteessa on ilmiö samantapainen kuin haihdunta siten, että ne puulajit ja puunosat, jotka helposti haihduttavat vettä myöskin helposti sitä imevät. Veden imeytyminen puuhun käy vielä suuremmaksi, jos puu upotetaan veteen.

Puun vesipitoisuutta tutkiessa on pääasiallisesti kiinnitetty huomio seuraaviin seikkoihin:

1. Puun absoluutinen vesipitoisuus;
2. Puun kuivumisilmiö;
3. Puun veden imemis- ja uppoamisilmiö;
4. Vesipitoisuuden vaihteluista johtuvat puun ko'on muutokset.

1. Puun absoluutinen vesipitoisuus.

a. P u u n k u i v a p a i n o merkitsee puun vesipitoisuuteen nähden sitä, että yleensä puu voi saavuttaa sitä suuremman vesipitoisuuden, mitä pienempi ominaispaino sillä on l. toisin sanoen puun vesipitoisuus on kääntäen verrannollinen puun ominaispainoon. Tämän lain on jo NÖRDLINGER aikoinaan esittänyt, ja on hän tullut tähän lakiin tutkiesaan saman puun eri osien tuoretta painoa ja puun anatomista rakennetta. NÖRDLINGER huomasi, nim. sen seikan, että mitä keveämpää puu on, sitä suuremmat ovat sen soluontelot ja sitä pienempi on myös soluontelosten volyymi koko puun volyymiin verraten. Suurin osa puussa olevasta vedestä, jota NÖRDLINGER kutsuu mahlavedeksi (Saftwasser), sijaitsee juuri soluonteloissa, ja senvuoksi onkin aivan luonnollista, että soluonteloiden suhteellisesta laajuudesta solun koko kuutiosisällykseen verraten riippuu se seikka, kuinka paljon puu yleensä voi sisältää vettä.

Uudempi tutkimus ei ole kovin paljon voinut valaista tätä asiaa, ainoa edistysaskel tässä suhteessa on käsite ontelokuutio (porvolym), jolla ymmärretään lukua, joka saadaan seuraavasta kaavasta:

ontelokuutio = $\frac{\text{ominaispaino}}{1.56}$, jossa käytetään puun ominaispainona sen absoluuttisesti kuivaa painoa.

Alla oleville ominaispainoille ovat (ENEROTH) soluseinä- ja huokos%:it seuraavat:

	soluseinä-%	huokos-%
0.30	19	81
0.40	26	74
0.50	32	68
0.60	39	61
0.70	45	55
0.80	49	51

Nämä luvut osottavat, että ensinnäkin meidän oloissamme kaikilla puulajeilla on soluseinien kuutio pienempi kuin soluonteloiden + soluhuokosten kuutio, ja toiseksi nähdään, että mitä suuremmaksi ominaispaino kohoaa, sitä vähemmän jää tilaa huokosille ja soluonteloille ja sitä enemmän siis voi puuhun mahtua vettä.

b. P u u l a j i l l a on merkityksensä vesipitoisuuteen siten, että yleensä sellaiset puulajit, jotka ovat kuivina keveitä, niinkuin esim. haapa, poppelilajit, leppä, mänty ja kuusi, sisältävät painostaan suuremman %-määrän vettä kuin raskaammat puulajit, niinkuin esim. tammi,

pyökki, robinia, jalava, päärynäpuu ja omenapuu ja siperialainen lehtikuusi.

Kuinka suuri eri puulajien nestepitoisuus (Saftgehalt) on, siitä ei ole laajempia tutkimuksia. Jonkunmoisen käsityksen siitä kuitenkin antavat seuraavat tutkitut yksityistapaukset.

TH. HARTIG'in mukaan vaihteli koivun vesipitoisuus 0.35—0.41 nuorissa puissa ja 0.28—0.36 vanhoissa puissa ja samoin 90-vuotisen valkopyökin 0.32—0.41. SCHUBLER'in tutkimusten mukaan vaihteli kuusen vesipitoisuus 0.53—0.61, pähkinäpuun oli 0.41—0.49, hevostakan 0.40—0.47, tavallisen vaahteran 0.34—0.40 ja saarnin 0.29—0.39.

Nämä luvut osottavat siis sen, joka jo edellä on mainittu, nim., että vesipitoisuus on jokseenkin läheisessä yhteydessä puun ominaispainon kanssa. Nämä luvut, jotka edellä ovat mainitut, osottavat vesipitoisuutta lausuttuna $\frac{1}{100}$:ina tuoreen puun painosta, ja voidaan tällaisia lukuja siis likimääräisesti laskea kullekin puulajille, kun sen paino tuoreena ja absoluuttisesti kuivana tunnetaan. Hyvin usein on kuitenkin laskuissa tehty se erehdys, että on tuoreen puun painosta vähennetty huonekuivan puun paino ja tällä tavalla on luonnollisesti saatu hieman pienempiä lukuja kuin edellisessä tapauksessa. Sitäpaitsi on joskus myös lausuttu nämä luvut %:eina puun volyymistä tuoreena.

Käytännöllisiä tarkoituksia varten riittää, kun lausutaan nämä luvut %:eina tuoreen puun painosta, ja silloin on paras käyttää EXNER'in luokittelua, jonka mukaan tuoreen puun vesipitoisuus on

havupuilla	0.57
keveillä lehtipuilla	0.52
raskailla lehtipuilla	0.42

jotka luvut osottavat vuosittaista keskimäärää.

c. P u u n a s e m a l l a m e t s i k o s s a on tässä suhteessa ratkaiseva merkitys. Tutkimuksista mainittakoon TH. HARTIG'in tutkimukset, joiden mukaan esim. koivun vesipitoisuus oli vallitsevassa runkoluokassa 0.41, II runkoluokassa 0.37, ja III runkoluokassa 0.35, sekä samoin HARTIG'in tutkimukset valkopyökille, jotka osottivat, että I runkoluokan vesipitoisuus oli 0.32, II runkoluokan 0.36, III runkoluokan 0.35, IV runkoluokan 0.38, V runkoluokan 0.41, VI runkoluokan 0.38, VII runkoluokan 0.41 ja VIII runkoluokan 0.41. Nämä numerot osottavat siis tutkittuihin puulajeihin nähden, että vesipitoisuus yleensä on

suurempi vallitsevissa runkoluokissa ja vähenee vallittuihin runkoluokkiin päin. Ei ole epäilystäkään siitä, ettei asian laita olisi sama kaikkiin puulajeihin nähden, tärkein asia on oikeastaan tarkastaa itse absoluuttisia lukuja, ja silloin huomataan, että ero vesipitoisuuden välillä eri luokissa on sangen tuntuva, vaihdellen 6—9 % puun koko tuoreesta painosta.

d. Eri rungonosien vesipitoisuudella on käytännössä merkityksensä esim. tukinuitossa, puutavaran kuljetuksessa j.n.e. Jos aletaan puun alimmaisesta osasta, s.o. juuresta, niin on sen vesipitoisuus sangen suuri ja sitä suurempi mitä nuorempi ja pienempiläpimittainen kyseenalainen juurenosa on. Juuren vesipitoisuus voi TH. HARTIG'in mukaan olla noin 0.70, ja on saman tutkimusten mukaan esim. 2—3 tuuman läpimittaisessa koivunjuuressa 0.56. Oksat sisältävät huomattavasti vähemmän vettä kuin juuret siten, että luonnollisesti pienemmät oksat sisältävät enemmän, esim. koivulla 0.42, pyökillä 0.45 ja suuremmat oksat, yli 2 tuumaa koivulla 0.36.

Jo ennen on mainittu, että pintapuu sisältää yleensä enemmän vettä kuin sydänpuu. Käytännöllisesti katsoen voidaan sanoa, että kasvavan havupuun pintaosissa on keskimäärin 50 % vettä (MAYR). Sitäpaitsi on sama tutkija huomannut, että havupuilla yleensä on sydänpuuvesipitoisuus 15 %, joten siis sydän- ja pintapuun vesipitoisuusero on 35 %. Lehtipuiden keskimääräinen vesipitoisuus on jonkun verran pienempi, useissa tapauksissa ehkä 45 %, mutta sitävastoin ei ero pinta- ja sydänpuun vesipitoisuuden välillä ole niin suuri kuin havupuissa, joten lehti- puunkin sydänpuu sisältää noin 15 % vettä, usein enemmänkin, aina 18 % asti. Yleensä voidaan MAYR'in mukaan pitää pintapuun keskimääräisenä vesipitoisuus-%:na lukua 0.45, joka luku on siis keskimäärä tavallisimmille eurooppalaisille puulajeille kaikkina vuodenaikoina.

Jos taas tarkastetaan vesipitoisuuden vaihtelua rungon eri osissa, niin on esim. TH. HARTIG huomannut, että vesipitoisuus nousee sitä mukaa mitä ylemmäksi puussa tullaan, kunnes on saavuttu johonkin vissiin korkeuteen, jonka jälkeen vesipitoisuus taas alkaa laskea. Tämä korkein vesipitoisuusmäärä saavutetaan eri korkealla eri runkoluokissa niin, että se esim. vallitsevissa puissa tavataan $\frac{9}{11}$ korkeudella, II luokassa $\frac{6}{9}$ korkeudella, III luokassa $\frac{6}{9}$ korkeudella. Tämä siis osottaa, että mitä syrjäytetympään luokkaan puu kuuluu, sitä suhteellisesti korkeammalle siirtyy se piste, jossa puu saavuttaa vesipitoisuusmaksiminsa. Nämä HARTIG'in tutkimukset koskevat ainoastaan koivua. Myös NÖRDLINGER on tutkinut asiaa ja mainitsee johtopäätöksensä suunnilleen seuraavasti: »Jos ajatellaan, että annettaisiin tehdä seiväs, joka olisi koko puun pitui-

nen ja otettu puun keskeltä sekä ulettuisi puun latvaan asti, niin kohoaisi tämän seipään vesipitoisuus aina sitä mukaa mitä korkeammalle tullaan. Tätä sääntöä rikkovat ainoastaan oksat ja oksien tienoot, jotka ovat milloin sangen vesipitoisia ja milloin taas kuivia. Jos tangolle sattuu paljon eläviä sivuoksia, niin kohottavat nämä luonnollisesti vesipitoisuutta. Tästä syystä alkaa vesipitoisuus nousta sieltä, mistä terveet ja elinvoimaiset oksat alkavat latvaan päin. Laki on siis itse asiassa sama kuin se, joka edellä jo on mainittu tuoreen puun painon vaihteluista rungon eri osien mukaan.»

e. Vuoden ajan vaikutuksesta puun vesipitoisuuteen on vanhimpina aikoina yleensä ollut se käsitys, että puu sisältää enimmänsä vettä nestenousun aikana keväällä. Ensimmäinen, joka rupesi tätä asiaa epäilemään oli DUHAMEL DU MONCEAU. Hän antoi kaataa jouluk. 1732—marrask. 1733 välisenä aikana joka kuukausi 8 yhtä vanhaa tammea, joista hän otti kustakin 25 samanmittaista koekappaletta samoilta paikoilta puussa, jotka hän heti punnitsi. Tulokset olivat seuraavat:

joulukuussa 1732	340,718
tammikuussa 1733	340,906
helmikuussa »	328,031
nämät kuukaudet yhteensä ...	1,009,655
maaliskuu 1733	331,087
huhtikuu »	311,875
toukokuu »	319,500
nämät kuukaudet yhteensä ...	962,462
kesäkuu 1733	297,312
heinäkuu »	297,250
elokuu »	314,469
nämät kuukaudet yhteensä ...	909,031
syyskuu 1733	306,875
lokakuu »	328,906
marraskuu »	331,000
nämät kuukaudet yhteensä ...	966,781

Jos kukin kuukausi järjestetään painolukunsa mukaan, niin tulevat ne seuraavaan järjestykseen: tammikuu, joulukuu, maaliskuu, marraskuu, lokakuu, helmikuu, toukokuu, elokuu, huhtikuu, syyskuu, kesäkuu ja heinäkuu. Jo näiden tutkimuksien perusteella voidaan, kun jätetään maaliskuun numero huomioon ottamatta, koska se on todennäköi-

sesti virheellinen, tehdä se johtopäätös, että puussa on enemmän vettä joulukuussa ja tammikuussa, ja tämän mukaan ovat DUHAMEL DU MONCEAU ja NÖRDLINGER tehneet näistä numeroista sen johtopäätöksen, että näihin vesipitoisimpiin kuukausiin liittyvät sen jälkeen alenevassa sarjassa lokakuu, marraskuu, helmikuu ja maaliskuu, jonka jälkeen seuraavat huhtikuu, toukokuu, elokuu ja syyskuu sekä vihdoin kesäkuu ja heinäkuu, jolloin puussa on kaikkein vähemmän vettä.

DU MONCEAU ei ollut kuitenkaan tyytyväinen näihin tutkimuksiinsa sentähden, että hän oli antanut paloitella puut samankokoisiksi kappaleiksi, sillä tämä vei jonkun verran aikaa, jona vesi pääsi haihtumaan puusta. Tästä syystä hän uudisti kokeensa vuosina 1737 ja 1738, jolloin hän tutki nuoria tammia, joita hän kaasi 6 kpl. joulukuun 31 p:nä 1737, huhtik. 21 p:nä 1738 ja heinäk. 26 p:nä 1738. Kustakin tällaisesta puusta otti hän yhtä pitkän kappaleen tyvestä ja antoi punnita sen heti kaadon jälkeen. Sen jälkeen määräsi hän hydrostaattisesti tutkittujen puokappaleiden volyymit ja sai puun ominaispainoksi joulukuussa 1,132, huhtikuussa 1,016 ja heinäkuussa 1,017, joten tästäkin tutkimuksesta käy selville se tosiasia, että puu on raskainta joulukuussa. Nämät DUHAMEL DU MONCEAU'n tutkimukset jäivät kuitenkin pian unohduksiin, ja jo RUMFORD'illa ja HUNDESHAGEN'illa tavataan taas väite, että puu on keväällä vesipitoisin. Tämä on sitäkin kummallisempaa, kun esim. RUMFORD'in omista tutkimuksista selviää, että ainakin hänen tutkimalaan lehmuksella oli tammikuussa suurempi vesipitoisuusmäärä (0.4455) kuin syyskuussa, jolloin se oli (0.3655), ja mitään tutkimuksia puun vesipitoisuudesta keväällä ei RUMFORD edes ole tehnytään. HUNDESHAGEN taas perustaa väitteensä BERNER'in tekemiin tutkimuksiin, jotka kuitenkin itse asiassa osottavat aivan päinvastaista, sillä koekappaleet olivat raskaammat joulukuussa (52.1) kuin toukokuussa (50.5).

Laajoja tutkimuksia on tällä alalla tehnyt TH. HARTIG, joka on tutkinut 30 tärkeimmän puulajin vesipitoisuuden useimpina kuukausina. HARTIG'in tutkimukset ovat tehnyt 16-vuotisissa samanlaiselle maalle istutetuissa puissa, joten hänen tutkimuksillaan senkin vuoksi on erikoinen arvonsa. Sen jälkeen on hän ottanut keskimäärän koville lehtipuille, pehmeille lehtipuille, havupuille ja kaikille puulajeille. Nämät keskimäärät näkyvät seur. sivulla olevasta taulukosta:

Näistä tutkimuksista on HARTIG tehnyt sen johtopäätöksen, että yleensä, niinkuin lopullinen keskimäärä osottaa, kaikilla puulajeilla keskimäärin on suurin vesipitoisuutensa tammikuussa ja helmikuussa (50.5 %). Maaliskuu ja huhtikuu, jona suuri osa HARTIG'in tutkimista puista vuo-

Puuryhmät	Tammik.	Helmik.	Maalisk.	Huhtik.	Toukok.	Kesäk.	Heinäk.	Syysk.	Marrask.
Kovat lehtipuut.....	0.41	0.38	0.36	0.36	0.39	0.35	0.39	0.38	0.34
Pehmeät lehtipuut...	0.53	0.53	0.51	0.49	0.47	0.47	0.50	0.47	0.45
Havupuut	0.60	0.58	0.59	0.54	0.60	0.61	0.60	0.58	0.58
Kaikki puut	0.51	0.50	0.49	0.46	0.49	0.48	0.50	0.48	0.46

taa mahlaa, osottavat noin 3 % pienempää vesipitoisuutta (47.5 %). Ne kuukaudet taas, jolloin lehdet puhkeavat ja kasvaimet pitenevät, touko- ja kesäkuu, osottavat hieman suurempaa vesipitoisuutta (48.5 %) ja vielä sitä suurempaa vesipitoisuutta osottaa heinäkuu, jona vuosilusto muodostuu (50 %) ja lopuksi taas hieman pienempää vesipitoisuutta osottaa syyskuu, jolloin vuosilusto jo on valmistunut (48 %).

Jos tarkastetaan niitä lukuja, jotka osottavat kovien- ja pehmeiden lehtipuiden nestepitoisuutta, niin huomataan, että niissä yleensä on vesipitoisuus suurin talvikuukausina. Havupuut sitävastoin sisältävät näiden tutkimuksien mukaan enemmän vettä sekä talvi- että myöskin kevät- ja kesäkuukausina.

Näiden HARTIG'in numeroiden perusteella ei kuitenkaan vielä voida katsoa kysymystä ratkaistuksi. Päinvastoin on niissä monta hyvin kummallista kohtaa. Erittäin merkillinen on esim. marraskuun alhainen kosteusmäärä. Marraskuu on nim. näiden tutkimuksien mukaan juuri se kuukausi, jolloin puussa on vähemmän vettä. Tämä seikka on kuitenkin aivan selvästi ristiriidassa kaiken sen kanssa, mitä puusta tiedetään. Tiedetäänhän nim., että marraskuussa ei puulla ole mitään haihduttavia elimiä, ja maa on sitäpaitsi marraskuussa ehkä kosteimmillaan, joten näyttää merkilliseltä, että juuri tänä kuukautena kosteusmäärä olisi alhaisimmillaan.

Hyvin todennäköistä on, että ilmastosuhteet eivät ole HARTIG'in koevuotena olleet normaalit, ja että HARTIG'in luvut osottavat ainoastaan yhden vuoden kosteuden vaihteluja. Näihin TH. HARTIG'in tutkimuksiin voidaan verrata R. HARTIG'in tekemiä tutkimuksia (taulukko siv. 90), jotka osottavat vesigrammoja 100:ssa kuutiosenttimetrissä tuoretta puuvolyymiä.

Jos näitä numeroita verrataan edellä mainittuihin DUHAMEL DU MONCEAU'n numeroihin ryhmittämällä DU MONCEAU'n luvut vuodenajoittain, niin käy jokseenkin tarkoin selväksi, e t t ä p u u o n y l e e n s ä

Puulaji	Huhtikuu	Kesäkuu	Lokakuu	Joulukuu
Mänty.....	38.2	36.5	50.1	40.9
Kuusi.....	30.5	36.2	33.0	33.6
Lehtikuusi...	—	34.2	36.9	33.7

raskain joulukuun ja toukokuun välisenä aikana, keveimmillään kesä- ja heinäkuussa, jonka jälkeen sen paino taas alkaa kohota elokuussa, syyskuussa, lokakuussa ja marraskuussa.

Nämä seikat voidaan suuresti katsoen pitää jo todistettuina, sillä myöskin BÜSGEN'in tekemät tutkimukset antavat niille tukea. Uusimmat tutkimukset ovat kuitenkin osottaneet, että painon erot eri kuukausien ja vuodenaikojen välillä eivät ole suuret, mutta, että ainakin puu varmasti talvella sisältää enemmän vettä kuin muina vuodenaikoina. Tämä asia riippuu siitä kasvfysiologiassa todetusta seikasta, että puiden juuret voivat imeä vettä vielä sen jälkeen kuin kasvin maanpäällinen osa on lopettanut elintoimintansa, ja voivatpa kasvin juuret työskennellä vielä sellaisessakin maassa, joka on jäätynyt.

KOSAROFF on todistanut, että 0° C lämpötilässä puut voivat ottaa maasta suuret määrät vettä ja että vielä silloin kuin lämpötila on — 5° C ja maassa vielä on jäätä, juuret edelleenkin voivat toimia. BÜSGEN mainitsee, että hän oli löytänyt nuorten strobuserien neulasten kärjistä vedenpisaroita vielä silloin kuin maa ei ollut sulanut 20 sm syvemmälle. Juuret olivat siis työskennelleet sellaisessa ympäristössä, jonka lämpötila oli sängen vähän yli 0° C. R. HARTIG taas huomasi koivun keskimääräisessä vesipitoisuudessa huomattavan nousun helmikuun puolivälistä maaliskuun puoliväliin ja pyökillä ja männällä marraskuussa ja joulukuussa. Näidenkin puiden on siis täytynyt voida imeä itseensä vettä silloin kuin maa on ollut jäässä.

f. Puun vesipitoisuus riippuu myös sängen suuressa määrin siitä, minä vuorokauden aikana se mitataan ja ilman suhteesta kosteudesta. Tässä suhteessa ovat TH. HARTIG ja myöhemmin CIESLAR tehneet tutkimuksia. Kasvavan puun vesipitoisuudelle on haihtuminen suurimerkityksellinen. Puusta haihtuu joka silmänräpäys vettä ympäröivään ilmaan ja tämä haihtuminen on sitä

kiihkeämpi, mitä korkeampi ympäröivän ilman lämpötila on ja mitä enemmän vettä ympäröivä ilma sisältää. Ne vesimäärät, jotka haihtuvat puusta, ovat sitä suuremmat, mitä suurempi ja lehdekkäämpi puun latvus on. Esimerkkinä mainittakoon, että esim. suurehkoista koivusta haihtuu yhtenä ainoana päivänä 300 l. vettä.

Toiselta puolelta korvautuu kadotettu määrä niillä vesimäärillä, jotka juuret imevät maasta. Tällä tavalla syntyy puussa veden virtaaminen, jota kutsutaan haihtumisvirtaukseksi (Transpirationsstrom). Jos kuumuus on suuri ja ilma on kuiva, niin eivät juuret jaksakaan imeä puuhun niin suurta vesimäärää kuin siitä on haihtunut ja tästä on seurauksena, että vesimäärä puussa alenee. Samoin tapahtuu myöskin, kun maan lämpöä alenee ja juurien toiminta heikontuu, sillä myöskin silloin vähenee puussa oleva vesimäärä ja lehdet kuihtuvat.

CIESLAR'in tutkimukset sekä kairanlastuissa että lohkotuissa puupalasissa osottavat, että 100 volyymiosassa tuoretta puuta oli seuraavat määrät vettä:

aamulla kesäkuussa puupalasissa	65.0 %	kairanlastuissa	47.8 %
keskipäivällä	» 57.3 »	»	45.6 »
illalla	» 59.6 »	»	44.3 »

Nämä luvut osottavat, että puissa yleensä on vesipitoisuus suurimmillaan aamulla ja että se tämän jälkeen todennäköisesti keskipäivällä saavuttaa pienimmän määränsä kohotuksensa taas iltaa kohti. Edelleen selviää näistä luvuista, että puun vesipitoisuuden vuorokautiset vaihtelut ovat sängen tuntuvat, voidaanpa sanoa yhtä suuret kuin sen vuodenaikaiset vaihtelut, nousten ne aina 8 % asti. Että puissa illalla on enemmän vettä riippuu siitä, että illalla ja yöllä ilman kosteus on suurempi ja että yöllä ilmaraoit ovat suljetut. Ilmarakojen ei tarvitse yöllä olla auki sentähden, että yöllä ei tapahdu hiilihappoassimilatiota.

g. Ilmastollisilla tekijöillä on, niikuin jo edellisestä on selvinnyt, huomattava merkitys kasvavan puun vesipitoisuuteen. Selvää on, että äärimmäisyystapaukset, kuten rankkasateet ja äärimmäinen kuivuus, saavat aikaan huomattavia muutoksia puun vesipitoisuudessa, ja tästä syystä mainitsee myös MAYER, että pintapuun vesipitoisuus vaihtelee ilman vesipitoisuuden kanssa ja että sadeaikoina puissa on huomattavasti enemmän vettä kuin kuivina aikoina ja että itse asiassa jokaisena kuukautena puulla on oma vesipitoisuusmaksiminsa ja miniminsä.

Voidaankin väittää, että tällaisten meteorologisten äärimmäisyys-

tapauksien aiheuttamat vesimäärän vaihtelut puussa ovat aivan yhtä suuret kuin eri vuodenaikojen ja vuorokaudenaikojen aiheuttamat.

Myös tuulella on merkityksensä tässä suhteessa, niin että heti tuulisen sään jälkeen puun vesipitoisuus, varsinkin pintapuun, on huomattavasti pienempi kuin tyynellä säällä.

Jos nyt kuitenkin tällaiset äärimmäisyystapaukset jätetään huomioon ottamatta, ja tutkitaan puun vesipitoisuutta ainoastaan kuukauden niinä päivinä, jolloin tällaisia meteorologisia äärimmäisyystapauksia ei ole olemassa, niin huomataan, että puun vesipitoisuus vaihtelee ilman relatiivisen kosteuden mukaan siten, että yleensä puuhun imeytyy vettä sitä enemmän mitä suurempi relatiivinen kosteus on. Meidän maassamme on relatiivinen kosteus yleisin piirtein suurimmillaan joulukuussa (n. 93 %), sen jälkeen vähenee se tammikuussa noin 90 %:iksi, maaliskuussa on se 80 %, toukokuussa se saavuttaa alhaisimman määränsä, 65 % ja nousee sen jälkeen hitaasti niin, että se kesäkuussa on 67 %, heinäkuussa 70 %, syyskuussa 82 % ja marraskuussa 90 %. Nämä kosteuden vaihtelut vaikuttavat kasvavan puun vesipitoisuuteen sikäli, että se on sitä pienempi mitä pienempi ilman relatiivinen kosteus.

Ilman kosteuden vaihtelujen aikaansaamat muutokset puun vesipitoisuudessa tuntuvat etupäässä lehvistössä, oksien hennoissa osissa ja pintapuussa ja ulottuvat sisempiin puosiin vasta silloin kuin vesimäärä jatkuvasti alenee ja vesi sisäosista siirtyy pintaan päin. Joka tapauksessa voidaan väittää, että se, mitä edellä on esitetty puiden vesipitoisuudesta eri vuodenaikoina, saa hyvin suureksi osaksi myös selityksensä juuri ilman relatiivisen kosteuden kuukautisista vaihteluista. Ne tutkimukset, mitä puiden vesipitoisuudesta eri vuodenaikoina on tehty, ovat puutteellisia siinä suhteessa, ett'ei niissä ole otettu tätä seikkaa huomioon. Joka tapauksessa voidaan tämän seikan perusteella erittäin hyvin selittää DUHAMEL DU MONCEAU'n tutkimukset puiden vesipitoisuuden vaihteluista, sillä ne seuraavat jokseenkin täsmällisesti juuri näitä ilman relatiivisen kosteuden vaihteluita. Ne alustavat tutkimukset, joita allekirjoittanut on tehnyt männyn kairalastuille Kolarissa, pitävät myöskin jokseenkin hyvin yhtä ilman relatiivista kosteutta osottavan käyrän kanssa.

h. Maan vesipitoisuudella on luonnollisesti myös merkitys puun vesipitoisuuteen. Puun juuret imevät yleensä sitä enemmän maasta vettä mitä enemmän sitä maassa on saatavilla. Jos maaperä on helposti vettä läpäisevä, niin siitä vähenee vesi kuivina vuorokauden

tai vuodenaikoina sangen nopeasti ja nämä vesimäärän vähennykset tulevat heti näkyviin puussa olevan vesimäärän vähenemisenä. Jos puun juuret ovat lähellä maanpintaa, niinkuin esim. on kallioilla kasvavien puiden laita tai jos puulla on haroituuri, niinkuin esim. kuusella, on puun vesipitoisuus sangen suuressa määrässä riippuvainen maan pintakerroksien vesipitoisuudesta, ja sen vaihtelut seuraavat hyvin tarkkaan maan pintakerroksen vesimäärien vaihtelua. Jos taas puun juuret tunkeutuvat syvempiin maakerrokseen, niin ei vesipitoisuus näin helposti pääse vaihtumaan, sillä syvempien kerroksien vesipitoisuus pysyy paljon konstantimpana kuin pintakerroksien. Tästä voidaan myös tehdä se johtopäätös, että maan laatu aiheuttaa vähemmän vesimäärän vaihtelua puussa silloin kuin se on sellainen, että se sallii puun juurien esteettömästi tunkeutua alaspäin, ja kun maa voi säilyttää pohjaveden mahdollisimman muuttumattomalla korkeudella, mutta toiselta puolen taas ovat puun maanlaadusta riippuvat vesipitoisuuden vaihtelut suurimmat siellä, missä puun juuret pääsevät tunkeutumaan ainoastaan pintakerrokseen. Tästä syystä vaihtelee vesipitoisuus suuresti esim. sellaisilla mailla, joissa on ortsteinia (NÖRDLINGER). Tämän saman huomion on tekijä ollut tilaisuudessa tekemään Siikakankaalla, jossa jo neulasten väri on sangen herkästi riippuvainen kuivista ja kosteista säistä. Sen johdosta taas, että maaperän vesipitoisuus on suuresti riippuvainen ilman vesipitoisuudesta, sateista, kuivuudesta, tuulista j.n.e., on tätä seikkaa ollut vaikea tutkia, sillä vaikea on ollut tässä suhteessa eliminoida ilmastollisia tekijöitä.

Hyvin paljon vaikuttaa puun vesipitoisuuteen myöskin se, kuinka varjostettu maanpinta on. Rungas pintakasvullisuus ja maata varjostavat latvukset pitävät maan vesipitoisuuden tasaisena, ja tästä syystä esim. pintakasvullisuuden poistaminen tai metsikon harventaminen lisää kasvavien puiden vesipitoisuutta. Kasvavien puiden vesipitoisuutta lisää metsikön harventaminen myös senvuoksi, että puut harventamisen jälkeen voivat lisätä juuristoaan ja imeä vettä laajemmalla alalla maasta. (NÖRDLINGER, TH. HARTIG ja R. HARTIG.)

i. Haihtumisvirtaukset puussa selittävät parhaiten puun eri osien vesipitoisuuden ja sen ilmiön puussa, jota tämän jälkeen tullaan tutkimaan, nim. puun kuivumisen.

Kaikissa kasveissa tapahtuu veden haihtumista. Puusta haihtuva vesi on saanut kulkea sangen pitkän tien ennenkuin se neulasten tai lehtien huokosista haihtuu. Australialian Eucalyptus'ella ja Kalifornian Mammutpetäjällä on se saanut kulkea yli sata metriä ennenkuin se on

ennättänyt maasta latvaan. Vesi on se kulkuneuvo, joka kuljettaa suurimman osan puun ravintoaineita ja jakaa ne puun eri osiin, ja kun se on tämän työnsä tehnyt, on siitä suuri osa tullut tarpeettomaksi ja haihtuu puusta pois. On kestänyt sangen pitkän aikaa ennenkuin on löydetty ne tiet, joita vesi puussa kulkee. Nämä veden kulkutiet ovat putkilojänteet l. oikeimmin sanoen putkilojänteiden puuosa, ja että asia on näin, sitä osottaa m.m. sekin seikka, että esim. Lago di Gardan öljypuumetsissä tavataan eläviä öljypuita, joiden sydänpuu on kokonaan lahonnut ja joiden rungon alaosa on kokonaan kuoreton. Tästä metsikosta kertoo KERNER: »vaikka puun alaosa on niin reikäinen, että yläosa usein on ikäänkuin kahden puujalan varassa, niin ovat kuitenkin nämät öljypuut elinvoimaisia ja saavat joka vuosi lehtiä, kukkivat ja kantavat hedelmää ja ottavat siis ravintoa maasta.»

Trakeiitit ovat eri puilla eri pitkiä, mutta niitä voidaan joka tapauksessa pitää ikäänkuin rinnakkain asetettuina pieninä putkina, joiden pituus on ainakin useita kymmeniä kertoja niiden läpimitta ja putkilot ovat vielä useamman kerran läpimittansa pituisia. Aluksi luultiin, että sekä trakeiitit että putkilot olisivat kasvien hengityselimiä, ja tästä syystä onkin nimi, trakeiidi, johdettu sanasta trachea, joka on sama kuin hyönteisten hengityselimet. Vasta sangen lähellä nykyaikaa huomattiin, että trakeiidien ontelot ovat juuri ne kulkutiet, joita myöten puun nesteet kulkevat (KERNER y.m.).

Tämä kulkutie on lehtipuissa, joissa putkilot ovat pitkiä, vapaampi kuin havupuissa, joiden trakeiitit ovat putkiloihin verraten lyhyitä. Puusoluissa virtaavan veden täytyy kuitenkin usein kulkea solusta soluun huokosten kautta, ja solujen seinissä on huokosia, joiden kautta tämä voi tapahtua. Nämä huokokset muistuttavat jo ulkonäöltäänkin läpällä varustettuja venttiilejä, jotka tarpeen vaatiessa voivat estää veden takaisin vaipumista. Se, mitä on esitetty puiden sisärakennuksesta, osottaa, että sekä trakeiitit että putkilot että libriformsolut ovat varustetut huokosilla, jotka vastaavat ydinsädeparenkhymin tai ydinsädeprosenkhymin huokosiin ja että täten puusta johtuu haihtumistie myös ytimestä pintaan päin. Puusta johtuu siis lukemattomia haihtumistiehyitä sekä vaakasuorassa että pystysuorassa suunnassa alhaalta ylös ja ytimestä pintaan. Suurin osa nestevirtauksesta tapahtuu kuitenkin alhaalta ylöspäin ja tämä nestevirtaustie johtaa lopulta lehtien ja neulasten pinnalla oleviin ilmarakoihin, joiden kautta vesi puusta haihtuu. Kun ilmaraon kautta puusta on vettä hävinnyt, niin korvataan ilmaraakoon haihtunut vesi lähinnä allaolevan solun vedellä j.n.e. aina lähim-

pänä olevan solun vedellä, kunnes tullaan solukkoihin, joihin vesi tulee juuren toiminnan kautta. Tämä veden virtaus tapahtuu puun nuoremassa osassa, mannessa, jotavastoin vettä ei kulje sydänpuussa. Jos esim. puun oksa katkaistaan, eikä oksaa panna heti veteen, niin on tästä seurauksena, että veden sijalle taitetun pinnan lähellä oleviin osiin imeytyy ilmaa. Tämän huomaa esim. siitä, että tällä tavalla katkaistu ja jonkun aikaa ilmassa ollut oksa ei enään vesiastian asetettuna ime itseensä vettä, vaan sen lehdet kuivuvat pian. Jos taas oksa heti katkaistua pannaan veteen, niin pysyvät lehdet kauan tuoreina, sillä katkaistun pinnan läheisiin osiin ei enää tunkeutua ilmaa, ja näin ollen nestevirtaus puussa pääsee jatkumaan. Tämä seikka osottaa, että, kun puu on katkaistu, niin lehdistön toiminta ei silti lopu, vaan jatkuu suunnilleen niin kauan kuin puussa on lehdistön elämälle tarpeellinen määrä vettä ja ravintoaineita.

Yksinomaan hahtuminen ei kuitenkaan selitä veden liikettä puussa. Se, että juuret tai oikeastaan elävät juurikarvat ottavat vettä maasta ja että tämä vesi johtuu juurikuoren soluihin ja lopulta läpäisysolujen kautta johtojänteiden puuosaan, ei riipu yksinomaan haihtumisesta ja haihtumisvirtauksesta, vaan n.k. juuripaineesta, jonka ilmiön huomaa helposti esim. kun mahla-aikana sahaa poikki jonkun suurehkon lehtipuun, esim. koivun tai vaahteran. Tällöin pusertuu vesi sangen voimakkaasti ulos puusta, ja jos puuhun esim. tiiviisti kiinnitetään lasiputki, joka on täytetty vedellä ja yhdistetty toiseen pienempään, esim. elohopealla täytettyyn lasiputkeen, niin huomataan, että juuripaine kohottaa elohopeaa, ja mitä enemmän se sitä kohottaa, sitä suurempi paine on.

Senvuoksi, että se ilmiö, jota edellä nimitettiin juuren paineeksi, on olemassa, ei kasvavan puun vesipitoisuus seuraa samoja lakeja kuin haihtuminen, vaan ovat kasvavan puun vesipitoisuuden lait, niinkuin edellä olevasta on selvinnyt, sangen monimutkaiset ja osaksi vielä selvittämättömät.

2. Puun kuivumisilmiö.

Edellä on selitetty, mitä teitä vesi haihtuu kasvavasta puusta. Haihtuminen tapahtuu sekä lehdistön että kuoren kautta. Jos puu kaadetaan, voidaan erottaa seuraavat kuivumisilmiöt:

a. Kaadetun, karsimattoman ja katkomattoman puun kuivuminen.

b. Kaadetun, karsitun, mutta kuorimattoman puun kuivuminen.

c. Kaadetun, karsitun, katkotun ja osaksi tai kokonaan kuoritun puun kuivuminen ja

d. Kaadetun, karsitun, katkotun, kuoritun tai halkaistun puun kuivuminen.

a. Kaadetun, karsimattoman ja katkomattoman puun kuivumisilmiö tulee kysymykseen puuta rasiksi kaadettaessa. Tätä kaatotapaa on hyvin kauan käytetty ennenaikaan Ruotsissa kaskeamista hiilenpoltton yhteydessä harjoitettaessa. Kun puu oli tullut täyteen lehteen, hakattiin metsä paljaaksi, ja tämän jälkeen saivat puut kuivua siksi, kunnes lehdet ja neulaset ja hienommat oksat olivat siihen määrään kuivuneet, että ne helposti voitiin sytyttää tuleen. Kun sitten kaski poltettiin, paloi maanpeite, neulaset ja hienot oksat, jotavastoin rungot ja suurimmat oksat jäivät palamatta. Tämän jälkeen korjasi kaskenpolttaja hiilipuuksi kaiken kelvollisen puun ja sai tällä tavalla metsästään kahdenlaisen tulon, tulon kaskesta, jonka hän kylvi, tulon hiilistä, jotka hän möi rautaruukille. Tätä tapaa harjotti hän mielellään senvuoksi, että hän täten huomasi saavansa parhaiten kuivaa ja keveätä hiilipuuta.

Rasiksi kaatoa on myös harjoitettu useissa paikoin Etelä-Ruotsissa, joissa on ollut tapana kaataa kuusia niiden kuoren tähden. Kuusen kuori käytettiin nim. parkitusaineeksi. Puut kaadettiin jo alkukesästä, jolloin kuori helpoimmin irtaantui. Kuorittujen puiden rungot käytettiin hiilipuiksi ja olivatkin ne siihen tarkoitukseen sopivia, sillä ne kuivuivat hyvin ja olivat mukavia liikutella.

Myös meidän omassa maassamme tuli rasiksi kaato käytäntöön sen jälkeen kuin meidän maahamme oli perustettu ensimmäiset faneeritehtaat.

Rasiksi kaadon etu on siinä, että haihdunta lehvistön kautta jatkuu vielä senkin jälkeen kuin puu on kaadettu. Tämän kautta vähenee vesi ensin puun tyviosista, ja sen jälkeen siirtyy vesipinta yhä edemmäksi latvaan päin, ja tapahtuu tämä tietysti nopeammin niin kauan kuin lehdistö vielä on elossa. Mutta senkin jälkeen kuin lehdistö on kuollut, on puulla käytettävänä paljon suurempi haihtumispinta kuin karsimattomana, ja tästä syystä tapahtuu myöskin haihtuminen sangen nopeasti. Haihtuminen tapahtuu kuitenkin melkein yksinomaan rungon pintapuusosasta, eikä puu saavuta edes täydellisesti metsäkuivan puun kuivuuksastetta.

Puuta rasiksi kaadettaessa on otettava huomioon seuraavat seikat.

Paras kaatoaika on (THOMÉ, PIETARINEN) se aika, jolloin lehti alkaa päästä täyteen kasvuunsa, mutta voidaan puu myös kaataa rasiksi koko kesäkuun aikana. Jos taas on kysymys havupuiden rasiksi kaadosta, on tekijä tehnyt seuraavat huomiot: puut kuivuvat parhaiten kesäkuussa kaadettuina, mutta niiden kaadossa on otettava huomioon eräs toinenkin seikka, nim. että puuta kaadettaessa eivät kaarnakuoriaiset saa olla kehittyneet sille asteelle, että ne olisivat alkaneet kaivaa käytäviään puun ja kuoren väliin. Yleensä on meidän oloissamme männyn kaato alettava jo elokuun alkupäivinä, jotavastoin kuusen kaatoa ei voida alkaa ennenkuin elokuun puolivälissä.

Edelleen on tärkeätä, ettei puuta rasiksi kaadettaessa rikota kuorta. Sellaisissa paikoissa, nim., missä kuori rikotaan, alkaa haihdunta ja puuhun ilmestyy ilmaa sisältäviä trakeiidiryhmiä, jolloin näiden kohdalla puun pituusakselin suuntainen haihtumisvirtaus keskeytyy.

Puiden on annettava kuivaa tarpeeksi pitkän ajan. THOMÉ'n ja PIETARISEN mukaan menettävät puut jo 3—4 viikossa $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$ painostaan. EKMAN'in mukaan taas täytyy kuivumisen saada kestää vähintään 6 viikkoa.

Vasta sen jälkeen kuin puu on tarpeellisen ajan saanut lehvistönsä kautta kuivaa, voidaan se karsia ja kuoria.

Paitsi edellä mainituista seikoista, riippuu puun kuivumisnopeus rasiksi kaadettaessa luonnollisesti siitä, minkälainen latvus puulla on. Sellaiset puut, joilla on hyvin kehittynyt latvus ja runsas lehvistö, siis esim. valta-puut, harvassa kasvaneet puut ja hakkuualoille jääneet siemenpuut, kuivuvat nopeammin kuin vallitut ja tiheässä metsikössä kasvaneet puut. Yleensä ei rasiksi kaadosta olekaan sanottavaa hyötyä apuharvennuksen kautta poistetuille, vallituille puille.

b. Kaadetun, karsitun, kuorimattoman puun kuivuminen tapahtuu pääasiallisesti rungon ja oksien poikkileikkauspintojen kautta, jotavastoin kuori sangen hitaasti läpäisee vettä. Tästä on seurauksena, että kuorimaton puu kuivuu sitä nopeammin mitä lyhempiin kappaleisiin se on katkottu ja että puun latvuksen sisäpuolella olevat osat, joissa on enemmän tai vähemmän oksahaavoja kuoressa, kuivuvat nopeammin kuin oksaton rungonosa.

On myös selvää, että sellaiset puulajit, joiden latvus yleensä ulottuu alas, esim. tavallinen kuusi, ja sellaiset puut, joilla on vankkaoksainen latvus, kuivuvat pikemmin kuorittuina kuin jouhipuut, joilla on pieni latvus ja pienet oksat.

Ensimmäinen, joka tutki veden haihtumista kuorimattomasta puusta,

oli DUHAMEL DU MONCEAU. Tutkimustaan varten hän antoi 15 p:nä helmikuuta 1737 kaataa nuoria tammia, joista hän leikkasi yhden jalan pituisia ja 14—15 tuuman läpimittaisia koekappaleita, ja jätettiin näistä m.m. koekappaleita kuorimattomiksi, ja sijoitettiin otetut koekappaleet vajaan kuivamaan. Tämän jälkeen punnittiin koekappaleet jokaisena kuukautena useana kuukauden päivänä. Tällöin osottautui, että puiden kuivuminen tapahtui jokseenkin hitaasti niin, että esim. helmikuun aikana koekappaleiden paino keskimäärin väheni ainoastaan 0.75 parisi-laista naulaa ja väheneminen tapahtui ainoastaan kaatopäivän jälkeisenä päivänä, jonka jälkeen puu säilytti saman painonsa aina maaliskuun 2 p:ään asti. Vasta maaliskuussa aletaan tämän jälkeen huomata hyvin hidasta kevenemistä pysyen puun paino aina useina päivinä aivan samana ja ollen koko painon väheneminen maaliskuun aikana 4.25 pariisin naulaa. Huhtikuussa oli väheneminen 6.25, toukokuussa 3.0, kesäkuussa 1.75, heinäkuussa 3.75, elokuussa 3.5, syyskuussa 1.0, lokakuussa 1.75 ja joulukuussa 0.75. Yleensä osottautui, että puut tällä tavalla vajassa kuivaessaan saavuttaa painonvähenemismaksiminsa huhtikuun ja maaliskuun tienoissa.

Sen johdosta, että DUHAMEL DU MONCEAU suoritti kokeensa vajassa, ei niistä selviä, kuinka puun kuivuminen metsässä tapahtuu. Niistä selviää kuitenkin jo se tosiasia, ettei puu voi vuoden ensimmäisenä neljänneksenä kuivua sanottavasti ensinkään, sitävastoin niistä ei selviä, milloin puu kuivuu nopeimmin, sillä katokseen ei esim. auringon lämpö eivätkä tuulet ja sateet pääse täydellä teholla vaikuttamaan.

DUHAMEL DU MONCEAU'n tutkimukset saivat pitkäksi aikaa jäädä ainoiksi alallaan; sillä NÖRDLINGER'kään ei ole tutkinut muuta kuin sellaisen puun haihduntaa, jonka päät olivat haihdunnan estämiseksi suljetut, joten haihtuminen voi tapahtua ainoastaan kuoren kautta. Sitäpaitsi suoritti NÖRDLINGER kokeensa tavallisessa lämmitettävässä huoneessa. Tämä koe on kuitenkin siinä suhteessa huomattava, että se osottaa, kuinka hitaasti haihtuminen kuoren kautta tapahtuu. Kesti nim. lähes 11 vuotta, ennenkuin hänen käyttämänsä koekappale saavutti sellaisen painon, ettei se enään huoneessa alentunut.

Tällä alalla tehdyistä tutkimuksista on suurin käytännöllinen merkitys niillä tutkimuksilla, jotka EKMAN on tehnyt. Hän on tutkinut ilmassa kuivunutta puuta. EKMAN'in huomiot kuusen kuivumisesta kuorellisena olivat pääasiassa seuraavat:

Jos puu kaadetaan tammikuussa, ei se vuoden ensimmäisellä neljänneksellä kuiva sanottavasti ensinkään. Toukokuussa vähenee sen paino

noin 2.5 %:illa ja kesäkuussa jonkun verran enemmän niin, että se kesäkuun loppuun mennessä on alentunut noin 6 %:illa. Tämän jälkeen alkaa nopeampi kuivuminen niin, että puun paino on heinäkuun lopussa alentunut noin 12 %:illa, jonka jälkeen kuivuminen hidastuu niin, että painon vähennys elokuun lopulla on noin 15 % ja syyskuun puolivälissä korkeimmillaan I. noin 16 %. Tämän enempää ei pyöreän, kuorimattoman puun paino vähene, vaan alkaa se päinvastoin seuraavina kuukausina hitaasti kasvaa niin, että painon vähennys lokakuussa taas on noin 15 %, marraskuussa noin 14 1/2 %, joulukuussa noin 12 % ja tammikuussa noin 10 %. Tästä selviää, että tuore puu on korjattava pois metsästä heti ensi kelillä, sillä muuten se uudestaan tulee kosteammaksi.

Jos kuorimaton puu saa kuivaa metsässä toisen vuoden, niin alkaa siitä kuori irtaantua, ja sen kuivuminen tulee noudattamaan osaksi kuoritun puun kuivumislakeja, niin että se jo lokakuussa on samanpainoista kuin kuorittu tai osaksi kuorittu puu.

Jos puu kaadetaan huhtikuussa, toukokuussa tai kesäkuussa, niin se ennättää saavuttaa saman kuivuusasteen kuin vuoden ensimmäisenä neljänneksenä kaadettu puu. Puu, joka on kaadettu heinäkuun ensimmäisen päivän jälkeen, ei enään saavuta sitä kuivuusastetta, kuin sitä aikaisemmin kaadettu puu, vaan saavuttaa korkeintaan noin 10 %:n painonvähennyksen, ja alkaa sen paino kohota samoihin aikoihin kuin ennen heinäkuun ensimmäistä päivää kaadetun puun, mutta pysyy se koko ajan sitä raskaampana, ollen painoero alussa noin 6 %; ja kun tammikuuhun on saavuttu, noin 2.5 %. Elokuun ensimmäisen päivän jälkeen kaadettu puu kuivaa sängen vähän. Sen paino alenee korkeintaan 5 %:illa, ja on se tammikuun alussa alentunut ainoastaan noin parilla %:illa. Syyskuun ensimmäisen päivän jälkeen kaadettu puu ei käytännöllisesti katsoen kuiva ensinkään.

Yllä olevasta säännöstä on kuitenkin huomattavia poikkeuksia. Niinpä kuivuvat kaikki hyvin karkeaoksaaiset pölkyt paljon nopeammin niin, että niiden paino parhaassa tapauksessa voi toukokuun alkupäiviin mennessä laskeutua yli 10 %. Näin ollen siis voivat tällaiset latvatukit sängen huomattavassa määrin kuivua, jos ne ovat rantatörmillä hyvillä teloille telattuina, ennenkuin ne vieritetään jokeen uittoa varten.

Lehtipuiden, etenkin koivun, kuivumisella kuorimattomana on myös omat lakinsa. Tekijän tutkimukset osottavat siitä seuraavaa. Koivu-puu kuivaa yleensä ensimmäisenä vuonna paljon hitaammin kuin havu-puut, sen paino ei useinkaan vähene enempää kuin 10 % ja kuivumis-

ilmiö on huomattavissa paljon suuremmassa määrin likellä päätepinnoja kuin puun sisäosissa, jotka eivät kuiva sanottavasti ensinkään. Jos koivupuu joutuu kuorimattomana kuivamaan metsässä vielä toisen vuoden, niin ei sen kuivumis-% sanottavasti muutu ensinkään ja kolmantena vuotena kuorimaton koivupuu viimeistään, ellei se sitä ole aikaisemmin tehnyt, alkaa lahota, eikä siis suinkaan suuremmassa määrin kuiva.

Männyn kuivuminen on suunnilleen sama kuin kuusen, ainoastaan sillä erotuksella, että mänty paksunnan kuorensa ja oksattomuutensa vuoksi kuivaa jonkun verran hitaammin kuin kuusi.

Koivun kuivuminen on paitsi edellämainituista seikoista, sangen suuressa määrin myöskin riippuvainen siitä, kuinka suuret puut ovat kysymyksessä. Suuret koivutukit kuivuvat paljon paremmin kuin pienempi-mittainen koivupuu ja saavuttavat suunnilleen saman kuivuuasteen kuin kuusi ja mäntykin.

c. Kaadetun, karsitun, katkotun ja osaksi tai kokonaan kuoritun puun kuivuminen on se ilmiö, joka tavallisimmin puita ulkoilmassa kuivattaessa tulee kysymykseen. Tässä suhteessa on ensimmäiset tutkimukset tehnyt DUHAMEL DU MONCEAU. Hän käytti tutkimuksissaan sellaisia pätkeä kuin edellä kuorimattoman puun kuivattamisesta puhuessa on mainittu. Hänen tutkimuksensa helmikuussa kaadetulle puulle osottivat, että puu alussa kuivaa sangen hitaasti ja saavuttaa suurimman kuivumisnopeutensa maaliskuussa, joka myöskin on se kuukausi, jona puun paino kaikkein enimmän vähenee. Maaliskuun aikana vähenee puun paino noin 6.4 % sen kokonaispainosta. Tämän jälkeen on painonvähennys vielä sangen tuntuva huhtikuussa, jolloin se on suunnilleen 5.4 % puun alkuperäisestä painosta. Sitten alkaa painonvähennys hidastua niin, että se lopulta käy aivan mitättömäksi, ollen tammikuussa aivan mitätön murto-osa %:ia. Nämä DUHAMEL DU MONCEAU'n tutkimukset ovat tehdyt vajassa, joten niissä ei ole otettu huomioon niitä muutoksia, joita sade ja auringonpaiste aikaansaavat. Sitä vastoin liittyy DUHAMEL DU MONCEAU'n tutkimuksiin meteorologiset tiedot, jotka kuitenkin eivät ole tehdyt täydellä tarkkuudella, s.o. samalle koekappaleelle samoina päivätunteina. Tämä ei olekaan ollut mahdollista, sillä siihen aikaan ei ollut käytettävissä itsensä reistreeraavia koneita. Kuitenkin selviää hänen tutkimuksistaan, että ilmankosteuden vaihtelut sangen paljon vaikuttavat pintapuun kosteuteen, mutta että tällaiset äkillisten ilmankosteuden vaihteluiden aikaansaamat muutokset puun vesipitoisuudessa hyvin pian tasaantuvat.

Myös on DUHAMEL DU MONCEAU tehnyt tutkimuksia siitä, mitä haih-

tumisinnan suuruus vaikuttaa haihtumiseen. Hän antoi v. 1740 marras-kuussa valmistaa nuoresta tammesta pienen parrun, jonka hän jakoi 4:ään yhtä suureen kuutioon, jotka hän merkitsi numeroilla 1, 2, 3 ja 4. Näistä jaettiin kuutio 1 puun pituussuuntaan ja kuutioon särmen suuntaan kulkevilla yhdensuuntaisilla leikkauksilla 4:ään yhtä suureen osaan, 2 samoin 3:een ja 3 samoin 2:een yhtä suureen osaan. Näiden kappaleiden haihtumisinnat tulivat täten suhtautumaan toisiinsa niinkuin 48 : 40 : 32 : 24. Painon väheneminen, joka mitattiin päivittäin 4 viikon aikana, osotti, että suurimmat manttelipinnat merkitsivät suurempaa haihduntaa. Mutta kokeesta ei käy selville, että haihdunta olisi ollut suhteellinen manttelipinnan pinta-alaan niinkuin DUHAMEL oli otaksunut. Päinvastoin osottautui, että suuremmat kappaleet kuivuivat enemmän kuin niiden olisi pitänyt. Tämä seikka onkin helposti ymmärrettävissä, sillä niissä oli enemmän päätepinna-ala kuin pienemmissä kappaleissa. Tällä tavalla tuli todistetuksi, että puu haihduttaa vettä enemmän päätepinnoistaan, niinkuin jo edellä on mainittu.

Saadakseen selville puun haihtumissuunnan on DUHAMEL DU MONCEAU tehnyt muitakin kokeita. M.m. on hän saanut tutkimuksien kautta selville, että hänen koepalassensa haihduttivat poikkileikkauspinnan neliödesimetriä kohti 8 päivän kuluessa noin 26 gr ja manttelipinnan neliödesimetriä kohti kuoritussa puussa 15.77 gr. Tästä siis selviää, että haihtuminen poikkileikkauksesta suhtautuu haihtumiseen manttelipinnasta suunnilleen niinkuin 26 : 15.8.

Näitä samoja seikkoja on myös NÖRDLINGER tutkinut ja tullut huomaamaan, että ero näiden eri pintojen haihduttamiseen välillä ei edes ole niin suuri kuin DUHAMEL DU MONCEAU on tutkimuksiansa perusteella otaksunut, ja on myös hänen tutkimuksiansa mukaan haihtuminen suurin poikkileikkauksesta suunnassa. Sen jälkeen on se suurin manttelipinnan suunnassa ja pienin säteensuuntaisessa pinnassa.

Jos ajatellaan puun anatoomista rakennetta, niin on ilman muuta selvää, että haihdunnan täytyy olla suurin poikkileikkauksesta. Tämä riippuu jo siitä yksinkertaisesta syystä, että puu on siten rakennettu, että vesi siinä pääsee nopeimmin kulkemaan pituusakselin suuntaan. Jos taas ajatellaan kuorittua puun manttelipintaa, niin on veden kuljetus myöskin tässä suunnassa luonnollinen, koska ydinsäteet m.m. juuri ovat olemassa puussa sitä varten, että ne välittäisivät nesteitten kulkua puussa radiaaliseen suuntaan. Mutta tässä suunnassa tulevat ydinsäteet katkaistuksi kohtisuorasti pituussuuntaansa vastaan ja senvuoksi niiden haihtumisinta tulee pienemmäksi kuin säteensuuntaisessa leikkauksessa,

jossa ydinsäde halkaistaan. Senvuoksi että trakeiidit puuta kuorittaessa voivat jäädä paljon suuremmissa määrässä halkaisematta kuin puun säteensuuntaisessa leikkauksessa, tulee ehdottomasti säteensuuntaan halkaistun puun haihtumispinta paljon suuremmaksi kuin tangentin suuntaan halkaistun puun haihtumispinta, jossa esiintyy paljon enemmän ehyitä soluseiniä. Tästä syystä onkin todennäköistä, että NÖRDLINGER on erehtynyt edellä mainitsemissamme johtopäätöksissä, ja että haihtuminen on suurempi säteen- kuin tangentinsuunnassa. Tämän seikan on myöskin DUHAMEL DU MONCEAU tavallaan todistanut verratessaan kuorittun ympyriäisen ja neliskulmaiseksi veistetyt puun kuivumista toisiinsa. Ympyriäiset puut menettivät 8 päivän kuluessa painostaan keskimäärin 2.3 %, jotavastoin neliskulmaisiksi veistetyt puut, joiden leikkausivut siis olivat lähempänä säteensuuntaa, menettivät painostaan 3.6 %.

Uudempiä tutkimuksia on tältä alalta sängen vähän, eikä yleensä niissä ole mainittu tutkimusten suoritustavasta mitään, joten on vaikea tietää, miten esitettyihin tuloksiin on tultu. Mainittakoon kuitenkin, että GAYER tyytyy ainoastaan toteamaan, että puu haihduttaa vettä enimmänsä poikkileikkauksinnastaan ja vähimmänsä ydinsäteitä vastaan kohtisuorasta pinnastaan.

Saman toteaa myöskin ENEROTH mainiten samalla, että haihtuminen poikkileikkauksinnasta suhtautuu haihtumismäärään säteensuuntaisesta leikkauksinnasta ja tangentin suuntaisesta leikkauksinnasta niinkuin 20:2:1.

Tekijä puolestaan rohkenee epäillä näiden lukujen paikkansa pitäväisyyttä, sillä ainakin ensimmäinen niistä tuntuu aivan liika korkealta. Omasta puolestaan pyytää tekijä esiintuoda seuraavaa.

Veden haihtuminen vapaasta vedenpinnasta, siis esim. järven pinnasta, on kääntäen verrannollinen ilmanpaineeseen, suoraan verrannollinen ilman absoluutiseen lämpötilaan, suoraan verrannollinen vesihöyryn kyllästyttämistä varten ilmassa ja suoraan verrannollinen tuulen nopeuden neliöjuureen. Näistä tekijöistä on ilman relatiivinen kosteus se, joka vaihtelee eniten ja joka siis ensi sijassa määrää kuivumisnopeuden. Ilmassa kuivuvan kuorittun puun vesipitoisuus saavuttaa lopulta vussin tasapainon sitä ympäröivän ilman vesipitoisuuden kanssa ja silloin, niinkuin yllä on mainittu, puu saavuttaa kuivumisasteen, joka on riippuvainen ympäröivän ilman relatiivisesta kosteudesta. Kun taas ilman relatiivinen kosteus pääasiallisesti on riippuvainen ilman lämpötilasta, niin voidaan teoreettisesti laskea, kuinka suuri puun vesipitoisuus on silloin kuin ilmalla on määrätty lämpötila ja sen vesipitoisuus vaihtelee niissä rajoissa, jotka meillä normaalina vuosina ovat tavalliset. Ilman relatiivinen kosteus

on meillä pienimmillään toukokuussa (65 %). Koska toukokuun ilman lämpötila poikkeustapauksissa voi olla 20 %, niin voi puu tällöin saavuttaa pienimmän vesipitoisuutensa metsäkuivana, joka on ENEROTH'in esittämän käyrän mukaan 12 %. Metsäkuivan puun relatiivisesta kosteudesta riippuva vesipitoisuusmaksimi ei taas ole sama kuin ENEROTH esittää I. noin 22 %, vaan huomattavasti tätä suurempi, ehkä noin 35 %, jonka vesipitoisuuden yli kesän kuivunut kuorittu metsäkuiva puu epäedullisissa suhteissa voi metsässä saavuttaa.

Erittäin suuri merkitys on meidän oloissamme sahapuiden kuorimisella, joten siitä seuraavassa muutama sana.

Ensin tutkitaan sitä, kuinka talvella kaadetut ja samana vuonna uitetut tukkipuut kuivuvat. Tässä suhteessa on huomattu, että kuivuminen alkaa vasta kevätlämmössä, joten puu kuorittunakaan ei talvi-kuukausina sanottavasti kuiva. Niinpä talvella kaadetun ja heti kaadon jälkeen kuorittun tukkipuun paino kevenee maaliskuun ensimmäisien päivien tienoihin asti ENEROTH'in mukaan noin 5 %. Mutta jo huhtikuussa alkaa puun paino huomattavasti vähentyä ja huhtikuun ja toukokuun alkupäivien välisenä aikana on puu vähentänyt painostaan tuoreena noin 15 %, joten se kaikkiaan on näinä 2 kuukautena keventynyt tuoreesta painostaan noin 25 %.

HELANDER on tutkinut puiden kuivumista eri metsätyypeillä huhtikuun 7 ja toukokuun 4 päivien välisenä aikana. Tutkimus koskee myös erikseen tyvitukkeja ja erikseen latvatukkeja. Tulokset osottavat, että puut paremmilta tyypeiltä kuivuvat nopeammin kuin huonompien tyyppien puut ja että latvatukit kuivuvat nopeammin kuin tyvitukit. Poikkeuksen tekee kuitenkin koivu, sillä kangaskoivut näyttävät kuivuvan paremmin kuin rämekoivut. Tulokset ovat muuten seuraavat:

Kuoritut puut:

Puulaji ja tyyppi	T y v e t		L a t v a t	
	Eri tyypit	Keskimäärä	Eri tyypit	Keskimäärä
Mänty mustikkamaalta	21.53	—	36.69	—
» puolukkamaalta	18.27	19.90	34.85	35.72
Kuusi mustikkamaalta	13.15	—	26.95	—
» korvesta.....	15.61	14.38	29.05	28.00
Koivu mustikkamaalta	9.75	—	13.50	—
» korvesta.....	13.72	11.74	16.71	15.10

Nämä HELANDER'in luvut osottavat siis, että havupuut kuivuvat nopeammin kuin koivu, ja että se kuivuminen, joka keväällä tapahtuu ennenkuin puut vieritetään uitettavaksi veteen, on sangen huomattava. Se on siksi suuri, että se esim. latvatukkeihin nähden lopullisesti ratkaisee, voivatko puut uida taikka ei. Nämä luvut osottavat myös, että kuoriminen on toimitettava mahdollisimman aikaisin ja mieluummin jo metsässä, sillä tällä tavalla saavat kaikki puut kuivaa koko huhtikuun ajan, jolla seikalla, niinkuin ylläolevat luvut osottavat, on aivan erikoisen suuri merkitys puiden kuivumiseen nähden.

Toinen kuivamisilmiö, jota myös on tarkastettava, on vastakaadetun ja kuoritun tai osaksi kuoritun l. aisatun puun kuivuminen ilmassa. Havupuut kuivuvat tässäkin tapauksessa hieman erilailla kuin lehtipuut ja sitäpaitsi vaikuttaa kuivumiseen myöskin se, kuinka suuri %:määrä kuoresta on poistettu.

Kokonaan kuorittu puu ei kuiva sanottavasti helmikuun ensimmäiseen päivään mennessä, maaliskuun ensimmäiseen päivään mennessä on sen paino laskeutunut noin 4 %:lla. Huhtikuun ensimmäiseen päivään mennessä noin 10 %:lla, toukokuun ensimmäiseen päivään mennessä noin 25 %:lla, jonka jälkeen kuivuminen alkaa saada suuren vauhdin niin, että painon laskeutuminen kesäkuun ensimmäiseen päivään mennessä on noin 44 % ja heinäkuun ensimmäiseen päivään mennessä 46 %, elokuun ensimmäiseen päivään mennessä 46 % ja syyskuun ensimmäiseen päivään mennessä 45 % sekä lokakuun ensimmäiseen päivään mennessä 43 % tuoreen puun painosta. Kuivumisen voidaan siis sanoa pääasiallisesti tapahtuvan vuoden toisella neljänneksellä, ja vielä vuoden kolmannella neljänneksellä säilyttää vuoden alussa kaadettu puu korkeimman painonvähennyksensä. Sikäli kuin EKMAN'in ja ENEROTH'in tutkimuksista selviää, voi vielä kesäkuun puoliväliin asti kaadettu puu saavuttaa ilmakehän puun suurimman kuivuusasteen, mutta käytännöllisesti katsoen voi sen suunnilleen saavuttaa vielä elokuun puu, joka on kaadettu ja kuorittu 10 p. tienoihin mennessä, sillä se saavuttaa vielä 40 % painonvähennyksen tuoreesta painostaan. Tämän jälkeen kaadettu puu saavuttaa jo huomattavasti pienemmän painonvähennyksen, nim. elokuun ja syyskuun ensimmäisen päivän välisenä aikana kaadettu puu noin 30 % maksimipainonvähennyksen, ja syyskuun ja lokakuun välillä kaadettu puu noin 15 % painonvähennyksen, jotavastoin syyskuun puolivälin jälkeen kaadettu puu ei saavuta suurempaa painonvähennystä kuin noin 6 %, ja marraskuun ensimmäisen päivän jälkeen kaadettu puu ei enään kuiva ennenkuin vasta seuraavassa maaliskuussa.

Tästä selviää, että esim. paperipuut, kun niiden pinoaminen toimitetaan sinistymisen vastustamista silmällä pitäen, on edullisin kaataa kesällä. Sama seikka koskee myös useita lehtipuulajeja, sillä edellytyksellä, että ne voidaan säilyttää vajassa tai yleensä katoksen alla.

Koivun kuivuminen on hieman erikoinen. Koivu kuivaa jo jonkun verran maalisi- ja huhtikuussakin, mutta ei saavuta ensimmäisen vuoden kuluessa edes täyttä 30 %:in painonvähennystä, ja jos koivupuuta vielä saa kuivaa seuraavan vuoden, ei se silloinkaan saavuta sen suurempaa painonvähennystä kuin noin 33 %. Koivupuuta on siis aina, oli se kuinka kuivaa tahansa, raskaampaa kuin meidän havupuumme.

d. Siirrytään sen jälkeen kuorittuun tai halaistuun puuhun ja otetaan käsiteltäväksi sellainen puu, jonka kuoresta 50 % on poistettu, kuitenkin niin, että kuoriminen on tapahtunut raidoissa eikä siis siten, että toinen puoli puusta olisi yhtämittaisesti kuorittu ja toinen jätetty kuorimatta, eikä myöskään siten, että kuoresta olisi poistettu hajallisia laikkuja 50 % sen pinta-alasta. Tällöin huomataan (jo DU MONCEAU ja NÖRDLINGER) se muuten sangen vaikeasti selitettävissä oleva ilmiö, että vesimäärän väheneminen ei ole 50 % kokonaan kuoritun puun painon alenemisesta, vaan huomattavasti suurempi. Puoleksi kuorittu puu saavuttaa suurimman painonvähennyksensä heinäkuun ja elokuun ensimmäisten päivien välisenä aikana, jolloin painonvähennys sekä ENEROTH'in että EKMAN'in tutkimusten mukaan on 40 %. Tämän jälkeen alkaa puun paino hitaasti lisääntyä, jonkun verran hitaammin kuin kokonaan kuoritun puun, ja on se tammikuussa noin 33 % l. siis ainoastaan noin 4 % pienempi kuin ilmakehän puun. Jos taas kuorimispintaa vähennetään, niin, että se on noin 20 %, niin alenee painon vähennys huomattavasti niin, että puu ei saavuta suurempaa maksimia kuin noin 30 % tuoreesta painostaan, parhaassa tapauksessa ehkä noin 35 %, jonka jälkeen heinäkuun alkupäivistä alkaen paino pysyy samana, suunnilleen elokuun loppuun asti, mutta alkaa sen jälkeen hitaasti kohota jokseenkin samassa suhteessa kuin 50 % kuoritun puun.

Lehtipuun suhteen on asia hieman toinen. 50 % kuorittu ja 20 % kuorittu lehtipuuta saavuttaa heinäkuussa suurimman painonvähennyksensä ja tämän jälkeen alkaa paino lisääntyä, mutta paljon hitaammin kuin kokonaan kuoritun puun, ja lopputulos on se, että sekä kokonaan kuorittu että 50 % kuorittu puu lokakuun tienoissa ovat melkein yhtä raskaat ja jos puu joutuu olemaan metsässä vielä toisen vuoden, on ko-

konaan kuoritun ja osaksi kuoritun puun vesipitoisuus vuoden kaikkina kuukausina jokseenkin sama.

Havupuut kuivuvat toisena vuotena seuraavalla tavalla: vuoden ensimmäisinä kuukausina on osaksi kuorittu puu hieman raskaampaa kuin kokonaan kuorittu puu. Tämä ero alkaa jo toukokuun ensimmäisinä päivinä äkkiä pienetä ja melkein toukokuun puolivälissä, kuten BERGSTRÖM'in ja WESSLEN'in tutkimukset osottavat, on täysin kuorittu ja osaksi kuorittu puu samanpainoista.

Halkaistua puutavaraa ovat halot, aidakset ja sitäpaitsi voidaan halkaistuna puutavarana myöskin pitää sahalla halkaistuja puutavaroita. Koska sahalla halkaistut puutavarat myös samalla useimmiten ovat kuorittuja, ovat niiden kuivumisen lait erilaiset kuin halaistun puutavaran yleensä.

Halkoja tehtäessä on yleensä annettu määrämitta siitä, mihinkä mitaan asti puu saadaan pinoa halkaisemattomana. Tämä mitta on esim. meidän valtionrautateittemme määräyksien mukaan 7 sm.

Jos sitävastoin suurempia puita jätetään halkaisematta, niin eivät tällaiset halot kuiva siinä määrin, että niitä menestyksellä voitaisiin lämmitystarkoituksiin käyttää. Yleensä on tekijän havaintojen mukaan vaadittava, että havupuun painon tulee laskea tuoreen puun painosta noin 40 % ennenkuin puusta saadaan sen täysi lämpöteho, ja samoin lehtipuun painon noin 30 % saman tarkoituksen saavuttamiseksi.

Tätä kuivuusastetta ei halkaisematon puutavara yleensä saavuta, ellei ole kysymys sellaisista puista ja puunosista, joiden läpimitta on suunnilleen alle valtionrautateiden määräämän minimimitan ja jotka ovat huolellisesti hoidetut. Suurimman kuivuusasteen saavuttavat oksat, joka seikka taas riippuu siitä, että oksat saavat useimmiten kuivua neulasen päällä, siis samalla tavalla kuin rasiksi kaadettu puutavara. Näitä suuremmat puuosat saavuttavat ainoastaan 17—24 % painovähennyksen.

Halotun puutavaran kosteusvaihtelut ovat suunnilleen samansuuntaiset kuin kuoritun puun, mutta halottu puutavara ei kuitenkaan saavuta samaa kuivuusastetta kuin kuorittu puu. Jos puutavara kaadetaan vuoden ensimmäisellä neljänneksellä, alenee sen paino toukokuun alkupäiviin mennessä noin 10:llä %:lla, jostavastoin kuorittu puu on samana aikana vähentänyt painoaan 20 %:lla. Suurimman painovähennyksensä saavuttaa halottu puutavara heinäkuun 1 ja elokuun 1 päivän välisenä aikana, jolloin sen painovähennys on noin 36 % l. siis noin 10 % pienempi kuin kuoritun pyöreän puun. Tämän painovähennyksen saavuttaa käytännöllisesti katsoen kaikki puutavara, joka on kaadettu ennen heinä-

kuun 1 päivää. Tämän jälkeen kaadettu puutavara kuivaa sangen hitaasti niin, että elokuun 1 päivän jälkeen kaadettu puutavara saavuttaa ainoastaan 20 %:in painovähennyksen ja syyskuun 1 päivän jälkeen kaadettu ei käytännöllisesti katsoen kuiva ensinkään. Tämä merkitsee sitä, että metsään tehdyt halot ovat heti ensi kelillä tuotavat vajaan, sillä siellä ne vielä jatkavat kuivumista.

Edellä esitetty koskee havuhalkoja. Lehtipuuhalat kuivuvat yleensä jonkun verran paremmin kuin havupuuhalat, kun otetaan huomioon, että ne eivät kuitenkaan koskaan saavuta yhtä suurta painonvähennystä kuin ensinmainitut. Sitävastoin saavuttaa halottu lehtipuu kuivaessaan suunnilleen saman painonvähennyksen kuin kuorittu lehtipuukin, mutta lehtipuiden painonvähennysmaksimi siirtyy usein paljon myöhäisemmälle ajalle kuin havupuiden, ainapa syyskuun alkupäivien tienoille. Sitävastoin lehtipuut alkavat tämän jälkeen yleensä imeä itseensä enemmän vettä kuin havupuut, joten on erittäin tärkeätä, että lehtipuulle saadaan ensi kelin aikoina vajaan.

Katoksessa jatkavat halotut puutavarat painonsa vähentämistä, joskin tämä tapahtuu sangen hitaasti ja epäsäännöllisestikin. Sentähden on hyvissä ajoin vajaan tuotu puutavara erittäin edullista polttoainetta. Toiselta puolelta on ulkoilmassa varastoitu puutavara, ellei sitä varastopaikalla ole ulkoilman kosteudelta suojattu, huonompaa kuin puutavara, joka heti ensi lumella tuodaan vajaan. Ulkoilmassa pinottuna säilytetyn havupuu-halkotavaran vesipitoisuus voi olla noin 10 % ja lehtipuutavaran ehkä sitä enemmänkin korkeampi kuin vajassa säilytetyn.¹⁾

Sahatun puutavaran kuivuminen noudattaa suunnilleen samoja sääntöjä kuin halotun puun, siinä tapauksessa, että on kysymys sahatavarasta, joka mitoiltaan lähentelee sitä pyöreätä puuta, josta se on sahattu. Sellainen sahattu tavara kuin esim. parrut, pelkat ja niitä muodoltaan muistuttava puutavara, ei kuiva yhtä nopeasti kuin pyöreä puu kuorituna. Tämä riippuu siitä, että haihtumispinta sahatavaralla tulee paljon pienemmäksi kuin mitä se on sillä pyöreällä puutavaralla, josta se on veistetty. Jos taas on kysymys tavallisesta lautatarhatavarasta, niin on selvää, että se kuivuu sitä nopeammin mitä ohuempaa se on.

¹⁾ Tästä syystä on edullista, että halot esim. kaupunkipaikoissa ostetaan ja sijoitetaan kellariin jo heti syksyllä, jos käytettävää tilaa tätä varten on olemassa. Jos taas puuta välttämättömästi on ostettava vähitellen, on aina tarkastettava kuinka puut on pinottu. Jos puut ovat pinotut korkeisiin ja haloilla katettuihin pinoihin, niinkuin esim. halot valtion rautateiden varastopaikoissa, niin on niiden vesipitoisuus suunnilleen yhtä alhainen kuin vajassa kuivatun puun.

Joka tapauksessa ovat sahatavaran kuivumisajat kuitenkin pääpiirteissään samat kuin kuoritun ja halaistun tavarankin. Keväällä ja alkukesällä kuivaa sahatavara yleensä sangen nopeasti, noin yhdessä ja kahdessa kuukaudessa, mutta jo kesäkuun puolivälin jälkeen tapulöitu puutavara vaatii 2—3 kk kuivumisajan. Talvella kestää kuivuminen 4—6 kk.

Lautatarhakuivauksen tarkoituksena on saattaa puutavara siksi kuivaksi, ettei se enää sinisty. Sitäpaitsi ei puutavara lautatarhakuivana ollessaan myöskään vielä ala halkeilla.

Lautatarhakuivan puun vesipitoisuus voi erinäisissä tapauksissa, esim. kuivina kesinä, olla sangen alhainen, esim. 8—10 %, jopa pienempikin, ja varsinkin on 1" ja sitä ohuempi tavara tähän aikaan sangen kuivaa. Tapulien kattamistapa, konehuoneen läheisyys, rautatielinjan läheisyys, lautatarhapohjan kuumuus j.n.e. aiheuttavat, että lautatarhakuivan puun vesipitoisuus on hyvin vaihteleva. Suurista ameriikkalaisista puulajeista sahattu tavara sisältää paljon vähemmän vettä kuin meikäläinen. Keskimäärin sisältää hyvin lautatarhakuivattu puu noin 15 % vettä. Lautatarhakuiva aste merkitsee usein sitä, että puu on vähentänyt alkuperäistä vesimääräänsä noin 50 %:lla. Että näin suuri vesimäärän alenus voidaan saavuttaa talvellakin, riippuu siitä, että puu hyvin tapuloidaan ja että tapulit hyvin katetaan. Näin suuren vesimäärän alenuksen saavuttaminen ei ole mahdollista elleivät kuivaussuhteet ole erikoisen edulliset.

Sahatun puun painon keveneminen lautatarhassa on, kuten tekijän tutkimukset osottavat, omituinen siinä suhteessa, että uitettu puu kuivaa huomattavasti nopeammin kuin uittamaton, mutta toiselta puolen on uitettu puu paljon riippuvaisempi ulkoilman kosteusvaihteluista kuin uittamaton puu. Tämä seikka on hyvin tärkeä senvuoksi, että sillä on merkitys puun keinollisessa kuivauksessa. Sellaiset keinolliset kuivauslaitteet, jotka ovat aiiojut uittamattomalle puulle, esim. erinäiset amerikalaiset ja saksalaiset, eivät näin ollen meidän oloihimme sovellu.

3. Puun vedenimemis- ja uppoamis-ilmiö.

Tämän ilmiön suhteen on tekijä tehnyt tutkimuksia, jotka tätä kirjoitettaessa julkaistaan Svenska Flottningschefsföreningens

Tidskrift'issä, joten tämän ilmiön käsittely tässä yhteydessä sivuutetaan. Tähän on syynä myös, että tutkimus tällä alalla on sangen alullaan, joten esim. toistaiseksi ei ole tutkimuksissa voitu päästä varmoihin ja vakuuttaviin menettelytapoihin. Sekä Ruotsissa että Ameriikassa on tämä puoli puun vesipitoisuusilmiötä par'aikaa tutkimuksen alaisena ja mielenkiintoisina sekä alustavaa merkitystä olevina mainittakoon ne tutkimukset asiasta, jotka ovat tehneet ÖFVERHOLM, KINNMAN ja LÖF Ruotsissa sekä Madison-laboratorio (DUNLOP y.m. KOEHLER'in mukaan) Ameriikassa.

4. Vesipitoisuuden vaihteluista johtuvat puun ko'on muutokset.

Puun vesipitoisuuden vaihtelut aikaansaavat puussa erilaisia sekundäärisiä ilmiöitä. Näistä mainittakoon a. puun kokoonkutistuminen, b. puun paisuminen, c. puun halkeileminen ja d. puun kieroilminen.

a. Puun kokoonkutistuminen. Puun kutistumisella ymmärretään misellien toisiaan lähenemisestä johtuvaa puun ko'on muutosta. Puun anatoomisesta rakenteesta johtuu, että misellien, joiden ajatellaan muodostavan soluseinän, täytyy lähetä toisiaan heti, kun soluseinä on alkanut kuivua. Puun kutistumisessa onkin näin ollen 2 eri astetta. Ensiksi haihtuu vesi soluonteloista. Se on pitänyt soluja pullollaan, ja niin pian kuin veden paine on vähentynyt, pääsevät myös solut laskeutumaan pienempään tilaan. Kun soluontelot täten ovat tulleet tyhjiksi, alkaa vesi haihtua soluseinistä ja tällöin alkaa kutistumisessa uusi aste.

Jos puu olisi homogeeninen kappale, niin se kutistuisi yhtä paljon joka suuntaan, mutta puu on kokoonpantu ikäänkuin pitkistä kummastakin päästä suljetuista putkista, joiden pituus on useita kymmeniä kertoja läpimitta, mutta joiden seinä joka kohdalta on suunnilleen yhtä paksu. Kun misellien voidaan otaksua olevan kuutiomaisia kappaleita, niin on selvää, että siirtymän niin hyvin sisään- kuin ulospäin täytyy esim. säteensuunnassa olla suuremman suhteellisenä lukuna katsoen kuin pituussuunnassa ja tangentin suunnassa taas suuremman kuin säteensuunnassa senvuoksi, että siirtymisen suunta tulee olemaan ikäänkuin kolmion sivu tylsäkulmaisessa kolmiossa.

Kutistumisen suuruuteen vaikuttavat monet seikat. Erittäin tärkeänä on pidettävä itse puun rakennetta. Jos puun soluseinät ovat paksut puun soluonteloihin verraten, niin sitä enemmän voidaan niiden otaksua

sisältävän misellejä ja misellivälejä. Sitä suuremmiksi muodostuvat myöskin siirtymiset misellivälien suuretessa tai pienetessä, ja senvuoksi onkin yleensä paisuminen suuri sellaisissa puulajeissa, jotka sisältävät suhteellisen paljon soluseiniä. Tämä taas puolestaan merkitsee sitä, että yleensä ne puut ja puunosat, joiden ominaispaino on suurehko, kutistuvat enemmän kuin ne, joiden ominaispaino on pienehkö. Kuitenkin on otettava huomioon se seikka, että toisiinsa verrattavien puuleikkausten tulee tällöin olla otetut samassa suunnassa säteen ja tangentin suuntaan nähden. Yleensä voidaan muuten sanoa, että oksat kutistuvat enemmän kuin runko ja runko yleensä enemmän kuin juuret.

Puun vesipitoisuudella kuivumisen alkaessa ja kuivumisen loppuessa on luonnollisesti myös tässä suhteessa tärkeä merkityksensä. Jos ajatellaan kasvavaa puuta, niin ovat esim. joka sadekauden loppu, joka aamuyö y.m. sellaisia aikoja, jolloin puu on suurimmillaan. Jos puu esim. on näihin aikoihin mitattu, ja se senjälkeen mitataan kaadettuna, niin tullaan huomaamaan, että sen kutistuminen on paljon suurempi kuin jos puu olisi mitattu keskipäivällä tai kuivana vuodenaikana. Yleensä siis tuoreen puun kutistuminen on riippuvainen siitä, kuinka vesipitoista se on ollut kaadettaessa ja luonnollisesti myöskin siitä, mihin vesipitoisuusasteeseen se kuivataan. Voidaan yleensä sanoa, että puun vesipitoisuus ja puun kutistuminen ovat suoranaisessa suhteessa toisiinsa l. mennäksemme vielä pitemmälle, soluseinän koko ja sitä ympäröivän ilman vesipitoisuus ovat suoranaisesti riippuvaisia toisistaan. Käytännöllisiä tarkoituksia varten on kuitenkin tarpeellisinta tietää, kuinka paljon puu tuoreesta kutistuu ilmakeivään lautatarhakuivaan ja kuivaan asteeseen siirtyessään.

Väriaine- ja hartsipitoisuudella on merkityksensä puuaineen kutistumisessa. Yleensä voidaan nim. sanoa, että nämä molemmat vähentävät puun kutistumista. Tällöin on kuitenkin aina pidettävä muistissa, että on kysymys puuaineesta, jonka väri on terve; jos on kysymys epänormaalista, esim. sienien aiheuttamasta, väristä, niin vaikutus on sangen vähäinen, toisissa tapauksissa kutistumista lisäävä, toisissa tapauksissa sitä vähentävä ja vieläpä aivan merkityksetönkin, niinkuin on esim. puun sinistymistä aiheuttavan sienien, *Ceratostoma piliferan*, laita. Sekä hartsien että väriaineiden vaikutus perustuu m.m. siihen, että ne estävät vettä pääsemästä misellien väliin ja toiseksi vaikeuttavat veden haihtumista niin hyvin soluista kuin soluseinistä. Puiden kutistuminen lausuttuina prosenteissa pituus-, säteen ja tangentin suunnissa on MAYR'in mukaan, kun puut järjestetään enimmäkseen kutistuvasta vähimmäkseen kutistuvaan, seuraava:

	p.	r.	t.
tammi	0.2	4.3	6.5
saarni	0.5	4.6	7.2
pyökki	0.3	5.0	9.3
valkopyökki	0.8	5.6	10.5
vaahtera	0.1	3.2	6.0
koivu	0.5	4.5	6.5
kuusi	0.08	2.0	4.5
mänty	0.1	2.2	4.4
lehtikuusi	0.15	3.3	4.2
mahonki	0.1	1.1	1.8

Myös ydinsäteiden leveydellä on merkityksensä niin, että, kuten yllä oleva taulukko osoittaa, sellaisten puulajien kutistuminen, joilla on leveät ydinsäteet tai paljon kapeita ja leveitä ydinsäteitä, on yleensä suurempi kuin niiden, joiden ydinsäteet ovat kapeita ja harvassa.

Kutistumisesta pyytää tekijä edelleen mainita:

Kutistuminen on siihen asti, kuin puun vesimäärä vielä on pieni, noin 30 %, jokseenkin mitätön, joten siis kokonaiset puunrungot eivät tässä kosteusasteessa vielä huomattavasti kutistu.

Vasta sen jälkeen kun vesimäärä tästä alkaa aleta noin 20 %, alkaa kutistuminen käydä tuntuvammaksi. Kutistumisnumerot samalla tavalla laskettuina kuin edellä, eivät kuitenkaan tule edellisiä pienemmiksi sentähden, että puu ei vielä ole alkanut huomattavammassa määrässä halkeilla. Kun nim. puu kutistuu, kuivaessaan 20 %-sta noin 12 %-ksi, ei puuta mitattaessa koko kutistuminen tule otetuksi huomioon, sillä samalla kertaa syntyy puuhun suuret määrät pienen pieniä halkeamia, jotka laajentavat puun kokoa. Tästä syystä voidaankin, vaikka sahatavara on hyvin eri kuivaa, puhua samoista kutistumisvaroista sahatavaralle, ja tässä suhteessa vaikuttaa oikeastaan kaikkein enimmäkseen se, miltä kohtaa puuta lauta tai lankku on sahattu. Jos lankku on sahattu läheltä ydintä, on sen kutistuminen luonnollisesti aivan sama kuin puun kutistuminen säteen suuntaan ja jos lankku taas on sahattu läheltä pintaa, on sen kutistuminen aivan sama kuin puun kutistuminen tangentin suuntaan (KOEHLER'in mukaan ja FLURYN mukaan keskimäärin 6 %).

Hyvin yleinen tapa puun kutistumisen arvioimisessa on sahata puut norjantuumissa, jolloin ne kuivuneina täyttävät vastaavien tuumalukujen mukaiset mitat englanninmitoissa. Tämä tapa ei kuitenkaan ole täysin pätevä senvuoksi, että niinkuin edellä mainittiin, puun kutis-

tuminen on riippuvainen siitä, kuinka kaukana ytimeä lauta on sahattu. Tästä syystä on tullut tavaksi määrätä vissit kutistumisvarat eri levyyksille. Tämä menettelytapa on sangen oikea, sillä tavallisesti eri leveysmitta jo sinällään osoittaa, mistä osasta puuta lauta tai lankku on sahattu.

Samalla tavalla on myös ruvettu käyttämään eri paksuuksille omia kutistumisvarojaan, sillä myöskin tässä tapauksessa ilmaisevat tavallaan eri leveydet sitä, onko kutistuminen katsottava enemmän säteen kuin tangentin suuntaiseksi.

Luonnollista on myös, että kutistumisvara yleensä on suhteellisesti suurempi silloin kuin on kysymyksessä sahatun puutavaran paksuus-suunta kuin sen leveysuunnassa, sillä yleensäkin sahatavaran paksuus-sivu on aina enemmän tangentin suuntainen.

Kutistumisvarat, joita sahalaitoksissa käytetään, eivät yleensä pidä yhtä edellä esitettyjen keskimääräisten lukujen kanssa. Tämä johtuu siitä, että sama puutavaradimensio aina otetaan erikoisesta osasta puuta ja että meillä esim. aina on kysymys yksinomaan uitetusta puusta. Niinkin tärkeä kysymys kuin kysymys sahatavaran ja puutavaran yleensä kutistumisesta odottaa toistaiseksi vielä ratkaisuaan, sillä esim. ei ole selvitetty eri kuivaustapojen vaikutusta puun kutistumiseen eikä seikkoja, joiden avulla sitä tarpeen mukaan voidaan edistää tai ehkäistä.

b. *Paisumisella* ymmärretään puun volyymin laajenemisesta veden tai vesihöyryn imeytymisen vuoksi puuhun. Paisuminen on siis päinvastainen ilmiö kuin kutistuminen.

Paisumisiimiötä on yleensä sangen vähän tutkittu. Vanhimmat tutkimukset tällä alalla on tehnyt hannoverilainen LAVES, joka on tutkinut laajenemista eri puulajeilla ja kaikkiin suuntiin. Näiden tutkimuksien vertaisia laajuudessa ei ole myöhemmin tehty. Hän käytti tutkimuksiinsa absoluutisesti kuivaa puuta, jonka hän antoi imeä vettä itseensä siksi, että puu saavutti 13 % painolisäyksen. Tällä tavalla saavutti puu siis suunnilleen sen kosteusasteen, mikä sillä on huoneessa. Käytännöllisesti ei tällaisella laajenemisella ole mitään merkitystä, sillä absoluutisesti kuivaa puutahan ei missään käytetä. Mutta toiselta puolelta LAVES myös tutki, kuinka paljon huonekuiva puu kutistuu tullessaan absoluutisesti kuivaksi ja tällä tavalla hän tuli huomaamaan, että paisuminen on suhteellinen kutistumiseen. Juuri tämän lain lausuminen on hänen suurin ansionsa, sillä sittemmin ovat myöskin myöhemmät tutkimukset, esim. STABY'n, osottaneet, että hänen lausumansa laki pitää paikkansa.

Myös NÖRDLINGER on tehnyt tutkimuksia siitä, kuinka suuri puiden laajentuminen on huonekuivasta asteesta 30 % kosteutta sisältävään, jolloin hän on määritellyt puun laajenemisen käytännölliset rajat. Myös nämä tutkimukset ovat hyvin arvokkaat, mutta niiden selostaminen tässä ei ole tarpeellinen, sillä jo LAVES'in lain kautta voidaan ilman muuta käyttää puiden paisumista arvosteltaessa niitä numeroita, joita yleensä on annettu sen kutistumisesta. Sitävastoin on NÖRDLINGER'in ansioksi mainittava että hän oli ensimmäinen, joka huomasi n. k. *allemman paisumisrajan*. NÖRDLINGER huomasi nim., että kun puu on saavuttanut sen vesimäärän ja volyymin, joka sillä on tuoreena, niin se ei sen jälkeen enään sanottavasti laajene. Laajenemista tapahtuu kyllä, mutta tapahtuu se siksi hitaasti, että sitä osottava käyrä tulee milt'ei yhdensuuntaiseksi $x =$ akselin kanssa.

Edelleen on todettu, että puun paisumiseen vaikuttavat aivan samat seikat, kuin sen kutistumiseenkin, nim. kuivuus, vesipitoisuus, rakenne, hartsipitoisuus j.n.e., joten paisumista ja kutistumista oikeastaan voidaan pitää saman ilmiön eri muotoina.

Puun paisumisominaisuudella sinänsä on huomattava käytännöllinen merkitys. Mainittakoon, että sitä on suoranaisestikin käytetty hyväkseen. Puun paisuminen tapahtuu hyvin voimakkaasti, ja sen vastustamiseksi tarvitaan melkoista mekaanista voimaa. Tätä voimaa on käytetty hyväkseen esim. kivitöissä. Kuivia puukiiloja on työnnetty kivien halkeamiin ja kun ne täällä kosteudessa ovat paisuneet, ovat ne laajentaneet halkeaman niin, että kivikappaleet on voitu irrottaa.

c. *Halkeilemisiimiö* saa alkunsa jo kasvavassa puussa. Sen kulku on tekijän havaintojen mukaan seuraava. Jo yksityinen soluseinä on rakenteeltaan ja lujuussuhteiltaan epätasainen, ja soluissa ja soluryhmissä tulee tämä epätasaisuus vielä huomattavammaksi puhumattaakaan eri puun osista. Kun sydänpuuta alkaa muodostua, tapahtuu siihen siirtyvissä solukoissa huomattava kosteuden vähennys. Sydänpuuhan sisältää, niin kuin edellä on mainittu, ainoastaan 15—20 % vettä. Tämä vesimäärän vähennys, joka muuten johtunee m.m. puussa tapahtuvista vettä sitovista kemiallisista prosesseista, saa aikaan puiden kutistumista, ja koska jo yksityisen solunkin eri osat ovat erilaisia, niin tapahtuu tämä kutistuminen epätasaisesti. Kutistumisen epätasaisuutta lisää myös se seikka, että kosteus poistuu eri soluista eri nopeasti. Tällä tavalla syntyy jo puun kasvaessa sydänpuun muodostumisen yhteydessä halkeamia soluseiniin. Nämät halkeamat ovat mitättömän pieniä, eikä niillä sellaisenaan olisi kovinkaan suurta merkitystä, elleivät ne käsittäisi

useita toisiinsa liittyneitä soluja yht'aikaa. Mutta siellä, missä tällaisia halkeamia liittyy yhdeksi suureksi halkeamaksi, saadaan aikaan heikko kohta puussa, josta halkeaminen voi alkaa.

Toinen seikka, joka tällaisia halkeamia edistää, on pakkanen. Pakkassa tulee puuaine yleensä hauraammaksi, ja ENEROTH'in mukaan on aiheena tällaisten primäärihalkeamien laajenemiseen usein puun hauraus pakkassäällä.

Kolmantena syynä mainittakoon edelleen: puun mekaaninen liikunta. Puu ei pysy yleensä hetkeäkään liikkumattomana, vaan pienessäkin tuullessa sen runko heiluu hyvinkin tuntuvasti. Tällöin jatkuvat halkeamat siten, että useita primäärihalkeamia yhtyy toisiinsa ja halkeama saa säteen suunnan. Koska trakeiidit ytimen ympärillä ovat lyhimät pidenten vähitellen pintaan päin, niin eivät tällaiset lyhyet trakeiidit voi kietoutua toisiinsa yhtä hyvin kuin pitkät ja sitäpaitsi on niiden seinien vetolujuus pienempi kuin pinnemmillä olevien trakeiidien. Tästä syystä kehittyvät halkeamat parhaiten juuri ytimen läheisyydessä, ja että halkeamat saavat säteen suunnan, riippuu siitä, että vuosirenkaan vetolujuus on pienin tangentin suunnassa.

Jos puu on esim. ovaalin muotoinen, on huomattava, että siinä samankin vuosirenkaan vetolujuus on pienin vuosirenkaan lähinnä ydintä olevassa kohdassa. Se, että puu yleensä tulee ovaalin muotoiseksi, on riippunut siitä, että puu on ollut enemmän rasitettu siinä suunnassa, jossa läpimitta on suurin. Juuri tästä syystä tälle suunnalle on kokoonnutu enemmän puuta vahvistavaa ainetta. Tästä syystä on myös selitettävissä, minkä vuoksi juuri ovaalin muotoiset puut halkeavat parhaiten pisintä diametriansa vastaan kohtisuoraan suuntaan.

Tällä seikalla on muuten merkityksensä esim. puita sahatessa. Puu on yleensä sahattava siten, että sahanterä tulee kulkemaan lyhimmän diametrin suuntaan, sillä silloin tulevat halkeamat lankun poikkileikkauspinnan pituussivun suuntaisiksi.

Yllä kerrotulla tavalla syntyvät ne halkeamat, joita kutsutaan ammattikielessä sydänhalkeamiksi. Pienemmillä puilla ne ovat siksi vähäpätöisiä, ettei niitä tarvitse ottaa huomioon sahauslaskelmia tehtäessä, mutta ikivanhoissa aarniometsissä, joiden ikä on parisataa vuotta ja ehkä enemmänkin, ovat ne sangen suurimerkityksellisiä. Mainittakoon, että eräästä 40 standardin suuruisesta, näköjään aivan virheettömästä, sahatavaraerästä 3×9 lankkuja, ainoastaan 13 standardia lopulta kuivana osottautui laivauskelpoiseksi. Kaikki muut olivat pilalle haljenneet.

Sydänhalkeamasta ei ole pitkä askel n.k. tuulihalkeamaan, joka syntyy joko myrskyn tai pitkäaikaisen samansuuntaisen tuulen vallitessa. Tällöin tuulen suuntaa vastaan kohtisuoran halkeama kehittyy suuremmaksi kuin muut ja ulottuu usein sydänpuun ulkopuolellekin. Kun tämä halkeama täten on päässyt näin aivan erikoisesti kehittymään, niin jää muiden halkeamien kasvaminen väkätöiseksi, ja täten syntyy puuhun näkyvä halkeama, joka ei edes puun kosteana ollessakaan sulkeudu. Tuulihalkeaman erottaa siis puusta jo puun tultua kaadetuksi ja puun siis tuoreena ollessakin, joka ei ole sydänhalkeaman laita.

Kasvavissa puissa esiintyvistä halkeamista on edellisestä riippumattomana mainittava vielä varsinainen pakkashalkeama. Tämä syntyy seuraavalla tavalla. Kun syystalvella ilmat hyvin äkkiä kylmenevät, kutistuvat puun pintakerrokset paljon nopeammin kuin sisäkerrokset ja tämä kutistuminen on luonnollisesti suurin juuri niissä puun pintakerroksissa, jotka välittävät nestenousua puussa. Tämä kutistumisen suuruus riippuu myös siitä, että nämä kerrokset eivät ole täydellisesti puutuneet, vaan jossain määrin kolloidaaliset. Ne muistuttavat siis tavallaan limaista massaa, joka usein sisältää sangen paljon, ainapa 90 % asti, vettä. Kun tällainen limainen massa äkkiä jäätyy, tapahtuu siinä sangen huomattava kutistuminen niin, että kutistumisprosentti tangentin suunnassa HESS'in tutkimusten mukaan voi nousta aina 20 %:iin. Sisempien kerrosten kutistuminen ei edes suurimmassakaan lämpöluvunvaihteluissa voi olla yli 10 %, ja tällä tavalla syntyy siis pingotus puun ulompien ja sisempien kerroksien välillä. Täten katkeaa siis vuosilusto heikoimmalta kohdaltaan, joka kohta tällä kertaa on puun aukealla puolella 1. siis säännöllisessä metsikossa puun eteläpuolella tai yleensä sillä puolella, johon latvuksen paino suuremmissa määrin kohdistuu. Tämä puoli on käytännöllisesti katsoen se, missä oksat ovat vankimmat, ja senvuoksi tällainen pakkashalkeama tavataankin juuri vankimpien oksien puolella. Siihen nähden, että tämä halkeama on syntynyt puun elävissä osassa, tahtoo puu sitä myöhempinä kasvuaikoinaan uudella vuosilustomuodoksella peittää.

Tällä tavalla puun pintaan ulottuva halkeama on tietysti hyvin altis ilman kosteudelle niin, että siihen aina kokoontuu vettä, joka jäätyessään yhä enemmän puristaa halkeaman reunoja irti toisistaan tai kokoontuu siihen neulasia, kaarnanpalasia j.n.e., jotka vähitellen alkavat lahottaa puuta sen kautta, että tällaiseen pintahalkeamaan tavallisesti tunkeutuu vahinkosieniä.

Paraassa tapauksessa voi puu pitkäaikaisten ponnistusten jälkeen

kasvattaa umpeen halkeaman, joten kuori sen uudestaan peittää. Silloin ei halkeamasta ulkoapäin katsottuna näy muuta merkkiä kuin juovantapainen kohoke puun pinnalla, joka usein halkeaman vanhetessa voi kokonaan hävitä.

Jos on kysymys lehtipuista, niin tällainen juovantapainen kohoke säilyy jokseenkin varmasti paljain silmin huomattavana, joten on helppo arvostella, milloin puussa on tämä vika tai ei. Hyvin hyvänä esimerkkinä tästä tapauksesta mainittakoon se pyökkilehtokuja, joka johtaa *Versailles'*ista pieneen *Trianon'*iin. Tämän lehtokujan puissa olevat pakkshalkeamat on DUHAMEL DU MONCEAU aikoinaan todennut, ja kaikissa tämän lehtokujan varrella olevissa vanhoissa pyökeissä on halkeamia vielä tänäkin päivänä.

Myös meidän kotimaisissa lehtipuissamme nähdään nämä pakkshalkeamat selvästi haavalla ja raidalla, jotavastoin niiden erottaminen koivussa, varsinkin hyvällä maaperällä kasvavassa hieskoivussa, on verrattain vaikeaa. Hyvällä maaperällä kasvavassa kuusessa ne myös voidaan kutakuinkin hyvin erottaa, mutta vähänkin huonommalla maaperällä kasvavissa kuusissa on niiden erottaminen sangen vaikeata. Mäntymetsissä sitävastoin ei tällaista pakkshalkeamaa voida silmämäärällä erottaa, joten tavallinen keino metsiä arvioitaessa on tutkia, onko entisissä kannoissa merkkiä näistä. Jos niistä merkkiä löydetään, ja kannoissa olevat halkeamat yleensä ovat samalla puolella, niin silloin on syytä otaksua, että halkeama on yleinen vika niissä puissa, jotka ovat samanikäisiä kuin kannotkin.

Myös metsäpalojen yhteydessä syntyy puihin halkeamia. Kun metsäpalo kuumana, mutta tuulisena kesäpäivänä käy kautta metsän, niin voi sattua, että tuli ei ennätä nousta puiden latvoihin, mutta sitävastoin kuivaa puun kuoren siltä puolelta puuta, josta tuli on metsään tullut. Aikaamyöten kuivaa puu tältä puolelta ja kuivumisen seurauksena on, että kuori, jos sitä on jäänyt palamattakin, irtaantuu puusta. Tällä tavalla tulee siis puun kuollut nilakerros suorastaan ilman vaihtelujen vaikutuksen alaiseksi. Tällöin ei se voi kutistua ja laajeta luonnollisella tavalla, siitä yksinkertaisesta syystä, että se tavallisesti on ollut kuoren suojaamana, ja siitä on seurauksena pintakerroksien halkeileminen. Jos haava ei ole kovin suuri, kasvaa se vähitellen umpeen, mutta koska palaneelta osalta nilakerros on kuollut, niin eivät sen yli kasvaneet vuosilustot voi siihen elimellisesti tarttua, vaan välille jää tyhjä osa, joten puuhun syntyy paitsi edellä mainittua säteen suuntaista myöskin tangentin suuntainen halkeama.

Kaikki edellämainitut halkeamatapaukset esiintyvät kasvavassa puussa. Sen jälkeen kuin puu on kaadettu ja saa kaadon jälkeen kuivua, suurenee halkeama yleensä sillä kohtaa, missä se puulle on ollut enin tehokas. Tästä syystä siis sellainen puukappale, jossa esim. ennestään on ollut sydänhalkeamia, laajenee juuri näiden kohdalta ja halkeamat voivat parhaassa tapauksessa ulottua aina pintaan asti. Kun siis saha-teollisuudessa sanotaan, että jossakin puukappaleessa on halkeama, tarkoitetaan sillä sellaista sahattua puukappaletta, jossa jo kasvavana on ollut tämä vika ja jossa se siis lautatarhassa edelleen kuivuessa yhä edelleen laajenee.

Mutta, kuten edellä on esitetty, on puun rakenne siksi epätasainen, että kasvavassakin puussa aina on ollut pieniä halkeamia, joita usein heti puun kaadon jälkeen ja puun tuoreena ollessa ei paljaalla silmällä edes voida erottaa. Näiden halkeamien kehitys puun kuivuessa on sekin säteensuuntainen, mutta jo se, että ne puun kasvavana ollessa eivät ole suuremmassa määrin laajentuneet, todistaa sitä, että ne eivät ole olleet joko toisiinsa yhteneviä tai käsittäneet sellaisia puuosia, joiden lujuus on pieni. Tästä syystä tällaiset halkeamat tosin laajenevat puun edelleen lautatarhassa kuivuessa, mutta niiden teknillinen merkitys puun lujuusominaisuuksien vähentäjänä on sangen vähäpätöinen. Tällaisia halkeamia, jotka tulevat näkyviin puun kuivuttua lautatarhassa, kutsutaan teknillisellä nimityksellä risoiksi. Sen johdosta, että nämät n.k. risat ovat syntyneet puun kuivaessa lautatarhassa, ovat ne luonnollisesti huomattavissa juuri niissä osissa puuta, jotka ovat parhaiten kuivumiselle tai ilmanvaihdolle alttiita, siis lautatapulin ulkokerroksissa ja varsinkin puiden päissä.

Myös risoilla on käytännöllinen merkityksensä sikäli, että niitä ei suvaita ensiluokan exporttitavarassa. Tällaisten risojen välttäminen on muuten sangen yksinkertainen asia. Sen sijaan, että puutavara, kuten tähän asti on ollut tavallista, katkotaan heti sahattua tasamittaiseksi, on paras jättää puutavaran katkominen vasta siihen hetkeen, jolloin puutavara laivataan. Kun puutavara tällöin katkotaan tasamittaiseksi, eivät sen vastakatkotut päät tavallisesti ennätä matkalla halkeilla.

Mitä huolemiin l. tangentinsuuntaisiin halkeamiin puussa tulee, niin ei niitä yleensä suvaita exporttisahatavarassa ja siitä syystä voidaankin ne jo ennen tapuloimista puusta erottaa.

d. Puun kieroileminen johtuu ensinnäkin siitä, että puu kutistuu erilailta säteen ja erilailta tangentin suunnassa. Sitä selvittävät parhaiten seuraavat tekijän tekemät havainnot. Jos esim. paksu lankku

halkaistaan, niin ovat sen pintaosat kuivuessaan jo saaneet lopullisen kokonsa, jotavastoin sisäosa usein on tuoreempaa ja sisimmät pinta-elementit ovat ulommaisten kerroksien puristuksen alaisia. Tästä syystä pääsee sisäosa kuivuessaan edelleen kutistumaan ja tämän vuoksi puu taipuu l. vetäytyy keroon sisimmälle puolelleen. Tämä on näennäisesti ristiriidassa sen kanssa, mitä edellä on sanottu puutavaran kutistumisesta tangentin suunnassa, sillä useimmitenhan juuri ulommainen leikkaus on enemmän tangentin suuntainen kuin sisempi ja näin ollen olisi juuri ulomman sivun pitänyt kutistua enemmän. Näin olisi tapahtunutkin, jos ei lankku sahautuksen jälkeen olisi kuivunut. Se tavara, mitä höyläykseen käytetään, on aina oleva kuivaa, ja tästä syystä höyläystavarassa on otettava huomioon juuri sen suuntainen halkeaminen kuin edellä mainittiin.

Jos tuore puu sahalla halkaistaan, tapahtuu keroon vetäytyminen kaikkein säännöllisimmin. Ytimen kautta tehdyllä leikkauksella halkaistu puu ei nim. kuivaessaan jää puoliympyrän muotoiseksi, vaan ympyrän sektorin, jossa säteiden välinen kulma on oikokulmaa pienempi.

Jos tuore puu sahataan laudoiksi, niin vaikuttaa tangentin suuntainen laajeneminen sitä enemmän, mitä lähemmäksi pintaa tullaan. Kaikki laudat, jotka sahataan ytimen ja puun ulkokehän välistä, vetäytyvät keroon siten, että niiden ympyrän kehään päin tuleva osa kuivuessa jää pitemmäksi kuin ytimeen päin tullut osa.

Myös puun laajeneminen pituussuuntaan merkitsee jonkun verran tässä yhteydessä. Varsinkin silloin, kun on kysymys kierosta puusta, vetäytyy puu pituuslaajennuksensa vuoksi siksi paljon keroon, että siitä voi olla käytännöllisiä hankaluuksia. Meidän havupuiстамme on kuusi yleensä rakenteeltaan kierompaa kuin mänty. Tästä syystä esim. kansanmiehet eivät mielellään käytä kuusta rakennushirtenä, vaan aina, kun suinkin voivat, rakentavat seinänsä männystä. Myöskin laivarakennusalalla, jossa esim. mastoina ja raakoina käytetään hyvin pitkiä puita, on tässä suhteessa havaittavana huomattavia hankaluuksia. Senvuoksi masto- ja raakapuiksi käytetään melkein yksinomaan mäntyä.

Toiseksi riippuu puun vetäytyminen keroon myöskin hyvin paljon puuosien erilaisesta kyvystä imeä itseensä vettä tai siitä, että puiden eri osat joutuvat kosteuden suhteen erilaiseen asemaan. Esim. tavallisessa rakennushirressä tulee sisäpuoli olemaan ulkoilmaan päin ja siis vaihtelevan kosteuden alaisena, jotavastoin sisäpuoli tulee olemaan huoneeseen päin ja useimmiten siis verrattain tasaisen kosteuden alaisena. Sisäpuoli kuivuu siis huonekuivaksi eikä tällaisena sanottavasti kutistu

eikä laajene, jotavastoin ulkopuoli kutistuu ja laajenee sen mukaan kuin ilman kosteus vaihtelee. Tästä syystä on rakennuksen seinä aina liikkeessä ja sitä enemmän mitä kierompia siinä olevat puut ovat. Tästä syystä esim. kirvesmies rakennushirttä seinään asettaessaan aina kääntää sen suorimman ja oksattomimman puolen ulospäin.

Lopuksi vaikuttaa myöskin halkeileminen tuntuvasti puun keroon vetäytymiseen. Jos esim. lankku on leikattu siten, että siinä toisessa sivussa on lähellä ydintä olevia oksia, niin tapahtuu kutistuminen, kuten edellä jo mainittiin nopeammin ulkosivun puolella, mutta tällöin tulee lankku taipuneeksi kokoon keskeltä ja ytimen puoli joutuu ikäänkuin venytyksen alaiseksi, joka laajentaa ytimenpuoleisia halkeamia. Halkeilevaisuus siis saa aikaan, että helposti halkeava puu vetäytyy suuremmassa määrin keroon kuin vaikeasti halkeileva.

Tälläkin seikalla on käytännöllinen merkityksensä. Jos esim. lattialankkuja asetetaan paikalleen, niin on niissä aina ytimen puoli asetettava alaspäin. Alaspäin jäänyt osa lankusta tulee nim. säilytettäväksi kosteammassa paikassa kuin lankun ylöspäin oleva osa, joten siinä kutistuminen käy pienemmäksi ja halkeamia pääsee vähemmän syntymään.

Puun keroon vetäytyminen riippuu myös hyvin paljon siitä, kuinka puu kuivataan. Jos aivan tuore puu esim. keinoitekoisesti kuivataan hyvin nopeasti, niin kutistuvat sen pintaosat, joista kosteus on ennättänyt haihtua pois, paljon nopeammin kuin sisäosat, joista kosteus ei pääse haihtumaan. Tällä tavalla joutuvat pintaosat sisäosien puristuksen alaiseksi, joka puristus on siksi suuri, että puu heikoimmilta kohdiltaan halkeaa. Tällä tavalla syntyy sangen suuria halkeamia puuhun ja on tällaisilla äkkinäisen kuivauksen aikaansaamilla halkeamilla se ominaisuus, että ne eivät esim. puuta uudestaan kostutettaessa tahdo mennä umpeen. Jos puu sitävastoin kuivataan hitaasti, niin ei tällaista sisäosien puristusta synny ja päästään paljon pienemmällä halkeamilla ja myöskin paljon pienemmällä keroonvetäytymisellä.

Yleisinä sääntöinä puun keroonvetäytymisestä voidaan edellisen perusteella sanoa seuraavaa.

Kaikkein vähemmän vetäytyvät keroon sellaiset puulajit, joilla on hyvä ulkomuoto ja säännöllinen latvus.

Jos on kysymys samasta puulajista, niin vetäytyy siinä kaikkein vähemmän keroon rungon oksaton osa, sen jälkeen latvukseen kuuluva rungon osa ja lopuksi kaikkein enimmäen vetäytyvät keroon oksat.

Erikoisen paljon vetäytyvät kiereen sellaiset puut, joiden kasvu jo muutenkin on kiero. Haaratavaiset havupuut, runsasoksaaiset havupuut j.n.e. ovat kaikki kieroutuvaa puuta.

Ytimen asema puussa osottaa myös jossain määrin puun kiereen vetäytymistä. Jos lankku tai lauta on sahattu kau'empaa ytimestä, niin kutistuu sen ulkosyrjä enemmän sentähden, että se on tangentin suuntainen, jotavastoin kutistuminen sisäpuolelta on pienempi sentähden, että sisäleikkaus jää säteensuuntaiseksi. Tästä syystä ovat esim. EKMAN'in kuvista pari tätä asiaa esittävää kuvaa vääriä sentähden, että niissä on kuvattu kutistuminen päinvastaiseksi. Kuva 108 a on niinmuodoin väärä, jotavastoin kuv. 108 b on oikea.

Jos halutaan puutavaraa, joka ei kutistu, on sitä tekijän havaintojen mukaan valmistettava säteensuuntaisen sahauksen kautta. Tällainen säteensuuntainen sahaus on muutenkin edullinen siellä, missä vain sen kautta voidaan saavuttaa tarpeeksi suuria dimensiooneja. Jo Keski-Euroopan tammet, pyökit ja hopeakuuset ovat siksi suuria, että niitä voidaan radiaalisesti sahata, puhumattakaan esim. Amerikan suurista puista. Tällainen radiaalisesti sahattu tavara vetäytyy kaikkein vähemmän kiereen. Se sopii siis erinomaisesti esim. lattialankuiksi, ovienkehyksiksi, kaikenlaisiksi listoiksi j.n.e. Sillä on sitäpaitsi suurin lujuus kulumista vastaan.

Meillä käytetään tekijän mielestä yleensä aivan liian vähän radiaalista sahausta. Meidän puumme ovat tosin siksi pieniä, ettei niiden sahaaminen radiaalisesti ole mahdollista tavallisten sahatavaramittojen hankkimista varten. Mutta sitävastoin voitaisiin esim. katto- ja seinäpaneelia, listoja, akkunan- ja ovenkehyksiä sahata meillä tällä tavalla.

Myös huonekaluteollisuudessa on kiereen vetäytyminen haitallinen ilmiö. Se puutavara, mikä huonekaluteollisuudessa käytetään, saa hyvin suureksi osaksi olla pienimittaista, joten huonekalupuu voitaisiin aina valmistaa radiaalisahauksen kautta. Näin ei kuitenkaan meillä ole tehty, sillä valitettavasti kyllä meillä huonekaluteollisuuteen käytetty puuaine on suurimmaksi osaksi pintalautaa l. siis tangentin suuntaan sahattua puuta.

Hyvin alttiita kieroilemiselle ovat edelleen sen tapainen puutavara kuin sukset, reenjalakset ja erinäisissä tapauksissa myös aisat. Kaikki tällainen puutavara on myöskin mikäli mahdollista hankittava radiaalisahauksen kautta. Jos esim. tahtoo valita itselleen hyvät sukset, niin on aina katsottava, että suksipuu on leikattu säteen suuntaan.

Muita teollisuuden haaroja, joissa edelleen tarvitaan radiaalisesti sahattua puuta ja joissa käytetty puuaine ei saa vetäytyä kiereen, on rautatievaunuteollisuus ja lentokoneteollisuus.

Mutta faneeriteollisuus on kuitenkin, vaikka se käyttääkin juuri tangentin suuntaista puuta, merkillistä kyllä, se teollisuuden haara, joka kykenee valmistamaan kaikkein vähemmän kiereenvetäytyvää puuta.

Käytettyä kirjallisuutta:

- BETTS, H. S.: The Seasoning of Wood. United States Department of Agriculture. Bull. 552.
- BÜSGEN, M.: Studien über dem Wassergehalt einiger Baumstämme. (Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen) 1911.
- BÖHMERLE, E.: Beitrag zum Schwinden des Holzes. (Centralblatt für das gesammte Forstwesen.) 1877.
- CHEVANDIER, E.: Moniteur industriel. 1846. N:o 1045. (Dingler. Band 102. 1846.) — Note sur les quantités d'eau hygrométrique contenues dans les bois de feu. Pres. à l'Acad. d. Sc. l. 1. juin 1846.
- DU MONCEAU, DUHAMEL: Du Transport et de la Conservation des bois. 1738.
- ENEROTH, O.: Vedens tyngd, vattenhalt, krympning och svällning, torkning och vattenuptagning. (Handbok i Skogsteknologi.) Stockholm 1922.
- FERNOW, B. E.: The timber Pines of the Southern U. S. Washington 1897.
- FLURY, PHILIP: Untersuchungen über das Schwindmass des Stammholzes bei Winter- und Sommerfällung. Mitteilungen der Schweizerischen Centralanstalt für das forstliche Versuchswesen XI, Band, 3. Heft 1921.
- FOREST SERVICE CIRCULAR, N:o 103, Seasoning of Telephone and Telegraph Poles. — N:o 136, The Seasoning and Preservative Treatment of Arbor-vitae Poles. — N:o 146. Experiment with Railway Cross-ties. — N:o 151. The Preservative Treatment of Loblolly Pine Cross-arms.
- HAMPEL, L.: Das Wasseraufsäugungsvermögen einiger Holzarten. (Centralblatt für das gesammte Forstwesen.) 1881.
- HARTIG, R.: Das spezifische Frisch- und Trockengewicht, der Wassergehalt und das Schwinden des Kiefernholzes. Berlin 1874.
- HELANDER, A. BENJ.: Metsänkäyttö-oppi. Porvoo 1922.
- HESS, R.: Untersuchungen über die Schwindungsverhältnisse einiger Holzarten. (Forstliche Blätter. 1887.)
- HILDEBRAND, R.: Ueber den Einfluss der Feuchtigkeit auf der Längenzustand von Hölzer. (Annalen der Physik und Chemie, Band XXXIV, Heft 2. Leipzig 1888.)
- HUMPHREY, C. J.: Timber Storage Conditions in the Eastern and Southern States with Reference to Decay Problems. United States Department of Agriculture. Bull. 510.
- JANKA, G.: Die Einwirkung von Süß- und Salzwässern auf die gewerblichen Eigenschaften der Hauptholzarten. (Mitteilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Oesterreichs. XXXIII. Heft. 1907.)

- KEMPFER, W. H.: The Air Seasoning of Timber. American Railway Engineering Association. Bull. 161.
- NÖRDLINGER, H.: Das Schwinden des Holzes. (Centralblatt für das gesammte Forstwesen.) 1875.
- Schwindet Hartholz stärker oder Weichholz? (Kritische Blätter für Forst- und Jagdwissenschaft.) 49 Band, 1 Heft. 1866.
- Trockenrisse (falsche Frostrisse) an der Fichte. (Centralblatt für das gesammte Forstwesen.) 1878.
- RUMFORD: Recherches sur les bois et le charbon. Paris 1812.
- STABY, LUDWIG: Ueber Quellung des Holzes. (Forstwissenschaftliches Centralblatt. 1888.)
- THELEN, ROLF: Kiln Drying Handbook. United States Department of Agriculture. Bull. 1136.
- WIMMENAUER: Aufbewahrung von Fichtenstammholz in Wasser. (Allgemeine Forst- und Jagdzeitung.) 1878.

C. Puun lujuusominaisuudet.

Lujuudella ymmärretään yleensä aineen ominaisuutta vastustaa voimaa, joka yrittää erottaa aineen eri osia toisistaan. Tekniikassa esiintyvien tarveaineiden lujuutta tutkitaan aineenkoetuslaitoksissa. Sellaisien aineiden kuin esim. raudan ja jopa betoninkin lujuusominaisuudet voidaan määrittellä niin tarkoin, että ne useimmille käytännössä esiintyville laaduille saadaan keskimääräisesti määrättyiksi. Sitävastoin on puun rakenne siksi vaihtelevaa, että yleispätevien numeroiden aikaansaaminen tällä alalla on hyvin vaikeata. Aikaisemmat tutkimukset puiden lujuusominaisuuksista tehtiin yleensä käyttämällä pieniä särmiön- tai lieriönmuotoisia koekappaleita, joiden laatu oli kauttaaltaan mahdollisimman samanlainen. Tällä tavalla saatiin lukuja, jotka osottivat mahdollisimman homogeenisen puuaineen ominaisuuksia. Mutta toiselta puolelta eivät tällaiset luvut pitäneet paikkaansa silloin kuin oli kysymys suuremmista puukappaleista, jollaisia kuitenkin aina tekniikassa esiintyy.

Tällaiset kokeet eivät kuitenkaan jääneet merkityksettömiksi. Niiden kautta voitiin selvittää useita tärkeitä asioita, joista mainittakoon seuraavat: lujuuden ja painon suhde toisiinsa, lujuuden ja kosteuden suhde toisiinsa, eri puunosien lujuussuhteet: esim. lujuuden vaihtelu puun eri osissa, sydänpuun ja pintapuun lujuussuhteet, vuosirenkaan leveyden vaikutus lujuuteen, kevätpuun ja kesäpuun vaikutus lujuussuhteisiin sekä osaksi myös sentapaisia seikkoja kuin esim. verrannollisten lukujen määrittäminen eri puulajien lujuussuhteille y.m.

Täten päästiin jo siis tuloksiin, joista oli paljon ohjausta puuta käytettäessä teknillisiin tarkoituksiin.

Mutta muitakin etuja näistä vanhemmista tutkimuksista oli. Niiden kautta saatiin jonkunmoinen likimääräinen käsitys puun lujuusominaisuuksista ja niiden tutkimuksen kautta keksittiin koneita sekä kehitettiin menettelytapoja, joilla vielä tätä nykyäkin on merkityksensä puiden lujuusominaisuuksia tutkittaessa.

Vasta aivan lähiaikoina, i. tarkemmin sanoen 1800-luvun loppupuolella, alettiin tutkia suurempia puukappaleita, ja uuden vauhdin saivat tutkimukset oikeastaan 1900-luvun alkuvaiheilla, jolloin ameriikalaiset koelaitokset alkoivat tutkia sen kokoisia puukappaleita, joita käytännössä esiintyy. Ameriikalaiset tutkimukset eivät käsitä ainoastaan rakennushirsien, parrujen, pelkkojen, vasojen, lautojen ja lankkujen lujuustutkimuksia, vaan on myös tutkittu erilaisten käytännössä esiintyvien puukonstruktioiden, kuten esim. kattorakenteiden, tukipylyväiden j.n.e. sekä erinäisten puuesineiden, esim. huonekalujen, puulaatikoiden j.n.e. lujuutta. Joka tapauksessa ei tutkimustyö tällä alalla läheskään ole päässyt lopullisiin tuloksiin, mutta senverran voidaan kuitenkin sanoa, että tutkimussuunnitelmat ovat vähitellen jo kristallisoituneet eheään systeemiin, ja alkaa jo vähitellen olla käytettävissä tekniikkaan kelpaavia lukuja puiden lujuusominaisuuksista.

Puun lujuusominaisuuksien systemaattinen tutkimusmenettely sisältää pääasiallisesti seuraavat seikat: 1. puun alkuperän selittämisen, 2. ominaisuuksiin vaikuttavien seikkojen selittämisen, 3. koekappaleiden valitsemisen, 4. kokeiden suorittamisen.

1. Puun alkuperän selittäminen käsittää tarkat ilmoitukset puun kasvupaikan maantieteellisestä asemasta, sen topografiasta, metsikon laadusta, puun asemasta metsikossa sekä puun harvennusluokasta, puun iän, puun kaatoajan, kaatoajan ilmastolliset suhteet, puun käsittelyn kaadon jälkeen, puun kuivauksen ja varastoimisen sekä koekappaleen aseman rungolla.

2. Ominaisuuksiin vaikuttavat seikat ovat m.m. koekappaleen koko, oksien suuruus, oksien asema, sydänpuun ja pintapuun määrä ja asema, puun ominaispaino ja vesipitoisuus, vuosilustojen muoto, vuosilustojen lukumäärä, vuosilustojen leveys ja vuosilustojen syyspiu-%.

Tällaiset selvittelyt voivat olla hyvinkin monimutkaisia ja esim. rakennushirsien ja sahatavaran suhteen ne johtavat koekappaleiden tarkkaan luokitteluun. Niinpä esim. vuosilustojen lukumäärä sm. tai tuumaa kohti osottaa vuosilustojen keskimääräistä leveyttä ja esim. tiiviillä puulla tulee olla ainakin 9 vuosilustoa $2\frac{1}{2}$ sm. kohti sekä vuosilustosta 30 % kesäpuuta.

Oksat esim. jaetaan 3 luokkaan, nim. 1. sellaisiin oksiin, jotka ovat eheitä ja lujasti kiinni puussa ja jotka eivät aiheuta huomattavaa epäsuunnollisuutta vuosilustojen suunnassa, ja 2. oksiin, jotka ovat eheitä ja kiinteästi yhdistetyt puuhun, mutta muuttavat kuitenkin huomattavasti vuosilustojen suuntaa, 3. oksiin, jotka ovat kovia, mutta irtaantu-

vat helposti puusta ja 4. oksiin, jotka ovat ympäröivää puuta pehmeämmät. Sitäpaitsi mitataan oksien läpimitta ja otetaan myös se huomioon puita luokiteltaessa.

Tämän lisäksi otetaan huomioon halkeamat, sinistymisen, lahoviat j.n.e.

Yllä olevasta selviää, että koekappaleiden suhteen suoritetaan tarkka lajittelu samaan tapaan kuin sahatavaraa yleensä lajiteltaessa, kuitenkin sillä erotuksella, että lajittelu tulee olemaan paljon yksityiskohtaisempaa.

Kun tällainen tarkka lajittelu otetaan huomioon, niin voidaan jo määrittellä paljon tarkempia rajoja puiden lujuusominaisuuksille ja näillä rajoilla tulee olemaan myös käytännöllinen merkitys, sillä niiden perustuksella voidaan aina kuhunkin tarkoitukseen valita lujuussuhteittensa mukaan soveltuvaa puutavaraa.

3. Koekappaleiden valitseminen tapahtuu edellä mainittujen selitysten perusteella. Ne puut, jotka koepuiksi kaadetaan, ovat siis valittavat siten kuin edellä olevat määrittelyt edellyttävät, eikä siis koelankkuja, esim. valita jostain lautatarhasta ilman, että niiden suhteen tarkoin tunnetaan niiden kasvupaikka ja käsittely. Kun koepuut ovat kaadetut, käsitellään ne kukin edeltäpäin määrättyllä tavallaan sekä sahauksessa, veistossa j.n.e. noudatetaan määrättyjä edeltäkin sovittuja menettelytapoja.

Näin menetellään silloin, kun tutkitaan eri lajitteluluokkien lujuusominaisuuksia. Jos sitävastoin on otettava selville ainoastaan keskimääräisiä ominaisuuksia, niin silloin tyydytään pienempiin kappaleisiin ja on niiden suhteen sovittu siten, että esim. taivutuskokeita varten otetaan koekappaleet vähintään 7 m ja enintään 10 m korkeudelta maasta. Ja jos keskimäärin halutaan tutkia esim. isompien lankkujen tai pelkkojen taivutuslujuutta, niin otetaan koekappaleet puun keskeltä. Jos taas tutkitaan eri puunosien lujuutta, niin otetaan alimmainen leikkaus tavallisesti rinnankorkeudelta ja seuraava leikkaus 6 m korkeudelta. Sitäpaitsi on sovittu siitä, että, jos esim. on tutkittava jonkun metsikon puiden lujuusominaisuuksia, niin on tällöin tutkittava vähintään 3 puuta metsikosta.

4. Kokeiden suorittaminen tapahtuu erikoisesti tätä varten laadituilla koneilla. Näistä mainittakoon m.m. WERDER'in kone, joka on konstruoitu jo 1880-luvulla. Tätä ovat m.m. käyttäneet BAUSCHINGER, TETMAJER, JENNY ja RUDELOFF. SCHWAPPACH on tehnyt tutkimuksensa VON POHLMAYER'in keksimällä koneella ja HADEK ja JANKA AMSLER-LAFFON'in keksimällä koneella. Nämä ovatkin tavallisimmat näihin tar-

koituksiin käytetyt koneet ja nousee niiden kehittämä paino 150—500 tonniin. Ameriikalaisissa kokeissa on käytetty paljon voimakkaampia koneita ollen niiden kehittämä voima aina 12,000 tonnia, jopa 100,000 ja ylikin. Kaikki lujuusominaisuudet mitataan kilogrammoissa pinta-alayksikköä kohti, jona tavallisesti Euroopassa on käytetty sm^2 .

Puun, niinkuin muidenkin aineiden lujuus, on käsite, jota ei voida lausua yhdellä luvulla. Sen mukaan, missä suunnassa voima puukappaleeseen vaikuttaa tai mihin osaan puukappaletta se vaikuttaa tai miten puukappale on tuettu ja vieläpä sen mukaan, minkä muotoinen puukappale on, voidaan sen lujuusominaisuuksia käsitellä eri tavoilla. Tämän mukaan puhutaankin seuraavista lajeista lujuutta.

1. Vetolujuus (absoluuttinen lujuus), 2. puristuslujuus (negatiivinen lujuus), 3. taivutuslujuus (relatiivinen lujuus), 4. työntölujuus l. leikkauslujuus, 5. nurjahduslujuus ja 6. vääntölujuus (torsionilujuus), 7. kovuus ja 8. halkeilevaisuus.

1. Vetolujuus.

Vetolujuutta tutkittiin ennen aikaan käyttämällä poikkileikkaukseltaan lieriömäisiä koekappaleita, joiden kumpaankin päähän oli jätetty kiinnittämistä varten paksumpi osa. Tällaiset koekappaleet ovat joutuneet pois käytännöstä sen jälkeen kuin poimulevyjä on ruvettu käyttämään. Senvuoksi, että ennen aikaan täytyi käyttää tämänmuotoisia koekappaleita, oli kokeiden suorittaminen isoilla puilla sangen hankalaa, joten vetolujuuskokeet käsittivät yleensä sangen pieniä koekappaleita. Kun myöhemmin on voitu käyttää poimulevyjä, on myös vetolujuuskokeisiin voitu ruveta käyttämään sellaisia puutavaralaatuja, jotka käytännössä esiintyvät.

Kun yleensä puun vetolujuudesta puhutaan, niin ajatellaan aina puuta venytettävän sen pituusakselin l. puusyiden suuntaan. Sellaisiin tarkoituksiin, joissa suurta vetolujuutta tarvitaan, niinkuin esim. silta- ja kattotuolirakenteihin, puiisiin riippusiltoihin j.n.e. on siis aina käytettävä suorasyistä, oksatonta ja virheetöntä puuta.

Ne numerot, joita yleensä puutavaran lujuudesta esiintyy, ovat laaditut lähinnä huonekuivan puun (10—12 % vettä) perusteella ja koska kosteus yleensä vaikuttaa vähentävästi lujuusominaisuuksiin, niin on näitä numeroita vähennettävä siinä tapauksessa, että puutavaraa käytetään ulkoilmassa, puhumattakaan puutavaran käytöstä kaivoksissa, kellareissa y.m. sentapaisissa paikoissa.

Kaikkein suurin vetolujuus on tavallisimmista puulajeista tammi-puulla, jonka vetolujuus on noin 1,100 kg sm^2 kohti. Yhtä suuri ja eräiden tutkijoiden mukaan vielä suurempikin on pyökin ja koivun vetolujuus. Männyn vetolujuus on noin 1,000, kuusen noin 700, haavan noin 900, ja lepän jokseenkin sama kuin haavan. Koska nämä luvut ovat eri tutkijoiden tuloksista otettuja keskimääriä, antavat ne jokseenkin luotettavan verrannollisen käsityksen eri puulajien lujuusominaisuuksista.

Nämä luvut eivät kuitenkaan siis merkitse samaa kuin sallittu jännitys. Puuaineen käytännölliset sallitut jännitykset ovat tavallisesti ainoastaan $\frac{1}{10}$ näistä. Tällöin on kuitenkin kysymyksessä hyvin keskimääräinen luku ja yleensä voidaan sanoa, että puukonstruktioihin varovaisuuden vuoksi käytetään hyvin paljon raaka-ainetta.

Vertauksen vuoksi mainittakoon, että esim. valuraudan vetolujuus on 1,200—2,400 ja takoraudan 3,300—4,000 ja valuteräksen lujuus 4,500—10,000 l. siis huomattavasti suurempi kuin minkään puun. Huomattavasti suuremmat ovat myös näiden sallitut jännitykset s.o. vähintään kymmenkertaiset kuin puun.

Mutta vetolujuutta arvosteltaessa on otettava muitakin seikkoja huomioon. Näistä on erittäin tärkeinä mainittava paino ja hinta. Puu on huomattavasti keveämpää kuin rauta ja tästä syystä ovat myöskin puuaineesta tehdyt rakennuskonstruktiot keveitä. Edelleen on puu paljon helppohintaisempaa, joten lopulliseksi käytännölliseksi johtopäätökseksi tulee se, että puun vetolujuutta on tekniikassa edullista käyttää hyväkseen.¹⁾ Sitä käytetäänkin hyväkseen n.k. hallikattojen rakentamisessa, jollaiseen tarkoitukseen sitä ruvettiin käyttämään etenkin viimeisen maailmansodan aikana. Varsinkin ilmailuhallien rakentaminen antoi tuntuvan sysäyksen puun käyttämiselle erinäisiin konstruktio-tehtäviin.

Tämä on käynyt mahdolliseksi poimulevyjen ja poimurenkaiden kautta sekä osaksi myös sen kautta, että puuta on opittu erikoisella tavalla konstruktioitehtäviä varten liimaamaan.

Puun vetolujuus on siis saavuttanut viime aikoina paljon suuremman merkityksen kuin ennen ja tästä syystä se onkin joutunut tutkimusten alaiseksi. Tarkoin lajittelemalla tutkittava puuaine, voidaan päästä mitä käytännöllisimpiin luokitteluihin ja tällä tavalla voidaan konstruktioihin käytettävää puuainetta yhä enemmän säästää ja toiselta puolelta saada aikaan keveitä, perustusta vähän rasittavia, konstruktioita.

¹⁾ Kun paino otetaan huomioon, on puu erinäisissä tapauksissa lujempaa kuin teräs.

Varsinkin sellaisissa rakennuksissa, joissa seinätkin ovat keveät, niin kuin puurakennuksissa yleensä, ja sahalaitosrakennuksissa erittäinkin, on sillä seikalla, että puun vetolujuutta voidaan tehokkaasti käyttää hyväkseen, suuri merkitys.

Edelleen on todettu, että kosteus vähentää puun vetolujuutta. Tämä seikka tietää sitä, ettei puiden vetolujuutta voida käyttää hyväkseen muualla kuin siellä, missä puu voidaan säilyttää kuivana. Puun kuivana pysymistä voidaan suuresti edistää sivelemällä puun pinta jollain vettä läpilaskemattomalla aineella, mutta sitävastoin ei puun impregnoiminen edistä, vaan päinvastoin vähentää sen vetolujuutta.

Kuten edellä mainittiin, kuuluu oikeastaan jo vetolujuuden käsitteeseen että veto tapahtuu puun syiden suuntaan. Ne numerot, jotka yllä on esitetty edellyttävätkin tämän seikan, ja puun vetolujuus vähenee huomattavasti, jos veto tapahtuu vähänkin vinoon puusyiden suuntaa vastaan. Jos veto tapahtuu kohtisuoraan puusyiden suuntaa vastaan, niin silloin on vetolujuus milt'ei = 0.

2. Puristuslujuus.

Puristuslujuus tulee kysymykseen joko sellaisessa tapauksessa, jossa kappaleen pituus on korkeintaan 5 kertaa sen läpimitta tai jossa kappale on asetettu siten, että sen taipuminen on estetty. Itse asiassa on siis käytännössä verrattain vähän sellaisia tapauksia, joissa puristuslujuus puun syiden suuntaan aivan suoranaisesti tulee kysymykseen. Näistä mainittakoon m.m. seuraavat: peruspaalutukset, joissa puut paalutetaan toisiinsa kiinni, katukivitys, reen ketarat, varsinkin suomalaisissa tukkireissä, sisälattian kannakkeet, joskus pyöränpuolat, ja muutamissa tapauksissa rakennusten perustana kivijalan asemasta käytetyt puupylväät. Näissä tulee kysymys puristuslujuudesta jokseenkin puhtaassa muodossa, vähemmän puhtaassa muodossa kysytään puristuslujuutta kaikissa lyhyissä pylväissä, kuten oven ja akkunan pielissä, pöydän ja tuolin jaloissa j.n.e. Puun syitä vastaan kohtisuorassa suunnassa on puristuslujuus yleisin, esim. rakennushirret.

Joka tapauksessa on puristuslujuudella sen puhtaasti tieteellisessä merkityksessä sangan vähän käytännöllistä arvoa senvuoksi, että esim. rakennusseinän paksuuden määräävät muut seikat kuin lujuus, mutta sen tutkimuksella on tärkeä teoreettinen puolensa sen kautta, että puristuslujuuskokeet ovat sangan helppoja tehdä, ja senkautta että niiden avulla voidaan jossain määrin arvostella puun taivutuslujuutta, jonka kokeellinen tutkiminen on verrattain vaikeata.

Kuten jo yllä on mainittu, voidaan puristuslujuudesta sanan varsinaisessa merkityksessä puhua ainoastaan silloin kuin kappaleen korkeus ja pituus ovat yhtä suuret, sillä tällöin ei tarvitse ottaa huomioon kappaleen taipumista. Jos kappaleen korkeus on pienempi kuin sen läpimitta, suurenee kappaleen puristuslujuus huomattavasti niin, että jos korkeus esim. on ainoastaan $0.1 \times d$, niin on sen puristuslujuus lähes $\frac{1}{3}$ suurempi kuin kuutiomuotoisen kappaleen. Jos sitävastoin kappaleen korkeus on $= 5 \times d$, niin on tällaisen kappaleen puristuslujuus ainoastaan 0.82 sellaisen kappaleen puristuslujuudesta, jonka korkeus on $=$ läpimitta. Luonnollista on myös, että puristuslujuus tulee kysymykseen silloin kuin taipuminen on estetty.

Edelleen voidaan yleisenä puristuslujuuteen vaikuttavana seikkana mainita voiman vaikutussuunta puusyiden suuntaan verrattuna. Puristuslujuus tulee käytännössä useimmiten kysymykseen puun pituusakselia vastaan kohtisuorassa suunnassa. Näin on esim. laita rakennushirsien, jotka aina tällä tavalla painavat toisiaan vastaan. Jos puristus olisi puhtaasti säteensuuntainen, niin olisi se tammella ainoastaan $\frac{1}{3}$ ja kuusella ainoastaan $\frac{1}{10}$ puristuslujuudesta pituusakselin suuntaan. Jos siis puristuslujuutta pidetään silmällä, on aina paras rakentaa rakennus pystyhirsistä. Jos taas ajatellaan esim. hyvin suuria amerikkalaisia puulajeja, joista voidaan ottaa suuria kappaleita mistä osasta puuta tahansa, joten siis rakennushirsi myöskin voidaan asettaa siten, että puristus tapahtuu tangentin suuntaan, niin huomataan, että puu tässä suunnassa on useimmiten lujempaa kuin, jos puristus, kuten edellisessä tapauksessa, olisi säteensuuntainen. Siellä, missä kyljelleen asetetulta puulta vaaditaan suurta lujuutta, on se siis asetettava siten, että puristus tapahtuu tangentin suuntaan.

Puun sisäinen rakenne antaa paljon mahdollisuuksia tehdä johtopäätöksiä sen puristuslujuudesta.

Oli kysymys puristuksesta mihin suuntaan tahansa, niin vähentää oksaisuus aina puristuslujuutta. Tämä on selvä asia, jos ajatellaan esim. että puristus tapahtuu puun pituusakselin suuntaan. Oksat aiheuttavat nim. sen, että vuosilustot jonkun verran kääntyvät ja puristus näillä kohdin tulee kohtaamaan puun syyt joko tangentin tai säteen suunnassa, jossa puristuslujuus, niinkuin jo edellä mainittiin, oli pienempi. Jos puristus sitävastoin tapahtuu säteen suunnassa, ei ole aina sanottua, että puristuslujuus oksaisuuden kautta vähentyy, löytyypä päinvastoin tapauksia, joissa se voi lisääntyäkin. Sellainen tapaus on esim., että oksat ovat tasaisesti puuhun jakaantuneita, samansuuruisia ja terveitä.

Myös tangentinsuuntaisessa puristuksessa voi löytyä tapauksia, jolloin oksainen puu on lujempaa kuin oksaton, mutta yleensä on asian laita näin kuitenkin ainoastaan poikkeustapauksissa, joten yleensä tässäkin oksaton puu on lujempaa kuin oksaton.

Puun suorasyisyys on tähän niinkuin kaikkiin muihinkin lujuuslajeihin nähden suurimerkityksellinen. Ennen aikaan pidettiin kierosyistä puuta puristusta vastaan lujempaa kuin suoraan kasvanutta, ja niinpä mainitsee esim. THELAUS tämän suoranaisena sääntönä, mutta uusimmat tutkimukset ovat osottaneet, että asianlaita sittenkin on päinvastainen.

Lylymuodostuman on yleensä myöskin otaksuttu lisäävän puun lujuutta, vieläpä NÖRDLINGER'kin aikoinaan lausui tämän mielipiteen, ja lienee hän sen saanut DUHAMEL DU MONCEAU'lta, joka samoin kuin vanhemmat tutkijat yleensä piti sitä jonkunlaisena selviönä. Uusimmat tutkimukset ja jo aikoinaan JANKA'n tästä asiasta tekemät tutkimukset ovat osottaneet, että asianlaita on päinvastainen ainakin kuuseen nähden niin, että kuusen lylypuu, vaikka se on painoltaan raskaampaa, puristuslujuudeltaan on koko lailla heikompaa kuin normaalin kuusipuu.

Halkeamat vähentävät luonnollisesti aina puun lujuutta. Kuitenkaan ei voida ilman muuta sanoa, että sellainen puu, jossa on halkeamia, aina olisi heikompaa kuin puu, jossa ei niitä ole. Selvää on, että halkeamat voivat olla puun lujuuden mittana ainoastaan siinä tapauksessa, että verrataan toisiinsa kahta samaan puulajiin kuuluvaa ja jokseenkin samantyyppistä puukappaletta, sillä esim. mäntykappale, jossa on pieniä halkeamia, voi olla lujempaa kuin visakoivupalanen, jossa ei niitä ole yhtään, ja suorasyisen, helposti halkeavan männyn puristuslujuus on suurempi kuin hienosyisen, kierokasvuisen männyn.

Muut viat, kuten rexigeeniset pihkatiehyet, lahoviat, kuorelliset oksat, huolemat, laho-oksat, kyljestymät, korot j.n.e., vähentävät luonnollisesti puun puristuslujuutta.

Kaikkien ylläolevien seikkojen vaikutus erikseen on otettava huomioon silloin kuin puun puristuslujuutta kussakin erikoistapauksessa arvostellaan. Kun seuraavassa esitetään puun puristuslujuuden yleisiä lakeja, ja siitä lausutaan käytäntöön soveltuvia numeroita, niin ovat ylläolevat seikat edellytetyt apriorisesti in casu huomioon otettaviksi.

Niistä yleisistä seikoista, jotka vaikuttavat puun puristuslujuuteen, mainittakoon seuraavat: a. puun vesipitoisuus, b. puun asema metsikossa, c. leikkauksen asema puussa, d. maanlaadun vaikutus, e. puun horisontaalinen ja vertikaalinen kasvupaikka, f. ominaispainon vaikutus.

a. Vesipitoisuus. Kaikki vanhemmat tutkimukset, jotka suoritettiin pienillä puukappaleilla, ovat osottaneet, että puun puristuslujuus säilyy jokseenkin muuttumattomana tuoreesta 30 %:in vesipitoisuuteen asti. Kun puun vesipitoisuus tästä alenee noin 20 %:in vesipitoisuuteen, lisääntyy lujuus noin 10—20 %:illa, mutta alkaa sen jälkeen kasvaa erittäin nopeasti, niin, että se absoluuttisesti kuivalla puulla on 3—6 kertaa vastakaadetun puun, ollen lujuuden lisääntyminen 20 %:in ja 0 %:in välillä miltei suoraviivainen graafillisesti esitettynä.

Suurempia puuosia tutkittaessa ei ole päästy näin säännöllisiin tuloksiin. Kun puu menettää kosteutta enemmän kuin 20 %:in vesipitoisuuteen, alkaa se halkeilla ja halkeileminen merkitsee vastapainoa sille lujuuden lisääntymiselle, jonka kuivuminen saa aikaan. Niinpä ovatkin tutkimukset, joita Amerikassa ja Ranskassa on suoritettu tekniikassa käytettävälle puutavaralle, osottaneet, että lujuus ei suurene puun kuivaessa ulkokuivasta alaspäin niin paljon kuin pienellä puutavaralla tehtyjen kokeiden perusteella edellyttäisi.

Jos puu imee itseensä enemmän kosteutta kuin sillä kasvaessaan on, niin ei sen lujuus vähene, vaan päinvastoin jossain määrin kasvaa. Tämän puristuslujuuden lisääntyminen puuta vedellä kyllästetäessä on kuitenkin varsin vähäpätöinen.

Tutkimusten nykyisellä asteella on oikeastaan vaikeata varmuudellisesti sanoa, mitä vesipitoisuus käytännössä puun lujuuteen vaikuttaa. Sellaa siin tarkoituksiin, joissa suuri puristuslujuus tulee kysymykseen, on varmintä käyttää halkeilematonta s.t.s. huolellisesti kuivattua puuta, sillä tällöin voidaan myöskin olla varmat siitä, että tällainen puu sietää sitä suuremman rasituksen, mitä kuivemmassa se on ja tällaista puuta voidaan kaikkein suurimmalla varmuudella käyttää niin hyvin kosteassa kuin kuivassa paikassa.

b. Puun asema metsikossa. Sen merkitys voidaan jo tavallaan johtaa siitä, mitä edellä on esitetty. Sellaiset puut, joissa on vähän oksia, tai joiden oksat ovat hentoja, ovat yleensä lujempia kuin suuriokaiset puut. Tästä syystä ovat tiheässä metsikossa kasvaneet puut yleensä lujempaa puristusta vastaan kuin yksinään aukealla kasvaneet puut. Sitä vastoin ei voida tehdä sanottavaa eroa vallitsevien ja vallittujen puiden välillä. BÜHLER'in tutkimusten mukaan olisivat myöskin metsikon vallittujen puuluokkien puristuslujuudet suurempia kuin vallitsevien, joka seikka luonnollisesti johtuu siitä, että vallituissa puissa tavallisesti on hennommat oksat, ja voi asianlaita olla näin luonnon met-

sässä, mutta tästä huolimatta ei voida esim. väittää, että puristuslujuus harvennushakkauksien kautta vähenisi, vaikka vuosilustojen leveys harventaessa suurenee. CIESLAR'in ja JANKA'n tutkimukset kuuselle osottavat, että nopeakasvuisen kuusen puristuslujuus jossain määrin kasvaa vuosilustojen kavetessa, mutta tämä väheneminen ei suinkaan ole missään tapauksessa säännöllinen, sillä aivan hyvin voidaan heidän numeroillaan todistaa päinvastaistakin. JANKA onkin tullut siihen tulokseen, että vuosilustojen leveyttä voidaan pitää puristuslujuuden mittana ainoastaan siinä tapauksessa, että niiden syyspuun %-määrät yleensä ovat samanlaiset. Jos tämä perusehto on vallitsemassa, niin silloin ovat yleensä kapeampilustoiset puut lujempia puristusta vastaan kuin leveämpilustoiset. Amerikalaiset tutkimukset ovat selvittäneet tätä asiaa siinä suhteessa, että niiden mukaan ei vuosiluston leveydellä ole sanottavaa merkitystä puun lujuuksuhteisiin. Näiden seikkojen valossa huomataan siis, että harvennetuissa metsissä kasvaneiden puiden puristuslujuutta ei, niinkuin yleensä väitetään, voida pitää pienempänä senvuoksi, että harvennetuilla aloilla kasvaneiden puiden vuosilustot ovat leveät. Ainoa seikka, joka mahdollisesti tässä suhteessa on harvennetuille metsille epäedullinen, on vuosilustojen epätasaisuus tai oikeammin se seikka, että harvennetussa metsässä useissa kohdin leveä ja kapea vuosilusto tulevat liittymään toisiinsa, ja tällaiset epätasaisuudet puun kasvussa merkitsevät aina pienempää puristuslujuutta.

c. Leikkauksen asema puussa. Kaikki tutkimukset aina PARENT'in tutkimuksista asti ovat osottaneet, että juurenniskasta otetulla puun osalla on kaikkein suurin puristuslujuus. Tämä seikka on aivan luonnollinen siitä syystä, että se puun kasvaessakin on suurimman puristuksen alainen. Se on ikäänkuin perusta, jolla puu lepää, ja on se näin ollen joutunut muodostumaan sellaiseksi, että juuri se kestää suurinta puristusta. Mitä taas itse oksattomaan rungonosaan tulee, niin sillä noin 1.3 m korkeudelta on jokseenkin muuttumaton puristuslujuus otti koekappaleen miltä korkeudelta tahansa. Mitä taas latvukseen kuuluvaan rungonosaan tulee, niin on sen puristuslujuus luonnollisesti pienempi kuin muun rungon. Rungon eteläpuoli on yleensä sekä JANKA'n että FÖPPEL'in tutkimusten mukaan puristuslujuudeltaan huonompi kuin sen pohjoispuoli. JANKA'n tutkimusten mukaan pitäisi pintapuun olla jonkun verran lujempaa puristusta vastaan kuin sydänpuun ja samaan käsitykseen on myöskin WILKANDER tullut. Joka tapauksessa osottavat heidänkin tutkimuksensa, että ero on sangen pieni. Amerikalaisista tutkimuksista sitävastoin selviää, ettei sydän- ja pintapuun puris-

tuslujuudella ole juuri mitään eroa ja ett'eivät ainakaan sydän- ja pintapuun-%:it vaikuta sanottavasti lujuuteen.

d. Maanlaadun vaikutusta puristuslujuuteen pienissä koekappaleissa ovat tutkineet milt'ei kaikki tutkijat. Tutkimusten yleisenä puutteena on mainittava se seikka, ettei maanlaatuja ole kyetty määrittelemään siten, että eri tutkijoiden saavuttamia tuloksia kävisi mahdolliseksi verrata toisiinsa. NÖRDLINGER määritteli oikeastaan maanlaadun ehkä parhaiten, kun hän sen mitaksi otti vuosilustojen leveyden kantoleikkauksessa, sillä samalle puulajille, joka on esiintynyt verrattain rajoitetulla alueella, se ehdottomasti onkin varsin luotettava maanhyvyyden mitta. Mutta toiselta puolen voivat varjossa kasvaneet puut olla kapeavuosisirenkaisia hyvälläkin maalla, ja NÖRDLINGER'in tutkimuksista puuttuu vertauksia esim. kapealustoisen hyvällä maalla ja kapealustoisen huonolla maalla kasvaneen puun lujuuksuhteista. CHEVANDIER'in ja WERTHEIM'in tutkimuksissa on taas maanlaatu määritelty sen kemiallisen kokoomuksen perusteella, ja tässä suhteessa on myöskin osuttu koko oikeaan, sillä osa heidän tutkimusalueistaan oli kalkkimaata ja osa hiekkamaata. Uudemmissa tutkimuksissa taas on käytetty erilaisia boniteeteja, joiden vertaileminen toisiinsa on mahdoton, sillä esim. paras boniteetti Itävallassa ja paras boniteetti Sveitsissä eivät suinkaan käsitä samanarvoista maata.

Jos jokaista tällaista laajempaa tutkimusta tarkastetaan erikseen, niin näyttää siltä kuin aina parempi boniteetti merkitsisi myös suurempaa puun lujuuutta, ja tämän seikan onkin yleensä esim. MAYR ottanut säännöksi. Aivan ilmeisesti selvää ei asia kuitenkaan ole, sillä esim. CIESLAR'in ja JANKA'n tutkimukset osottavat tässä suhteessa hyvinkin suuria epätasaisuuksia. Milloin on hyvällä maalla kasvaneen puun puristuslujuus hyvinkin pieni, jotavastoin huonolla maalla kasvaneissa puissa tavataan erittäinkin suuria lujuusnumeroita, milloin taas on asianlaita päinvastainen.

Jos tahdotaan lausua jonkunmoinen varma johtopäätös maaperän vaikutuksesta puun puristuslujuuteen, niin voitane tekijän mielestä korkeintaan sanoa, että vallitsevat puut, joilla on säännöllinen runko ja jotka ovat kasvaneet säännöllisissä olosuhteissa, antavat jokseenkin varmasti paremmalla maalla puristuslujuudeltaan parempaa puuta kuin huonommalla. Tämä seikka on muuten mielenkiintoinen senvuoksi, että se ei pidä yhtä puun ominaispainoa koskevien lakien kanssa. Niinkuin muistetaan, oli puu yleensä erikoisen hyvillä

mailla keveää. Niinpä esim. CIESLAR'in ja JANKA'n tutkimuksista selviää, että puristuslujuuden ollessa 300 kg sm² kohti ominaispaino voi vaihdella 33.9—42.0. Tämä osottaa siis muuten selvästi, että puristuslujuus ei maaperän suhteen seuraa samoja lakeja kuin ominaispaino.

e. Vertikaalinen ja horisontaalinen leveneminen voidaan lujussuhteita käsiteltäessä yhdistää. Jos on kysymys samasta puulajista, niin on se yleensä lujinta sillä korkeudella, missä se muodostaa kauniimman ja säännöllisimmän rungon. Tämä seikka pitää paikkansa myös puristuslujuuteen nähden, kuitenkin sillä erotuksella, että yleensä rungon alimmat osat ovat siirryttäessä vuoristossa ylöspäin paljon lujempia kuin mitä rungon muiden osien perusteella voisi otaksua. Tämä riippuu siitä, että rungon alimmat osat vuoristossa ovat suuremman rasituksen alaisina kuin esim. laaksoissa ja rinteillä.

Jos on kysymys horisontaalisesta levenemisestä, niin pitää oikeastaan sama seikka paikkansa, kuitenkin niin, että sana paras runkomuoto on korvattava sanalla optimum. Oikeastaan lujudesta puhuttaessa optimum merkitsee jokseenkin samaa kuin ominaispainosta puhuttaessakin, mutta puristuslujuuteen nähden on tässäkin tehtävä pieni poikkeus. Puristuslujuus on oikeastaan suurin siellä, missä puu saavuttaa suurimman kuutiomääränsä hehtaaria kohti kullakin boniteetilla. Tämä ei siis aina merkitse sitä, että puun tarvitsisi olla alalla luonnollisesti uudistuva, joten ei jyrkästi ole kysymys puulajin puhtaasti luonnontieteellisestä optimumista. МАУВ'in mukaan seuraa puristuslujuus muuten samaa lakia kuin painokin, nim. vähenee optimumista sekä ylös että alaspäin.

f. Painon vaikutus puristuslujuuteen on kuten jo edellä osaksi on selvinnyt, verrattain epäselvä. Jos on kysymys samasta puulajista, niin voidaan aivan yleisenä sääntönä mainita, että koko rungon keskimääräinen puristuslujuus lisääntyy ominaispainon lisääntyessä. Tämä lisääntyminen ei kuitenkaan ole mitenkään säännöllinen. Jos esim. suorakulmaisessa koordinaatistossa abscissat esittävät ominaispainoja ja ordinaatat puristuslujuuksia, niin eivät koordinaatistoon sijoitetut pisteet muodosta mitään säännöllistä käyrää, vaan ryhmän pisteitä, jossa korkeimpia ominaispainoja vastaa korkeimmat puristuslujuusarvot. Voidaan siis puhua korkeintaan suuremmasta tai pienemmästä positiivisesta korrelatiosta, puristuslujuuden ja ominaispainon kesken.

Jos sitä vastoin on kysymys eri puulajeista, niin ei ominaispainon perusteella yleensä voida päätellä paljoakaan niiden puristuslujuudesta. Tähän asti tehdyistä tutkimuksista voidaan ainoastaan todeta, että yleensä havupuiden puristuslujuus on suurempi kuin sellaisten lehtipui-

den, joilla on sama ominaispaino ja että suhteessa ominaispainoon on keveillä puulajeilla ainakin yhtä suuri puristuslujuus kuin raskaillakin. Jos nim. puristuslujuutta kuvaava luku jaetaan satakertaisella ominaispainolla, saadaan jokseenkin konstantti luku, joka JANKA'n mukaan suurena keskimääränä on 7.75. Tämä luku oli JANKA'n tutkimusten mukaan 10:lle keveimmälle puulajille 7.85 ja 16 raskaammalle puulajille 7.64.

3. Taivutuslujuus.

Taivutuslujuutta voidaan pitää yhdistettynä puristus- ja vetolujuudesta. Taivuttaessa keskeltä alaspäin, venyy puukappale alapuoleltaan ja kutistuu yläpuoleltaan. Jossain kohdassa puussa täytyy siis löytyä sellainen kerros, joka ei veny, eikä kutistu ja tätä kerrosta kutsuttiin alkuaan neutraaliseksi akseliksi. Jos asiaa ajattelee fysikaalisesti, niin luulisi neutraalisen akselin kulkevan tarkkaan jokaisen puun pituusakselia vastaan kohtisuoran leikkauksen painopisteitten lävitse. Näin otaksuttiinkin ennen aikaan olevan asian laidan. On mielenkiintoista tietää sen vuoksi, että DUHAMEL DU MONCEAU oli ensimmäinen, joka havaitsi, että näin ei ole asianlaita, vaan että n.k. neutraalinen taso sijaitsee paljon alempana kuin sen fysikaalisesti pitäisi sijaita.

Kun nyt kerran keskeltä alaspäin taivutettu kappale yläpinnassaan puristuu kokoon ja alapinnassaan venyy ja niinkuin edellä on huomattu, puristuslujuus on pienempi kuin vetolujuus, niin pitäisi kappaleen luonnollisesti ensin katketa yläpuoleltaan ja sitten vasta alapuoleltaan.

Mutta kaikissa taivutuskokeissaan huomasi DUHAMEL DU MONCEAU ihmeekseen, että asianlaita oli päinvastainen. Kappale murtui aina ensin alapuoleltaan. Tämä seikka antoi DUHAMEL DU MONCEAU'lle paljon päävaivaa. Ja oikeastaan sattuma ilmaisi hänelle totuuden. Kaataessaan puita metsästä tavalliseen tapaan siten, että kirveellä ensin tehtiin kolo toiselle puolelle ja sen jälkeen puuta toiselta puolelta tarpeeksi sahattiin, siis niinkuin meilläkin, niin huomasi hän haapapuussa, kuinka sillä kohtaa, joka jäi sahatun ja veistetyn puun väliin, sahatulla puolella aina oli ensiksi äkkiä katkenneita syitä ja näiden takana pienempi määrä epätasaisesti ja repäisemällä katkenneita syitä.

Säännöllisesti huomasi DUHAMEL DU MONCEAU, että äkkiä katkenneiden syiden määrä oli suurempi kuin repäisemällä katkottujen, ja tämä seikka sai hänet epäilemään ennen selvänä totuutena pidettyä seikkaa, nim. että neutraalinen akseli sijaitisi kappaleen keskellä.

Tämän jälkeen alkoi DU MONCEAU tehdä kokeita siten, että hän katkaisi sahalla koekappaleensa keskeltä $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$ ja $\frac{3}{4}$ syvyyteen sekä täytti täten syntyneen sahanraon pienellä puupalasella. Tällöin osottautui, että kaikkein suurin taivutuslujuus oli $\frac{1}{2}$ sahatulla puulla ja että esim. $\frac{3}{4}$ sahattu puu oli lujempaa taivutukselle kuin $\frac{1}{3}$ sahattu. Näiden kokeiden perusteella tuli DUHAMEL DU MONCEAU siihen käsitykseen, että neutraalinen akseli ei hänen koekappaleillansa ollut edes vielä $\frac{3}{4}$ kohdalla.

Se, että puu tällä tavalla katkeaa venytetyltä puolelta, riippuu siis siitä, että puun neutraalinen akseli on sangen lähellä sen alalaitaa, joten siis se osa, jossa vetolujuus tulee kysymykseen, on paljon kapeampi kuin se osa, jossa rasitus tapahtuu puristamalla. Tähän seikkaan perustuu m.m. eräs sangen tärkeä rakennusteknillinen konstruktio. Jos tahdotaan käyttää yhden ison palkin asemasta useita toisiinsa yhdistettyjä pienempiä ja saavuttaa kuitenkin mahdollisimman pienellä materiaalmäärällä mahdollisimman suuri taivutuslujuus, niin käytetään n.k. armeerattuja palkkeja, ransk. *barreaux armes* l. *barreaux d'assemblage*, joissa 2 palkkia on neutraalisen tason suuntaisella hammastuksella yhdistetty toisiinsa. Niiden lujuus on yhtä suuri kuin yhdestä puusta tehtyjen, mutta tulevat ne paljon halvemmiksi. Nämä ovat DUHAMEL DU MONCEAU'n keksimät, joka seikka osottaa, että tämä metsäteknologian suurmies taitavasti osasi myös sovelluttaa teorian käytäntöön.

Huolimatta siitä, että puun neutraalinen akseli siis sijaitsee siten, että puun taivutuksessa alapuoli rasittuu enemmän kuin yläpuoli ja että siis tavallisesti taivutuksenalaisessa puukappaleessa yläpuoli on tarpeettoman luja, lasketaan kuitenkin puiden taivutuslujuudet aivan niinkuin homogeenisten kappaleidenkin, joten siis tässä käytetään samoja kaavoja kuin näillekin.

Kansainvälisen aineenkoetuksen käytännön mukaan mitataan tavallisesti puukappaleen taivutuslujuus siten, että puukappale rasitetaan keskeltä yhdestä pisteestä. Näin on asian laita Euroopassa, jonka metsätieteellisissä koelaitoksissa ja myös aineenkoelaitoksissa yleensä on käytetty pieniä kappaleita. Yhdysvalloissa, jossa käytetään tähän tarkoitukseen suurempia parruja, on kuormitus järjestetty vaikuttamaan kahteen osaan, nim. 2 pisteeseen $\frac{1}{3}$:lle kummastakin parrun päästä. Parrun päät lepäävät kahdella terävällä kannattimella, ei kuitenkaan välittömästi, vaan siten, että terien ja puun väliin on asetettu lautapalaset, jotka ovat pituudeltaan $\frac{1}{10}$ kannatusvälistä ja vahvuudeltaan $\frac{1}{3}$ parrun korkeudesta. Samanlaiset laudat ovat myös asetetut niiden terävien teräsosien alle, joiden kautta kuormitus ta-

pahtuu. Sitäpaitsi on määrätty, että kannatusvälin tulee olla vähintään 8 kertaa niin suuri kuin kokeessa käytetyn parrun korkeus on. Ennen kuin taivuttaminen alkaa, pingoitetaan kappaleen päästä päähän nauha, jonka kohta samalla kertaa merkitään taivutettavalle parrulle. Tämä tapahtuu tavallisesti siten, että nauha on kastettu värinesteeseen ja nauhaa nykäistään jonkun matkaa puun pinnasta pois, jonka jälkeen se uudestaan saa kimmota takaisin puuhun, jolloin se piirtää viivan puun pintaan. Kun puuta tämän jälkeen taivutetaan, jää nauha paikalleen, mutta sen kuva puussa siirtyy alaspäin, joten tarkoin voidaan nähdä, kuinka paljon puu taipuu alkuperäisestä asennostaan. Tällä tavalla voidaan aina jokaiselle painon lisäykselle, = kuormituksen lisäykselle määrätä vastaava taipuminen. Kuormitus mitataan tavallisesti kymmenissä kiloissa ja taipuminen taas $1/1000$ sm:issä. Kun kuormitusta vastaavat luvut asetetaan ordinaatoiksi suorakulmaiseen koordinaatistoon siten, että 1 mm vastaa 10 kg ja painamisluvut abskissoiksi (1 mm = $\frac{10}{1000}$ sm), niin huomataan, että koordinaatistolle asetettujen pisteiden ura aluksi on suora viiva, mutta sen jälkeen alkaa viiva nopeammin painua x-akselia kohti ja koordinaatistolle asetettujen pisteiden ura ei ole enään suoraviivainen. Sillä kohtaa, missä täten syntyneet suora ja käyrä viiva leikkaavat toisensa, on kappaleen kimmoisuusraja. Jos taas kuormitusta jatketaan edelleen siksi, kunnes kappale murtuu, saavutetaan kappaleen murtumisraja. Kappale, joka ei vielä ole taivutettu kimmoisuusrajaansa asti, palaa vielä, kun kuormitus lopetetaan entiseen asemaansa. Jos taas kappaletta taivutetaan yli sen kimmoisuusrajan, ei se enään kuormituksen lakattua palaa entiselleen. Käytännössä ei kappaletta saada rasittaa yli kimmoisuusrajan, ja sitä voimaa, joka vaikuttaa tätä rajaa vastaavia muodon muutoksia sanotaan kappaleen tietopuoliseksi kantovoimaksi. Pintayksikköä kohti vaikuttavaa tietopuolista kantovoimaa nimitetään aineen kantomoduliksi, ja taas varomoduliksi l. sallitukseksi jännitykseksi sanotaan sitä voimaa, jolla käytännössä on lupa rasittaa kappaletta pintayksikköä kohti.

Kun varomoduli käytännössä määrätään, voi se tapahtua kahdella tavalla. Se määrätään joko jonakin vissinä osana kantomodulista tai jonakin vissinä osana murtomodulista, jolla taas tarkoitetaan pintayksikköä kohti vaikuttavaa murtavaa voimaa.

Vanhemmat tutkijat ovat puun taivutuslujuutta määrätessään yleensä käyttäneet hyväksi sitä, mitä edellä mainittiin tietopuoliseksi kantovoimaksi. Tämä riippuu siitä, että se paino, joka tarvitaan puukappaleiden murtamiseen, on sangen suuri, ja esim. NÖRDLINGER ei aluksi saanut käy-

tettäväkseen tarpeeksi vahvoja koneita. Sittemmin ovat myöhemmät tutkijat voineet käyttää koneita, joilla he ovat voineet murtaa koekappaleensa ja tällaisia koneita on yleensä voitu jo käyttää niin kauan aikaa kuin aineenkoetuslaitoksia on ollut olemassa. Mitä taas tulee kokonaisen suurten parrujen taivuttamalla murtamiseen, niin on amerikalaisissa koelaitoksissa käytetty molempia tapoja ja on sielläkin mieluummin murrettu kappaleet, koska yleensä murtumishetki voidaan sangen tarkoin määrätä.

Jo edellä mainittiin siitä, kuinka taivuttavan voiman kokeissa annettiin vaikuttaa 2:lla eri tavalla, nim. joko yhteen pisteeseen kappaleen keskellä, tai pisteisiin, jotka sijaittivat parrun yläpinnalla $\frac{1}{3}$:lla sen pituudesta kummastakin päästä. Kummassakin tapauksessa tarvitaan luonnollisesti erilaiset kuormitukset kappaleen murtamiseen. Jos esim. kappale on tuettu toisesta päästään, ja voima vaikuttaa sen toiseen päähän tai taas kappale on tuettu kummastakin päästään ja voima vaikuttaa sen keskelle, niin tarvitaan edellisessä tapauksessa kappaleen murtamiseen ainoastaan $\frac{1}{4}$ siitä voimasta kuin jälkimmäisessä.

Edelleen riippuu kappaleen taivutuslujuus hyvin suuressa määrin siitä, minkälainen kappaleen poikkileikkauspinta on. Kaikkein suurin taivutuslujuus on sellaisella pelkällä, joka on veistetty seuraavalla tavalla: puuhun piirretään sen diametri, jonka jälkeen diametri jaetaan 3 yhtä suureen osaan. Kummastakin jakopisteestä vedetään kohtisuorat ja pidennetään niitä siksi, kunnes ne leikkaavat kumpikin tahollaan ympyränkehää. Kumpikin leikkauspiste yhdistetään diametrin päätepisteiden kanssa, jolloin syntyy suorakaide, jonka halkaisijana on ympyrän halkaisija. Tällaisessa suorakaiteessa suhtautuvat sivut toisiinsa suunnilleen niinkuin 10 : 7 tai 7 : 5.

Jos ajatellaan, että on tehty 2 aivan samanlaisesta puusta tehtyä parrua ja toinen parru on senmuotoinen kuin edellä määriteltiin ja toinen taas sellainen, että siinä sivuna on edellä mainitun parrun lyhin sivu, niin suhtautuvat näiden taivutuslujuudet toisiinsa niinkuin 100 : 75.

Jos taas verrataan toisiinsa pyöreää, säännöllisesti kasvanutta puunrunkoa tai siitä neliskulmaiseksi veistettyä suurinta parrua, niin on kummankin näiden taivutuslujuus sama, asetettiin ne mille suunnalle tahansa. Tämän seikan on jo DUHAMEL DU MONCEAU todennut. Sitäpaitsi totesi DUHAMEL DU MONCEAU parruilla, jotka olivat veistetyt neliskulmaisiksi ja otetut puusta siten, että niihin ei sattunut ydintä, että sellainen parru, jonka vuosilustot kulkevat pystysuoraan, on lujempi paremmin kuin jos parru asetetaan siten, että sen vuosilustot kulkevat vaakasuoraan. Tämän

seikan otaksui DUHAMEL DU MONCEAU riippuvan siitä, että puiden vuosilustot irtaantuvat helposti toisistaan, jotavastoin NÖRDLINGER oli sitä mieltä, että DUHAMEL DU MONCEAU'n tutkimukset eivät ole varmoja sen vuoksi, että hän oli käyttänyt sellaisia koekappaleita, joiden poikkileikkauspinta-alat olivat yhtäsuuret, mutta, joiden poikkileikkauspinnat eivät olleet aivan samanmuotoiset.

Myöhemmin on kuitenkin todettu, että DUHAMEL DU MONCEAU on sittenkin ollut oikeassa. Erot lujuudessa eivät kuitenkaan ole niin huomattavia kuin DUHAMEL DU MONCEAU on luullut. Jos verrataan toisiinsa 2 sellaista läpileikkaukseltaan suorakaiteenmuotoista parrua, jonka sivut suhtautuvat toisiinsa niinkuin 10 : 7, mutta toisessa vuosilustot kulkevat pidemmän sivun suuntaan ja toisessa taas ydin on suunnillen keskellä, niin suhtautuvat MAYR'in mukaan näiden lujuudet toisiinsa niinkuin 90 : 100.

Jos taas kappaleiden läpileikkauspinnat ovat neliöitä, on vastaava suhde = 75 : 70. Jos edellämainittu 100:lla merkitty pölkky käännetään pidemmälle sivulle, on sen lujuussuhdeluku edellisiin verrattuna ainoastaan 60.

Taivutuslujuuden suhteen on edelleen hyvin tärkeätä se, kuinka asianomainen puukappale puusta irrotetaan. Jos sahataan puusta esim. pintalauta siten, että sahanterä kulkee puun runkokäyrän, siis ei pituus- akselin suuntaan, niin saadaan taivutuksessa tuntuvasti lujempaa puuta kuin, jos puu sahataan tavallisella tavalla. Jokainenhan tietää sitäpaitsi, että puuta voidaan taivuttaa paljon voimakkaammin silloin, kun sen pinta jätetään särkemättä, siis käytetään puukappaletta kuoripäällisenä tai kuoritaan se varovaisesti. MAYR mainitsee edelleen, että myös sellaiset puukappaleet, jotka halkaisemalla kiilan avulla pienennetään itse rungosta, ovat huomattavasti lujempia kuin siitä sahalla irroitettut kappaleet. Tämä merkitsee sitä, että täten irrotetuissa kappaleissa vähemmän särkyy soluja ja soluryhmiä kuin sahalla halaistuissa.

Kun puiden taivutuslujuuden suhteessa tehtyjä tutkimuksia verrataan toisiinsa, niin on aina otettava huomioon, että vanhemmat tutkimukset tehtiin, niinkuin jo edellä on mainittu, kimmorajan perusteella. Näin menettelivät DUHAMEL DU MONCEAU, aluksi CHEVANDIER ja WERTHEIM sekä myöskin BARLOW, RONDELET, EBBELS y.m. CHEVANDIER & WERTHEIM ja NÖRDLINGER lienevät olleet ensimmäiset, jotka mursivat taivutettavia kappaleita. Kun vanhanaikaisilla epätäydellisillä koneilla oli sangen vaikea määrätä kimmoisuusrajaa, niin ymmärtää helposti, että tulokset olivat senmukaiset. Niinpä tuleekin NÖRDLINGER tarkastettuaan

omien sekä edellä mainittujen tutkijoiden tutkimuksia siihen tulokseen, että tutkimukset pitävät niin vähän yhtä, että toistaiseksi hänen mielestään on mahdotonta edes lausua eri puulajeille mitään keskimääräisiä numeroita.

Myöhempi tutkimus on kuitenkin voinut antaa jonkun verran enemmän valoa asiaan, vaikka vielä nytkin on tällä alalla paljon epäselvää.

Puun taivutuslujuuteen vaikuttavat paitsi edellä lueteltuja yleisiä seikkoja seuraavat seikat: a. puun horisontaalinen ja vertikaalinen leveneminen sekä maaperä, b. puulaji, c. puun asema metsikossa, d. puun leikkauksen asema puussa, e. puun vesipitoisuus ja f. puun ominaispaino, g. puun ikä.

a. Puun horisontaalinen ja vertikaalinen leveneminen sekä maaperä. Näihin nähden pitää yleensä paikkansa MAYR'in optimilaki, kuitenkin niin, että optimum on otettava hyvin laajassa merkityksessä eikä siis käsitä samaa aluetta kuin paino-optimum. Paremminkin voitaisiin puhua rungon muodostuksen optimumista niin, että puun taivutuslujuuden optimum on se alue, jossa puu saavuttaa oksattomimman ja täyteläisimmän rungon. Tästä syystä ovat esim. pohjoismaiset männyt taivutuksessa lujempia kuin saksalaiset männyt, ja esim. WIJKANDER'in tutkimukset ovat osottaneet, että ruotsalaisen kuusen taivutuslujuus on erikoisen suuri, suurempi kuin ruotsalaisen männyn. Mitä puun vertikaaliseen levenemiseen tulee, niin on yleensä todettu, että optimum tässä suhteessa on otettava hieman korkeammalle meren pinnasta kuin ominaispaino-optimum. Yleensä on osottautunut, että vertikaalisella levenemisellä on sangen huomattava merkitys puun taivutuslujuuteen niin, että se voi vaikuttaa taivutuslujuuteen jokseenkin yhtä paljon kuin horisontaalinenkin leveneminen.

b. Puulajin vaikutus lujuusominaisuuksiin esiintyy m.m. siinä, että lujuusominaisuudet eivät eri puulajeilla ole samat, vaikka niiden ominaispaino olisikin sama. WIJKANDER'in tutkimusten mukaan on esim. sellaisen kirsikkapuun, jonka ominaispaino on 0.54, murtomoduli 911, jotavastoin sellaisen männyn, jonka ominaispaino on 0.56, murtomoduli on 664. Kuusen, jonka ominaispaino on 0.46 murtomoduli on 604, jotavastoin samanpainoisen haavan murtomoduli on 644. Tämäntapaisia esimerkkejä voisi luetella muitakin, mutta jo näistäkin selviää, että kullakin puulajilla on oma erikoisrakenteensa, jonka perusteella se suuremmissa tai pienemmässä määrässä voi vastustaa taivuttamista. Mitkä seikat puun sisäisessä rakenteessa erikoisesti lisäävät taivutuslujuutta, ei ole

tarkemmin tunnettua. TETMAJER mainitseekin, että suurena syynä parempaan taivutuslujuuteen on puusolujen liimautuminen (Verkittung) toisiinsa. Sen mukaan, kuinka kiinteästi puusolut ja puussyyt ovat toisiinsa yhdistetyt, vaikeutuu luonnollisesti puun murtuminen taivuttaessa, ja paitsi liimautumista edistää tällaista puusolujen kietoutumista toisiinsa myös solujen suhteellinen pituus niiden paksuuteen nähden. Jos puusolut ovat hyvin monimutkaisesti kietoutuneet toisiinsa ja jos vuorirenkaiden reunat ovat epätasaiset, niin kestää puu usein suuresti taivutusta. Tästä syystä on esim. pyökillä ja valkopyökillä suuri taivutuslujuus. Kuusella on myös painoonsa nähden huomattavan suuri taivutuslujuus senvuoksi, että sen trakeiitit ovat pitkiä, ja samaa voidaan sanoa myös lehmuksesta ja haavasta, jotka nekin ovat pitkätrakeiidisistä, paperipuuksi soveltuvia puita. Että männyn taivutuslujuus painoon nähden on pienempi kuin haavan, riippuu samasta seikasta, haavan trakeiitit ovat pitempiä kuin männyn.

c. Puun asema metsikossa vaikuttaa ehdottomasti myös puun taivutuslujuuteen, vaikkakin tavalla, jota toistaiseksi tutkimusten nykyisellä kannalla ollen on vaikea määritellä. Selvää on, että oksaisuus vähentää taivutuslujuutta, ja että puu, joka on taivutukselle altis, on siis mieluummin asetettava siten, että oksainen puoli tulee sisäänpäin. Tästä syystä siis jo on selvää, että suurioksaisten puiden taivutuslujuus on pienempi kuin oksattomien ja että siis esim. suuret ja osaksi myös suurioksaisten valtapuut sekä harvassa asemassa kasvaneet puut yleensä tulevat olemaan lujuusominaisuuksiltaan huonompia kuin tiheässä metsässä kasvaneet oksattomat puut. Koska vallittujen puiden oksat yleensä ovat pienempiä kuin vallitsevien puiden, niin on todennäköistä, että vallittujen puiden taivutuslujuus useimmiten on suurempi kuin vallitsevien.

d. Puuleikkauksen asema puussa. Selvää on, että yleensä puun oksaiset osat ovat taivutusta vastaan heikompia kuin sen oksattomat osat, joten siis latvusosa yleensä on heikompi kuin oksaton rungonosa. Sitäpaitsi on puun pohjoispuoli yleensä taivutukselle lujempaa kuin eteläpuoli, riippuen siitä, että latvus sillä puolella on raskaampi, joten puun jo rakenteeltaan on tällä puolella täytynyt tottua vastustamaan suuremmissa määrin taivuttavaa voimaa. Jos metsässä on selvästi huomattavissa joku määrätty taivutussuunta, s.o. jos taipuneet puut ovat johonkin määrättyyn suuntaan, esim. tuulen vaikutuksesta, niin on taivutuksen vastainen suunta luonnollisesti lujempi kuin se suunta, jolle puu on taipunut.

Yleensä on pintapuu taivutuksen suhteen lujempaa kuin sydänpuu. Tämä pitää kuitenkin paikkansa ainoastaan oksattomiin puuksiin nähden, oksaisissa puuosissa on asianlaita päinvastainen.

FÖPPEL'in ja JANKA'n tekemien tutkimuksien mukaan on oksien yläpuoli lujempaa taivutusta vastaan kuin oksien alapuoli, sellaisissakin puulajeissa, joiden oksat ovat ylöspäin kaarevat, niinkuin esim. männyssä ja kuusessa. Tämä seikka on senkin vuoksi mielenkiintoinen, että painon laita on aivan päinvastainen, oksien alapuoli on nim. raskaampaa kuin niiden yläpuoli.

e. Kosteuden vaikutus taivutuslujuuteen on suunnilleen sama kuin puristuslujuuteenkin. Taivutuslujuus vähenee siis kosteuden lisääntyessä niin, että jos huonekuivan puun taivutuslujuutta merkitään 1:llä, niin on metsäkuivan puun taivutuslujuus noin 0.80 l. siis 20 % pienempi ja vastakaadetun puun taivutuslujuus 0.50 l. siis puolet huonekuivan puun lujuudesta. Tuoreen puun pieni taivutuslujuus on tärkeä ottaa huomioon esim. kaivos- ja kellarirakenteissa, joissa siis mittojen tulee olla paljon suuremmat kuin ilmassa, huoneesta puhumattakaan.

f. O m i n a i s p a i n o a pidettiin ennen aikaan milt'ei vääjäämättömänä lujuuden mittana. Uudempi tutkimus on kuitenkin, kuten jo osaksi edellä on viitattu, näyttänyt, että näin ei ole asian laita. TETMAJER onkin huomauttanut, ettei ominaispainosta esim. selviä puun sellulosa-, lingnini- ja kumipitoisuus l. toisin sanoen, se suhde, missä nämä aineet esiintyvät soluseinissä. Ominaispaino ei myöskään ole mikään merkki siitä, miten puusolut ovat toisiinsa liimautuneet. Oikeastaan riippuu taivutuslujuus siitä, kuinka helppo on siirtää puusyitä toisistaan, ja juuri tähän seikkaan ei ominaispaino anna mitään selvitystä. Sitävastoin riippuu puun lujuus paljon suuremmassa määrässä sellaisista seikoista kuin rungon oksaisuudesta, rungon suoruudesta j.n.e. Joka tapauksessa voidaan kuitenkin painoa, vissit rajoitukset huomioon ottaen, pitää lujuuden mittana. Jos on kysymys samasta puulajista samalla maalla, niin useimmiten oksaton puu on sitä lujempaa mitä suurempi ominaispaino sillä on. Tämä merkitsee oikeastaan samaa kuin, että samalla puulajilla on sitä suurempi taivutuslujuus mitä suurempi kesäpuu-% sillä on. Jos sitävastoin suorakulmaiselle koordinaatistolle esim. abscissa-akselille merkitään puun ominaispaino ja ordinaata-akselille sen murtomodulit, niin pisteet eivät muodosta mitään selvästi nousevaa käyrää, vaan voidaan puhua ain. suuremmasta tai pienemmästä positiivisesta korrelaatiosta.

g. P u u n i ä n vaikutus sen taivutuslujuuteen riippuu oikeastaan siitä, että vanhemmissa puissa useimmiten kesäpuu-% on suurempi kuin

nuoremmissa. Tästä syystä on, kuten WIJKANDER on osottanut, yleensä vanhemman puun taivutuslujuus suurempi kuin nuoremmen. Mitään selvää eroa ei tässä kuitenkaan ole olemassa, ainoastaan suunta on huomattavissa. Mahdollista on myöskin, että hyvin vanhojen, ainakin 200 v. vanhempien puiden taivutuslujuus on pienempi kuin 100—150 vuotisten. Tämäkään asia ei kuitenkaan ole aivan selvä, sillä esim. taas 200-vuotiset ja sitä vanhemmat männyt ovat lujempia kuin 150—200-vuotiset männyt ja 200-vuotiset kuuset lujempia kuin 150—199-vuotiset kuuset. Nuorin luokka 1—49 vuotiset on kuusipuilla heikoin, jotavastoin se männyllä on jokseenkin yhtä luja ja muutamissa tapauksissa lujempikin kuin muut luokat. Lehtipuissa taas on nuorin luokka lujin, seikka, joka riippune siitä, että nuorien lehtipuiden vuosilustot ovat leveät ja sisältävät paljon syyspuuta. Iän vaikutus puiden lujuussuhteisiin riippuu myöskin puiden halkeavuudesta, ja halkeamat vanhemmissa puissa tietysti saavat aikaan, että hyvin vanhat puut ovat lujuusominaisuuksiensa puolesta huonoja.

Mitä taivutuslujuuden absoluuttisiin arvoihin tulee, niin ovat ne MIKOLASCHEK'in ja WIJKANDER'in mukaan seuraavat:

kuusi	466	664
mänty	287	664
lehtikuusi	545	448
koivu	—	769
haapa	—	644
tammi	473	751
vaahtera	502	—
saarni	—	753
pyökki	632	641
valkopyökki	885	632

Kuten ylläolevasta näkyy, ovat tulokset hyvin erilaiset. Mitä MIKOLASCHEK'in tutkimuksiin tulee, niin ovat tutkittavat palaset olleet otetut 4—12 m korkeudelta. WIJKANDER'in luvut taas ilmaisevat koko rungon latvukseen kuulumattoman osan keskimäärää. Erikoisen arvokkaina on pidettävä TETMAJER'in tutkimuksia, jotka suuresti katsoen ovat tuloksiensa puolesta samansuuntaiset kuin MIKOLASCHEK'in. TETMAJER luokittelee puut taivutuslujuuteensa nähden heikommasta alkaen seuraavaan järjestykseen: mänty, kuusi, hopeakuusi, lehtikuusi, tammi ja pyökki. Jos mänty merkitään 1:llä, ovat edellä mainitut puulajit järjestyksessä: 1.19; 1.26; 1.65; 1.95.

4. Leikkauslujuus.

Tämä lujuuslaji tulee usein kysymykseen käytännössä. Esimerkkinä siitä mainittakoon kaikki upotukset ja sinkkaukset. Jos ajatellaan metsätyökaluja, niin tulee leikkauslujuus kysymykseen esim. kaplaiden upotuksessa re'en jalaksiin, pukkypadon pukeissa, ristikkorakennuksien risti-koissa, rakennuksien kattotuoleissa j.n.e. Leikkauslujuuden tutkimisesta on määrätty kansainvälisen aineen koetusliiton kokouksessa Brysselissä 1906 seuraavaa:

»Der Scherversuch ist an prismatischen Proben einschnittig auszuföhren und soll sich auf die Ermittlung der Festigkeit radial und tangential zu den Jahrringen erstrecken. Der Angriff der Belastung erfolgt stets von Hirn aus. Die Scherbacken sollen nicht über 10 cm breit sein, die Breite der Proben bei Radialschnitt nicht über 50 mm, bei Tangential-schnitt nicht über 30 mm betragen. Die Länge der Proben in der Kraft-richtung soll gleich der 4 fachen Breite der Scherbacken sein. Ermittelt wird die Bruchspannung, bezogen auf den vollen Probenquerschnitt.»

Tutkimuksia leikkauslujuudesta ovat tehneet MIKOLASCHEK ja TETMAJER sekä BAUSCHINGER ja RUDELOFF.

MIKOLASCHEK on tutkinut leikkauslujuutta sekä puusyiden suuntaan että niitä vastaan kohtisuoraan suuntaan. Tutkimuksiin käytettiin pieniä sylinterinmuotoisia puukappaleita. Tuloksina mainittakoon, että leikkauslujuuden huomattiin, sitä puusyitä vastaan kohtisuorassa suunnassa tutkittaessa, olevan pienimmillään oksissa, ja rungon alaosissa osaksi suuremman ja osaksi pienemmän kuin rungon keskiosissa ilman, että mitään sääntöä tässä suhteessa voitiin määrätä, ja että se vuosilustojen suunnassa taas oli rungon keskiosissa suurempi kuin oksissa- ja alaosissa.

BAUSCHINGER'in tutkimuksien tärkeimpinä tuloksina mainittakoon, että leikkauslujuus on osottautunut riippumattomaksi vuosirenkaan leveydestä ja että se on pienimmillään ytimen tienoissa ja kasvaa kehään päin. Kasvaminen ei kuitenkaan ole säännöllinen, vaan tavallisesti löytyy sydänpuun ja pintapuun välillä paikka, jossa se on pienempi kuin lähempänä sydänpuuta.

RUDELOFF'in tutkimuksien tuloksista mainittakoon, että hän on tullut koepalasan asemaan ytimeen nähden samoihin tuloksiin kuin BAUSCHINGER. Sitäpaitsi on hän koettanut tutkia leikkauslujuutta eri korkeudella rungolla ja tullut siihen tulokseen, että mainittavaa eroa ei ole olemassa. Hänen tutkimuksensa mukaan oli ilmakuivan puun leikkauslujuus 12—13 % pienempi kuin sydänpuun. Ainoastaan aivan ytimen lähellä

olevat osat ovat heikot, jotavastoin sydänpuu ytimestä ulospäin on lujempaa, joten hänen tutkimuksiansa tulokset hieman eroavat BAUSCHINGER'in tutkimustuloksista.

Edelleen ansaitsevat mainintaa WIJKANDER'in tutkimukset, joiden tarkoituksena on ollut m.m. selvittää eri puulajien leikkauslujuutta. Tutkitut puut ovat olleet huonekuivia, ja tuloksena mainittakoon, että järjestettyinä lujimmasta heikompaan puut voitaisiin keskimäärin asettaa seuraavaan järjestykseen: 1) pyökki ja valkopyökki, 2) jalava, 3) saarni, 4) koivu ja tammi, 5) leppä, 6) haapa, 7) lehtikuusi, 8) mänty ja 9) kuusi.

Ylläolevat luvut osottavat, että lehtipuut siis yleensä ovat lujempia leikkausta vastaan kuin havupuut. Leikkauslujuus antaa jonkun verran käsitystä siitä seikasta, kuinka puun voidaan ajatella kestäväen nau-lausta. Leikkauslujuus antaa myös jonkunlaisen kuvan siitä, kuinka lujia faneerilevyjä puusta saadaan.

Amerikalaisten koelaitosten tutkimukset leikkauslujuudesta eivät ole oikeastaan johtaneet euroopalaisista poikkeaviin tuloksiin, ne ovat korkeintaan merkinneet pienempiä lukuja, joka riippuu siitä, että suurempia koekappaleita on käytetty.

Tutkimuksen nykyisellä kannalla ollen ei leikkauslujuuden suhteen voida läheskään lausua yhtä varmoja johtopäätöksiä kuin muista lujuuslajeista. Seuraavia seikkoja voidaan kuitenkin allekirjoittaneen mielestä mainita todennäköisinä.

Selvää on, että leikkauslujuus on pienempi puusyiden suuntaan kuin kohtisuoraan näitä vastaan, se on myös useimmissa tapauksissa pienempi säteen kuin tangentin suunnassa. Löytyy kuitenkin useita tapauksia, jolloin se on yhtä suuri säteen suunnassa tai suurempikin.

Se seikka, miltä korkeudelta puussa koekappale otetaan, vaikuttaa yleensä leikkauslujuuteen sangen vähän. Luonnollisesti on olemassa selvä ero oksaisen ja oksattoman rungonosan välillä, mutta väliin on oksainen ja väliin taas oksaton rungonosa lujempi, joten tässä suhteessakaan ei ole mitään selvää sääntöä olemassa.

Yleensä lienee oksien leikkauslujuus pienempi kuin rungon.

Tutkittaessa puuleikkauksia eri lähellä ydintä tai pintaa, on yleensä todettu, että aivan ytimen lähellä olevat osat ovat heikoimmat. Lähimpänä pintaa olevat osat puussa ovat todennäköisesti lujimmat, mutta mitään varmaa sääntöä leikkauslujuuden lisääntymisestä ytimestä pintaan päin ei ole voitu todeta.

Vuosirenkaiden leveys ei yleensä vaikuttane leikkauslujuuteen, jota vastoin puun säännöllisellä rakenteella on siinä suhteessa suuri merkitys.

Yleensä ovat kaikki tutkimukset osottaneet, että tasarakenteinen ja säännöllissyyinen puutavara on, niin omituiselta kuin se kuuluukin, tässä suhteessa lujinta.

Kosteusmäärän vaikutus leikkauslujuuteen on ehkä kaikkein selvimmin todettu.

5. Nurjahduslujuus.

Jo edellä on mainittu, että puristuslujuus tulee kysymykseen ainoastaan silloin kuin pituus ei ole suuri läpimitaan verrattuna. Jos asianlaita on päinvastainen, niin ei kappale murre, vaan ensin taipuu. Tässä esiintyy niinmuodoin pituussuuntaisen puristuksen ohella myös taivuttava momentti. Mistä murtuminen riippuu, ei toistaiseksi ole voitu selittää, mutta otaksutaan sen johtuvan sellaisista seikoista kuin täristyksestä, aineen erilaisesta lujuudesta poikkileikkauksen eri paikoissa j.n.e. Nurjahduslujuudesta puhuttaessa voidaan erottaa seuraavat 4 eri tapausta: 1) kappale on toisesta päästään kiinnitetty ja siihen vaikuttaa vapaasta päästä pituusakselin suuntainen voima, 2) kappale on kiinnitetty kummastakin päästään, mutta pääsee pyörimään pituusakselin suunnassa voimatta kuitenkaan siirtyä pituusakselin alkuperäisestä suunnasta, 3) kappale on edelleen puristettu samalla tavalla, mutta ainoastaan toinen pää pääsee kääntymään kuitenkin siirtymättä akselin alkuperäisestä suunnasta, 4) koekappale on pituusakselin suuntaan puristettu, mutta kiinnitetty kummastakin päästään. Näistä tapauksista on tavallisin 3 tapaus, jonka perusteella lasketaan esim. puupilarit ja pielet, puristamalla rasitetut nyteet riippu- ja tukiansaissa, pylväät y.m.

Tätä alaa on hyvin vähän tutkittu. Sen verran on määritelty, että taipumis- ja nurjahdusilmiöt yleensä alkavat esiintyä sen jälkeen kuin kappale on noin 5 kertaa leveytensä pituinen. Kun on kysymys nurjahduksesta, niin ehkäisee sitä pääasiallisesti se, että puu on kaikkiin suuntiin samanlainen. Tällaisia puita ovat säännöllisesti harvennettujen metsikköjen valtapuut, joiden latvus on kehittynyt tasaisesti samalla tavalla joka suuntaan. Puunlatvuksessa ei ole siis huomattavissa mitään erikoista etelä- ja pohjoissuuntaa, ja senvuoksi on puu kummaltakin puoleltaan samanlainen.

Jos siis edellämainittuihin tarkoituksiin käytettävän puun saa itse valita metsästä, niin on se helppo sieltä löytää. Jos sitä vastoin on kysymys kaadetuista puista, niin silloin on puun poikkileikkauksen ympyrän-

muotoisuus sekä vuosilustojen samakeskeisyys sekä ympyränmuotoisuus hyvä merkki. Sitäpaitsi on selvää, että vuosilustojen tulee vähitellen kaveta sydäimestä pintaan päin, joten esim. äkkiä valoon saatetut puut, joissa leveä ja kapea vuosilusto sattuvat rinnakkain, eivät ole soveltuvia tähän tarkoitukseen.

Muut seikat, kuten vesipitoisuus, ominaispaino j.n.e. vaikuttavat nurjahduslujuuteen suunnilleen samalla tavalla kuin puristuslujuuteenkin. Mitä taas nurjahduslujuuden vaihteluihin eri puulajittain tulee, niin on siitä sangen vähän tutkimuksia. Sen verran voidaan kuitenkin sanoa, että meidän mäntymme on todennäköisesti tässä suhteessa ensimmäisellä sijalla, sillä se voittaa esim. tammien tässä suhteessa huomattavasti. Kuusi on hyvin paljon (ainakin 30—40 %) huonompaa kuin mänty ja tammikin on sitä noin 20 % huonompi. Koivun nurjahduslujuus on vielä jonkun verran huonompi kuin kuusen.

6. Vääntölujuus.

Ainoa, joka oikeastaan on tätä lujuuslajia tutkinut, on MIKOLASCHEK. Hän käytti tutkimuksiinsa 40 sm pituisia koekappaleita, joiden poikkileikkauspinta-ala oli ympyrän muotoinen, mutta joiden pää oli veistetty neliskulmaiseksi. Hänen tuloksistaan mainittakoon seuraavaa: suurin vääntölujuus on oksilla, rungon osissa tämä ei erikoisesti vaihtelee, korkeintaan ovat rungon alimmat osat tässä suhteessa heikompia kuin muut.

Vääntölujuus tulee kysymykseen esim. kaikenlaisissa akseleissa kuten erilaisten pyörien, puisen hevostiennon, vorokin j.n.e.

Paitsi yllämainittua voidaan vielä mainita, että vääntölujuus vaihtelee puulajeittain ehkä enemmän kuin mikään muu lujuuslaji. Kaikkein lujin kaupassa löytyvistä puulajeista on tässä suhteessa valkopyökki, erittäin luja on myöskin hickory, joka samalla on keveä, ja suuriarvoisia tässä suhteessa ovat myöskin vaahtera, saarni ja tammi sekä kotimaisista puulajeistamme etenkin koivu, ja voidaan puut asettaa suunnilleen siihen järjestykseen, kuin ne tässä on mainittu. Heikompia ovat leppä, kuusi, mänty ja heikointa haapa. Tämä on siis melkein ainoa lujuuslaji, jossa meidän suomalainen mäntymme jää takapajulle.

Vääntölujuudella on oikeastaan verrattain pieni käytännöllinen merkitys siitä syystä, että se on puulla sangen pieni ja että puuta esim. akseleiksi ei sellaisenaan voida käyttää, vaan on sen päihin joka tapauksessa liitettävä metallitapit. Tällöin tulee puun vääntölujuus jo suuresti riippumaan siitä, kuinka yllämainitut metalliosat siihen ovat kiinnitettyt. Sitä-

paitsi tulevat tähän tarkoitukseen käytettävät puuosat olemaan siksi suuria, että ne jo tästäkin syystä ovat hankalia ja tästä syystä käytetäänkin sellaisiin paikkoihin, joissa erikoisesti vääntölujuutta vaaditaan, mieluummin rautaa.

7. Kovuus.

Että kovuus myöskin kuuluu lujuusominaisuuksiin, selviää jo siitäkin, että myös sitä käsiteltäessä on kysymys puun vastustuksesta ulkonaisia mekaanisia voimia vastaan. Sitävastoin on verrattain vaikea pätevästi määritellä, mitä kovuudella tarkoitetaan. Voitanee ehkä yleisenä määritelmänä lausua, että

kovuudella ymmärretään sitä voimaa, jolla kappale kykenee estämään toisen kappaleen tunkeutumista itseensä.

Tämä toinen kappale voi olla monenlainen. Useimmissa tapauksissa on se määrätynmuotoinen työkalunosa, esim. kirveen-, sahan-, höylän-, j.n.e. -terä, naula y.m. Mutta myös kaikki kulumisilmiöt kuuluvat tähän. Jos ajatellaan esim. lattian kulumista, niin riippuu se siitä, että kaksi epätasaista pintaa hankaa toinen toisiansa vastaan, i. toisin sanoen, toisessa pinnassa olevat epätasaisuudet, joita oikeastaan voidaan kuvitella tylsemmiksi tai terävemmiksi piikeiksi, tunkeutuvat toiseen. Jo tästä selviää, että kovuudella on ehkä suurempi merkitys kuin millään muulla puun teknillisellä ominaisuudella. Kovuusominaisuuteen kuuluvaksi on myös luettava puun halkeavaisuus, sillä tässä ei usein ole kysymystä muusta kuin siitä, että määrätyn muotoinen kappale, kiila, yrittää tunkeutua puuhun syiden suuntaan.

Kovuutta voidaan tutkia monella tavalla. Hyvin sopiva kovuuden tutkimuskone on tavallinen höyläkone. On vain valittava eri puulajeista samanlaisia lautoja, asetettava ne kulkemaan höyläkoneen lävitse ja sen jälkeen arvioitava samaa voiman käyttöä samassa ajassa vastaava höylätty pinta-ala. Tällä tavalla ovat kovuutta tutkineet EXNER, tavaltaan DU MONCEAU y.m. Myöskin sahauskoneiden, m.m. tavallisen käsisaahan, avulla voidaan kovuustutkimuksia tehdä, ja ovat sellaisia tehneet m.m. EXNER, ERNST HARTIG ja PFAFF. Nämä tutkimukset eivät kuitenkaan ole johtaneet toivottuihin tuloksiin siitä syystä, että n.k. elävien moottorien työn arvioiminen vaatii fysiologisia tietoja, joita näiden kokeiden tekijöillä ei ole ollut. Joka tapauksessa voidaan koneellisia työkaluja käyttäen kaikkein parhaiten määrätä eri puulajien kovuus, ja juuri täten saavutetaan lukuja, joilla on puhtaasti käytän-

nöllinen merkitys. Valitettavasti kyllä ei kuitenkaan missään ole tehty päteviä tutkimuksia tällä alalla.

Sitävastoin voidaan sanoa, että kovuus on se ominaisuus, jonka käytännöllinen työntekijä parhaiten tuntee. Mitä vaikeampi työntekijän on saada käyttämänsä työkalua tunkeutumaan puuhun, sitä kovemmaksi hän sen yleensä arvostelee. Mutta hyvin usein kuitenkin tämä käytännönmiehen arvostelu suuresti poikkeaa siitä arvostelusta, jonka kovuustutkimukset antavat. Tämä riippuu pääasiallisesti puun anatoomisesta rakenteesta. Jos puun kesäpuuosa esim. on erittäin kova ja esim. kevätpuuosa erittäin pehmeä, niin tuntuu tällainen puu kuitenkin kovalta sitä työkalulla käsiteltäessä. Ihminen ei tässä tapauksessa kykene ottamaan oikeata keskimäärää, jotavastoin kone sen tekee. Jokapäiväisessä työkalujen käytössä ei myöskään osata ottaa huomioon satunnaisia vaikutteita, joilla varsinkin kovuutta arvosteltaessa on suuri merkitys.

Ne kovuustutkimukset, joita on tieteellisellä tarkkuudella tehty, eivät perustu työkalukoneisiin. Niissä on tungettu puuhun eri muotoisia kappaleita sekä mitattu se voima, joka tähän tarkoitukseen kulloinkin on tarvittu. BÜSGEN käytti tutkimuksissaan teräsneulaa, joka oli maasondin muotoinen. Hänen menettelytapansa vastaan voidaan tehdä se muistutus, että hän ei saanut luotettavia tuloksia silloin kuin neula joutui tunkeutumaan kevät- ja kesäpuun väliin. Tällöin jäi nim. tulos riippuvaiseksi vuosilustojen leveydestä, sillä leveässä vuosilustossa voi sattua, että neula tunkeutui yksinomaan pehmeään kevätpuuhun. JANKA taas otti käytäntöön ruotsalaisen insinöörin BRINELL'in menettelytavan, jossa käytettiin puolipallon muotoista kuulaa, joka puristettiin puuhun. Tämä BRINELL'in menettelytapa oli otettu käytäntöön metallien kovuutta tutkittaessa ja soveltuu se kutakuinkin hyvin myös puun kovuuden tutkimiseen. N.k. BRINELL'in kuula on metallitasoon kiinnitetty puolipallo, jonka isoympyrän pinta-ala on 1 sm² ja jonka läpimitta näin ollen on 5.642 mm. Sen käytäntöönottamisesta on vielä se etu, että tutkimuksiin voidaan ilman muuta käyttää puristuslujuuden tutkimista varten tarpeellista konetta. Kun koneesta luetaan kuulaa sisään painamiseen tarpeellinen voima, tulee se samalla kertaa niinkuin muutkin lujuusvoimat lausutuksi 1 sm² kohti.

Kovuus on riippuvainen seuraavista seikoista: a. voiman suunnasta, b. puulajista, c. puun sisärakenteesta, d. leikkauksen asemasta puussa, e. puun vesipitoisuudesta, f. puun lämpötilasta, g. puun painosta.

a. Kuten kaikkiin lujusominaisuuksiin, vaikuttaa kovuuteenkin voiman suunta verrattuna puusyiden suuntaan. Tällöin on ainoastaan otettava huomioon, vaikuttaako voima puusyiden suuntaan, vai kohtisuoraan niitä vastaan, sillä tutkimukset ovat (Amerikassa tehdyt) osoittaneet, että sillä seikalla, vaikuttaako voima säteen tai tangentin suuntaan ei ole sanottavaa merkitystä. Käyfännöstä tiedetään, että puu on kovempaa silloin kuin voima vaikuttaa puusyiden suuntaan. Tästä syystä esim. puunuijat, hakotukit y.m. tehdään siten, että poikkileikkauspinta tulee voiman vaikutuksen alaiseksi. Kuinka suuri taas ero tässä suhteessa on, on seikka, jota ei ole ratkaisevasti tutkittu, mutta sen verran tiedetään, että ero käy sitä suuremmaksi, mitä kuivemmasta puusta on kysymys. Tuoreessa puussa on ero amerikalaisen tutkimusten mukaan sangen pieni, korkeintaan 10 %, jotavastoin se kuivassa puussa on 40:kin %.

b. Kovuuden riippuvaisuus puulajista on jokaiselle käytännön miehelle tuttu, sillä yleensä puhutaan kovista ja pehmeistä puista. JANKA on jakanut puut seuraaviin luokkiin:

I Sangen kovat puulajit, kovuusluku, kg/sm ²	pienemp. 350
II Pehmeät	350— 500
III Keskikovat	500— 650
IV Kovat	650—1,000
V Hyvin kovat	1,000—1,500
VI Luukovat	suuremp. 1,500

c. Puun sisärakenteesta riippuu kovuus siten, että kesäpuun runsaus luonnollisesti lisää havupuissa niiden kovuutta. Lehtipuissa taas ei tässä tapauksessa ole varmaa sääntöä. Yleensä on puu, jolla on kapeat vuosilustot vissiin rajaan, noin 1 mm tienoihin asti, kovempaa kuin leveämpivuosisilustoinen.

Selvää on myös, että erilaiset vikanaisuudet puussa, niinkuin lyllymuodostus, visa- ja nikaramuodostumat y.m. lisäävät puiden kovuutta. Kovuuden voidaan myös sanoa olevan riippuvainen siitä, kuinka paksut soluseinät ovat soluonteloihin verrattuina. Tämä pitää paikkansa etenkin silloin kuin on kysymys samasta puulajista, ja jos esim. mikroskopisesti määrätään soluonteloiden ja soluseinien välinen suhde, niin voidaan tämän perusteella arvostella jossain määrin puun kovuutta. Samoin voidaan myös sanoa, että kovuus on riippuvainen solujen poikkileikkauspinta-alasta silloin kuin voima vaikuttaa puusyiden suuntaan. Tässä

tapauksessa on nim. puu jokseenkin säännöllisesti sitä kovempaa mitä useampi solu mahtuu pinta-alayksikölle. Lopuksi voidaan myös sanoa, että kovuus on riippuvainen siitä, ovatko solujen poikkileikkauspinta-alat yhtäsuuria tai erisuuria, i. toisin sanoen puun tasaisemmasta tai epätasaisemmasta rakenteesta. Jos nim. havupuulla on tasainen rakenne, s.o. jos sen solut ovat yllämainitussa merkityksessä yhtä suuria, on havupuun myös kovaa.

d. Leikkauksen asema puussa vaikuttaa itse asiassa sangen vähän kovuuteen. Käytännössä puhutaan puun kovasta ja pehmeästä puolesta, jolloin, esim. tuulisella paikalla, se puoli on kova, jonne tuuli puuta taivuttaa. Tällä puolella puuta ovat myöskin oksat pisimmät ja paksimmat, joten siis myös voidaan sanoa, että puun oksaisempi puoli on kovempi. Edelleen on varsinkin aukealla kasvaneissa puissa selvästi eteläpuoli oksaisempi kuin pohjoinen ja samoin on se myös usein kovempi. Tätä seikkaa on m.m. JANKA tutkinut ja huomannut, että ero voi olla sangen tuntuva, esim. kuusella n.k. kova puoli 328 kg/sm², jotavastoin puun toinen, lylytön puoli, oli ainoastaan 274 kg/sm². Vastaavat luvut lehtikuusella olivat 502 ja 346 kg/sm².

Myös juurenniskasta tyvipaksuneman loppuun on puu yleensä kovempaa kuin muualla, mutta tämän jälkeen ei oikeastaan voida sanottavaa eroa rungon eri osissa huomata.

Oksat ovat yleensä havupuissa kovemmat kuin runko.

e. Puun vesipitoisuuden vaikutuksesta kovuuteen ollaan kauvan aikaa oltu epäröivällä kannalla. Jos on kysymys kovista puulajeista, niin pehmenevät ne huomattavasti kosteusmäärän kasvaessa. Jos sitävastoin on kysymys erittäin pehmeistä puulajeista, vieläpä sellaisistakin kuin lehmuksesta, haavasta, strobusmännystä j.n.e., niin on asian laita päinvastainen. Suurin osa tavallisimmista käytännössä esiintyvistä puulajeista kuitenkin pehmenee kosteuden lisääntyessä. Amerikassa tehdyt tutkimukset osoittavat, että jos puu vastakaadetusta kosteusasteestaan tulee huonekuivaksi (5—10 % vettä), niin lisääntyy kovuus puusyiden suuntaan suhteessa 1:2 ja taas kohtisuoraan puusyitä vastaan suhteessa 1:1.6.

f. Puun lämpötila vaikuttaa myös jonkun verran puun kovuuteen. Jos puuta lämmitetään siten, että puun vesipitoisuus ei lämpötilan kohoamisesta huolimatta alene, niin puu hyvin vähän pehmenee. Jos lämpötilaa kohotettaessa vielä puun vesimäärää kohotetaan, niin vasta tämän kautta saadaan huomattava pehmeneminen aikaan. Voidaan siis sanoa, että lämpötilan kohotessa 0° C:sta ylöspäin puun kovuuden muu-

tokset oikeastaan riippuvat kosteuden vaihteluista. Jos taas lämpötila alenee 0°:sta C alaspäin, niin silloin puu kovenee jäätyessään ja saavuttaa suurimman kovuutensa silloin, kun puuaineen lämpötila on noin — 20° C. Tällöin on puu tullut kovaksi ja hauraaksi, seikka, jonka käytännön miehet hyvin tuntevat. Puu on siksi haurasta, että suurimittainen tukkipuukin voi katketa kuin lasi, jos se sattuu kovaa estettä vastaan. Tästä syystä koetetaan välttää puiden kaatamista kovina pakkaspäivinä, jolloin kuitenkin on huomattava, että edellä olevat luvut eivät suinkaan tarkoita ulkoilman lämpötilaa, vaan puun sisäistä lämpötilaa.

g. Puun painon vaikutus kovuuteen ei yleensä ole niin selvä kuin luulisi. Niinpä esim. JANKA'n aineistosta selviää, että kuuset useissa tapauksissa ovat kovempia, vaikka niiden ominaispaino on pienempi, mutta suuresti katsoen voidaan ehkä sanoa, että suurempi ominaispaino silloin, kun on samasta puulajista kysymys, myös merkitsee suurempaa kovuutta. Mainittakoon kuitenkin, että esim. pihkapitoisuus, joka lisää havupuiden painoa, vähentää niiden kovuutta, joten esim. raskas pihkapitoinen mänty usein on pehmeämpää kuin keveämpi vähäpihkinen mänty.

h. Omasta puolestaan pyytää tämän kirjoittaja kovuuden suhteen vielä esittää seuraavaa. Jo edellä mainittiin, että täten teoreetisestitutkittu kovuus ei vastaa sitä käsitystä, jonka esim. puutyöntekijä saa kovuudesta käsitellessään puuta eri työkaluilla. Tämä riippuu pääasiallisesti siitä, että puu ei ole yhtenäinen kappale, vaan että se on kokoonpantu eri kovista osista. Niinpä esim. berberispensaas kesäpuu on kovempaa kuin mikään muu puuaine ja esim. havupuun kesäpuu on 4—5 kertaa niin kova kuin sen kevätpuu. Ydinsäteiden kovuus on taas huomattavasti pienempi kuin muun puuaineen. Kun jotakin työkalua käytetään, niin riippuu sen teho hyvin paljon siitä, minkälaisia osia se puusta kohtaa, ja mihin suuntaan se vaikuttaa.

Jos ajatellaan esim. höylän vaikutusta, niin tavallisen höylän vaikutus on puuta pituussuuntaan höylättäessä pääasiallisesti puuta halkaiseva. Jos ajatellaan, että höylä koko ajan joutuisi leikkaamaan puuta ydinsäteiden suunnassa, niin saataisiin puun kovuudesta aivan toisenlainen käsitys kuin jos höylä leikkaisi puuta tangentin suunnassa tai poikki-leikkauspinnan suunnassa. Sitäpaitsi riippuu luonnollisesti höylän vaikutusaste siitä, kuinka paksuja lastuja puusta otetaan. Puskuhöylällä ei siis menestyksellä voida tutkia puun lujutta. Aivan toinen on kutterihöylän laita. Se tulee leikkaamaan puuta joka leikkauksella kaikissa suunnissa, ja senvuoksi voidaan kutterihöylää menestyksellä käyttää puun kovuuden arvostelemiseen.

Kirves ei anna mitään käsitystä puun kovuudesta. Se tunkeutuu puuhun parhaiten vuosisyiden suuntaan, mutta silloin ei luonnollisesti olekaan kysymys puun kovuudesta vaan puun halkeamisesta. Jos sitävastoin kirves lyödään puuhun viistoon syitä vastaan, niin vaikuttaa terän muoto hyvin paljon siihen, kuinka kirves puuhun tunkeutuu. Tästä syystä täytyykin kovia puulajeja hakattaessa käyttää kapeateräistä, verrattain keveätä kirvestä, jotavastoin pehmeitä puulajeja on hakattava raskaalla kirveellä syystä, että puusyyt helposti painuvat alas kirveen tieltä. Mutta juuri se seikka, että eri kovia puulajeja vaistomaisesti tullaan käsittelemään eri mallisilla kirveillä, aiheuttaa sen, että kirveen käyttäjä ei tule oikeaan käsitykseen puun kovuudesta. Jos kirveen perusteella tahdotaan saada tietää puiden kovuutta jollakin paikkakunnalla, niin antaa siellä käytetyn kirveen muoto, ei siis useinkaan työntekijän kokemus, parhaan käsityksen puiden kovuudesta.

Saha taas päinvastoin antaa aika hyvän käsityksen puun kovuudesta, sillä yleensä on helpompi käsin sahata pehmeitä puulajeja. Jos siis kovuutta sahalla tutkittaisiin, niin voitaisiin ajatella esim. sentapaista menettelyä kuin NÖRDLINGER käytti. Hän laski sahan vedot puuta katkottaessa ja mittasi senjälkeen sahatun pinta-alan, sekä otti lopuksi selville, kuinka monta mm. kutakin vetoa kohti sahattiin. Tällä tavalla koetti NÖRDLINGER tutkia, mitkä osat samassa puussa olivat kovempia ja mitkä pehmeämpiä. On kuitenkin huomattava, että sahauksessa esiintyy monta seikkaa, jotka vaikuttavat häiritsevästi johtopäätösten tekoon. Niinpä esim. pehmeissä puulajeissa sahauspinnat tulevat epätasaisiksi, sahanpuru tulee karkeaksi ja nämä seikat vaikeuttavat sahausta, joten niiden vaikutus olisi eliminoitava. Sahauksessa on myös mahdotonta käyttää koville ja pehmeille puulajeille samalla tavalla haritettua sahanterää ja jo senkin vuoksi ei hyvin eri kovia puulajeja edes voi ottaa tällä tavalla kokeiltaviksi. Jossain määrin voidaan kuitenkin jollain paikkakunnalla esiintyvien puiden kovuudesta tehdä johtopäätöksiä sahamallien perusteella, niin, että paikkakunnilla, joissa yleensä käytetään pitkähampaisia ja leveälle haritettuja sahoja, kasvaa pehmeitä puulajeja, jotavastoin lyhythampaiset ja kapealle haritetut sahat merkitsevät kovaa puuta.

Kairat, varsinkin suuremmat, kelpaavat koko hyvin puun kovuuden mittaamiseen, varsinkin, kun on kysymys kuivista puista. Sentähden esim. salvuumiesten, puuseppien j.n.e. käsitykset puiden kovuudesta ovat sangen oikeat. Myös kairalastujen laatu ilmaisee usein puiden kovuuden. Suoraviivaisesti katkotut ja yhtä suuret kairalastut merkitsevät kovaa

puuta, jotavastoin revityt, eri suuret ja epäsäännölliset kairalastut merkitsevät pehmeätä puuta.

Kaikkein parhaiten kaikista työkaluista ilmaisee kuitenkin sorvi puun kovuuden. Se tulee koskettamaan puuta kaikissa suunnissa ja sorvauspinnan sileys on hyvä puun kovuuden ilmaisija. Jos puu on kovaa, on sen sorvauspinta sileä, jotavastoin pehmeitä puita on vaikea sileäpintaiseksi sorvata, niitä täytyy useimmiten vielä silitellä perästäpäin.

Lopuksi mainittakoon, että BRINELL'in kuulakokeella saavutetut lujuusarvot ovat osottautuneet olevan määrätysssä suhteessa muihin puiden lujuuslukuihin. Mikäli tekijä on tähänastisten tutkimusten perusteella havainnut, on tämä seikka siksi selvästi todettavissa, että tekijä otaksuu aivan mahdolliseksi korvata kaikki lujuustutkimukset ainoastaan kovuustutkimuksilla. Täten voitettaisiin paljon, sillä BRINELL'in tai siitä johdettu parannettu kovuuskoe on helppo suorittaa, joten päästäisiin käyttämästä niitä hankalia koneita, joita muuten lujuustutkimuksissa tarvitaan.

8. Puun halkeilevaisuus.

Puun halkeilevaisuudesta voidaan puhua oikeastaan kahdelta kannalta katsoen, ensinnäkin ymmärretään halkaisemisella puuosien erottamista toisistaan puusyiden suuntaan kiilanmuotoisella kappaleella tai toiseksi voidaan ajatella puusyiden irtaantumista toisistaan pituussuunnassa esim. kuivumisen, puun heilumisen tai jonkun muun mekaanisen voiman vaikutuksesta. Tällä tavalla erottaa tämän kirjoittaja: a. puun luonnollisen halkeamisen, jolloin tarkoitetaan viimeainittua tapausta ja b. puun keinotekoisien halkaisemisen, jolloin puhutaan ensinmainitusta tapauksesta.

a. Puun luonnollinen halkeaminen saa pääasiallisesti alkunsa silloin kuin manto menetettyään vettä muuttuu sydänpuuksi. Se saa alkunsa, niin kuin jo edellä on mainittu, useimmiten ytimen lähellä olevista solukerroksista, joissa vuosilusto pituussuunnassa on heikko, joten se helposti katkeaa ja säteensuunnassa halkeama syntyy. Tällaisten halkeamien ei tarvitse olla pitkiä, eikä sattua kohdalleen, joten ne voivat olla puulle vaarattomia. Jos puu on kierokasvuista, jos sen trakeiitit ovat kiinteästi kietoutuneet toisiinsa tai jos sen trakeiitit ovat lyhyitä tai jos ydinsäteet ovat matalat, niin ei tällainen halkeama helposti laajene. Päinvastainen on asian laita, jos on kysymys suorasyisestä, suorasta kudoksesta pitkin ja leveine tai lukuisine ja hienoine ydinsäteineen.

Tällöin halkeama puun heiluessa tuulessa aikaa myöten laajenee ja tulee siksi pitkäksi, että sillä myöhemmin on teknillinen merkityksensä. Tällaisia pitkiä sydänhalkeamia tavataan etupäässä männyllä ja varsinkin ikivanhoissa mäntymetsissä tapaa harvoin puuta, joissa ei tällaisia sydänhalkeamia olisi. Myös pakkanen aikaansaa samantapaisia pinnasta päin alkavia halkeamia ja voivat niitä myös aiheuttaa puhtaasti mekaaniset syyt. Havupuilla ja varsinkin männyllä eivät tällaiset pinnasta päin alkavat halkeamat useinkaan saavuta sellaista karakteristista ulkomuotoa kuin lehtipuilla, joissa ne jäävät näkyviin säteensuuntaisen harjakkeen muotoisena, jonka keskessä halkeama sijaitsee. Havupuussa sitävastoin pakkshalkeama heti täyttyy pihkalla ja seuraava vuosilusto peittää sen tasaisesti, vaikka se myöhemmin taas uudestaan tältä kohtaa katkeakin. Tämä riippuu osaksi siitä, että havupuussa eivät kosteus, sienet eivätkä myöskään bakteerit pääse tekemään samaa vaikutusta kuin lehtipuussa.

Mutta vaikka havupuussa tällä tavalla näennäisesti pintahalkeama, jota, vaikka se useimmiten onkin pakkasen vaikutuksesta syntynyt, kutsutaan tuulihalkeamaksi, täten jääkin vaikeammin huomattavaksi ja vieläpä usein, varsinkin, koska se tavallisimmin esiintyy vanhassa ja pihkaisessa puussa, paljaalle silmälle näkymättömäksi, niin on se juuri tästä syystä toiselta puolelta erikoisen haitallinen, sillä käy vaikeaksi arvostella milloin on kysymys todellisesti tarkoitukseen kelpaavasta puutavarasta. Sahaussessa, mutta varsinkin faneeriteollisuudessa tällainen halkeama tuottaa huomattavaa alennusta puun arvossa.

Puiden luonnollista halkeavaisuutta on muuten sangen vähän tutkittu, vaikka siinä suhteessa ehdottomasti oltaisiin tilaisuudessa tekemään sangen arvokkaita havaintoja. Ei ollakaan senvuoksi selvillä siitä, mihinkä järjestykseen puulajit luontaisen halkeavaisuutensa suhteen ovat ryhmitettävät, mutta paitsi edellä olevia seikkoja voidaan puun luontainen halkeaminen tietysti jossain määrin päättää puun ulkomuodosta niin, että suorat ja säännöllisesti kasvaneet puut yleensä, jos ne vahingoittuvat, halkeavat enemmän kuin kierokasvuiset ja mutkaiset puut.

Kun nyt toiselta puolen varsinkin havupuufaneeriksi halutaan juuri suorarunkoisia ja oksattomia puita, niin huomataan, että puun luontaisella halkeavaisuudella on huomattava merkitys juuri tässä suhteessa. Hyvä luontainen halkeavaisuus ei siis esim. faneeripuuta valittaessa eikä myöskään sahateollisuudessa ole mikään toivottava ominaisuus.

b. Keinotekoinen halkeilevaisuus, jota on myöskin kutsuttu halkaisulujuudeksi (saks. spaltfestigkeit), edellyttää kii-

lanmuotoisen kappaleen tai jonkun muun työväliseen, joilla puusyyt toisistaan erotetaan. Ensimmäinen, joka tutki puun halkeilevaisuutta, oli NÖRDLINGER. Hän antoi tehdä puusta 2-haarukanmuotoisia kappaleita sekä kokeili halkeilevaisuutta konstruoimallaan koneella. Tällä tavalla voitiinkin luonnollisesti laatia vissi asteikko puiden halkeilevaisuudelle, mutta toiselta puolen on mainittava, ettei käytännössä milloinkaan puuta tällä tavalla halkaista. NÖRDLINGER halkaisi puun vähitellen lisäämällä halkaisevaa voimaa, mutta käytännössä halkaiseminen päinvastoin tapahtuu äkillisen voiman avulla. Selvää on siis, että NÖRDLINGER'in tutkimukset eivät anna käsitystä siitä, kuinka puu esim. halonhakkuussa, puuseppäteollisuudessa j.n.e. halkeaa.

NÖRDLINGER tutki yllämainitulla tavalla useiden puulajien halkeamista sekä säteen että ydinsäteen suunnassa ja sekä kuivassa tuoreessa että puolituoreessa tilassa. Mainittakoon, että NÖRDLINGER jakoi puut 8 luokkaan, nim. 1. erikoisen vaikeasti halkeavat puut: mantelipuu, plataani, veikselpuu (*Prunus mahaleb*), pihlaja, 2. sangen vaikeasti halkeavat: valkopyökki, orapihlaja, koivu, robinia, jalava, 3. vaikeasti halkeavat: useat vaahteralajit, saarni, kataja ja *Quercus cerris*, 4. jonkun verran vaikeasti halkeavat: balsamikuusi, ameriikalainen saarni, *Pinus laricio austriaca*, 5. verrattain helposti halkeavia: *Castanea vesca*, *Cupressus sempervirens*, *Juglans nigra* ja *Larix europaea*, 6. helposti halkeavat: harmaa leppä, pähkinäpensas, mänty, haapa, tavallinen tammi, pajut ja lehmus ja 7. sangen helposti halkeavat: hopeakuusi, kuusi, strobusermänty sekä 8. erikoisen helposti halkeavat: hopeapoppeli ja kanadalainen poppeli (*Populus molinifera*).

Myöhemmin on RUDELOFF käyttänyt samaa tutkimustapaa tutkiesaan männyn halkeavaisuutta. Varsinaisesti on halkeilevaisuutta kuitenkin tutkinut EXNER, joka määritteli halkeavaisuuden sen voiman perusteella, joka tarvittiin määrätynlaatuiseen kiilan iskemiseen puuhun, jotta puu halkeaisi. EXNER'in tutkimukset ovat kuitenkin verrattain vähäpätöiset, joten toistaiseksi ei löydy tarkempia tutkimuksia tähän tapaan tehtyinä, ellei sellaisiksi lueta JANKA'n tutkimuksia, joissa tutkimuksiin käytettiin kirvestä. JANKA teki tutkimuksensa kuitenkin aivan toisessa tarkoituksessa, nim. puun kovuuden selvittämiseksi, joten toistaiseksi ei ole olemassa muita numeroita kuin ne, joita on saatu kansainvälisen aineenkoetuslaitoksen metodien mukaan tehdyillä tutkimuksilla, joissa määrätty halkeavaisuus taas suunnilleen vastaa NÖRDLINGER'in tapaan määrättyä halkeavaisuutta. Tästä syystä onkin puun halkeavaisuutta arvoiteltaessa osaksi myös turvaututtava käytännössä saavutettuihin

kokemuksiin ja ottaen tähänastiset tutkimukset ja kokemuksen huomioon, voidaan halkeilevaisuuden sanoa riippuvan seuraavista seikoista: aa. voiman suunnasta vuosirenkaisiin nähden, bb. puun kovuudesta, cc. puun vesipitoisuudesta, dd. siitä, mistä osasta puuta koekappale on otettu, ee. puun lämpötilasta, ff. puun asemasta metsikossa, gg. puun ominaispainosta, hh. puun anatoomisesta rakenteesta ja ii. käytetyn työkalun muodosta.

aa. Halkaisemisesta voidaan luonnollisesti puhua ainoastaan ydinsäteiden tai tangentin suuntaan. Yleensä on puu vaikeampi halkaista tangentin suuntaan ja helpompi ydinsäteiden suuntaan, helpottaen halkeamista leveät tai taajassa olevat kapeatkin ydinsäteet. Ero tässä suhteessa ei kuitenkaan ole erittäin suuri, jos halkaiseminen toimitetaan siihen tapaan kuin aineenkoetuslaitoksessa. Varsinkin pihkapitoisissa puulajeissa voi ero tässä suhteessa olla hyvin pieni ja voipa halkeaminen molempiin edellä mainittuihin suuntiin tapahtua jokseenkin yhtä helposti.

bb. Puun kovuuden vaikutus tässä suhteessa on sangen epäselvä. Jos ajatellaan kiilanmuotoisella kappaleella, esim. kirveellä halkaisemista, niin estää luonnollisesti suurempi kovuus teräasetta aluksi tunkeutumasta puuhun. Mutta toiselta puolen taas on selvää, että aivan äärimmäisen pehmeä puu ei halkea juuri ensinkään, joten siis myös alhainen kovuusaste vähentää halkeavaisuutta. Voidaan ehkä yhtyä NÖRDLINGER'iin ja sanoa, että koko halkeavaisuus-käsitteen edellytyksenä on vissi kovuus.

cc. Yleensä on väitetty, että useimmat puulajit halkeaisivat vaikeammin kuivina kuin tuoreina. Tämän väitteen esittää m.m. NÖRDLINGER. Näin onkin asian laita, jos halkeavaisuutta tutkitaan NÖRDLINGER'in mainitsemaan tapaan, mutta jos ajatellaan tavallista kirves- ja kiilahalkaisua, niin voidaankin sanoa, että aina meidän tavallisimmat puulajimme, mänty, kuusi ja koivu halkeavat kuivina helpommin kuin tuoreina. Sitävastoin halkeaa esim. valkopyökki helpommin tuoreena, ja yleensä ovat kaikki puulajit vaikeimmat halkaista silloin kuin ne eivät vielä ole aivan täydellisesti saavuttaneet ilmakehän puun kosteusastetta. Useimmiten halkeavat kovat puut helpoimmin heti kaadon jälkeen.

dd. Tyvestä latvaan päin lisääntyy halkeavaisuus, kunnes puun oksainen osa saavutetaan, jota vastoin latvusosassa halkeavaisuus on puun oksaisuuden vuoksi pienempi kuin tyvessä. Mainittakoon erityisesti, että jos oksaista puuta on halkaistava, niin meikäläinen havupuu

halkeaa helpommin, kun kirveen isku tapahtuu tyvestä latvaan päin, jotavastoin lehtipuissa asianlaita on päinvastainen. Sydänpuu halkeaa lehtipuissa helpommin kuin pintapuu. Havupuissa taas on tässä suhteessa vaikea antaa mitään selvää lakia. Jos on kysymys havupuista, joilla on pieni pihkapitoisuus, niin pintapuuosat halkeavat jo vuosilustojensa säännöllisemmän rakenteenkin vuoksi helpommin kuin sydänpuuosat, mutta toiselta puolelta vähentää pintaosien halkeilevaisuutta usein se, että vuosilustot tulevat ohuemmiksi ja rakenteeltaan lujemmiksi pintaan päin. Jos taas on kysymys pihkapitoisista havupuista, niin on huomattava, että pihkapitoisuus vähentää halkeavaisuutta ja senvuoksi voivat sydänpuuosat usein tällaisissa puissa olla vaikeammin halkeavia kuin pintapuuosat.

ee. Lämpötilasta riippuu puun halkeilevaisuus seuraavasti. Jos puun lämpötilaa kohotetaan ilman, että puun kosteusmäärä samalla kertaa vähenee, osottavat kokeet yleensä, että halkeilevaisuus lisääntyy lämpötilan kohotessa, vaikkei tarkempia tutkimuksia olekaan olemassa siitä, missä määrin tämä tapahtuu. Jos taas puu jäätyy, niin puun vesipitoiset osat, varsinkin siis pintapuu, menettävät halkeilevaisuutensa kokonaan ja lohkeilevat kuin lasi ja tällöin ei siis esim. kiilan ja kirveen tapainen työkalu tunkeudu puuhun. Myös tämä ilmiö on toistaiseksi tutkimaton.

ff. Puun asema metsikossa. Jos verrataan toisiinsa esim. samankokoista varjossa kasvanutta puuta ja harvassa metsikossa kasvanutta puuta, niin halkeavat yleensä hento-oksaiset varjossa kasvaneet puut helpommin kuin oksaiset ja valossa kasvaneet. Jos sitävastoin tutkitaan oksatonta puukappaletta, jossa on leveät vuosilustot ja oksatonta puukappaletta, jossa on kapeat vuosilustot, niin ei erikoisesti huomattavaa eroa ole olemassa. Yleensä ei ole tutkittu sitä seikkaa, mitä vuosilustojen leveys vaikuttaa halkeilevaisuuteen, mutta esim. koivuun nähdän voidaan sanoa, että yleensä leveävuosilustoinen koivu halkeilee vaikeammin kuin kapeavuosilustoinen.

gg. Puun ominaispaino vaikuttaa ainoastaan välillisesti halkeilevaisuuteen. Tämä seikka on myös tutkimaton, ainoastaan SCHUBERT on esittänyt sen otaksuman, että puu halkeaisi sitä helpommin mitä keveämpää se on, jotavastoin NÖRDLINGER'in tutkimukset osottavat, ettei painolla ole suoranaisesti merkitystä halkeilevaisuuteen, vaikkakin useimmiten raskaat puulajit ovat vaikeita halkaista.

hh. Puun anatoominen rakenne. Tässä suhteessa voidaan ensinnäkin panna merille ydinsäteiden vaikutus halkeamiseen,

josta jo on puhuttu. Mitään varmaa merkitystä ei ydinsäteellä tässä suhteessa kuitenkaan ole. Jos seurataan sellaisten puulajien halkeamista, joilla on leveät ydinsäteet tai valkeyydinsäteet (esim. tammi), niin huomataan, että luonnollisetkin halkeamat melkein aina seuraavat ydinsäteitä ja että halkaiseminen ydinsädetä myöten on aina helpoin. On kuitenkin huomattava, että yhden ainoan leikkauspinnan tutkimisella ei tässä suhteessa olekaan suurta merkitystä. Itse ydin kulkee jonkunverran spiraalissa ja senvuoksi eivät ydinsäteet yleensä ole riveissä päälletysten vaan paremminkin ruuvipinnan tavoin sijoitettuna, joten itseasiassa puun »ydinsäteen suuntaan» haljetessa halkeama usein kohtaakin ainoastaan aniharvoja ydinsäteitä. Tästä syystä jääkin ydinsäteiden merkitys halkaisemiselle paljon pienemmäksi kuin yleensä otaksutaan ja voidaan yleensä sanoa, että suorakasvuinen ja pitkäsyinen puu halkeaa parhaiten.

ii. Työkalu muoto vaikuttaa halkeilevaisuuteen m.m. siinä, että kovia puulajeja halkaistaan edullisimmin kapeilla ja terävillä kiiloilla, jotavastoin pehmeille puulajeille on käytettävä paksuja ja tylsäkärkisiä kiiloja.

Puun halkeilevaisuudella on suuri käytännöllinen merkitys useimmille puuteollisuuden haaroille, mutta siitä huolimatta on se ominaisuus, jota on sangen vähän tutkittu ja jonka tutkimuksen suhteen ei edes ole päästy vakiintuneisiin menettelytapoihin.

Käytettyä kirjallisuutta:

- ARAGON, E.: Résistance des Matériaux, Appliquée aux constructions. Paris, Dunoud, 1925.
- BAUSCHINGER, J.: Einige Resultate über die Festigkeit von Bauhölzern. (Forstwissenschaftliches Zentralblatt, 1879.)
- Mitteilungen aus dem mechanisch-technischem Laboratorium der königl. technischen Hochschule zu München. Untersuchungen über die Elastizität und Festigkeit verschiedener Nadelhölzer. IX Heft. München, 1883 und XIX Heft. München 1887.
- BETTS, HAROLD S.: Timber, its strength, seasoning and grading. New-York 1919.
- BERGERON, L.: Calcul des charpentes d'après les méthodes nouvelles e.t.c. Paris 1925.
- BROWN, NELSON C.: An Analysis of Durability. Hardwood Record. March 25. 1913.
- BÜHLER: Untersuchungen über die Qualität des im lichten und im geschlossenen Stand erwachsenen Fichtenholzes. (Schweizerisches Zeitschrift für das Forstwesen 1889.)
- BÄSGEN, M.: Zur Bestimmung von Holzhärten. (Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen 1904.)
- CICSLAR, A.: Das Rotholz der Fichte. (Centralblatt für das gesammte Forstwesen 1896.)

- CLINE, GARVEY, MC, HEIM, A. L.: Tests of Structural timbers. Washington 1912. Forests Products Laboratory Series. Bulletin 108.
- DONNER: Die harte und weiche Seite der Kiefer. (Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen, 1875.)
- ENEROTH, O.: Vedens byggnad och egenskaper. (Handbok i Skogsteknologi.) Stockholm 1922.
- ENEROTH, O.; KINNMAN, G.: Vedens hållfasthet. (Handbok i Skogsteknologi.) Stockholm 1922.
- EXNER, W. F.: Versuch einer Theorie der Spaltfestigkeit und der Spaltwerkzeuge. Wien.
- FERNOW, B. E.: Vergleichung der Druckfestigkeit deutschen und amerikanischen Kiefernholzes. (Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 1898.)
- GAYER, K.: Untersuchungen über die Festigkeit der einheimischen Nadelhölzer. (Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 1887.)
- HADEK, A.; JANKA, G.: Untersuchungen über die Elastizität und Festigkeit der oesterr. Bauhölzer. I Fichte Südtirols. Wien 1900.
- HAMPEL, L.: Die Härte einiger Holzarten. (Centralblatt für das Gesamte Forstwesen 1882.)
- HARTIG, R.: Das Rotholz der Fichte. (Forstlich naturwissenschaftliche Zeitschrift 1896.)
- JANKA G.: Die Härte des Holzes. (Centralblatt für das Gesamte Forstwesen 1906.)
— Ueber Holzhärteprüfung. (S:moin 1908.)
— Untersuchungen über die Elastizität und Festigkeit der oesterr. Bauhölzer. II. Fichte von Nordtirol, vom Wienerwalde und Erzgebirge. Wien 1904.
— III Fichte aus den Karpathen, aus dem Böhmerwalde, Ternovanerwalde und Zentralalpen. Wien 1909.
- JENNY: Untersuchungen über die Festigkeit der Hölzer aus dem Ländern der ungarischen Krone. I Heft. 1873.
- KAYGORODOFF, D.: L'appareil pour mesurer la dureté des bois. St. Petersburg. 1878.
- KENNEDY, ALEXANDER BLACKIE WILLIAM: The Use and Equipment of Engineering Laboratories. London 1887.
- LANDOLT: Prüfung der Festigkeit und Elastizität der Bauhölzer. (Schweizerische Zeitschrift für das Forstwesen 1884.)
- LARIS, EUGEN: Rohholzgewinnung und Gewerbeigenschaften des Holzes. (Chem. techn. Bibliothek.) Wien und Leipzig 1909.
- MIKOLASCHEK, KARL: Untersuchungen über die Elastizität und Festigkeit der wichtigsten Bau- und Nutzhölzer Böhmens. Mitteilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Oesterreichs. Band II, Heft I. Wien 1879.
- NEWLIN, J. A.; WILSON, THOMAS R. C.: Mechanical properties of Woods grown in the U.S.A., Washington 1917.
- NÖRDLINGER, H.: Druckfestigkeit des Holzes. (Centralblatt für das gesammte Forst- und Jagdwesen 1882.)
— Festigkeit der Hölzer zu verschiedenen Jahreszeiten. (Zeitschrift der Gesamte Forstwesen 1880.)
— Grösserer Tagkraft im Lichstande erwachsenen Föhrenholzes. (Centralblatt für das Gesamte Forstwesen 1879.)

- NÖRDLINGER, H.: Zug-, Druck- und Beugungsfestigkeit der Hölzer. (Centralblatt für das Gesamte Forstwesen 1887.)
— Zug- und Säulenfestigkeit von Weymouthföhre. (Centralblatt für das gesammte Forstwesen 1877.)
— Säulenfestigkeit der Fichte und Lärche in der Richtung der Faser. (Centralblatt für das gesammte Forstwesen 1877.)
- RABOZÉE, H.: Cours de connaissance des materiaux. Tome I. Les métaux et les bois. Paris, Dunoud, 1925.
- RECORD, SAMUEL J.: Mechanical properties of wood. New-York 1917.
- RUDELOFF, M.: Bericht über die im Auftrage des Herrn Ministers für Landwirtschaft, Domänen und Forsten ausgeführten Holzuntersuchungen. Berlin 1889.
- SCHWAPPACH, A.: Amerikanische Untersuchungen über technische Eigenschaften des Holzes. (Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen 1899.)
— Untersuchungen über Raumgewicht und Druckfestigkeit des Holzes wichtiger Waldbäume . . . I Kiefer. Berlin 1897, II Fichte, Berlin 1898.
— Vergleichung der Druckfestigkeit deutschen und amerikanischen Kiefernholzes. (Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 1898.)
- STAHL, R.: Die sogenannte Hartseitigkeit des Holzes. (Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen 1880.)
- TETMAJER, L.: Methoden und Resultate der Prüfung der schweizerischen Bauhölzer. 1883.
- VESPERMAN, H.: Bauhölzer und ihre Verbreitung im Welthandel. Leipzig und Berlin 1914.
- WINN, WREN: Timber and their uses. London 1919.

D. Puun johtokyky.

Puun johtokykyä on tutkittu lämpöön, ääneen ja sähköön nähden.

1. Puun lämmönjohtokykyä

on ensimmäiseksi tutkinut prof. KNOBLAUCH. Tutkimukset suoritettiin seuraavalla tavalla: Valmistettiin puulevyjä, jotka olivat leikatut yhdensuuntaisesti ydinsäteiden kanssa. Näihin porattiin kohtisuora reikä. Tämän jälkeen päällystettiin levyt mahdollisimman tasaisella stearinikerroksella. Reijän läpi vedettiin sen täyttävä metallilanka, joka koko ajan pidettiin kuumana ja akselinsa ympäri kiertävässä liikkeessä. Steariini alkoi sulaa elipsinmuotoisina kuvioina, joissa pisin akseli puusyynsuuntaisessa leikkauksessa oli puusyiden pituussuuntaan. Tällä tavalla voitiin akselien pituuden perusteella määrätä, kumpaan suuntaan, puusyiden pituus- tai poikkisuuntaanko lämmönjohtokyky oli suurempi ja kuinka lämmönjohtokyvyt kummassakin suunnassa suhtautuivat toisiinsa. Lämmön johtokyky oli yleensä suurempi puusyiden pituussuuntaan; ja merkitsemällä lämmön johtokykyä poikkisuuntaan 1:llä ja laskeamalla tämän perusteella suhteellinen arvo johtokyvylle pituussuunnassa, saatiin suhdelukuja, joiden perusteella puut voitiin luokitella sopiviin luokkiin. Näistä mainittakoon seuraavat:

- I 1 : 1.25 Pockenholz, Robinia, puksipuu.
- II 1 : 1.45 Vaahtera, pyökki, valkopyökki, saarni, syreeni, tammi, jalava, mahonki y.m.
- III 1 : 1.60 esim. siperialainen hernepuu.
- IV 1 : 1.80 Kuusi, koivu, mänty, strobustmänty, haapa, pajut, lehmus j.n.e.

KNOBLAUCH'in koe oli monessa suhteessa puutteellinen, mutta jo sen kautta tulivat puulajit lämmönjohtokykyensä nähden verrattain oikein jaetuiksi. Jos yllä olevat luokat nim. numeroidaan siten kuin yllä on

tehty, edustaa luokka I parhaiten lämpöä johtavia puita ja luokka IV huonoimmin. Minkälaisista, kuivaa, tuoretta, huonekuivaa j.n.e. puuta KNOBLAUCH on käsitellyt, ei selviä hänen selostuksistaan. Absolutisina lukuina eivät hänen lukunsa myöskään pidä paikkaansa.

Oikeista luvuista antavat jonkun käsityksen seuraavat:

mänty: (DUFF'in mukaan):

syitä vastaan kohtisuoraan ... 1.0
syiden suuntaan 3.0

» (BARRATT'in mukaan)

syitä vastaan kohtisuoraan ... 1.0
syiden suuntaan 3.3

» (ENEROTH'in mukaan)

syitä vastaan kohtisuoraan ... 1.0
syiden suuntaan 3.3

Lämmönjohtokyky on siis huomattavasti pienempi poikin syitä kuin niitä pitkin. Tällä seikalla on käytännöllinen merkitys tehtäessä esim. kädensijoja sellaisiin metalliesineihin, jotka pidetään kuumina, esim. silitysrautoihin, pajatyökaluihin j.n.e. Tämä seikka selittää myös faneerin pienen lämmönjohtokyvyn kaikkiin suuntiin.

Puun pienestä lämmönjohtokyvystä antavat myös jonkunlaisen käsityksen MADISON-laboratoriossa ratapölkyillä tehdyt kokeet. KOEHLER'in mukaan täytyi ratapölkyjä (mittoja ei ole mainittu) lämmittää kyllästytyssä vesihöyryssä 5—8 tuntia 20—40 naulan paineen alaisina ennenkuin ne saavuttivat keskeltä saman lämpötilan kuin pinnaltakin.

Puun huono lämmönjohtokyky antaa puulle suuren arvon käytännössä. Siihen perustuu puun käyttö rakennuksiin, kellareihin, osaksi pakkauksiin, tulitikuiksi j.n.e. Tutkimukset ovat kuitenkin tällä alalla sangen alullaan ja esim. faneerin lämmönjohtokyky on vielä toistaiseksi lopullisesti tutkimatta.

2. Puun kykyä johtaa ääntä

on myös sangen vähän tutkittu. Myös tällä alalla on KNOBLAUCH tehnyt ensimmäiset tutkimukset. Niissä hän käytti hyväkseen edellämaintua luokittelua puun lämmönjohtoon nähden. Hän valmisti kustakin puulajista koetankoja, joiden äänenjohtokykyä hän kokeili ääniraudan avulla. Miten kokeet muuten suoritettiin, ei hänen esityksestään lähemmin selviä.

Jokatapauksessa mainitsee KNOBLAUCH tulleen siihen tulokseen, että ne puut, jotka parhaiten johtavat lämpöä, johtavat myös parhaiten ääntä ja että äänenjohtokyky on suurempi puusyiden pituus- kuin poikkisuunnassa.

KNOBLAUCH'in mielestä on puun äänen-johtokyvyllä suuri merkitys puun laadun arvostelemisessa. Käytännössähän arvostellaan puun vikoja esim. sen äänen perusteella, jonka puu antaa sitä esim. kirveepohjalla iskettäessä. Mutta KNOBLAUCH meni vielä pitemmälle. Sen jälkeen kuin hän oli todennut puun lämmönjohtokyvyn ja puun sähkönjohtokyvyn analogisuuden, tutki hän määrittelemiensä lämmönjohtokykyä osottavien lukujen suhdetta puun taipuvaisuuteen, jonka viimeainitun määräämisessä hän ei kuitenkaan käyttänyt luotettavaa tapaa. Hän tuli siihen johtopäätökseen, että pieni lämmönjohtokyky vastaa pientä taipuvaisuutta ja että luonnollisesti huono äänenjohtokykykin voidaan pitää tässä suhteessa mekaanillis-teknillisiltä ominaisuuksiltaan vähempiarvoisen puun merkinä.

Selvää on, että KNOBLAUCH meni otaksumisissaan liian pitkälle, ja sitäpaitsi hän jätti tutkimuksissaan kokonaan huomioonottamatta puun vesipitoisuuden merkityksen puun sekä äänen että lämmönjohtokykyyn nähden, joten hänen tutkimuksensa ovat monessa suhteessa jääneet epäpäteviksi. Mutta joka tapauksessa on KNOBLAUCH tuonut esille ajatuksia, jotka ovat tutkimuksenarvoisia ja joiden pohjalla varsinkin nykyisiä apuneuvoja käyttäen voidaan saada paljon aikaan. Puun tutkiminen »stetoskoopilla» on varmasti tulevaisuuden näköala sekin ja sopivien sääntöjen laatiminen tällä alalla on varmasti yksi metsäteknologisen tutkimuksen läheisen tulevaisuuden tehtäviä.

Hyvää äänenjohtokykyä sinänsä ei suinkaan, kuten KNOBLAUCH on otaksunut, voida pitää minään toivottavana puun ominaisuutena. Päinvastoin asetetaan kaikille rakennusaineille se vaatimus, että ne johtaisivat mahdollisimman vähän ääntä.

Lämmön- ja äänenjohtokyvyllä on kuitenkin yhteiset ilmiönsä niin kuin KNOBLAUCH väittää ja hänen ansiokseen voidaankin lausua se, että hän on ensin todennut, että puun äänenjohtokyky on pienempi puusyiden poikki- kuin pituussuuntaan ja että yleensä kova ja raskas puu johtaa paremmin lämpöä ja ääntä kuin keveä ja pehmeä. Tällä on lausuttu jokseenkin sama seikka kuin BARRATT'in lausumalla säännöllä, että puun lämmönjohtokyky on kääntäen verrannollinen sen huokosten kuutioon.

3. Puun kykyä johtaa sähköä

on sangen vähän tutkittu. Senverran tiedetään (MAYR, KOEHLER y.m.), että puu on huono sähköjohtaja. Jos on kysymys virroista, joiden volttimäärä on pieni, niin voidaan puuta pitää isolaatorina. Tämä pitää paikkansa ainakin keveisiin puulajeihin nähden ja yleensä voidaan sanoa, että keveät puulajit johtavat sähköä huonommin kuin raskaat. Mutta tässä suhteessa ei luokittelu kuitenkaan ole läheskään yhtä selvä kuin esim. puiden lämmön- ja äänenjohtokykyyn nähden. Niinpä onkin poikkeuksia sangen paljon. Verrattain huonoja sähkönjohtajia ovat esim. pockenholz ja ebenholz ja monet muut raskaat puulajit. Mänty on huonompi sähkönjohtaja kuin hopeakuusi j.n.e.

Ne kokeet ja tutkimukset, joita tällä alalla on tehty MADISON-laboratoriossa, ovat osottaneet, että puun paino sekä samalla puun rakenteen tiheys, (tiheät vuosirenkaat, pienet solut) merkitsee yleensä hyvää sähkönjohtokykyä, jotavastoin päinvastaiset ominaisuudet merkitsevät huonoa. Edelleen on todettu, että kosteus lisää puun sähkönjohtokykyä. Samoin lisäävät sähkönjohtokykyä eräät metalliset impregnoimisaineet, esim. sinkkikloridi ja kuparisulfaati.

Puun sähkönjohtokykyä taas vähentävät seuraavat seikat: puun impregnoiminen öljymäisillä aineilla (kivihiiliterva, kreasootiöljy), puun siveleminen öljyväreillä, tervalla j.n.e. Sama vaikutus on luonnollisesti puussa itsessään löytyvillä öljyillä ja samaten vähentävät myös hartsit ja pihka puun sähkönjohtokykyä.

Käytännöllisenä johtopäätöksenä yllä olevista tutkimuksista voitane tässä yhteydessä mainita, että esim. metalli-suolaliuosten käyttö korkeajännitysjohtojen impregnoimisaineina on hyljättävä, sillä etenkin sade-ilmoilla voivat tällaiset pylvää käydä hengenvaarallisiksi. Yleensäkin on jo vaarallista sade-ilmalla koskettaa korkeajännitys-johtopylvästä.

Puun sähköjohtokyvyn tutkimuksella on suurempi käytännöllinen merkitys kuin yleensä edellytetään. Täydellisesti tehokkaiden puisten isolaattorien aikaansaaminen on yksi tulevaisuuden tärkeimpiä tehtäviä sähköalalla, sillä puiset isolaattorit ovat keveitä, niitä voidaan verrattain helposti muovilla haluttuun muotoon eikä niitä voida yhtä helposti särkeä kuin esim. lasisia isolaattoreita, sitäpaitsi on puisten isolaattorien kiinnittäminen seinään, pylvääseen j.n.e. helpompaa kuin lasisen. Hyvin suuri isoleeraava kyky on pihkaisten tai rasva-aineita sisältävien puiden kesäpuulla ja senvuoksi onkin kokeiltu tämän erottamista erilleen

hienona faneerilevynä sekä tällaisten levyjen kiinnittämällä toisiinsa sopivaa eristyspuuaineen aikaansaamiseksi.

Mutta myös toisessa suhteessa, jonkun esimerkin mainitaksemme, voi puun huonosta lämmönjohtokyvystä olla hyötyä. Ajatellaan, että puu on tehty sellaiseksi, ettei se pala korkeissa lämpö määrissä. Tällöin on hyvin edullista sähkövirran avulla lämmittää puulevyjä ja käyttää näitä lämmitettyjä levyjä hyväkseen esim. lämpökaapeissa, sillä ne säilyttävät kauan lämpönsä.

Käytettyä kirjallisuutta:

- BARRATT, T.: Thermal conductivity. Proceedings Physical Society of London, vol. 27 1914.
 DUFF, A. W.: Textbook of Physics 1910.
 ENEROTH, O.: Op. cit.
 KNOBLAUCH, H.: Die Wärmeleitungsfähigkeit des Holzes. Die Kunst- und Gewerbeblatt 1858.
 — Die Wärme- und Tonleitungsfähigkeit des Holzes. Poggendorf's Annalen 1858, N:o 12.

IV. Yleissilmäys puun mekaanillis-tekniillisten ominaisuuksien tähänastiseen tutkimukseen sekä tutkimuksen tehtäviin lähitulevaisuudessa.

Siitä huolimatta, että puun mekaanillis-tekniillisiä ominaisuuksia on jo vuosisadat tutkittu, on tällä alalla paljon ratkaisemattomia kysymyksiä. Toiselta puolen taas on tutkimustyön kautta tällä alalla saavutettu monessa yleistä luontoa olevassa seikassa sangen johdonmukainen varmuus.

Tässä suhteessa on mainittava, että, kuten edellä on selvinnyt, DUHAMEL DU MONCEAU ja NÖRDLINGER jo pääpiirteissään määrittelivät puiden ominaisuudet. Tämän jälkeen esiintyi niistä useampia järjestelmiä, jotka pääasiassa olivat yhtäpitäviä NÖRDLINGER'in järjestelmän kanssa. Näistä järjestelmistä on edellä täydellisyyden vuoksi mainittu EXNER'in järjestelmä.

EXNER'in järjestelmää lähellä on amerikalaisen KOEHLER'in järjestelmä, jonka tekijä asettaa tavallaan esityksensä pohjaksi. Tekijä esittää kuitenkin samalla oman määritelmänsä siitä, mitä puun mekaanillis-tekniillillä ominaisuuksilla tarkoitetaan, nim. sen, että puun mekaanillis-tekniillillä ominaisuuksilla ymmärretään niitä tekniillisesti merkityksellisiä puun ominaisuuksia, joiden toteaminen tapahtuu pääasiassa mekaanista tietä.

Tämän jälkeen toteaa tekijä, että puiden ominaisuuksien jaotus usein on johtanut tautologiaan, niin että esim. sellaiset ominaisuudet kuin sitkeys, notkeus, halkeilevaisuus, kovuus y.m. ovat käsitellyt eri ominaisuutena kuin lujuus, vaikka ne selvästi ovat puun lujuusominaisuuksia. Myös muiden ominaisuuksien suhteen voidaan todeta samaa, joten tekijä on sitä mieltä, että on oikeampaa ja johdonmukaisempaa supistaa puun ominaisuuksien käsittely mahdollisimman harvoihin päälajeihin. Tällä tavalla erottaa tekijä ainoastaan neljä puhtaasti mekaa-

nillis-teknillistä puun ominaisuutta, nim. 1) puun painon, 2) puun vesipitoisuuden, 3) puun lujuuden ja 4) puun johtokyvyn. Tämän jaoituksen suhteen on nimenomaan huomattava, että se käsittää puhtaasti mekaanisella tavalla todettavat ja tutkittavat ominaisuudet. Siitä on siis esim. poissa kiilto, sillä se riippuu kemiallisesti todettavista seikoista ja samoin väri, jonka suhteen myös voidaan sanoa samaa. Edelleen on huomattava, että jaoitus käsittää ainoastaan tärkeimmät ja parhaiten tunnetut ominaisuudet, joten sen laajentaminen joka tapauksessa on edellytetty. Tekijä väittää kuitenkin, että hänen erottamansa mekaanillis-teknilliset ominaisuudet muodostavat luonnollisen kokonaisuuden m.m. sen perusteella, että niiden voidaan todeta riippuvan pääasiallisesti samoista seikoista.

Ne seikat taas, joista puiden mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien on todettu riippuvan, ovat pääasiallisesti seuraavat:

- a. Puun maantieteellinen levenemisalue, erittäinkin maanosa.
- b. Puun horisontaalinen leveneminen.
- c. Puun vertikaalinen leveneminen.
- d. Puulaji.
- e. Kasvupaikka (maan laatu).
- f. Puun asema metsikossa.
- g. Koekappaleen asema puussa.
- h. Puun anatoominen rakenne.
- i. Puun viat.
- j. Puun ikä.
- k. Puun kaatoaika (vuoden aika, vuorokauden aika).
- l. Puun käsittely (kuivuus, kuoriminen, uitto j.n.e.).
- m. Ilman kosteus.
- n. Maan kosteus.
- o. Puun väriaine- ja hartsipitoisuus.
- p. Puun elintoiminnat (haihtumisvirtaukset y.m.).
- g. Puuta ympäröivän ilman lämpötila.
- r. Puun lämpötila.
- s. Toisten kasvien ja eläinten mekaaninen vaikutus.

Näiden lisäksi on vielä mainittava ilmanpaine, jonka vaikutukseen ei edellisessä tosin ole viitattu, vaan jonka vaikutuksen, esim. puun uppoamiseen nähden, DUHAMEL DU MONCEAU ja DALIBARD ovat todeneet.

Se, että kutakin puun ominaisuutta edellisessä käsiteltäessä ei ole todettu, miten kukin ylläolevista seikoista siihen vaikuttaa, riippuu siitä, että tutkimuksia ei kaikkii näihin seikkoihin nähden vielä ole läheskään tehty.

Ylläolevilla seikoilla on siis merkitystä puiden mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiin ja tekijän mielestä onkin yksi lähitulevaisuuden tärkeimmistä tehtävistä metsäteknologisen tutkimuksen alalla todeta, miten kukin näistä tekijöistä niihin vaikuttaa.

Yleisesti voidaan niiden suhteen mainita seuraavaa:

a. Puun maantieteellinen leveneminen, erittäinkin maanosa vaikuttaa tavalla, jonka syitä ei ole voitu selittää, puun mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiin. Esimerkkinä tästä voitaisiin mainita europalaisten ja amerikalaisen puulajien ominaisuuksien suhde toisiinsa. Niinpä ne amerikalaiset puulajit, jotka lähinnä muistuttavat jotain europalaista puulajia, yleensä osottavat hieman erilaisia ominaisuuksia kuin ne. Niinpä ovat esim. amerikalaiset puulajit keveämpiä kuin vastaavat europalaiset (pyökit, tammets, jalavat, lehtikuuset, lepät, kuuset y.m.), niin että mänty on melkein ainoa puulaji, jonka ominaispaino molemmissa maanosissa on miltei sama. Lujuusominaisuuksien suhteen taas tämä vertailu jäi epävarmaksi m.m. sen vuoksi, että kokeet ovat suoritettut eri olosuhteissa (erilaiset koekappaleet, eri vesipitoisuus j.n.e.), mutta yleensä näyttää siltä kuin amerikalaisen puulajien lujuusominaisuudet pienestä painostaan huolimatta ylittäisivät europalaisten (pääasiallisesti keskieuropalaisten) puiden vastaavat ominaisuudet.

b. Puun horisontaalinen leveneminen ei ole sama asia kuin edellämainittu, sillä ne amerikalaiset puulajit, joita edellä on verrattu europalaisein, ovat voineet olla suunnilleen samoilta leveysasteilta. Horisontaalisen levenemisen vaikutuksesta on MAYR lausunut optimilakinsa. Mikä on jonkun puulajin optimum, on MAYR'ilta jäänyt määrittelemättä. Optimum voi olla esim. se alue, jossa puulaji jollain tyypillä vississä iässä ollessaan ja vissillä tavalla hoidettuna saavuttaa suurimman kuutiomäärän hehtaarilla, se voi olla se alue, jossa puulaji saavuttaa suurimman pituutensa (esim. suurimman valtapuiden pituuden), se voi olla myös se alue, jossa joku puulaji saavuttaa suurimman siemensadon tai parhaiten luontaisesti uudistuu. Jos esim. tarkastetaan puun ominaispainotutkimuksia, niin huomataan, että esim. suomalaisten ja saksalaisten puiden (sama puulaji) painot eroavat sängen vähän toisistaan (koivu Saksassa on keveämpää). Jos taas verrataan suomalaisten ja venäläisten puiden painoja toisiinsa, niin huomataan, että Pohjois-Venäjällä samat

puulajit ovat yleensä raskaampia kuin Suomessa. Huomattavasti raskaampaa on lehtikuusi, mutta myös männyn ja kuusen paino on Venäjällä suurempi kuin Saksassa ja Suomessa. Ainakin mänty ja kuusi saavuttavat Saksassa suurempia kuutiomääriä ja suurempia pituuksia kuin Venäjällä. Näin ollen näyttäisi ensi silmäyksellä siltä kuin MAYR'in optimiteoria ei tässä suhteessa pitäisi paikkaansa. Mutta tosiasiaa onkin mainituilla puulajeilla, varsinkin lehtikuusella, Venäjällä optimum'insa vississä merkityksessä nim. siinä, että puut siellä, varsinkin lehtikuusi, saavuttavat kauneimman runkomuotonsa.

Metsäteknologisen tutkimuksen nykyisellä kannalla ollen ei yllämainitun optimum-lain suhteen luonnollisesti voida mitään varmaa sanoa, mutta tekijä rohkenee lausua sen otaksunan, että tässä tapauksessa on optimum'illa ymmärrettävä sitä leveysastetta, jossa puu saavuttaa kauneimman runkomuotonsa ja jossa jonkun puulajin muodostamasta metsikosta saadaan suurin kuutiomäärä oksatonta runkopuuta hehtaaria kohti.

c. Puun vertikaalisen levenemisen vaikutus puun ominaisuuksiin on toistaiseksi jäänyt tutkimatta. Selvää on, että sitä voidaan tutkia ainoastaan silloin kuin vuoristo ja laakso ovat lähellä toisiaan ja kun on kysymys samasta puulajista muuten samoissa olosuhteissa. Näitä vaatimuksia eivät kuitenkaan mitkään tällä alalla tehdyt tutkimukset täytä, joten johtopäätökseksi jää otaksuma, että tälläkin seikalla on määrätty vaikutuksensa, joka toistaiseksi on äärimmäisyystapauksissa voitu todeta puun painoon nähden siten, että puu on lähellä lumirajan ja viljavissa laaksoissa keveämpää (kuiva paikka) kuin rinteillä, ja puun lujuteen, varsinkin puristuslujuuteen, nähden siten, että vuoriston ylimmillä osilla rungon ala-osat huomattavasti alkavat lujeta, mutta, että muuten puu on raskainta sillä vertikaalisella tasolla, missä sen runkomuoto on kaunein.

d. Puulajin vaikutus, puun mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiin on kaikkein aikaisimmin tunnettu. Se on siksi huomattava, että kullakin puulajilla on omat tarkoin määriteltävät mekaanillisteknilliset ominaisuutensa ja että kullekin puulajille ominaisella rakenteella tässä suhteessa on ratkaiseva merkitys.

e. Kasvupaikan (maanlaadun, metsätyypin) suhteen voidaan oikeastaan sangen vähän tehdä yksityiskohtaisia johtopäätöksiä. Sen verran voidaan kuitenkin sanoa, että mekaanillis-teknillisessä merkityksessä parasta puuta ei saada parhailta maanlaaduilta eikä myöskään

huonoimmilta, vaan maanlaaduilta, jotka edustavat jotain hyvyysastetta näiden välillä. Tällöin on kuitenkin huomattava, että tällaisiin tuloksiin ovat johtaneet m.m. tutkimukset erittäin hyvillä mailloilla (entisillä pelloilla, puutarhoissa, lehtokujissa kasvaneiden puiden perusteella tehdyt), joten ei löydy selvyyttä siitä, mikä on asianlaita meidän absoluutisilla metsämaillamme. Edelleen ovat maanlaadut tähän asti tehdyissä tutkimuksissa sangen epämääräisesti määritellyt, joten esim. eri tutkijoiden tutkimusten vertailu keskenään on tässä suhteessa sangen epävarma. Tekijän mielestä on todennäköistä, että metsätyyppi ainakin meidän ja Skandinaavian oloissa tulee tekemään mahdolliseksi tutkimukset, joita voidaan verrata toisiinsa, ja edellä onkin, esim. painoon ja vesipitoisuuteen nähden todettu metsätyypistä riippuva vaihtelu.

f. Puun aseman metsikossa vaikutus on jo tähänastisissa tutkimuksissa sangen selvästi todettu. Tämä riippuu siitä, että tällä alalla jo aikaisin on apuharvennuskokeiden yhteydessä saatu aikaan pätevä luokittelu. Myös tässä suhteessa näyttää vallitsevan jonkunlainen kultaisen keskitien laki, niin, että mekaanillis-teknillisiltä ominaisuuksiltaan parhaita puita ei löydetä suurimmaksi osaksi vallitsevista eikä myöskään täydelleen vallituista puista vaan näiden välillä olevista luokista. Poikkeuksen tässä suhteessa tekee puun vesipitoisuus, joka jokseenkin varmasti vähenee vallittuihin luokkiin päin. Lujuusominaisuuksien yksityiskohdissa voidaan myös tavata tässä suhteessa poikkeuksia, mutta suurena sääntönä pitää näidenkin suhteen yllä esitetty paikkansa.

g. Koekappaleen asema puussa on seikka, jolle jo aikaisin on annettu huomiota, sillä sen vaikutusta tutkimalla on etsitty vastausta kysymykseen siitä, mistä osasta runkoa saadaan kuhunkin mekaanillis-teknilliseen tarkoitukseen soveliaain puuosa. Tällöin on selvinnyt, että runkopuun oksaton osa yleensä on soveliaain useimpiin tarkoituksiin, joihin hyvää puuta vaaditaan. Oksattoman puuosan alin osa, tyvipaksunema, on yleensä mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiinsa nähden parasta puuta. Mitä taas tulee koekappaleen asemaan ytimeen nähden, niin on siinä suhteessa ainakin lujuusominaisuuksiin nähden todettavissa, että paras puu saadaan pintapuusta.

h. Puun anatoomisesta rakenteesta voidaan usein jo silmääärällä päättää puun laatu. Erikoisen suuri merkitys on tässä suhteessa annettava suurelle kesäpuu-%:ille sekä vuosilustojen leveydelle. Näihin seikkoihin perustuvalla sorteerauksella voidaan (esim. Amerika) jo jakaa puut ryhmiin, joiden mekaanillis-teknilliset ominaisuudet voi-

daan likiarvoisesti tuntee ilman, että yksityiskohtaisia kokeita täytyy tehdä. Useimmissa tapauksissa merkitsee myös säännöllinen, suora, kasvu, pitkät (diametriinsa verrattuina) trakeiidit tai libriform-solut mekaanillis-teknillisiin tarkoituksiin edullista puuta.

i. Puun vikat alentavat luonnollisesti niiden mekaanillis-teknillisiä ominaisuuksia. Ainoa vika, jonka merkitys tässä suhteessa on selvittämätön, on sinistynyt puu, jonka suhteen on osotettu, että sen lujuusominaisuudet ainakin kuivana ovat samat kuin terveenkin puun. Selvää on myös, että visamuodostumat, lyly j.n.e. erinäisissä tapauksissa kohottavat puun mekaanillis-teknillisiä ominaisuuksia.

j. Puun ikä vaikuttaa luonnollisesti ainoastaan välillisesti puun mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiin. Voidaan sanoa, että puulla yleensä on sellainen ikä, jonka kohdalla sen mekaanillis-teknilliset ominaisuudet kulmineeraavat. Mikä tämä ikäkausi yleensä on, siitä eivät tähän asti tehdyt tutkimukset anna pätevää selvyyttä, mutta yleensä on nuoren ja yli-ikäisen metsän puu-aine huonompaa kuin metsän, jonka ikä lankeaa näiden, tosin sangen laajojen, rajojen väliin.

k. Puun kaatoajan merkitys tässä suhteessa on vaikea selvittää senvuoksi, että on sangen vaikea eliminoida monesta muusta vaikuttavasta tekijästä kaatoajan merkitys erilleen. Puun kemiallisiin ominaisuuksiin nähden, esim. sen kestävyys, on kaatoajan merkitys voitu selvään todeta. Mitä taas mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiin tulee, niin on kaatoaikakysymystä sangen vaikea erottaa puun kuivattamiskysymyksestä. Sen verran on kuitenkin voitu todeta, että kaatoajalla on merkityksensä puun veden läpäisemiskykyyn nähden, niin että tämä on selvästi pienimmillään alkutalvesta (joulu- ja tammikuussa).

l. Puun erilainen käsittely, kuoriminen, kuivaaminen, halkaiseminen j.n.e. vaikuttaa sangen suurella määrällä kaikkiin puun mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiin, joita tarkoituksenmukaisella käsittelyllä voidaan sangen huomattavassa määrällä parantaa. Tällä seikalla onkin käytännössä ratkaiseva merkitys ja voidaankin sanoa, että puusta, jonka ominaisuudet kaataessa eivät olekaan ensiluokkaiset voidaan aina tarkoituksenmukaisen käsittelyn kautta saada hyvää ja käyttökelpoista tarvepuuta.

m. ja n. Ilman ja maaperän kosteus lisäävät puun vesipitoisuutta ja saavat tässä suhteessa aikaan ne muutokset puun mekaanillis-teknillisissä ominaisuuksissa, joita suurempi kosteus aiheuttaa. On kuitenkin huomattava, että ilman suhteen tällöin otetaan huomioon relatiivinen kosteus ja maaperän suhteen fysiologinen kosteus. Pieni

relatiivinen kosteus ilmassa ja fysiologinen kuivuus maaperässä merkitsevät tässä suhteessa sitä, että puu on luettava kuivassa ilmassa resp. maaperässä kasvaneeksi.

o. Puun suurempi väriaine- ja hartsipitoisuus merkitsevät yleensä hyvää puuta. Tällöin on luonnollisesti väriainepitoisuuden nähden otettava huomioon, että väri ei johdu puun sairauksista ja hartsipitoisuuden voidaan sanoa kohottavan puun mekaanillis-teknillisiä ominaisuuksia vasta sitten kuin pihka on täydellisesti hartsiksi oxideeraantunut.

p. Puun elintoimintoja tarkastamalla voidaan myös tehdä johtopäätöksiä sen mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien suhteen. Säännöllisyys puun elintoiminnoissa on yleensä takeena siitä, että puusta saadaan hyvää puuainetta. Liika kiivaat elintoiminnat, jotka esim. ilmenevät puun lehdistön luonnottomana suuruutena, liika runsaina ja liika suurina neulasina, tai päinvastoin liika hitaat elintoiminnat, antavat aina aihetta otaksumaan, että puusta ei saada hyvää puuainetta. Toiselta puolen voidaan puun elintoimintoja järjestämällä, esim. kuorimalla puu pystyyn lisätä puun ominaisuuksia esim. lujuutta, painoa j.n.e.

q. Puuta ympäröivän ilman lämpötila tai oikeammin sen vaihtelut antavat myös jonkun verran ohjetta puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien arvostelemiseen. Niinpä esim. siellä, missä vuoden aikaiset lämmönvaihtelut ovat hyvin suuret ja äkilliset (kylmä talvi, kuuma kesä), puissa esiintyy enemmän halkeamia kuin siellä, missä asianlaita on päinvastainen. Vuorokautisten lämmönvaihtelujen vaikutus taas on toinen, sillä niiden suhteen voi puu paremmin suojella itseään ja ei ole mahdollista, että esim. troopillisten seutujen puiden suuri paino ja suuret lujuusominaisuudet ovat osaksi juuri tästä seikasta riippuvaisia.

r. Puun lämpötila on seikka, joka aina on otettava huomioon, kun puun mekaanillis-teknillisiä ominaisuuksia tutkitaan. Sen merkitys puun painoon riippuu puun lämmönvaihteluista johtuvasta ko'on muutoksesta ja on tarkoilla mittauksilla helposti todettavissa. Samoin ovat luonnollisesti lujuusominaisuudet aivan erilaiset, jos ajatellaan, että kahdesta aivan samanlaisesta puusta toinen asetettaisiin ulkoilmaan ja toinen esim. lämpimään tehdasrakennukseen. Kovuuden suhteen huomataan puun lämpötilan vaikutus kaikkein selvimmin.

s. Toisten kasvien ja eläinten vaikutus puun mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiin on laaja kysymys, jonka käsittelyn voimme tässä yhteydessä sivuuttaa, sillä se ei oikeastaan kuulu metsäteknologian alaan.

Edellisestä on selvinnyt, että tällä alalla on paljon ratkaisematonta. Käsiteltäessä metsäteknologisen tutkimuksen tehtäviä lähiaikoina, on luonnollisesti otettava huomioon se seikka, että tällä alalla löytyy paljon erikoiskysymyksiä, joiden käsittelyllä ei ole yleistä merkitystä, ja sen vuoksi onkin seuraavassa rajoitettu niihin kysymyksiin, joilla on yleinen arvo ja joiden ratkaisulla samalla on käytännöllistä merkitystä.

Tutkittavista kysymyksistä ovat tärkeimmät.

- a. Optimum-laki puun mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiin nähden.
- b. Metsätyypin merkitys mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiin.
- c. Puun anatoomisen rakenteen merkitys puun mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiin.
- d. Puun rungon eri-osien mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien vertaileva tutkimus.

e. Puun käsittelyn merkitys sen mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiin.

a. Optimum-lain suuripiirteinen paikkansa pitäväisyyttä niissä rajoissa, jotka edellä sekä kutakin ominaisuutta erikseen käsiteltäessä että viimeksi ss. 169—170 ovat esitetyt, ei kukaan epäile, mutta toistaiseksi ei Europassa eikä Amerikassakaan löydy tutkimuksia siitä, millä alueilla löytyvät kullakin metsätyypillä kaunisrunkoisimmat ja yleensä mekaanillis-teknillisten ominaisuuksiensa puolesta parhaat puut. Selvää on, että yleisen kaavan laatiminen, jonka perusteella ominaisuuksien kokonaissummaa arvosteltaisiin, on sängen vaikea, mutta ottamalla perusteeksi juuri ne ominaisuudet, joilla on suurin merkitys tekniikassa ja siis myös puutavarakaupassa, voitaneen todeta, millä seuduilla on kunkin puulajin mekaanillis-teknillinen optimum. Tällaisella tutkimuksella tulisi epäilemättä olemaan suuri käytännöllinen merkitys, varsinkin, jos se samalla käsittäisi jonkun verran yksityiskohtaisia tietoja yksityisistä kaupallisesti ja teknillisesti tärkeimmistä ominaisuuksista.

Jos ajatellaan omia olojamme, niin emme esim. tiedä, halkeavatko Etelä-, Keski- tai Pohjois-Suomen puut parhaiten, emme tiedä, mistä meidän on hankittava esim. parhaat puut katto- ja siltakonstruktioihin, mistä parhaat puut lattioihin j.n.e. Kaikkiin tällaisiin kysymyksiin antaisi jo optimum-kysymyksen ratkaisu selvän vastauksen. Kaikki, mitä puiden ominaisuuksista tiedetään, viittaa mahdollisimman suurella varmuudella tällaisen optimum'in olemassaoloon, mutta toistaiseksi ei ole voitu sitä tarkoin määrittellä eikä rajoittaa.

b. Metsätyypin merkitys puiden mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiin, on seikka, jonka tutkimuksella tulee olemaan suuri käy-

tännöllinen merkitys. Sitä voidaan samoin kuin edellistäkin milt'ei lisävaivatta tutkia muiden kysymysten yhteydessä. Tarvitsee ainoastaan vaivautua merkitsemään, miltä metsätyypiltä koekappale on otettu. Tämän tutkimuksen yhteydessä tulee selviämään paljon käytännöllisesti arvokkaita seikkoja, esim. sellaisia kuin, mistä saadaan paras faneeripuu, mistä saadaan oksattomin sahapuu, mistä saadaan halkeamattomin mänty, mistä saadaan paras lentokonepuu (kevein ja samalla lujin) j.n.e. Tämän sekä edellisen seikan tarpeellinen selvittäminen tulee tuottamaan m.m. puutavarakaupan, sekä kotimaisen että ulkomaisen, suhteen suuria etuja. Puutavara-eriä kaupalle tarjottaessa käy välttämättömäksi ilmoittaa, millaisella tyyppillä puu on kasvanut ja puutavaraa ulkomaille myydessä tullaan panemaan huomiota sille seikalle, mistä puu on kotoisin ja täten luokitaneeksi puu paljon tarkemmin ja luotettavammin kuin nykyään.

c. Puun anatoominen rakenne. Tässä suhteessa on Amerikassa jo päästy pitkälle. Siellähän ovat käytännössä n.k. *density rules*, s.o. säännöt siitä, miten jo paljaalla silmällä tarkastaen voidaan päättää, mikä on vuosirenkaassa kevät- ja kesäpuun suhde. Nämä säännöt perustuvat puun painoon absolutisesti kuivana ja on niillä suuri merkitys puutavaraa eri tarkoituksiin valittaessa. Niinpä esim. rakennuspuuksi ei kelpaa puu, jonka vuosirenkaissa on vähemmän kuin 33 % kesäpuuta. Samanlaisten sääntöjen laatiminen, sinistymisen oksaisuuden, oksakehien välimatkan, vuosilustojen keskimääräisen leveyden, sydän- ja pintapuumäärän y.m. seikkojen perusteella kuuluu tämän alan tutkimukseen. Tämän tutkimusalan tarkoituksena voidaankin sanoa olevan puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien yhteydessä olevien tärkeimpien anatomisten ominaisuuksien tarkan selville ottamisen sekä niiden seikkojen määräämisen, joiden perusteella nämä voidaan helpoimmin silmämäärällä tai joitakin aivan yksinkertaisia koetusmenetelmiä käyttäen todeta.

d. Puun rungon eri osien mekaanillis-teknilliset ominaisuudet verrattuna toisiinsa ovat pääkohdiltaan tunnetut, mutta sitävastoin ei ole ulotettu tutkimusta yksityisiin puulajeihin eri metsätyypeillä. Tunnettuahan on, että esim. ei ole olemassa selvyyttä siitä, miltä kohtaa puu on katkottava, jotta se voitaisiin jakaa lujuudeltaan samanarvoisiin osiin, ei ole myöskään selvitystä siitä, miten puu olisi katkottava, jotta sen uimiskyky olisi parhain. Voidaanpa sanoa, ettei tiedetä niinkään yksinkertaista seikkaa kuin sitä, miten sahapuu on katkottava, jotta sen tyviosasta saataisiin lujin parru ja latva-osasta lujin propi. On siis selvää, että myös tämä ala tarjoaa alaa tärkeille

tutkimuksille, ja ovat ne luonnollisesti suoritettavat siten, että niiden tulokset niinkuin edellisessäkin päättyvät johonkin helposti määrättävään karakteristikaan.

e. Puun käsittelyn merkitystä sen mekaanillis-teknillisiin ominaisuuksiin on mitättömän vähän tutkittu. Tällä alalla on kysymyksien lukumäärä legio. Mainittakoon tässä ain. muutama esimerkki: miten on puu kuorittava, jotta se saavuttaisi mahdollisimman suuren vetolujuuden, kummalla puulla on suurempi puristuslujuus 1 vai 2 vuotta uitetulla, kumpi puu on lujempaa uuni- tai ilmakuivattu, kumpi puu katkeaa helpommin laikuittain tai spiraaliin kuorittu, kumpi puu uppoaa vähemmän alku- vai loppupalvesta kaadettu j.n.e. Samalla kertaa, kun täten voidaan todeta monta käytännöllisesti tärkeätä seikkaa, on myös toiselta puolen huomattava, että puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkimuksella on ainoastaan sikäli arvonsa kuin puun käsittely on kuhunkin koekappaleeseen nähden tarkoin määritelty.

Puun mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkiminen on Euroopassa vielä toistaiseksi ollut sangen teoreetista. Tutkimukset ovat johtaneet sangen laihoihin käytännöllisiin tuloksiin ja siitä on ollut m.m. seurauksena se, että puu-ainetta on käytetty sangen haaskaavasti. Sallittu kuoritus esim. on ollut ain. $\frac{1}{10}$ lujuudesta, joka luonnollisesti merkitsee sitä, että puukonstruktioihin on käytetty paljon enemmän ja suurempia puita kuin olisi ollut tarpeellista, jos puiden ominaisuudet olisi tarkkaan tunnettu.

Aivan toiselta ja paljon käytännöllisemmältä kannalta on MADISON-laboratorio ottanut asian. Sielläkin tehdään koneellisia tutkimuksia pienille, mutta samalla myös suurille koekappaleille, mutta tutkimustuloksien korrelatio sellaisiin seikkoihin nähden kuin yllä on mainittu otetaan samalla selville ja niin voidaankin tutkimustuloksia käyttää perusteena laadun mukaiselle lajittelulle.

Juuri tämä seikka, nim., että puiden mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tulee johtaa lajitteluun, on käytännöllisesti tärkein kaiken puun mekaanillis-teknillisen tutkimuksen alalla. Sellaisen lajittelun aikaansaaminen, josta puun mekaanillis-teknilliset ominaisuudet parhaiten kuvastavat, on tehtävä, jota puun mekaanisen teknologian on lähiaikoina koitettava ratkaista.

Tämän yhteyteen on itse asiassa asetettava myös MADISON-laboration tutkimukset puukonstruktioista, puu-esineistä ja puu raaka-aineista. Samantapaisten tutkimusten aikaansaaminen on meilläkin ylen tärkeä

ja kaikkein tärkein on tätä nykyä ehkä suomalaisen koivufanerin ja siitä tehtyjen valmisteen mekaanillis-teknillisten ominaisuuksien tutkiminen. Näistä mainittakoon erikoisesti fanerin lämmön- ja sähköjohtokyvyt, fanerin vetolujuus, joka todennäköisesti tulee suuressa määrin laajentamaan sen käyttöä lentokoneteollisuudessa, fanerin torsionilujuus, joka, jos se saadaan kohotetuksi tarpeeksi suureksi tulee antamaan fanerille huomattavan merkityksen automobiili-, kone- y.m. teollisuus-aloilla.

Tämän yhteydessä on myös tutkittava kaikki puuaineen laatuun nähden mahdolliset säästöt. On saatava selville kaikki ne mahdolliset tarkoitukset, joissa nykyään kallisarvoisempi tavara voidaan korvata vähempiarvoisella, suurempi pienemmällä j.n.e.

Erikoisena toivomuksena tahtoo tekijä lopuksi lausua sen, että meillekin perustettaisiin MADISON-laboratoriota vastaava laitos, jonka muuten tulisi sekä kokonsa että laatunsa puolesta täyttää ne vaatimukset, jotka maailman metsäisimmän maan metsäteknologialle laboratoriolle voidaan asettaa.

The mechanico-technical properties of wood; their study and its objects.

SUMMARY.

At the outset, the author gives a short survey of the knowledge, importance and study of the mechanico-technical properties of wood. In this connection the following circumstances are ascertained among others: The study and knowledge of the mechanico-technical properties of wood were caused in ancient times and in the middle ages by: 1) shipbuilding, 2) building trade, 3) furniture industry 4) wars, for instance the crusades.

Shipbuilding was brought to a high perfection in ancient times by the *Phoenicians*. They are said to have sailed, about 600 years b.C. through the Straits of Gibraltar to the open sea, and to have continued their journey round Great Britain. It is known of the ancient *Egyptians* that their extensive river-shipping was done in very well designed vessels. The importance of the *Carthaginians*, the *Grecians* and the *Romans* as promoters of navigation is also well known. In this connection it is evident that the building of ships rendered a knowledge of the properties of timber absolutely indispensable, and that the sages of ancient times, who were very often interested in practical questions, already very early fixed their attention to the mechanico-technical properties of wood. Among these may be mentioned PYTHAGORAS, ARISTOTELES and ARCHIMEDES.

In connection with architecture the knowledge of the properties of wood was brought to high perfection as early as among the ancient *Assyrians* and likewise the *Egyptians* and *Grecians* knew in their buildings to choose the right kind of timber.

Furniture manufacture and, earlier than that, wood carving, were known and far advanced among the ancient *Egyptians*. These developed for instance the knowledge of the wood material of different trees, as they were thus able to get to know the properties of the different kinds of timber.

The wars made large transport, and the building of ships, vehicles and bridges necessary. Besides this, the war-engines, arms etc. of the ancient nations were for the greater part made of wood. Very beneficial to the knowledge of the properties of wood were the many great wars of ancient times, such as the wars of Alexander the Great, the Punic wars, etc.

The civilized nations of ancient times were thus obliged by many reasons to get to the bottom of the properties of wood, and therefore there is quite a remarkable lot of literature extant from the latter part of the ancient times and the middle ages.

From the ancient times the following works treating, among other things, the mechanico-technical properties of wood are mentioned: *De arboribus* by COLUMELLA;

De re rustica by PALLADIUS and CATO's work on the same subject. From the middle ages we may mention *Ruralium commodorum libri XII* by PETRUS DE CRESCENTIIS, the third part of which is called *De arboribus*, as well as *Praedium rusticum* written by ETIENNE, LIBAULT and SEBIZIUS.

The author now pass to more recent times. The following names are given: PARENT, MUSSCHENBROECK, BUFFON, DUHAMEL DU MONCEAU, GIRARD, PERONNET, DUPIN, PONCELET, MINARD, DESORME, ARDANT, PACCINOTTI, PERI, CHEVANDIER and WERTHEIM, GEORG LUDWIG HARTIG, VON WERNECK, DE JUSSIEU, GRIMBLot and NÖRDLINGER, as well as a short résumé of what each of these authors has accomplished in the investigation the mechanico-technical properties of wood.

Then the author proceeds to review the study of the mechanico-technical properties of wood in modern times, in which connection are mentioned particularly the names FOWKE, VON JENNY, EXNER, MIKOLASCHEK, GAYER, TETMAJER, BAUSCHINGER, RUDELOFF, SCHWAPPACH, HADEK, CIESLAR, JANKA, WIJKANDER, CLINE, WEISS, HEYER, STÜBCHEN-KIRCHNER, KICK, GINTL, LEDEBUR, THELAUS, KOEHLER etc., which names the author considers to be the most representative as to the study of the mechanico-technical properties of wood, and gives at the same time the most important results reached by each of them.

Then follows an account of the study of the mechanico-technical properties of wood, and the author follows the development of research work on each property from the times of Duhamel du Monceau to the present day, saying his opinion on each point separately. Besides this, the author in many cases gives an account of his own methods of study and their results.

As a recapitulation the author writes as follows:

In spite of the fact that the mechanico-technical properties of wood have been studied for centuries, there are still a number of unsolved problems. On the other hand, we can say that by this research work a very consistent certainty has been reached regarding many points of a more general character.

In this respect it has to be mentioned, that as has been said above DUHAMEL DU MONCEAU and NÖRDLINGER already defined the main lines of the properties of timber. After them several systems were published, similar, on the whole, to that of Nördlinger. Among these is mentioned, for the sake of completeness, the system of Exner.

Very similar to the system of EXNER is that of the American KOEHLER, which the author in a way makes the basis of his own. The author, however, offers at the same time a definition of his own as to what is meant by the mechanico-technical properties of wood, i.e. that *by the mechanico-technical properties of wood we understand such technically significant properties of wood, as are ascertained principally by mechanical means.*

After this, the author states that the differentiation of the properties of wood has often led to tautology, so that for instance such properties as toughness, elasticity, tendency to split, hardness etc. have been treated as properties separate from strength although they were obviously strength properties of wood. In regard to other properties as well it is possible to make the same statement, and the writer of this is therefore of the opinion that it is more correct and more to the purpose to limit the treatment of the properties of wood to as few main classes as possible. Thus the author differentiates only four purely mechanico-technical properties of wood, viz.: 1) *weight*, 2) *water contents*, 3) *strength* and 4) *conductivity*. In regard to this division it must be first of all observed that it comprises only the properties that can be observed and

studied in a purely mechanical way. Therefore for instance the lustre has been left out, because it depends upon features that can be ascertained chemically, and in the same way colour, of which the same can be said. Further it must be observed that this division has reference only to the more important and better known-properties, wherefore its amplification is in any case presupposed. The author maintains, however, that the mechanico-technical properties separated by him form a natural whole, because they, for one thing, may be proved to depend mainly on the same circumstances.

The circumstances again, on which the mechanico-technical properties of wood have been ascertained to depend, are principally the following:

- a. The region of the geographical distribution of the tree, particularly the continent.
- b. The horizontal distribution of the tree.
- c. The vertical distribution of the tree.
- d. Species of tree.
- e. Locality (quality of the soil).
- f. Situation of trees in stands.
- g. Position of test piece in trees.
- h. Anatomical structure of trees.
- i. Defects of trees.
- j. Age of trees.
- k. Felling time (season, time of day).
- l. Handling of trees (drying, barking, floating etc.).
- m. Humidity of the air.
- n. Humidity of the soil.
- o. Content of colour and rosin in trees.
- p. Life functions of trees (evaporation currents etc.).
- q. Temperature of the surrounding atmosphere.
- r. Temperature of trees.
- s. Mechanical influence of other plants or animals.

Besides these mention must be made of atmospheric pressure, the effect of which has not been mentioned before, but which both DUHAMEL DU MONCEAU and DALIBARD have observed in connection with the sinking of trees.

The fact that in the above treatise it has not been stated how each of the above circumstances affects each of the properties of trees, depends upon the fact that all of them have not been investigated sufficiently.

The above circumstances have, therefore, their significance for the mechanico-technical properties of trees, and the author is of the opinion that it should be the object of a future forest technological research to ascertain how each of these factors influences them.

Generally speaking the following statements may be made:

a. *Geographical distribution of trees*, and particularly the continent, influences in a way which it has not been possible to explain upon the mechanico-technical properties of wood. The relation between the properties of the American and the European species of trees may be mentioned as an exemple of this.

Thus those American species of trees that most closely resemble some European species of trees display properties slightly different from those of the latter. The

American species of trees, for instance, are lighter than the corresponding European ones (beaches, oaks, elms, larches, alders, spruces, etc.), so much so that the pine is nearly the sole species of trees the specific weight of which is approximately the same on both these continents. As to the strength properties this comparison remains uncertain, for one thing for the reason that the experiments were made under different conditions (the test objects, the water content etc. were different), but it would seem to be a fact that inspite of their small weight the strength properties of the American species are superior to the corresponding properties of the European (mainly the Central European) species of trees.

b. The *horizontal distribution of trees* is not the same thing as that mentioned above, for those American species of trees that have above been compared with the European ones have their habitats between approximately the same degrees of latitude. The effects of the horizontal distribution have been expressed by MAYR by his optimum laws. What the optimum of a species of trees is has been left by Mayr undefined. The optimum may be the region, for instance, in which a species of trees, growing on a certain forest type, at a certain age and tended under a certain system attains the greatest volume per hectare; it may be a region in which a species of trees attains its greatest height (the greatest height of the dominant trees, for instance); it may be also a region in which a species of trees attains its greatest seed yield or in which it regenerates naturally best. If, for instance, the investigations of the specific weights of trees are considered it is noticed that the weights of Finnish and German trees (of the same species), for instance, differ very little from one another (German birch is lighter). If, on the other hand, the weights of Finnish and Russian trees are compared with one another, it is perceived that the North Russian species of trees are, as a rule, heavier than the Finnish ones. Considerably heavier is larch, but also the weight of pine and spruce is greater in Russia than in Germany and Finland. At least the pine and the spruce reach in Germany greater volumes and greater heights. For this reason it would seem at first glance as if the optimum theory of Mayr were not valid in this regard. But in fact the optimum of the species of trees mentioned, particularly that of the larch, is situated in Russia in a certain sense, *viz.* that these trees, particularly the larch, attain there their most beautiful stem form.

At the present stage of forest technological investigations it is naturally impossible to say anything definitive on the above-mentioned optimum law, but the author ventures to offer the hypothesis that *in this case the optimum has to be understood to mean the latitude at which a tree attains its most beautiful stem form and at which the stands composed of a certain species of trees yield the greatest volume per hectare of branchless stem tree.*

c. *The influence of the vertical distribution of trees* has so far been left without investigation. It goes without saying that it may be investigated only when a mountain and a valley stand near to one another and when the same species of trees is concerned under conditions similar in other respects. These requirements are not fulfilled by any investigations carried out in this domain, for which reason the only conclusion will be the hypothesis that this circumstance, too, has its definite influence, which it has been so far possible to ascertain in extreme cases with the result that with respect to the weight of trees, wood near the snow line and in fertile valeys (in dry places) is lighter than on slopes, that with respect to strength of wood, especially strength against pressure the lower parts of stems become stronger on the higher parts of moun-

tains, but that wood is heaviest at that vertical level at which the stem form is most beautiful.

d. The *influence of the species of trees* is the factor which in the investigation of the mechanico-technical properties of wood was known earliest. It is so noticeable for the fact that each species of trees has its own and accurately definable mechanico-technical properties, that the peculiar structure of each species of trees is in this respect of decisive influence.

e. As to *locality* (quality of soil, forest type), in fact only very few detailed inferences are possible. Thus much, however, may be said that the mechanico-technically best wood is not derived from the best soils, nor from the worst, but from soils that represent the medium classes. It is, however, to be noted that this result has been yielded by investigations referring, among other things, to especially good localities (reconverted arable land; trees grown in gardens, alleys), and, accordingly, there is no definite information as to the state of things on our forest lands proper. Further, in the previous investigations the localities were defined very vaguely, for which reason a collation of the investigations is in this regard very uncertain. The author of this finds it probable that *the forest types, at least in the conditions obtaining in Finland and Scandinavia, will render possible such investigations as may be collated with one another*, and with respect to weight and water content, for instance, an evident variation dependant on forest types has been pointed out above.

f. The *influence of the situation of trees in stands* has been established very definitely also by the investigations already made. This is due to the fact that with respect to this point a well-grounded system of classification was reached very early in connection with experiments on thinning methods. Even in this regard the law of the golden middle course seems to obtain, so that as to the mechanico-technical properties the best trees are not found among the mainly dominant nor completely dominated trees, but in the intermediary classes. An exception to this is the water content of trees, which certainly diminishes towards the dominated classes. Also with respect to the details of the strength properties exceptions in this point are to be found, but what has been stated above holds good as a comprehensive law even with regard to them.

g. The *situation of test pieces in trees* is a point to which attention has been paid early, because by investigating its influence one has tried to solve the problem which part of the stem yields the most suitable wood for the different mechanico-technical purposes. It has been established by these investigations that the branchless part of the stem suits best for most of the purposes which require good wood. The lowest part of the branchless section of the stem, the thick base part, is, as a rule, the best wood from the point of view of mechanico-technical properties. As to the situation of test pieces with respect to the core it has been ascertained that, at least so far as the strength properties are concerned, the best wood is yielded by the surface part of stems.

h. By the *anatomical structure of wood* the quality of wood may be determined even ocularly. Special significance must be attached in this respect to the percentage of summer wood and to the breadth of the annual rings. By an assortment based on these points alone trees may be classed in groups the mechanico-technical properties of which may be perceived approximately without any circumstantial experiments. In the majority of cases also the regular and straight growth and the long (in compari-

son with diametre) tracheids or the libriform cells signify wood suitable for mechanico-technical purposes.

i. *Defects of wood* naturally bring down its mechanico-technical properties. The only defect the significance of which has in this respect been ascertained is blue-rot, regarding which it has been established that the strength properties of wood affected by it are the same at least when the wood is dry. It is also evident that *resinosis* etc. enhance in certain cases the mechanico-technical properties of wood.

j. The *age of trees* influence only indirectly the mechanico-technical properties of wood. It may be said that trees have a certain age at which the mechanico-technical properties of their wood culminate. The investigations carried out heretofore do not bring any definite light on the question which period of age this is, but, as a rule, the wood of young and of overaged stands is inferior to that of stands whose age falls between these two very wide limits.

k. The influence of the *felling season* has been difficult to ascertain for the reason that it is very difficult to eliminate its influence from a number of other influential factors. In fact, it has been possible to establish clearly its influence with respect to the chemical properties of wood, durability, for instance. But so far as the mechanico-technical properties of wood are concerned it is very difficult to distinguish the influence of the felling season from the influence of desiccation. It has, however, been possible to establish so much that the felling season is of influence with respect to the imbibition power of wood, *viz.* that it is clearly least in early winter (December and January).

l. The *different operations of treatment of wood*, as barking, desiccation, cleaving, etc. influence greatly all the mechanico-technical properties of wood, which may be improved very considerably by appropriate treatment. This fact is of paramount practical importance, and it is admissible to say that the wood, the properties of which at the moment of felling are not first grade, may always be turned into good and useful timber by appropriate treatment.

m. and n. The *moisture of the atmosphere and the soil* enhance the water content of wood and bring about all the changes in the mechanico-technical properties that are caused by a greater moisture. It is, however, to be noted, that with respect to the atmosphere the relative moisture and with respect to the soil the physiological moisture have to be taken into account. A small relative moisture of the atmosphere and a physiological dryness signify in this respect that the wood must be taken to have grown up in a dry atmosphere and on a dry soil.

o. The *greater proportion of colouring matter and resin* generally testify to good wood. With respect to the proportion of colouring matter it is, of course, to be noted that the colour is not caused by diseases, and the proportion of colouring matter may not be said to enhance the mechanico-technical properties of wood until the resin has been oxydized into rosin (colophony).

p. From an examination of the *vital processes of trees*, too, inferences as to the mechanico-technical properties of their wood may be made. The regularity of the vital processes of trees generally guarantees that they will yield good timber. Too swift vital processes which take the form of an unnaturally large foliage, too plentiful and too large needles or *vice versa*, authorize to assume that the trees will not yield good timber. On the other, it is possible to enhance the properties of wood, as strength, weight, etc. by regulating the vital processes of trees, for instance by peeling the trees alive.

q. The *temperature of the atmosphere surrounding trees* or rather its variations, too, gives some hints for the estimation of the mechanico-technical properties of wood. Thus in regions where the seasonal variations of temperature are wide and abrupt (cold winter, hot summer) the trees show more fissures than in regions where the case is contrary. As to the variations of temperature during the 24 hours the case is different, because against them trees can protect themselves better, and it is not impossible that for instance the great weight of the trees of tropical countries and the high strength properties of their wood partly depend just on this fact.

r. The *temperature of wood* is a circumstance which always must be taken into account in the examination of the mechanico-technical properties of wood. Its bearing on the weight of wood depends on the changes in the volume caused by the variations in the temperature of wood, and it is easily determined by measurements. Likewise the strength properties will naturally be quite different supposing that of two exactly similar logs of wood the one were placed in the open air and the other let us say in a warm factory room. Most evident is the influence of the temperature of wood with respect to the solidity of wood.

s. The influence of other plants and of animals on the mechanico-technical properties of wood is a far-reaching question which we can pass here, because it, strictly speaking, does not belong to forest technology.

As the above remarks show, there are many unsolved problems in this domain. In the discussion of the tasks of forest technological research in the near future the fact, of course, must be taken into account that in this domain there are many special problems, which have no general bearings, and for this reason in the sequel only such problems are considered *as have a general significance and the solution of which has practical bearings*.

The most important of these problems are:

a. The bearings of the optimum law on the mechanico-technical properties of wood.

b. The bearings of the forest types on the mechanico-technical properties of wood.

c. The bearings of the anatomical structure of trees on the mechanico-technical properties of their wood.

d. The comparative investigations of the mechanico-technical properties of the different parts of stems.

e. The influence of the treatment of wood on its mechanico-technical properties.

The validity of the optimum law on a whole and within the limits that have been pointed out above in discussing each property apart as well as for the last time in pp. 147—148, is not questioned by anybody, but so far there are no investigations in Europe nor in America as to the question in which regions each forest type produces trees with the most beautiful stems and, on the whole, with the best mechanico-technical properties. It is evident that the framing of general formula, by whose aid the sum total of the properties could be determined, is exceedingly difficult; but by taking as a basis just those properties that have the greatest bearings for technic and timber business it might be possible to ascertain in which region the mechanico-technical optimum of each species of trees lies. Studies of this kind would undoubtedly be of great practical importance, the more so if they contained more detailed information about particular properties of commercial and technical significance.

With reference to conditions in Finland, we do not know for instance whether

the trees grown in Southern, or Central, or Northern Finland split best; we do not know where we get for instance the best wood for roof and bridge constructions, for floors etc. All questions like these would be definitely answered by a solution of the optimum problem alone. All that we know of the properties of trees points with the greatest possible certainty to the existence of such an optimum, but so far it has not been possible to define it nor to delimit it.

b. The *influence of forest types* on the mechanico-technical properties of trees is a hard problem, whose investigation will be of great practical significance. That, as well as the optimum problem, can be investigated in connection with other questions almost without any additional work. One has only to take the trouble to record from which forest type a test piece is taken. Conjointly with these problems many other practically very valuable questions would be cleared up, as, for instance, where the best veneer wood is to be had, where branchless saw timber, where the pine that is least liable to splitting, where the best (the lightest and, at the same time, the strongest) wood for aeroplanes, and so forth. An adequate elucidation of this as well as of the preceding question will bring great advantages for timber trade, for one thing. It will be necessary to indicate, when a quantity of timber is offered for sale, in what sort of forest types it has grown, and in foreign timber trade it will be taken into account where the timber has grown, and thus timber will be classified far more accurately and reliably than for the present.

c. The *anatomical structure* of wood. With respect to this they have advanced very far in America. There they have in use the so-called *density rules*, i.e. rules for determining by ocular inspection the proportion of the spring wood to the summer wood in an annual ring. These rules are based on the weight of absolutely dry wood and they are of great importance in selecting wood for different purposes. Thus for instance timber in whose annual rings the percentage of summer wood is less than 33, is unsuitable for building purposes. The deduction of similar rules on the basis of blue-rot, knottiness, distance between branch whorls, average breadth of annual rings, proportion of heart and surface wood, etc. is an affair of investigations of this type. It may be stated to be the purport of investigations of this type to find out the most important anatomical properties connected with the mechanico-technical properties of wood, and to ascertain the factors on the basis of which it is easiest to determine them ocularly or by the aid of some simple test method.

d. The *mechanico-technical properties of the different parts of stems*, as compared with one another, are in their main points well-known, but, on the other hand, this investigation has not been extended to comprise the individual species of trees in the forest types. Thus we have no clear notions as to the points at which a stem has to be cut up in order to divide it into portions of the same value with respect to strength, nor have we any clear ideas as to how a stem has to be cut to pieces in order to secure to it the best floating capacity. Nor is this enough; we do not know even so simple a thing as how a saw log has to be cut up in order to get the strongest spar from its lower part and the best pit-props from its small end. There is no doubt that also these problem offer a field for important investigations, and naturally they have to be carried out so that the results in this case as well as in the preceding case will yield an easily ascertainable characteristic.

e. The *bearings of the treatment of wood* on its mechanico-technical properties have been investigated to an insignificant degree. Here the number of problems is

a host. Only few may be mentioned as examples: how has a tree to be barked in order that it may acquire its greatest tenacity; which kind of wood has the greatest retro-active tenacity: that floated one year, or two years; which sort of wood has greater strength: air-dried, or oven-dried; which wood breaks least: that barked vertically or that spirally; which wood is least liable to sinking; that felled early or that felled late in the winter, and so forth. At the same time as many practically important facts are found out it is on the other hand to be noted that an investigation of the mechanico-technical properties of wood is of value only in so far as the treatment of wood is clearly defined with respect to each test piece.

The investigation of the mechanico-technical properties of wood is in Europe so far of an exceedingly theoretical character. Investigations have led to very meagre results with the consequence that wood material has been used in a very wasteful manner. The permissible charge, for instance, has been only one-tenth of the strength, which, of course means that in wood constructions much more and larger timber is used than would be necessary in case the mechanico-technical properties of wood were accurately known.

Quite differently and much more practically has the matter been approached by the MADISON Laboratory. There, too, mechanical investigations are made on small, but at the same time also on large (12" \times 16" \times 16', for instance) test pieces, but the correlation of the results of these investigations with the aspects mentioned above is determined at the same time, and thus it is possible to use these results as a foundation for a classification by quality.

It is just this thing, *viz.* that *the mechanico-technical properties must lead to a system of classification, which, from the practical point of view, is the most important in the research of the mechanico-technical properties of wood.* Bringing about a classification which best reflects the mechanico-technical properties of wood, is a task which mechanico-technological investigation of wood must strive to solve in near future.

In fact, this is attempted at also by the MADISON Laboratory, by its investigations of wood construction, wood articles, and wood raw-materials. Research work of this kind is exceedingly important also for our country, investigation of Finnish birch veneer and the mechanico-technical properties of its manufactures being most urgent of all. Among these properties may especially be mentioned its thermal and electric conductivity, its tenacity, which probably will greatly enlarge its use in aeroplane manufacture, its strength against torsion, which, if it is possible to enhance it sufficiently, will earn for it a significant place in motor car and machine and other such industries.

Along with this, all the possible savings with respect to quality have to be investigated. All the applications, in which the present use of more valuable material may be replaced by less valuable, greater size by smaller one, and so forth.

At last the author wants to express as his special wish that an institute corresponding to the MADISON Laboratory may be founded in Finland, too. This institute ought to come up, with respect to its dimensions and quality, to the requirements that may be set for the forest technological laboratory of a country that is richest in forests in the world.