

Pieniläpimittaisen männyn kuituominaisuudet

Riitta Laurila

ABSTRACT: FIBRE PROPERTIES IN PINUS SYLVESTRIS SMALLWOOD

Laurila, R. 1989. Pieniläpimittaisen männyn kuituominaisuudet. Abstract: Fibre properties in *Pinus sylvestris* smallwood. *Silva Fennica* 23(1): 51 - 58.

Puuraaka-aineen kuitujen dimensiot, varsinkin pituus ja soluseinän paksuus, vaikuttavat merkittävästi massan ja valmiin paperin lujuusominaisuuksiin. Trakeidien pituus ja leveys kasvavat säteensuunnassa ytimestä pintaan siirryttäessä. Nuorilla, pienikokoisilla puilla myös solujen dimensiot ovat pienemmät. Kahdeksasta mäntykoepuusta mitattiin solun pituus ja soluseinän paksuus. Pieniläpimittaisilla mäntykoepuilla sekä oksa- että runkopuun trakeidit olivat lyhyempiä kuin normaalikokoisilla kuitu- ja tukkipuilla. Soluseinän paksuus sen sijaan oli koepuilla samaa suuruusluokkaa kuin muissa tutkimuksissa esitetyt arvot normaalikokoisilla kuitupuilla. Ilmeisesti L/T -suhde (solun pituus/soluseinän paksuus) on nuorilla ja pienikokoisilla männnyillä erityisen huono.

Properties of fibres in pulpwood, especially length, width and the thickness of walls in tracheids, are essential for strength properties of pulp and paper. Length and width of tracheids increase from pith to surface in radial direction. Young and small-sized stems have also smaller fibres. Small-sized *Pinus sylvestris* test trees had tracheids that were shorter both in stem and knot wood than those in normal sized pulp trees. However, cell walls in test trees were as thick as in normal sized trees. It seems that especially the L/T -ratio (length/thickness) in small stems is worse than in normal sized pulp wood.

Keywords: *Pinus sylvestris*, smallwood, tracheid length, cell wall thickness. ODC 811 + 174.7

Author's address: University of Helsinki, Department of Logging and Utilization of Forest Products, Unioninkatu 40 B, SF-00170 Helsinki.

Accepted January 25, 1989

1. Johdanto

Tutkimus on osa Metsäntutkimuslaitoksen ja Helsingin yliopiston yhteistutkimusta, jonka tavoitteena on pieniläpimittaisen puun korjuun ja hyväksikäytön tehostaminen.

Metsä 2000 -ohjelman tavoitteiden mukaan taimikonhoitotöiden ja ensiharvennuksien määrää tulee huomattavasti lisätä

lähivuosina. Korkeat yksikkökustannukset huonontavat pieniläpimittaisen puun korjuun kannattavuutta. Pienikokoista puuta pidetään lisäksi puuteknisiltä ominaisuuksiltaan heikompana kuin perinteistä runko- tai latvakuitupuuta. Em. seikat vaikeuttavat metsänhoidollisesti tärkeiden ensiharvennusten suorittamista ajallaan.

Pienpuun korjuukustannukset raaka-ainetonnina kohti ovat korkeammat kuin perinteisellä kuitupuulla. Pienpuun korjuun kannattavuutta voidaan parantaa käyttämällä korjuussa kokopuumenetelmää, jossa koko rungon maanpäällinen biomassa käytetään raaka-aineeksi.

Puuta kuiduttavan teollisuuden lopputuotteiden laatuun vaikuttaa huomattavasti raaka-aineena olevan puun kuituominaisuudet. Kuidun pituutta on pidetty tärkeimpänä paperin lujuuteen vaikuttavana tekijänä (mm. Dadswell & Wardrop 1954, Barefoot ym. 1964).

Kuidun pituuden merkityksestä on myös toisenlaisia tuloksia. Hornin (1974) mukaan kuidun pituus ei merkittävästi selitä paperin lujuutta. Sen sijaan kuidun pituuden ja soluseinän paksuuden välillä oli selvä korrelaatio, joten ilmeisesti soluseinän paksuuden ja paperin lujuuden väliin selvään riippuvuuteen vaikutti osaltaan myös kuidun pituus. On saatu myös tuloksia, joiden mukaan paperin lujuuden kannalta on merkittävää vain, että kuidut ylittävät tietyn minimipituuden (Dinwoodie 1965).

Ns. lyhytkuituisilla massoilla (lehtipuumassat) lujuus on heikko, mutta optiset ominaisuudet hyvät. Tämä johtuu lähinnä siitä, että lyhytkuitumassoilla on enemmän kuituja massayksikköä kohti, mikä antaa paperille hyvän formaation, opasiteetin ja pinnan tasaisuuden (Kumlin 1988).

Jos soluseinän paksuus on vakio, solun halkaisija vaikuttaa lähinnä paperin opti-

siin ominaisuuksiin. Soluseinän paksuudella on positiivinen korrelaatio saantoon, paperin bulkkiin ja repäisylujuuteen. Soluseinän paksutessa puhkaisu-, veto- ja tahtolujuus heikkenevät (Pulpwood properties... 1960).

Kuidun pituuden ja soluseinän paksuuden suhteen (L/T suhde) on todettu ennustavan paperiarkin lujuutta paremmin kuin kummankaan tekijän erikseen (Horn 1974, Matolcsy 1975, Watson & Dadswell 1964). Paperinvalmistuksessa kuitujen välille muodostuvat sidokset määräävät pitkälti paperin lujuusominaisuudet. Sidoksia muodostuu sitä enemmän, mitä enemmän kuitujen välillä on kosketuskohtia. Pitkät ja ohutseinäiset kuidut litistyvät viiralla nauhamaisiksi, jolloin muodostuu paljon sidoksia. Mitä suurempi L/T -suhde kuiduilla on, sitä paremmat lujuusominaisuudet on massalla.

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää massanvalmistusprosessin kannalta oleellisten kuituominaisuuksien, trakeidien pituuden ja soluseinän paksuuden vaihtelua pieniläpimittaisella männyllä. Tavoitteena on kartoittaa perinteistä kuitupuuta pienempien mäntyrunkojen käyttökelpoisuutta massanvalmistuksen raaka-aineena.

Käsikirjoitusta kommentoivat professorit Pentti Hakkila, Matti Kärkkäinen ja Esko Mikonen. Näytteiden preparoinnissa ja aineiston mittauksessa opasti FK Pekka Saranpää sekä aineiston käsittelyssä MMK Erkki Eilavaara. Kiitän saamastani tuesta.

2. Aineisto ja menetelmät

21. Aineisto

Tutkimusaineisto kerättiin marraskuussa 1987 Metsäntutkimuslaitoksen Kannuksen koaseman lähistöltä. Mittauksia varten valittiin kahdeksan mäntyä neljältä eri kasvupaikalta. Koepuut otettiin metsikön sisältä reunavaikutuksen eliminoimiseksi. Koepuiksi pyrittiin saamaan mahdollisimman erilaisen kasvunopeuden omaavia puita. Koepuista mitattiin pituus, rinnan-

korkeusläpimitta, elävän latvuksen raja ja kannonkorkeusikä. Kasvupaikalta mitattiin pohjapinta-ala (taulukko 1).

Koepuista sahattiin kiekot 20 %:n, 80 %:n ja 1,3 metrin korkeudelta. Oksanäytteet otettiin yhdestä alimman elävän oksakiehkuran oksasta ja yhdestä oksasta latvuksen keskikohdalta. Näytekappaleet sahattiin oksan tyvestä ja oksan pituuden puolivälisistä. Koepuista määritettiin tiheys ja kosteus. Runko-osan tiheys määritettiin rinnankor-

keuskiekoista ja oksien tiheys kummankin näyteoksen pituuden puolivälisistä.

22. Tutkimusmenetelmä

Trakeidien pituuden ja soluseinän paksuuden mittaamista varten runkokiekoista otettiin kolme näytepalaa. Näytteenottokohdat olivat kolmas lusto pinnasta, kolmas lusto ytimeistä ja keskimäinen lusto.

Oksakiekoista otettiin näytteet keskimäisestä vuosilustosta neljästä kohtaa kohdittuorassa suunnassa toisiaan vastaan. Milloin oksa oli epäpyöreä tai siinä oli muuten selvästi erotettavissa lylypuuta, näytteet otettiin siten, että mukaan tuli lyly-, vasta- ja sivupuuta. Jos oksa oli kokonaan normaalipuuta, näytteet otettiin satunnaisesti. Näytteiden tunnistamiseksi ne numeroitiin kolminumeroisella numerosarjalla.

Trakeidien pituuden mittaamista varten näytepalat maseroitiin Franklinin menetelmällä 30 % vetyperoksidin ja jääetikan (1:1) seoksessa (Franklin 1945). Trakeidien pituus mitattiin viivottimella heijastusmikroskoopin levyiltä käyttäen 49-kertaista suurennosta. Näytteistä mitattiin 50 trakeidin pituus siten, että viisi solua kerrallaan mitattiin karttametrillä. Mitattaessa edettiin järjestelmällisesti preparaatin reunoja pitkin, jolloin välttyttiin mittaamasta samaa solua kahteen kertaan. Kaikkiaan mitattiin 8800 solun pituus.

Soluseinän paksuuden mittaamista varten tehtiin näytepaloja vastaavista kohdista kuin maserointia varten. Näytteistä leikattiin liukumikrotomilla ohutleikkeitä joi-

Taulukko 1. Tiedot koepuista.
Table 1. Data on sample trees.

Puu n:o	Pituus	Latvus- raja	D 1,3	Ikä	Oksan paksuus alempi ylempi
Tree	Height	Crown limit	D 1,3	Age	Thickness of branch lower upper
	m	m	cm	a	cm cm
1	12,1	8,0	8,5	64	1,5 0,7
2	14,0	10,0	9,5	58	1,5 1,3
3	8,1	4,0	9,0	93	1,6 1,6
4	8,2	3,8	8,0	58	1,1 1,2
5	11,4	6,3	8,0	45	1,6 1,7
6	7,4	3,3	8,0	45	1,5 1,8
7	10,1	4,0	8,5	28	1,3 1,7
8	8,8	3,0	6,5	30	1,4 1,2

den paksuus oli 30...40 mikrometriä. Leikkeet värjätiin safraniinilla ja suljettiin glyseriinigelatiiniin. Sekä maserointi- että ohutleikepreparaatit merkittiin em. kolminumeroisella tunnuksella.

Poikkileikkausleikkeistä mitattiin luston leveys 49-kertaisella suurennoksella. Mittattavasta lustosta laskettiin myös solujen lukumäärä. Soluseinän paksuuden laske- mista varten tutkittavasta lustosta mitattiin kymmenen solun ja soluontelon halkaisija säteen ja tangentin suunnassa. Kustakin lustosta mitattiin tasaisin välein kymmenen solua. Halkaisijan mittauksissa käytettiin 600-kertaista suurennosta. Suurennokset tarkistettiin objektimikrometrillä. Solun ja soluontelon halkaisijat mitattiin kaikkiaan 1760 solusta.

3. Tulokset

31. Trakeidien pituus

Näytepalojen edustamalla rungon tilavuudella painotettu trakeidien keskimääräinen pituus koko aineistossa oli 1,4 mm. Pisin solu oli 2,7 mm ja lyhyin 0,7 mm. Solujen pituus kasvoi yli kaksinkertaiseksi ytimeistä pintaan päin siirryttäessä. Ytimen lähellä, kolmannessa vuosilustossa, trakei-

dien pituus oli 1,0 mm ja uloimmissa lustoissa 2,1 mm.

Runkopuun trakeidit olivat selvästi pitempiä kuin oksapuun (taulukko 2). Rungon tyviosassa trakeidit olivat jonkin verran pitempiä kuin latvuksessa. Ero ei kuitenkaan ole yhtä suuri kuin runko- ja oksapuun välillä. Trakeidien jakautuminen pituusluokkiin on esitetty kuvissa 1 ja 2.

Taulukko 2. Trakeidien pituus, leveys ja soluseinän kaksinkertainen paksuus puun eri osissa.
Table 2. Tracheid length, diameter and double cell wall thickness in different parts of tree.

Puun osa Part of tree	Solun pituus mm Tracheid length, mm		2 x soluseinä, μm säteen suun. tan. suun. Double cell wall thickness, μm				Solun lpm, μm Tracheid diameter, μm	
	\bar{x}	s	Rad.		Tan.		\bar{x}	s
			\bar{x}	s	\bar{x}	s		
Runko Stem	1,96	0,53	9,28	1,67	10,09	2,12	26,33	3,36
Oksat Branches	0,84	0,08	6,82	1,25	8,08	1,53	16,74	2,90
Runko 20 % korkeudella Stem at 20 % height	2,11	0,20	9,70	1,89	10,97	2,38		
Runko 80 % korkeudella Stem at 80 % height	1,56	0,16	8,89	1,36	9,24	1,42		
Runko pinta Stem, near surface	2,13	0,24	10,49	1,40	11,59	1,56		
Runko keski Stem, centre	1,76	0,14	9,56	1,25	10,59	1,96		
Runko ydin Stem, near pith	0,96	0,10	7,82	1,13	8,10	0,91		
Oksat lyly Branches, compression wood	0,81	0,07	7,93	1,24	9,54	1,44		
Oksat vastapuu Branches opposite wood	0,87	0,08	6,37	0,88	7,40	0,96		
Oksat sivupuu Branches, intermediate wood	0,85	0,08	6,49	1,07	7,69	1,33		

Oksista mitattiin trakeidien pituus sekä lyly-, vasta- että sivupuusta. Lylypuun trakeidit olivat 8 % lyhyempiä kuin vastapuun solut. Sivupuun trakeidien pituus asetui näiden välille. Trakeidien keskimääräinen pituus oksapuussa oli 0,8 mm.

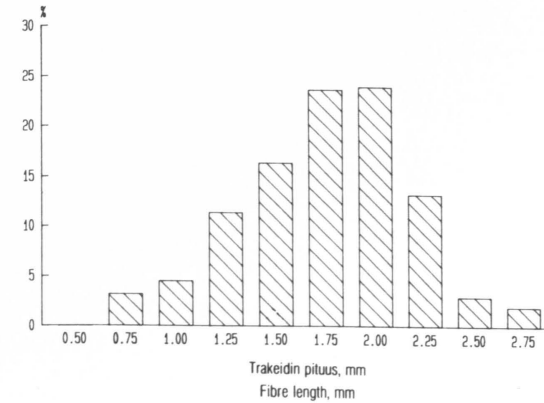
32. Solun halkaisija ja soluseinän paksuus

Soluseinän paksuuden mittauksen yhteydessä mitattiin jokaisesta tutkittavasta lustomasta leveys ja solujen lukumäärä. Solujen keskimääräinen säteen suuntainen leveys laskettiin jakamalla lustoman leveys solujen lukumäärällä. Koko aineistossa solun halkaisijan painotettu keskiarvo oli 23,7 μm . Solun läpimitta vaihteli 7,8 μm :stä 34,3

mikrometriin.

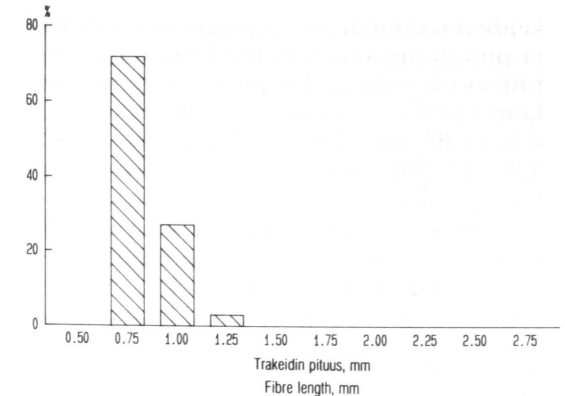
Mittaustekniikasta johtuen soluseinän paksuus on ilmoitettu kaksinkertaisena. Poikkileikkausnäytteistä mitattiin solun ja soluontelon halkaisijat, joiden erotus on soluseinien yhteenlaskettu paksuus. Koko puussa soluseinän kaksinkertainen paksuus oli keskimäärin 8,6 μm säteensuunnassa ja 9,5 μm tangentinsuunnassa. Solun halkaisijat ja soluseinän paksuudet rungon eri osissa on esitetty taulukossa 2.

Runkopuussa soluseinän kaksinkertaisen paksuus vaihteli säteensuunnassa 6,2 μm :stä 13,3 μm :iin ja tangentinsuunnassa 6,8 μm :stä 16,0 μm :iin. Oksapuun trakeidien seinämät olivat noin 2 mm ohuempia sekä säteen- että tangentinsuunnassa. Soluseinämien paksuuden jakautuminen runko- ja oksapuussa on esitetty kuvissa 3 ja 4.



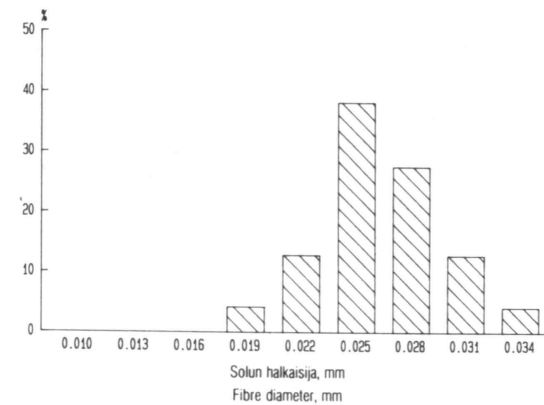
Kuva 1. Trakeidien jakautuminen pituusluokkiin runkopuussa.

Fig. 1. Fibre length distribution in stemwood.



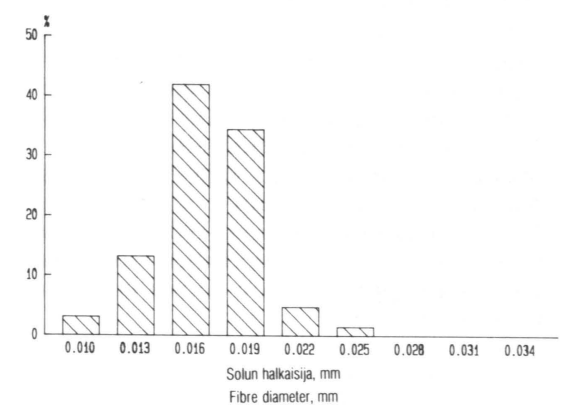
Kuva 2. Trakeidien jakautuminen pituusluokkiin oksapuussa.

Fig. 2. Fibre length distribution in knot wood.



Kuva 3. Solun halkaisijan jakautuminen luokkiin runkopuussa.

Fig. 3. Fibre diameter distribution in stemwood.



Kuva 4. Solun halkaisijan jakautuminen luokkiin oksapuussa.

Fig. 4. Fibre diameter distribution in knot wood.

4. Tulosten tarkastelu

Sanion esittämän ja myöhemmin monien muiden tutkijoiden (esim. Dinwoodie 1961) vahvistaman mallin mukaan männyllä solujen pituus kasvaa siirryttäessä ytimestä kuoreen päin, kunnes maksimipituus saavutetaan. Sen jälkeen solujen pituus pysyy vakiona pintaan saakka. Sanion mukaan maksimipituus saavutetaan 25...60. vuosiluston kohdalla (Dinwoodie 1961). Helanderin (1933) tutkimuksessa

suomalaisella männyllä maksimipituus saavutettiin vasta 60...100. vuosilustossa.

Tutkittu aineisto noudattaa ns. Sanion lakia siten, että trakeidien pituus kasvaa ytimestä pintaan päin. Ilmeisesti maksimipituutta ei kuitenkaan pieniläpimittaisilla koepuilla vielä ole saavutettu, koska solujen keskipituus jää selvästi kirjallisuudessa esitettyjä keskimääräisiä arvoja pienemmäksi. Tutkitun aineiston runkopuun tra-

keidien painotettu keskipituus oli 1,96 mm ja pintapuussakin solujen keskimääräinen pituus on vain 2,13 mm. Esimerkiksi Helander (1933) on saanut solujen keskipituudeksi 2,83 mm, Jalava (1952) tukkipuulla 3,0...3,5 mm ja Hosia ym. (1971) mäntykuitupuulla 2,86 mm.

Kuidun piteuden vaihtelu säteen suunnassa on suurta. Uloimmista lustoista on useissa tutkimuksissa mitattu 3,5...4,5 mm pituisia soluja (Sanio 1872, Jalava 1952, Trendelenburg & Mayer-Wegelin 1955, Miller ym. 1979, Atmer & Thörnqvist 1982). Ollinmaan (1961) tutkimuksessa on hitaasti kasvaneiden, 35...40-vuotiaiden mäntyrunkojen sisäosista mitattu kuitujen keskipituudeksi 1,57 mm. Solujen piteuden vaihteluväli Ollinmaan tutkimuksessa oli 0,8...2,2 mm. Tässä tutkimuksessa trakeidien piteus vaihteli 0,7...2,7 mm.

Lähinnä ydintä olevassa ns. nuorpuussa solujen piteus kasvaa nopeasti pintaan päin. Nuorpuuvöhykkeessä solujen keskipiteus on noin 0,5...1,5 mm (Dinwoodie 1961). Nuorpuu muuttuu vähitellen normaaliksi puuksi, mutta raja ei ole selvä. Nuorpuuta muodostuu ensimmäisten 15...25 vuosiluston verran (Wilson & White 1986). Nuorpuun suhteellinen osuus tilavuudesta riippuu rungon koosta ja kasvunopeudesta.

Oksapuussa trakeidien piteus kasvaa ytimeä pintaa kohti samoin kuin runkopuussa, mutta solut ovat keskimäärin lyhyempiä kuin samalla korkeudella olevat runkopuun solut (mm. Sanio 1872, Gleaton & Saydah 1956). Runkojen välinen vaihtelu on huomattavaa. Pitkäkuituisesta rungosta kasvavien oksien solut ovat pitempiä kuin lyhytkuituisten runkojen oksasolut (Dinwoodie 1961).

Tutkitussa aineistossa myös oksapuun trakeidit olivat lyhyempiä kuin kirjallisuudessa esitetyt tulokset oksapuun soluista. Jalava (1952) on mitannut männyn oksasolujen piteudeksi 1,9...3,2 mm, Atmer & Thörnqvist (1982) 0,8...2,0 mm ja Hosia ym. (1971) 1,54 mm. Tässä tutkimuksessa oksapuun trakeidien keskipiteudeksi mitattiin 0,84 mm.

Pieniläpimittaiset koepuut olivat joko nuoria tai varjostettuja ja hitaasti kasvaneita, ohutoksisia puita. Ohuissa oksissa trakeidit eivät olleet vielä saavuttaneet maksi-

Taulukko 3. Solun leveys ja soluseinän kaksinkertainen paksuus, μm .

Table 3. Tracheid diameter and double cell wall thickness, μm .

Soluseinän 2x paksuus Double cell wall thickness μm	Trakeidin halkaisija Tracheid diameter μm	Lähde Source
9,3...10,1	24,1...27,4	tämä tutkimus, runkopuu
6,8...8,1	16,9...20,9	tämä tutkimus, oksapu
6,8...11,4	30,6	Ollinmaa (1961)
4,0...16,0	30,0...40,0	Jalava (1952)
	14,0...46,0	Trendelenburg & Mayer-Wegelin (1955)
	26,0	Bruun & Slungaard (1959)
6,4	28,0	Annergen ym. (1969)
	20,8...30,2	Fengel (1969)
	33,4	Ericson ym. (1973)
	23,0...42,0	Atmer & Thörnqvist (1982)

mipituuttaan, mistä syystä keskipiteus jäi pieneksi.

Taulukkoon 3 on koottu vertailua varten eri tutkimuksista tuloksia solun halkaisijan ja soluseinän paksuuden vaihtelusta männyllä. Tutkitussa aineistossa runkopuun solujen läpimitta on kirjallisuudessa esitetyn vaihtelun alarajalla. Kun oksat otetaan mukaan, jää aineiston solujen läpimitta selvästi muissa tutkimuksissa esitetyistä keskimääräisistä arvoista pienemmäksi.

Solun säteensuuntainen läpimitta kasvaa kevätpuussa iän mukana ytimeä pintaan päin (Sanio 1872, Panshin & Zeeuw 1980). Kesäpuussa solujen läpimitta on suhteellisen vakio sekä säteen että tangentin suunnassa. Pieniläpimittaisissa, hitaasti kasvaneissa puissa solut ovat kuitenkin kapeampia kuin vastaavan kokoisissa nopeasti kasvaneissa puissa (Jalava 1952). Trakeidien piteuden on havaittu korreloivan läpimitan kanssa (mm. Bannan 1965), mikä selittää myös koeaineiston solujen pientä läpimittaa.

Eri tutkimuksissa esitetyt solun leveydet eivät ole täysin verrattavissa toisiinsa. Joissakin tutkimuksissa solun leveys on mitattu maseroidusta näytteestä tai massasuspensiosta. Tällä mittaustavalla saadaan jonkin verran suurempia tuloksia kuin

poikkileikkauksesta mittaamalla koska solut ovat usein litistyneitä ja lisäksi leveys mitataan aina solun leveimmästä kohtaa; poikkileikkauksesta mitattaessa tulee otetuksi huomioon trakeidin kapeneminen kärkeä kohti. Taulukossa 3 Annergrenin ym., Bruunin & Slungaardin ja Ericsonin ym. tutkimuksissa solun leveys on mitattu maseroidusta näytteestä.

Mittausten menetelmällä on vaikutusta myös trakeidin keskipiteuteen. Laboratoriossa varovaisesti maseroiduissa näytteissä suurin osa soluista säilyy ehjinä ja tulee mukaan mittaukseen. Tehdasprosessista otetussa kuitunäytteessä ohuempiseinäiset kevätpuun trakeidit ovat usein katkenneet, joten mittaukseen tulee suhteettoman paljon ehjänä säilyviä paksuseinäisiä ja keskimääräistä pitempiä kesäpuun soluja.

Soluseinän paksuutta on tutkittu huomattavasti vähemmän kuin esimerkiksi solun piteutta (taulukko 3). Tutkitussa aineistossa soluseinän paksuus oli yllättävän suuri, varsinkin runkopuussa. Mittausmenetelmällä saattaa olla vaikutusta lopputulokseen. Tässä tutkimuksessa solujen kes-

kimääräinen läpimitta mitattiin systemaattisesti määrävällein kunkin mitattavan vuosiluston yhdestä trakeidirivistä, jolloin läpimitan keskiarvo edustaa luston solujen keskiarvoa. Useimmissa muissa tutkimuksissa on mitattu sama määrä kesä- ja kevätpuun soluja, joiden keskiarvo ei useinkaan ole sama kuin luston solujen keskimääräinen halkaisija. Esimerkiksi kesäpuun osuus ei tällöin vaikuta keskiarvoon.

Mittaustulosten perusteella näyttää mahdolliselta, että solun seinämän paksuuskasvu saavuttaa maksimin ennen piteuden maksimia. Massanvalmistuksen kannalta tärkeä L/T -suhde (solun piteuden suhde soluseinän paksuuteen) olisi tällöin erityisen huono pienillä rungoilla.

Massanvalmistuskokeilla selvitettäväksi jää, onko pieniläpimittaisista havupuista saatava lyhytkuituinen massa optisilta ominaisuuksiltaan yhtä hyvää kuin lehtipuiden lyhytkuitumassa (esim. Kumlin 1988). Pitkälle jauhattu massan ja armeerausmassan seoksena saattaa olla varteenotettava vaihtoehto.

Kirjallisuus

- Annergren, G., Rydholm, S. & Vardheim, S. 1962. Influence of raw material and pulping process on the chemical composition and physical properties of paper pulps. *Svensk Papperstidning* 66(6):196-210.
- Atmer, A. & Thörnqvist, T. 1982. Fiber egenskaper i gran och tall. Sveriges Lantbruksuniversitet, Inst. för Virkeslära, Rapp. 134.
- Bannan, M.W. 1965. The length, tangential dimension and length-width-ratio of coniferous trees. *Can. J. of Bot.* 43:967-984.
- Barefoot, A.C., Hitchings, R.G. & Ellwood, E.L. 1964. Wood characteristics and kraft paper properties of four selected loblolly pines. *TAPPI* 47(6):343-356.
- Bruun, H. & Slungaard, S. 1959. Investigation of porous wood as pulp raw material. *Paperi ja Puu* 41(2):31-34.
- Dadswell, H.E. & Wardrop, A.B. 1954. Growing trees with wood properties desirable for paper manufacture. *APPITA* 12(1):129-136.
- Dinwoodie, J.M. 1961. Tracheid and fibre length in timber: A review of literature. *Forestry* 34(2):125-144.
- 1965. The relationship between fiber morphology and paper properties: A review of literature. *TAPPI* 48(8):440-465.
- Ericson, B., Johnson, T. & Persson, A. 1973. Ved och sulfatmassa från tall. Skogshögsk., Inst. för Skogsprod., Rapp. 25.
- Franklin, G.L. 1945. Preparation of thin sections of synthetic resins and woodresins and a new macerating method for wood. *Nature* 155:51.
- Gleaton, E. & Saydah, L. 1956. Fibre dimensions and papermaking properties of the various portions of tree. *TAPPI* 39(2):157A-158A.
- Helander, A.B. 1933. Kuusen ja männyn vesisolujen piteusvaihtelut. Puutekniikan tutkimuksen kannatusyhdistyksen julkaisuja 14.
- Horn, R.A. 1974. Morphology of wood pulp fiber from softwoods and influence on paper strength. USDA Forest Service, Research Paper FPL 242.
- Hosia, M., Lindholm, C.-A., Toivonen, P. & Nevalainen, K. 1971. Undersökningar rörande utnyttjandet av barr-trädsgrenar som råmaterial för kemisk massa och hård fiberskiva. *Paperi ja Puu* 53(2):49-66.

- Jalava, M. 1952. Puun rakenne ja ominaisuudet. WSOY. Helsinki.
- Kumlin, K. 1988. Kortfibermassor - en jämförelse mellan björk och eukalyptus. Svensk Papperstidning 8:30 - 32.
- Matolcsy, G.A. 1975. Correlation of fiber dimensions and wood properties with the physical properties of kraft pulp of *Abies balsamea* L. TAPPI 58(4):136 - 141.
- Metsä 2000 -ohjelma. Talousneuvosto. Valtion painatuskeskus. ISBN 951-46-8661-6.
- Miler, Z., Miler A. & Pasternak, P. 1979. Długość włókien drzewnych drewna proveniencji sosny zwyczajnej. Poznanskie towarzystwo przyjaciół nauk. Prace Komisji Nauk Rolniczych I Komisji Nauk Lesnych. TOM XLVIII 1979:95 - 101.
- Ollinmaa, P.J. 1961. Reaktiipuutkimuksia. Acta For. Fenn. 72(1).
- Panshin, A.J. & de Zeeuw, C. 1980. Textbook of wood technology. McGraw-Hill Book Company. ISBN 0-07-048441-4.
- Pulpwood properties: response of processing and of paper quality to their variation. Forest biology subcommittee no. 2 on tests and quality objectives 1960. TAPPI 43(11):40A - 64A.
- Sanio, K. 1872. Über die Grösse der Holzzellen bei der gemeinen Kiefer. Jahrb. f. wissenschaftl. Bot. VIII:401 - 420.
- Trendelenburg, R. & Mayer-Wegelin, H. 1955. Das Holz als Rohstoff. Carl Hanser Verlag. München.
- Watson, A.A. & Dadswell, H.E. 1964. Influence of fibre morphology on paper properties 3. Length-diameter (L/O) ratio. APPITA 17(6):146 - 156.
- Velling, P. & Nepveu, G. 1986. Männyn puuaineen laadun ja tuotoksen vaihtelu suomalaisessa proveniensiikoesarjassa. Silva Fennica 20(3):211 - 231.
- Wilson, K. & White, D.J.B. 1986. The anatomy of wood: its diversity and variability. Stobart & Son Ltd. London.

Total of 27 references