

SILVA FENNICA

Vol. 11 1977 N:o 2

Sisällys Contents	MATTI KÄRKKÄINEN ja MARJUT RAIVONEN: Reaktio- puun mekaaninen lujuus	87
	<i>Summary: Mechanical strength of reaction wood</i>	96
	MARKKU MÄKELÄ: Seulontatuloksia Algol-moni- käyttöhakkurin hakkeesta	97
	<i>Summary: Screening results on the chips made by Algol- multipurpose chipper</i>	109
	Suomen Metsätieteellisen Seuran tiedepoliittinen periaateohjelma	110
	Suomen Metsätieteellisen Seuran metsäntutkimuk- sen suuntautumista ja tiedonvälitystä koskeva seminaari	112
	ROBERT J. RAINIO: Tammen levinneisyydestä län- tisellä Uudellamaalla ja Turunmaan itäisimmissä osissa	127
	<i>Summary: On the distribution of oak (Quercus robur) in the southwesternmost parts of Finland</i>	135
	MARKKU MÄKELÄ: Metsähakkeen tiheyden laskemi- nen	136
	<i>Summary: Calculating the basic density of whole tree- and logging residue chips</i>	147

SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA
SOCIETY OF FORESTRY IN FINLAND

Silva Fennica

A QUARTERLY JOURNAL FOR FOREST SCIENCE

PUBLISHER:

THE SOCIETY OF FORESTRY IN FINLAND

OFFICE:

Unioninkatu 40 B, SF-00170 Helsinki 17, Finland

EDITOR:

MATTI KÄRKKÄINEN

EDITORIAL BOARD:

MATTI NUORTEVA (Chairman), VEIKKO J. PALOSUO (Vice Chairman), AULIS E. HAKKARAINEN, VELI-PEKKA JÄRVELÄINEN, SEppo KELLOMÄKI, MATTI LEIKOLA, and KUSTAA SEPPÄLÄ (Secretary).

Silva Fennica is published quarterly. It is sequel to the Series, vols. 1 (1926)–120(1966). Its annual subscription price is 30 Finnish marks. The Society of Forestry in Finland also publishes *Acta Forestalia Fennica*. This series appears at irregular intervals since the year 1913 (vol. 1).

Orders for back issues of the publications of the Society, subscriptions and exchange inquiries can be addressed to the office.

Silva Fennica

NELJÄNNESVUOSITTAIN ILMESTYVÄ METSÄTIETEELLINEN
AIKAKAUSKIRJA

JULKAISIJA:

SUOMEN METSÄTIETEELLINEN SEURA

TOIMISTO:

Unioninkatu 40 B, 00170 Helsinki 17

TOIMITTAJA:

MATTI KÄRKKÄINEN

TOIMITUSKUNTA:

MATTI NUORTEVA (puheenjohtaja),
VEIKKO J. PALOSUO (varapuheenjohtaja), AULIS E.
HAKKARAINEN, VELI-PEKKA JÄRVELÄINEN, SEppo
KELLOMÄKI, MATTI LEIKOLA ja KUSTAA SEPPÄLÄ (sihteeri).

Silva Fennica, joka vuosina 1926–66 ilmestyi sarjajulkaisuna (niteet 1–120), on vuoden 1967 alusta lähtien neljännesvuosittain ilmestynvä aikakauskirja. Suomen Metsätieteellinen Seura julkaisee myös *Acta Forestalia Fennica*-sarjaa vuodesta 1913 (nide 1) lähtien.

Tilauksia ja julkaisuja koskevat tiedustelut osoitetaan Seuran toimistolle. *Silva Fennican* tilaushinta on 30 mk.

REAKTIOPUUN MEKAANINEN LUJUUS

MATTI KÄRKKÄINEN ja MARJUT RAIVONEN

SUMMARY:

MECHANICAL STRENGTH OF REACTION WOOD

Saapunut toimitukselle 1977-03-20

Kirjallisuudesta saatavien tietojen mukaan tuoreen lylypuun mekaaninen lujuus on korkeampi kuin tavallisen puun. Kuivuminen vaikuttaa lylyyn epädullisesti. Erityisesti vetolujuus syiden suunnassa ja iskutaivutuslujuus ovat heikompia kuin terveessä puussa. Puristuslujuus ja mahdollisesti myös taivutuslujuus ovat reaktiipuulla korkeammat kuin normaalipuulla. — Tällöin lylyn tavallista suurempaa tiheyttä ei ole otettu huomioon.

Lehtipuilla tavattavan vetopuun ominaisuudet poikkeavat havupuiden lylypuusta. Tuoreena kaikki vetopuun lujuusominaisuudet ovat heikompia kuin terveen puun. Kuivana vetolujuus ja iskutaivutuslujuus sekä mahdollisesti taivutuslujuus ovat parempia. Puristuslujuus on heikompi kuin tavallisella puulla.

Kun lylyn ja vetopuun tavallista puuta suurempaa tiheyttä ei oteta huomioon ja kun kyseessä ei ole iskumainen kuormitus, reaktiopuun lujuus ei sahatavarassa ym. olennaisesti poikkea tavallisen puun lujuudesta. Esimerkiksi oksaisuuden vaikutus voi käytännössä olla huomattavasti suurempi.

1. JOHDANTO

Sekä havu- että lehtipuilla tavataan mm. runkojen kallistumisen seurauksena reaktiopuuta. Havupuiden reaktiopuu (lyly eli jänhus tai kompressiopuu) esiintyy tavallisesti kallistuneiden runkojen alapuolella. Lehtipuiden reaktiopuu (vetopuu eli tensiopuu) esiintyy taas kallistuneiden lehtipuiden yläpinnalla (esim. PYYKKÖ 1976). — Jäljempänä havupuiden reaktiopuuta sanotaan lyhyesti lylyksi ja lehtipuiden reaktiopuuta vetopuiksi.

Reaktiopuu lisääntynee teollisuuden raaka-aineessa. Tähän vaikuttaa mm. eräissä istutusmetsissä havaittu runkojen kallistuminen, johon on viime aikoina alettu kiinnittää

huomiota (esim. HUURI 1976). Reaktiopuun lisääntymiseen viittaa myös UUSVAARAN (1974, s. 54) eteläsuomalaisia viljelymänniköitä koskeva tutkimus. Siinä voitiin todeta, että kaatoleikkauksessa n. 30 % rungoista sisälsi reaktiopuuta. Lylyä sisältävien mäntyrunkojen osuus väheni iän lisääntyessä, mutta oli kuitenkin vielä 14 % yli 60 a vanhoilla männyillä. Luonnonmetsistä ei tosin ole kerätty vastaavaa aineistoa, mutta eräät hajahavainnot viittaavat siihen, että viljelymänniköissä reaktiopuun osuus on moninkertainen luonnonmetsiin verrattuna. Esim. TIKKA (1935, s. 202) mainitsee, että Pohjois-Suomen karuilla kan-

gasmailla lylyä on runkoluvusta 2,4 %, paremmilla kangasmailla 0,8 % ja rämeillä 3,7 %. Nämä ovat oleellisesti pienempiä lukuja kuin em. UUSVAARAN (1974) esittämät eteläsuomalaisia viljelymänniköitä koskevat luvut.

Kun raaka-aineesta yhä suurempi osa tulee viljelymetsistä, reaktiopuun esiintyminen on edellä olevan mukaisesti ilmeisesti lisääntymässä. Siksi on katsottu aiheelliseksi tehdä

2. LUJUUDEN TARKASTELUTAPA

Puun mekaanista lujuutta voidaan kuvata monella tavalla, eikä ole olemassa mitään yksiselitteistä, kaikissa olosuhteissa mekaanista lujuutta kuvaavaa suuretta. Kun useat mekaaniset lujuusominaisuudet korreloivat keskenään voimakkaasti, on voitu luopua eräiden harvinaisten lujuusominaisuuksien mittaamisesta. Tavallisimmin tyydytään mittaamaan puristuslujuus syiden suunnassa, vetolujuus syiden suunnassa ja kohtisuoraan niitä vastaan, sekä mittausteknisesti helppo taiputuslujuus, joka teoreettisesti edustaa puristus-, veto- ja leikkauslujuutta. Lisäksi tarkastellaan usein iskutaivutuslujuutta, jota voidaan pitää sitkeyden indikaattorina. — Tässä tutkimuksessa keskitytään näihin lujuusominaisuuksiin.

Käsillä olevassa tutkimuksessa tarkastellaan mekaanista lujuutta sekä tuoreessa tilassa että ilmakeivana. Tuoreen reaktiopuun lujuutta tarvitaan arvioitaessa elävän puun kestävyyttä erilaisia mekaanisia voimia, esim. tuulta ja lumen painoa, vastaan. Lujuus saattaa ylittyä, vaikka puu ei katkeaisikaan. Tiedetään esimerkiksi, että voimakkaassa myrskyssä puuaineen syiden suuntainen puristuslujuus saattaa ylittyä ja puuaineeseen syntyä murtumia (esim. DELORME 1974). — Ilmakeivän reaktiopuun lujuus on taas tiedettävä suhteessa terveen puun lujuuteen mm. käytettäessä puuta rakenteisiin.

On jossakin määrin kiistanalaista, pitäisikö reaktiopuun mekaanista lujuutta arvioitaessa ottaa huomioon puuaineen tiheys. Tunnettu nimittäin on, että erityisesti lyly, mutta myös vetopuu on tavallisesti tiheämpää kuin normaali puuaine. Jos reaktiopuun suurempaa tiheyttä ei oteta huomioon, teh-

kirjallisuuskatsaus reaktiopuun vaikutuksesta puun mekaaniseen lujuuteen.

Tutkimuksen tekijöistä Raivonen on kerännyt pääosan käytetystä kirjallisuudesta ja Kärkkäinen kirjoittanut käsikirjoituksen, jonka tekijät ovat yhdessä tarkistaneet. Käsikirjoituksen ovat lukeneet Irja Lehtonen ja Juhani Salmi. Konekirjoituksesta ovat huolehtineet Aune Rytkönen ja Leena Turunen. — Kiitämme saamastamme tuesta.

dään oletamus, että normaalia puuta ja reaktiopuuta käytetään tilavuusmittana saman verran. Jos taas reaktiopuun suurempi tiheys otetaan huomioon, tämä merkitsee sitä, että eri tarkoituksiin käytetään masana mitaten saman verran puuainetta.

Kun tuoreen puun mekaaninen lujuus on tarpeellinen indikaattori arvioitaessa kestävyyttä esimerkiksi myrskytuhoja vastaan, tuoreen reaktiopuun lujuutta arvioitaessa ei ole paikallaan ottaa huomioon vaihtelevaa tiheyttä. Oleellista on tällöin vain rungon eri korkeuksilla vallitseva mekaaninen lujuus riippumatta siitä, kuinka tiheää puuaine on. — Sen sijaan ilmakeivän puun lujuutta tarkasteltaessa voidaan puolustaa myös tiheyden ottamista huomioon. Voidaan nimittäin olettaa sellaisia puunkäyttömuotoja, jolloin puumäärä otetaan massan eikä tilavuuden mukaan. Esimerkiksi lastulevyn valmistuksessa pyritään määräsuuruisen tiheyteen. Useimmissa tapauksissa voidaan kuitenkin olettaa, että puu otetaan tilavuuden eikä massan perusteella. Tällöin ei ole paikallaan tarkastella erilaisia lujuusominaisuuksia massayksikköä kohti, ja näin ollen vaihtelevaa puun tiheyttä ei oteta huomioon.

Edellä esitetyn mukaisesti tuoreen reaktiopuun lujuutta tarkastellaan ainoastaan yhdellä tavalla, ts. ottamatta reaktiopuun suurta tiheyttä huomioon. Sen sijaan ilmakeivasta puusta esitetään tuloksia kummallakin tavalla.

Murtolujuusarvojen lisäksi on aiheellista esittää tietoja vielä kimmomoduulista, koska sitä käytetään runsaasti erilaisissa lujuuslaskelmissa.

3. HAVUPUUT

Tuoreena lylyn mekaaninen lujuus on korkea, kun aiemmin esitetyn mukaisesti lylyn poikkeuksellisen suurta tiheyttä ei oteta huomioon. Esimerkiksi PEREM (1958) saattoi valkokuusella (*Picea glauca*) havaita, että puristuslujuus syiden suunnassa oli 21 % korkeampi kuin tavallisessa puuaineessa. Eräällä mäntylajilla (amerikanpunamänty, *Pinus resinosa*) vastaava puristuslujuus oli 12 % tavallista puuta korkeampi. Eräillä muilla amerikkalaisilla puulajeilla erot olivat 14 ... 44 % (COCKRELL ja KNUDSON 1973). Eräissä tapauksissa on saatu vieläkin suurempia eroja. OLLINMAA (1959, s. 41) havaitsi kuusella, että puristuslujuus syiden suunnassa oli peräti 89 % korkeampi kuin normaalipuun puristuslujuus.

Tuoreen lylyn vetolujuudesta on hieman ristiriitaisia tietoja. Yleensä on vetolujuus havaittu alhaiseksi. Erään amerikkalaisen tutkimuksen mukaan lylyn vetolujuus oli normaalipuun lujuudesta douglaskuusella 79 %, ponderosamännillä 82 % ja jättiläispunapuulla 58 %. Näitä tietoja ovat siteeranneet COCKRELL ja KNUDSON (1973). Heidän omassa tutkimuksessaan mammuttipetäjällä lylyn vetolujuus oli hieman tavanomaista suurempi, 114 %.

Lylyn taiputuslujuus on yleensä havaittu tavallista suuremmaksi. Esim. PEREM (1958) sai valkokuusella eroksi 15 % ja amerikanpunamännillä 11 %. Eräillä muilla amerikkalaisilla puilla tuoreen lylyn taiputuslujuus oli 2 ... 65 % normaalipuuta korkeampi (COCKRELL ja KNUDSON 1973).

Tuoreen lylyn iskutaivutuslujuudesta olevat tiedot vaihtelevat puulajeittain. Tavallista korkeammaksi sen on saanut PEREM (1958) valkokuusella (ero 30 %) ja amerikanpunamännillä (10 %), COCKRELL ja KNUDSON (1973) mammuttipetäjällä (39 %) jne. Heidän siteeraamiensa tietojen mukaan selviä poikkeuksia ovat loblollymänty (78 % tavallisesta) ja jättiläispunapuu (84 %). — Erojen syistä ei ole tietoa.

Tuoreen lylyn kimmomoduuli on tavallista alhaisempi, esim. eräillä amerikkalaisilla puilla 51 ... 99 % normaalista (COCKRELL ja KNUDSON 1973).

Ilmakeivasta (jäljempänä lyhyesti kuiva) havupuiden reaktiopuusta on saatu olenaisesti erilaisia tuloksia. Kuivan lylyn pu-

ristuslujuus syiden suunnassa on tosin saatu tavallista puuta korkeammaksi, mutta ero on huomattavasti pienempi kuin tuoreessa puussa. PEREMIN (1958) tutkimalla valkokuusella puristuslujuus oli ilmakeivana 5 % tavallista puuta suurempi. Vastaava ero oli amerikanpunamännillä 4 %. OLLINMAA (1959) puolestaan sai tuloksen, jonka mukaan absoluuttisen kuivassa männnyssä lylyn puristuslujuus oli 7 % tavallista puuta suurempi. — Eräissä tutkimuksissa on jopa havaittu alenemista. Esim. BERNHART (1966) totesi kuusella, että puristuslujuus oli 94 % terveen puun puristuslujuudesta. Myös loblollymännillä lujuus on saatu alhaisemmaksi (84 %), mutta monilla muilla puulajeilla tavalliseksi tai tavallista korkeammaksi (99 ... 130 % tavallisesta) (COCKRELL ja KNUDSON 1973).

Kuivan lylyn vetolujuus näyttää olevan alhainen. Esim. mainitussa BERNHARTIN (1966) tutkimuksessa syiden suuntaisessa vedossa lylyn lujuus oli ainoastaan 81 % terveen puun vetolujuudesta. Jättiläispunapuulla vastaava arvo oli 85 % ja douglaskuusella 97 %. Poikkeuksellinen puulaji näyttää olevan mammuttipetäjä (181 % normaalista) (COCKRELL ja KNUDSON 1973).

Kuivan lylyn taiputuslujuudesta on erilaisia tietoja. PEREMIN (1958) tutkimalla kuusilajilla taiputuslujuus oli lilyssä 4 % tervettä puuta korkeampi. Amerikanpunamännillä lyllypuun taiputuslujuus oli kuitenkin 2 % tavallista puuta alhaisempi. Myös BERNHARTIN (1966) tutkimuksessa lylyn taiputuslujuus saatiin tavallista alhaisemmaksi. Mainitussa tutkimuksessa tarkastellulla kuusella ero taiputuslujuudessa oli tavallisen puun hyväksi 6 %. KUČERAN (1970) tutkimuksen kuusen lyllypuun taiputuslujuus oli tosin tavallista alhaisempi, mutta lylyn osuuden lisääntyminen kohotti taiputuslujuutta. Myöhemmässä KUČERAN (1973) kuusta koskevassa tutkimuksessa voitiin todeta lylyn taiputuslujuus 8 % tavallista korkeammaksi, kun tavallista suurempaa tiheyttä ei otettu huomioon. Mainitussa tutkimuksessa viitattiin myös tšekkiläiseen tutkimukseen, jonka mukaan kuusen lyllypuun taiputuslujuus saattaa olla tavanomaista peräti 18 % korkeampi. — Taiputuslujuus on saatu korkeaksi myös ponderosamännillä (119 % ta-

Taulukko 1. Lylyn puristuslujuus sekä vetolujuus syiden suunnassa, taivutuslujuus sekä iskutaivutuslujuus (tai vastaava) normaalipuuhun verrattuna (normaalipuu = 100). T = tuore, K = kuiva. Table 1. Compression and tension strength parallel to grain, static bending strength, and toughness of compression wood compared with normal wood (= 100). T = green, K = dry.

Puulaji — Tree species	Lähde Source	Puristuslujuus Compression strength		Vetolujuus Tension strength		Taivutuslujuus Bending strength		Iskutaivutuslujuus Toughness	
		T	K	T	K	T	K	T	K
Kuusi (<i>Picea abies</i>)	(3)	..	94	..	81	..	94	..	75
Kuusi (<i>Picea abies</i>)	(4)	..	..	..	..	..	108	..	..
Kuusi (<i>Picea abies</i>)	(5)	189	..	..	..	..	..	..	..
Valkokuusi (<i>Picea glauca</i>)	(6)	121	105	..	..	115	104	130	65
Mänty (<i>Pinus silvestris</i>)	(5)	..	107	..	..	..	..	..	..
Amerikanpunamänty (<i>Pinus resinosa</i>)	(6)	112	104	..	..	111	98	110	87
Loblollymänty (<i>Pinus taeda</i>)	(2)	116	84	..	..	104	88	78	83
Ponderosamänty (<i>Pinus ponderosa</i>)	(2)	141	114	82	..	132	119	172	127
Jalokuusi (<i>Abies sp.</i>)	(2)	129	113	..	..	125	121	109	98
Douglaskuusi (<i>Pseudotsuga taxifolia</i>)	(2)	127	99	79	97	118	97	98	44
Mammuttipetäjä (<i>Sequoia gigantea</i>)	(1)	144	130	114	181	165	142	139	233
Jättiläispunapuu (<i>Sequoia sempervirens</i>)	(2)	117	101	58	85	102	87	84	100

- (1) COCKRELL ja KNUDSON 1973
 (2) (PILLOW ja LUXFORD 1973) lähteen (1) mukaan
 (3) BERNHART 1966
 (4) KUČERA 1973
 (5) OLLINMAA 1959
 (6) PEREM 1958

vallisesta), eräällä jalokuusilajilla (121 %) ja mammuttipetäjällä (peräti 142 %), alhaisempi mm. loblollymännällä (88 %) (COCKRELL ja KNUDSON 1973).

Erilaiset tutkimustulokset selittyvät osittain sillä, että lylyä on ollut vaihtelevia määriä. Jos lylypuun tiheys on alhainen, on yleensä saatu taivutuslujuus tavanomaisesta alhaisemmaksi. Esim. mainitussa BERNHARTIN (1966) tutkimuksessa koekappaleet oli valittu siten, että tavallisen puun ja lylypuun tiheys oli likimain sama. Sen sijaan esim. KUČERAN (1973) tutkimuksessa lylypuun tiheys oli peräti 22 % tavallista puuta korkeampi, jolloin taivutuslujuuden lisää-

ntyminen 8 %:lla lylyn vaikutuksesta on ymmärrettävissä.

Lylyn iskutaivutuslujuus on yleensä voitu havaita huomattavasti tavallista puuta alhaisemmaksi. Esim. PEREMIN (1958) tutkimalla valkokuusella lylypuun iskutaivutuslujuus oli vain 65 % tavallisen puun lujuudesta. Männyllä vastaava lujuus oli 87 %. BERNHART (1966) puolestaan havaitsi kuusella, että iskutaivutuslujuus oli 75 % terveen puun arvosta. — Nämä arvot osoittavat, että kuivan lylypuun eri lujuusominaisuuksista erityisesti iskutaivutuslujuus on heikko. — On kuitenkin olemassa poikkeuksellisia puita tai havaintoja, mm. ponderosa-

männystä (127 % normaalista) ja mammuttipetäjästä (233 %) (COCKRELL ja KNUDSON 1973).

Kun lylyn ja tavallisen puun eri lujuusominaisuuksia verrataan tuoreena ja kuivana, voidaan päätellä, että kuivatus vaikuttaa epäedullisesti lylyyn terveeseen puuhun verrattuna. Erityisen voimakas kuivumisen vaikutus on iskutaivutuslujuuteen. Kuten edellä on todettu, tuoreen lylypuun iskutaivutuslujuus on tavallista puuta korkeampi, mutta kuivan selvästi alhaisempi.

Väärinkäsityksien välttämiseksi on vielä korostettava, että käsillä olevassa tutkimuksessa tarkastellaan koko ajan reaktiipuun ja tavallisen puun suhteellisia arvoja. Absoluuttiset muutokset saattavat olla toisia. Selvää mm. on, että kuivattaminen lisää sekä lylypuun että tavallisen puun absoluuttista lujuutta, mutta terveessä puussa enemmän kuin lylypuussa. Lylyn iskutaivutuslujuus saattaa jopa alentua (PEREM 1958).

Taulukkoon 1 on koottu olennaisimmat lujuustiedot lylystä.

Kuivan lylypuun kimmomoduulista voidaan todeta, että se on selvästi tavallista puuta alhaisempi. Esimerkiksi OLLINMAA (1956 a) viittaa pariin tutkimukseen, joiden mukaan lylyn kimmomoduuli on n. 60 % normaalipuun kimmomoduulista. BERNHARTIN (1966) kuusta koskevassa tutkimuksessa lylyn kimmomoduuli oli 91 % tavanomaisesta. UEDAN (1973) tutkimalla kahdella

japanilaisella havupuulla toisella kimmomoduuli oli 59 % tavanomaisesta ja toisella 76 %. Eräillä amerikkalaisilla puilla kimmomoduulin on havaittu olevan 49...92 % tavallisesta (COCKRELL ja KNUDSON 1973). — Kimmomoduuli on siis huomattavan alhainen.

Kun lylypuun tavanomaista puuta korkeampi tiheys otetaan huomioon esim. jakamalla saadut terveen puun ja lylypuun lujuusarvot suhteellisella kuivatiheydellä tai kuiva-tuoretiheydellä, lylyn lujuus alenee suhteessa tavalliseen puuhun. Yleensä aleneminen on havaittu niin voimakkaaksi, että näin modifioidut lujuusarvot ovat lylyllä heikompia kuin normaalipuulla. Esim. PEREMIN (1958) tutkimalla valkokuusella tiheyden vaikutuksen eliminoimisen jälkeen puristuslujuus oli lylypuussa normaalipuusta 88 %, taivutuslujuus 82 % ja iskutaivutuslujuus 55 %. Vastaavasti amerikanpunamännällä puristuslujuus oli tiheyden vaikutuksen eliminoimisen jälkeen 90 % tavanomaisesta, taivutuslujuus 85 % ja iskutaivutuslujuus 76 %.

Samoin myös DOHR (1953) totesi araukaarialla, että samassa tiheydessä araukaarian lylyn puristus- ja taivutuslujuus oli noin 20 % alempi kuin tavallisen puun. Sugilla on havaittu sama lylyn tavallista heikempi puristuslujuus tiheyden eliminoimisen jälkeen (MATSUMOTO 1950).

4. LEHTIPUUT

Kun vetopuu poikkeaa anatomiselta rakenteeltaan ja kemialliselta koostumukseltaan lylystä, havupuiden reaktiipuusta tehtyjä johtopäätöksiä ei voida ilman muuta yleistää lehtipuiden vetopuuhun. Eräitä selviä eroja lujuusominaisuuksissa voidaankin havaita.

Tuoreen vetopuun puristuslujuudesta syiden suuntaan on olemassa lukuisia tutkimuksia, joiden mukaan vetopuun lujuus on alhaisempi kuin tavallisen puun. OLLINMAAN (1955) tutkimalla hieskoivulla vetopuun puristuslujuus oli 88 % ja rauduskoivulla 91 % tavallisen puun puristuslujuudesta. Kun vetopuun osuus lisääntyi näytteessä, puristuslujuus aleni selvästi.

Eri poppelilajeilla on saatu samanlaisia tuloksia. Esim. ZENKER ja MÜLLER-STOLL (1966) saattoivat todeta, että tuoreen vetopuun puristuslujuus aleni selvästi vetopuulle tyypillisten solujen lisääntyessä. Alimmillaan vetopuun puristuslujuus tuoreena oli 30 % tavallista puuta alhaisempi. Tämä arvio on tehty regressiosuoran perusteella, ja selvää on, että keskimääräinen vetopuun lujuuden aleneminen on tätä vähäisempi. RÜNGER ja KLAUDITZ (1953) saivat runkopuussa tuoreen vetopuun vetolujuudeksi 76 % tavallisesta puusta. Vastaava arvo oksapuussa oli 83 %. — Tulokset koskivat kolmen poppelilajin keskiarvoja. — Toisaalta HALE ym. (1961) saivat eräällä haapalajilla

lujuudeksi peräti 97 % tavallisen puun puristuslujuudesta.

Myös tuoreen vetopuun vetolujuus syiden suunnassa näyttää olevan tavallista puuta alhaisempi. Esim. KLAUDITZ ja STOLLEY (1955) totesivat poppelilla, että tuoreen vetopuun vetolujuus oli tavallista puuta 15 % alhaisempi. Samoin poppelilla totesivat ZENKER ja MÜLLER-STOLL (1966), että vetopuulle tyypillisten solujen osuuden lisääntyessä tuoreen vetopuun vetolujuus aleni selvästi. Maksimaalinen aleneminen tavalliseen puuhun verrattuna oli n. 25 % regressio kuvaajasta arvioituna.

Tuoreessa vetopuussa on edelleen myös taivutuslujuus tavanomaista pienempi. ZENKER ja MÜLLER-STOLL (1966) totesivat eräällä poppelilajilla, että vetopuulle tyypillisten solujen lisääntyessä taivutuslujuus aleni. Maksimaalinen lujuuksien väheneminen oli n. 30 % regressio kuvaajasta arvioituna. Samoin OLLINMAA (1956 b) mainitsee pari tutkimusta, joiden mukaan vetopuun taivutuslujuus on tavallista alhaisempi mm. sokerivaahteralla ja eräällä australialaisilla lehtipuilla. HALE ym. (1961) saivat kanadalaisella haapalajilla lujuuksi 98 % tavallisesta.

Tuoreen vetopuun iskutaivutuslujuudesta ei ole paljon tietoja. CLARKE (1937) on tosin todennut, että pyökillä tuoreen vetopuun iskutaivutuslujuus on hieman tavanomaista korkeampi. Tällöin on kuitenkin tarkasteltu saman tiheyden omaavia näytteitä. Kun vetopuun ja tavallisen puun erilainen tiheys otetaan huomioon, ilmeistä on, ettei olennaista eroa ole. — Kanadalaisella haapalajilla iskutaivutuslujuuden on jopa havaittu olevan 62 % tavallista korkeampi (HALE ym. 1961).

Tuoreen vetopuun kimmomoduulista ei ole käytettävissä muita tietoja kuin HALEN ym. (1961) tutkimus. Tuolloin kimmomoduuli oli 98 % tavanomaisesta.

Kuten edellä olevasta ilmenee, tuoreen vetopuun lujuus on yleensä tavanomaista alhaisempi. Kun vetopuun tiheys on tavallista korkeampi, vetopuun ja tavallisen puun ero korostuu entisestään tarkasteltaessa saman tiheyden omaavia näytteitä (esim. CLARKE 1936). — Aiemmin todetun mukaisesti tällaiseen tiheyden eliminointiin ei kuitenkaan ole aihetta tuoreen puun ollessa kyseessä.

Kuivan vetopuun lujuus näyttää monessa suhteessa olevan erilainen kuin tuoreen vetopuun lujuus. Syiden suuntaisesta puristuksesta on yleensä todettu, että se on kuivassa vetopuussa pienempi kuin tavallisessa puussa. Esim. pyökillä von PECHMANN (1958 b) havaitsi, että puristuslujuus oli jopa 25 % alempi vetopuussa kuin tavallisessa puussa. Keskiarvosta ei ole tietoa. Samanlainen aleneminen on havaittavissa myös tammella (von PECHMANN 1958 a). Myös LASSEN (1959) on eräällä poppelilajilla voinut todeta samansuuntaisen eron. Mainitussa tutkimuksessa vetopuun puristuslujuus oli 93 % tavallisen puun puristuslujuudesta. HALE ym. (1961) saivat vastaavaksi arvoksi kanadalaisella haapalajilla 95 %.

Poikkeaviakin havaintoja kuitenkin on. Esim. ZENKER ja MÜLLER-STOLL (1966) saattoivat eräällä poppelilajilla todeta, että ilma-kuivan vetopuun puristuslujuus lisääntyi vetopuulle tyypillisten solujen osuuden kasvaessa. Tavallisen puun ja vetopuun maksimaalinen ero oli kuitenkin vähäinen, n. 6 %. — Olennaista vetopuun ja tavallisen puun puristuslujuuden eroa ei siis voida olettaa.

Erikoinlaatuinen ilma-kuivan vetopuun ominaisuus on sen korkea syiden suuntainen vetolujuus. Pyökillä von PECHMANN (1958 b) havaitsi, että vetopuun vetolujuus oli n. 15 % suurempi kuin tavallisen puun. Eri poppelilajeilla on havaittu huomattavasti suurempia eroja. RÜNGER ja KLAUDITZ (1953) saivat vetopuun lujuuksien 65 % normaalipuuta korkeammaksi. Samoin KLAUDITZ ja STOLLEY (1955) totesivat, että ilma-kuivan vetopuun vetolujuus oli 65 % tavallista puuta korkeampi. ZENKERIN (1961) tutkimuksessa ero oli 50 %. ZENKER ja MÜLLER-STOLL puolestaan (1966) totesivat, että vetolujuus saattaa olla yli kaksinkertainen runsaasti vetopuusoluja sisältävissä näytteissä tavalliseen puuhun verrattuna. Edelleen OLLINMAA (1956 b) mainitsee lukuisia tutkimuksia, joissa on havaittu ilma-kuivan vetopuun poikkeuksellisen korkea vetolujuus.

Ilma-kuivan vetopuun taivutuslujuudesta ei ole runsaasti tietoja. Ilmeistä kuitenkin on, että se on hieman korkeampi kuin tavallisen puun (esim. ZENKER ja MÜLLER-STOLL 1966), tai ettei olennaista eroa ole. Esim. HALE ym. (1961) saivat sen 5 % tavallista alhaisemmaksi.

Iskutaivutuslujuudesta on todettu, että

se on huomattavan korkea vetopuussa. Murtamiseen tarvittavalla työllä mitaten pyökin vetopuun lujuus saatiin vähintään kaksinkertaiseksi normaalipuuhun verrattuna (von PECHMANN 1953). SACRÉN (1959) poppeleita koskevassa tutkimuksessa vetopuun iskutaivutuslujuus oli n. 40 % suurempi. LASSEN (1959) saattoi eräällä poppelilajilla havaita, että iskutaivutuslujuus oli yli kaksinkertainen vetopuussa tavalliseen puuhun verrattuna. HALE ym. (1961) saivat kanadalaisella haapalajilla eroksi 43 %.

On kuitenkin puulajeja, joiden vetopuun iskutaivutuslujuus ei eroa normaalipuusta. Syynä on ilmeisesti vetopuulle tyypillisten solujen puuttuminen tai epätavallisuus, mm. G-kerroksen puuttuminen. — Alhainen vetopuun iskutaivutuslujuus on havaittu mm. eräällä lehmuslajilla (HALE ym. 1961) ja tulppaanipuulla (*Liriodendron tulipifera*) (BAREFOOT 1963). HUGHESIN (1965) kirjallisuustutkimuksen mukaan sama sopii myös eräisiin australialaisiin lehtipuihin.

Edelleen on ilmeistä, että kuivan vetopuun kimmomoduuli on tavallista puuta

korkeampi. Tällaisen tuloksen on saanut mm. UEDA (1973) eräällä poppelilajilla ja eräällä saarnilajilla. Poppelilajilla kimmomoduuli oli 43 % ja saarnilajilla 58 % tavallista puuta korkeampi. — LASSEN (1959) ei kuitenkaan eräällä toisella poppelilajilla saanut näin suuria eroja. Kimmomoduuli oli likimain sama vetopuussa ja tavallisessa puussa kuitenkin siten, että tiheyden ollessa korkea vetopuun kimmomoduuli oli tavallista puuta alhaisempi. Vastaavasti vetopuun kimmomoduuli oli tavallista korkeampi tiheyden ollessa alhainen. Kun vetopuun tiheys on tavallista suurempi, ilmeistä on, ettei mainitulla poppelilajilla ole olennaista eroa vetopuun ja tavallisen puun kesken kimmomoduulin suhteen. Myöskään HALE ym. (1961) eivät kanadalaisella haapalajilla saaneet olennaisia eroja. Ero oli mainitussa tutkimuksessa nimittäin 1 %.

Erialaisten liimattujen rakenteiden lujuuksia ajatellen kannattaa vielä mainita, ettei vetopuulla ja tavallisella puulla näytä olevan olennaista eroa vetolujuudessa kohtisuoraan syitä vastaan. Tällaisen tuloksen ovat

Taulukko 2. Vetopuun puristuslujuus sekä vetolujuus syiden suunnassa, taivutuslujuus sekä iskutaivutuslujuus (tai vastaava) normaalipuuhun verrattuna (normaalipuu = 100). T = tuore, K = kuiva.
Table 2. Compression and tension strength parallel to grain, static bending strength, and toughness of tension wood compared with normal wood (= 100). T = green, K = dry.

Puulaji — Tree species	Lähde Source	Puristuslujuus Compression strength		Vetolujuus Tension strength		Taivutuslujuus Bending strength		Iskutaivutuslujuus Toughness	
		T	K	T	K	T	K	T	K
Hieskoivu (<i>Betula pubescens</i>)	(4)	88	..	..	..	..	..	..	..
Rauduskoivu (<i>Betula verrucosa</i>) ..	(4)	91	..	..	..	..	..	..	..
Poppeli (<i>Populus sp.</i>)	(6)	76	..	..	165	..	..	..	..
Haapa (<i>Populus tremuloides</i>)	(1)	97	95	..	..	98	95	162	143
Poppeli (<i>Populus regen. gr.</i>)	(2)	..	..	85	..	..	..	..	..
Poppeli (<i>Populus deltoides</i>)	(3)	..	93	..	..	..	..	..	224
Pyökki (<i>Fagus sylvatica</i>)	(5)	..	..	..	115	..	..	..	..

- (1) HALE ym. 1961
- (2) KLAUDITZ ja STOLLEY 1955
- (3) LASSEN 1959
- (4) OLLINMAA 1955
- (5) VON PECHMANN 1958 b
- (6) RÜNGER ja KLAUDITZ 1953

saaneet mm. HASKELL (1958) eräällä poppeli-lajilla ja von PECHMANN (1958 b) pyökillä. Samaan johtopäätökseen viittaa myös aiemmin mainittu tulos taivutuslujuudesta.

Taulukkoon 2 on koottu olennaisimmat tiedot vetopuun lujudesta.

Edellä esitetyissä tuloksissa ei ole otettu huomioon vetopuun tavallista puuta suurempaa tiheyttä. Jos tiheyden vaikutus eliminoidaan, vetopuun suhteellinen lujuus tavalliseen puuhun verrattuna heikkenee. Aleneminen ei kuitenkaan ole yhtä voimakasta kuin havupuilla, koska vetopuun tiheys ei poikkea kovin paljon tavallisesta puusta. Edellä esitetyt johtopäätökset pitävät likimäärin paikkansa myös tiheyden eliminoinnin jälkeen.

Yleisesti ottaen voidaan sanoa, ettei veto-

puun mekaaninen lujuus ole ainakaan olennaisesti tavallista puuta heikompi. Eräät lujuusominaisuudet näyttävät olevan jopa selvästi parempia kuin tavallisessa puussa. Yksittäisistä tutkimuksista poimituihin lukuarvoihin ei kuitenkaan kannata kiinnittää liian suurta huomiota. Esim. edellä on von PECHMANNilta (1958 b) siteerattu väittämä, jonka mukaan ilmakuivan pyökin puristuslujuus syiden suunnassa saattaa olla neljänestä alhaisempi kuin tavallisen puun. Tätä väittämää ei kuitenkaan ole perusteltua yleistää keskiarvoluvuksi, kuten sanatarkka lainaus osoittaa »Die Druckfestigkeit ist beim Zugholz von Buche bis zu 25 % niedriger als beim gewöhnlichen Holz». — Myös eräissä muissa tutkimuksissa saataan tarkoittaa pikemminkin maksimieroja kuin keskimääräisiä eroja eräissä vertailuissa.

5. TULOSTEN TARKASTELUA

Tuoreen reaktiopuun ominaisuuksissa huomiota kiinnittää lylyn hyvä mekaaninen lujuus. Kun tiheyden vaikutusta ei ole tarpeellista ottaa huomioon, voidaan sanoa, ettei lylyisissä puissa ole odotettavissa normaalia suurempia vaurioitumisia esim. myrskyn vaikutuksesta.

Sen sijaan on hämmästyttävää, kuinka alhainen on tuoreen vetopuun vetolujuus syiden suunnassa. Tiedossa ei kuitenkaan ole tapauksia, jolloin vetopuun normaalia alhaisemmasta vetolujuudesta olisi ollut vahinkoa. Joka tapauksessa ilmiö osoittaa, ettei vetopuuta voida ilman muuta tulkita, nimestään huolimatta, miksikään tuoreen puun vetolujuutta lisääväksi solukoksi. — Myös muut tuoreen vetopuun lujuusominaisuudet näyttävät olevan heikkoja.

Monien sovellutusten kannalta on tärkeä havainto, että kuivuminen vaikuttaa lylyn ja vetopuun ominaisuuksiin eri tavalla. Lylypuussa vetolujuus ja erityisesti iskutaivutuslujuus alenevat kuivumisen vaikutuksesta tavalliseen puuhun verrattuna. Sen sijaan vetopuun vetolujuus paranee kuivuessa suhteellisesti normaaliin puuhun verrattuna.

Ilmeistä on, että lylyn suhteellinen lujuden aleneminen kuivumisen seurauksena joutuu lylypuun voimakkaasta pituden suunnasta kutistumisesta, joka aiheuttaa mik-

roskooppisia murtumia. Tähän selitykseen viittaa puristuslujuuden ja vetolujuuden suhteen huomattava muuttuminen.

Edellä esitettyjä tuloksia tulkittaessa on otettava huomioon, että havainnot on tehty pienistä näytteistä. Tiedossa ei ole, kuinka tarkasti tulokset voidaan yleistää esim. keskikokoiseen sahatavaraan. Luultavaa kuitenkin on, että lylyn lujuuatta alentava vaikutus on käytännössä suurempi kuin pienien kappaleiden ominaisuuksista voidaan päätellä, mikäli lylyn osuus on suuri. Empiirisiä tuloksia ei kuitenkaan ole käytettävissä. — Lisäksi on numeroarvojen tarkkuudesta vielä huomattava, että jo erilaiset mittaustandardit aiheuttavat vaihtelua. Jos jossakin iskutaivutuskokeessa puulajien suhde on 100:270, toisella menetelmällä suhde voi olla 100:334 (esim. Drow ym. 1958).

Esitetyistä varauksista huolimatta voidaan kuitenkin sanoa, ettei reaktiopuun mekaanista lujuuatta alentavaa vaikutusta ole aiheellista liioitella. Virheettömien kappaleiden lujuustutkimuksissa on yleensä havaittu, että lujouden variaatiokerroin on puristus- ja taivutuslujuudessa 10 % suuruusluokkaa sekä veto- ja iskutaivutuslujuudessa yli 20 %. Näihin variaatioker-toimiin nähden reaktiopuun vaikutus näyttää suhteellisen vähäiseltä. Käytännössä

tämä merkitsee sitä, että tavallisen puun ja reaktiopuun suhteellisen vähäiset systemaattiset erot lujudessa eivät käytännössä vaikuta olennaisesti esim. sahatavaran lujuusluokittelussa. — Mainittakoon, että edellä esitetyt variaatiokerroimet on saatu lukuisista puulajeista (BERNHART 1966, s. 281, 282).

Tulkintaa reaktiopuun vähäisestä vaikutuksesta lujuusominaisuuksiin tukee myös vertailu eräiden muiden vikojen vaikutukseen. Esim. oksat ja syiden poikkeaminen puutavarakappaleen suunnasta näyttävät vaikuttavan olennaisesti enemmän kuin reaktiopuu. Tällaisia tuloksia on kuusella saanut mm. KUČERA (1970, 1973). Luultavaa onkin, ettei viljelymetsien puiden puuaineessa minimitelijänä ole suinkaan reaktiopuun, vaan ilmeisesti oksat. — Korostet-

takoon kuitenkin, että tällöin ajatellaan pelkästään mekaanista lujuuatta. Reaktiopuun vaikutus puun työstettävyyteen ja pinnan ominaisuuksiin (esim. KNIGGE 1958, SACHSSE 1965) on eri asia ja täytyy ottaa erillisenä huomioon.

Käsillä olevassa tutkimuksessa on tarkasteltu lähinnä viileän ja lauhkean vyöhykkeen yksittäisiä puulajeja. Yleistykset täysin erilaisiin lajeihin ja olosuhteisiin saatavat olla rohkeita. Eräät hajahavainnot kuitenkin viittaavat siihen, ettei esim. trooppisissa männyissä lylyn vaikutus ole ainakaan suurempi kuin mihin edellä on päädytty (BOONE ja CHUDNOFF 1972) mm. siksi, että mekaanisen lujouden vaihtelu muutoinkin on tavanomaista suurempi trooppiikissa (vrt. CAMPBELL 1968). — Lehtipuista ei ole tietoa.

KIRJALLISUUTTA

- BAREFOOT, A. C. 1963. Selected wood characteristics of young yellow-poplar (*Liriodendron tulipifera* L.). For. Prod. J. 13(6): 233—239.
- BERNHART, A. 1966. Über die statische und dynamische Kurzzeitfestigkeit von Fichtenholz — absolut, rohdichtebezogen und unter Druckholzeinfluss. Forstwiss. Cbl. 85(9/10): 275—295.
- BOONE, R. S. & CHUDNOFF, M. 1972. (Compression wood formation and other characteristics of plantation-grown *Pinus caribea*). For. Serv. Res. Pap. Inst. Trop. For. Puerto Rico No. ITF-13. (Ref. FA 35 N:o 302).
- CAMPBELL, P. A. 1968. (Variability of the strength properties of the Kenya pines). Paper in second session, 3rd East African Timber Symposium, Nairobi. (Ref. FA 30 N:o 3002).
- CLARKE, S. H. 1936. The influence of cell-wall composition on the physical properties of beach wood (*Fagus sylvatica* L.). Forestry 10(2): 143—148.
- » — 1937. The distribution, structure, and properties of tension wood in beech (*Fagus sylvatica* L.). Forestry 11(2): 85—91.
- COCKRELL, R. A. & KNUDSON, R. M. 1973. A comparison of static bending, compression and tension parallel to grain and toughness properties of compression wood and normal wood of a giant sequoia. Wood Sci. Technol. 7(4): 241—250.
- DELORME, A. 1974. Über das Auftreten von Faserstauchungen in Fichtensturmholz. Forstarchiv 45(7): 121—128.
- DOHR, A. W. 1953. Mechanical properties of Brazilian Parana pine. Southern Lumberman 186(2324): 39—42.
- DROW, J. T., MARKWARDT, L. J. & YOUNGVIST, W. G. 1958. Results of impact tests to compare the pendulum impact and toughness test methods. U. S. For. Serv. Rep. U. S. For. Prod. Lab. 2109.
- HALE, J. D., PEREM, E. & CLERMONT, L. P. 1961. Importance of compression wood and tension wood in appraising wood quality. Can. Dept. For. Pap. 0—186.
- HASKELL, H. H. 1958. Strength properties of tension wood and typical wood in a leaning eastern cottonwood tree. For. Prod. J. 8(1): 17—22.
- HUGHES, J. F. 1965. Tension wood. A review of literature. For. Abstr. 26(1): 2—9, (2): 179—186.
- HUURI, O. 1976. Kallistumisilmiö istutusmännikössä. Tiedustelun tuloksia. Summary: Tilting of planted pines; survey results. Folia For. 265.
- KLAUDITZ, W. & STOLLEY, I. 1955. Über die biologisch-mechanischen und technischen Eigenschaften des Zugholzes. Holzforschung 9(1): 5—10.
- KNIGGE, W. 1958. Das Phänomen der Reaktionsholzbildung und seine Bedeutung für die Holzverwendung. Forstarchiv 29(1): 4—10.
- KUČERA, B. 1970. Einfluss einiger Fehler auf die Biegefestigkeit von Fichtenholz. Holztechnologie 11(4): 219—224.
- » — 1973. Holzfehler und ihr Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften der Fichte und Kiefer. Holztechnologie 14(1): 8—17.

- LASSEN, L. E. 1959. Tension wood in cottonwood. Its effect on density, toughness, and compression. *For. Prod. J.* 9(3): 116–120.
- MATSUMOTO, T. 1950. (Studies on compression wood 3. Compression strength and failures in sugi (*Cryptomeria japonica*)). *Repr. Bull. Marioka Coll. Agr. For. Iwate Univ.* (26): 89–95. (Ref. FA 15 N:o 620).
- OLLINMAA, P. J. 1955. Koivun vetopuun anatomisesta rakenteesta ja ominaisuuksista. Summary: On the anatomic structure and properties of the tension wood in birch. *Acta For. Fenn.* 64.3.
- » — 1956 a. Havupuiden lylypuun rakenteesta ja ominaisuuksista. *Metsät. Aikak.* (4): 133–137.
- » — 1956 b. Vetopuun rakenteesta ja ominaisuuksista. Summary: On the structure and properties of tension wood. *Paperi ja Puu* 38(12): 603–611.
- » — 1959. Reaktiopuututkimuksia. Summary: Study on reaction wood. *Acta For. Fenn.* 72.1.
- VON PECHMANN, H. 1953. Untersuchungen über die Bruchschlagarbeit von Rotbuchenholz. *Holz Roh-u. Werkstoff* 11(9): 361–367.
- » — 1958 a. Ueber den Zusammenhang zwischen der Struktur und der Festigkeit bei einigen Laubhoelzern. IUFRO 12th Congress, Oxford 1956, Volume 4, s. 229–236.
- » — 1958 b. Das Auftreten von Zugholz im Holz der Rotbuche und der Eiche und dessen Auswirkung auf die Festigkeit, das Schwinden und die Furniertauglichkeit des Holzes. IUFRO 12th Congress, Oxford 1956, Volume 4, s. 237–241.
- PEREM, E. 1958. The effect of compression wood on the mechanical properties of white spruce and red pine. *For. Prod. J.* 8(8): 235–240.
- PYYKKÖ, M. 1976. Reaktiopuu. *Luonnon Tutkija* 80(5): 139–146.
- RÜNGER, H. G. & KLAUDITZ, W. 1953. Über Beziehungen zwischen der chemischen Zusammensetzung und den Festigkeitseigenschaften des Stammholzes von Pappeln. *Holzforschung* 7(2/3): 43–58.
- SACHSSE, H. 1965. Untersuchungen über Eigenschaften und Funktionsweise des Zugholzes der Laubbäume. *Schriftenr. Forstl. Fak. Univ. Gött.* 35.
- SACRÉ, E. 1959. (Tension wood in poplars). *Bull. Inst. Agron. Gembloux* 27(4): 435–444. (Ref. FA 21 No. 3672).
- TIKKA, P. S. 1935. Puiden vikanaisuksista Pohjois-Suomen metsissä. Tilastollis-metsäpatologinen tutkimus. Referat: Über die Schadhaflichkeiten der Bäume in den Wäldern Nord-Suomis (-Finlands). Eine statistisch-forstpathologische Untersuchung. *Acta For. Fenn.* 41.1.
- UEDA, K. 1973. (Studies on the mechanical properties of reaction woods. Report 2.) (Summary). *Res. Bull. Coll. Exp. For. Hokkaido Univ.* 30(2): 379–388.
- UUSVAARA, O. 1974. Wood quality in plantation-grown Scots pine. *Lyhennelmä: Puun laadusta viljelymänniköissä.* *Commun. Inst. For. Fenn.* 80.2.
- ZENKER, R. 1961. Beitrag zur Klärung der Beziehungen zwischen den anatomischen und physikalischen Eigenschaften des Pappelholzes unter besonderer Berücksichtigung des Zugholzes. *Arch. Forstw.* 10(4–6): 603.
- » — & MÜLLER-STOLL, W. R. 1966. Einfluss der Zugholzfasern auf die Festigkeitseigenschaften des Pappelholzes in nassem und trockenem Zustand. *Holztechnologie* 7(1): 17–25.

SUMMARY:

MECHANICAL STRENGTH OF REACTION WOOD

According to the literature, the mechanical strength of the green reaction wood of softwood species (compression wood) is greater than that of normal wood. Drying increases the mechanical strength but less in reaction wood than in normal wood. In particular, the tensile strength along the grain and the impact strength are lower than in normal wood. The compression strength and possibly bending strength are greater, however.

The properties of the reaction wood of hardwood species (tension wood) differ from those of soft-

woods. When green, all the mechanical properties are weaker than those of normal wood. When dried, the tensile strength and impact strength are better and compression strength lower. There is no great difference in the bending strength.

When the higher density of reaction wood is not taken into account and there are no impact forces, the mechanical strength of reaction wood in sawn goods etc. does not differ so much from that of normal wood. The harmful effect of knots, for example, can in practice be much greater.