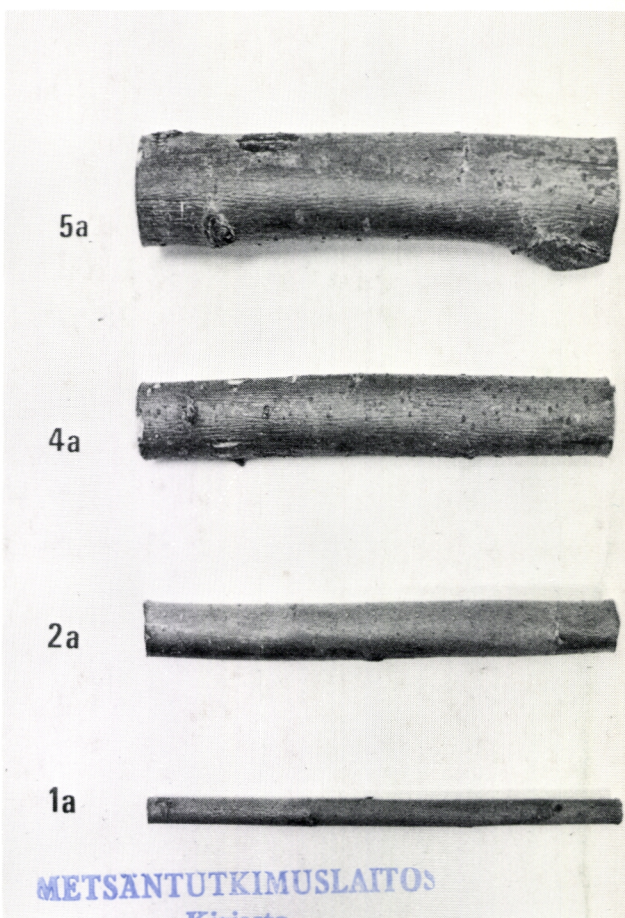


METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 163

KANNUKSEN TUTKIMUSASEMA



Jyrki Hytönen ja Ari Ferm

VESIPAJUN VESOJEN PUUTEKNISIÄ OMINAISUUKSIA

Abstract:

On the technical properties of *Salix* 'Aquatica' sprouts

Kannus 1984

**Metsäntutkimuslaitos
Kannuksen tutkimusasema
Valtakatu 18
69100 Kannus
puh. 968-71161**

**Forest Research Institute
Kannus Research Station
Valtakatu 18
SF-69100 Kannus
Finland**

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
TIEDONANTOJA 163
KANNUKSEN TUTKIMUSASEMA

VESIPAJUN VESOJEN PUUTEKNISIÄ OMINAISUUKSIA
On the technical properties of Salix 'Aquatica'
sprouts

Jyrki Hytönen ja Ari Ferm

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ. ABSTRACT	2
1. JOHDANTO	4
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	4
3. TULOKSET	6
3.1. Kuiva-tuoretiheys	6
3.2. Kosteussuhde	11
3.3. Kuoren osuus	15
4. TULOSTEN TARKASTELU JA PÄÄTELMIÄ	17
KIRJALLISUUS	19

Kannus 1984

ISBN 951-40-0979-7

ISSN 0358-4283

TIIVISTELMÄ. ABSTRACT

HYTÖNEN, J. & FERM, A. 1984. Vesipajun vesojen puuteknisiä ominaisuuksia. On the technical properties of Salix 'Aquatika' sprouts.

Tutkimuksessa määritettiin eri korkeuksilta otettujen näytteiden avulla 1-, 2-, 4- ja 5-vuotiaiden, toistuvilla lannoituksilla käsiteltyjen vesipajun (Salix 'Aquatika') vesojen puuaineen ja kuoren kuiva-tuore-tiheys ja kosteus, kosteussuhde sekä kuoren osuus massasta ja tilavuudesta. Kosteus- ja tiheysnäytteiden optimaalinen otantakorkeus pajujen pituussuunnassa pyrittiin määrittämään.

Pajujen kuorellinen kuiva-tuoretiheys kasvoi iän noustessa yhdestä kahteen vuoteen 68 kg/m^3 , iän noustessa kahdesta viiteen vuoteen tiheys kasvoi enää 30 kg/m^3 . Myös puuaineen ja kuoren kuiva-tuoretiheys kasvoi hidastuen iän kohoamisen myötä. Kuoren tiheys eri ikäisillä pajuilla oli keskimäärin $5-27 \text{ kg/m}^3$ suurempi kuin puuaineen tiheys. Eri ikäisten vesojen kuiva-tuoretiheys laski tyvestä latvaan päin.

Yksivuotiaiden pajujen kosteussuhde oli korkein, $188,5 \%$, vanhempien pajujen kosteussuhde laski vain hieman iän myötä, kaksivuotiaiden $134,1 \%$:sta viisivuotiaiden $127,1 \%$:iin. Kuoren kosteussuhde oli 1-, 2-, 4- ja 5-vuotiailla pajuilla $10,6 - 21,7 \%$ -yksikköä suurempi kuin puuaineen kosteussuhde. Kuorellisen puuaineen kosteussuhde laski tyveltä vesan keskiosiin alkaen sitten taas nousta.

Kuoren osuus laski iän myötä: yksivuotiailla se oli $33,5 \%$ ja viisivuotiailla $11,2 \%$ rungon kuivamassasta.

Tiheys- ja kosteusnäytteiden parasta näytteenottokorkeutta tutkittiin t-testillä vertaamalla eri korkeuksilta otettujen kiekkojen arvoja koko pajun arvoihin.

- - - - -

The possibilities of producing wood biomass as an energy source by means of intensive cultivation methods has been studied in the PERA Project currently being carried out at the Finnish Forest Research Institute. One interesting research object has been the production of willow biomass. The biological principles of energy farming have been studied for a number of years already in extensive field trials. However, very little is known about the properties of the material being produced, which is important from the point of view of the utilization and further processing of the raw-material.

The test material consisted of fertilized 1-, 2-, 4- and 5-year-old sprouts of Salix 'Aquatika'. The basic density, moisture content of the wood and bark, as well as the proportion of bark out of the weight and volume, were determined on samples taken from different heights. The parts of

the stem where the mean values of the above parameters occur were also determined. This information is important in optimising the sampling techniques used in biomass measurements.

The mean values of the technical properties of the wood of *Salix* 'Aquatika' are presented in Table 1. The basic density of the wood and bark increased strongly (by 68 kg/m^3) as the age of the willow sprouts increased from one to five years. However, as the age increased from two to five years the density only increased by 30 kg/m^3 . The individual basic densities of the bark and wood also increased along with an increase in age. The density of the bark was on the average, $5...27 \text{ kg/m}^3$ greater than that of the wood in sprouts of different age. The basic density of the different-aged sprouts decreased on moving from the butt to the top of the sprout.

The moisture content was highest (184,5 %) in the one-year-old sprouts. In the case of the older willow sprouts, however, the moisture content decreased only slightly with an increase in age. The moisture content of the bark of the 1-, 2-, 4- and 5-year-old willow sprouts was 10,6...21,7 %-units greater than that of the wood. The moisture content of the wood and bark together decreased on moving upwards from the base of the sprouts, but then started to increase after the mid-point of the sprout.

The proportion of bark out of the dry mass and volume was the smaller, the greater the diameter of the portion of the sprout in question, and the greater the age of the sprout. The proportion of bark out of the dry mass was 33,5 % in the case of the one-year-old sprouts, and 11,2 % in the case of the five-year-old ones.

The best sampling height for density and moisture content samples was determined by comparing (using the t-test) the values for discs taken at different heights with the weighted mean values of the whole sprout.

1. JOHDANTO

Metsäntutkimuslaitoksen PERA-projektissa on tutkittu mahdollisuuksia tuottaa puumassaa energiaraaka-aineeksi voimaperäisen viljelyn avulla. Eräänä kiinnostuksen kohteena on ollut pajun massatuotanto. Energiaviljelyn biologisia perusteita on tutkittu jo usean vuoden ajan laajoin kenttäkokein. Kuitenkin vasta tuotetun materiaalin ominaisuudet määräävät raaka-aineen jatkokäsittelyn ja käytön.

Nopeakasvuisten pajujen puuteknisistä ominaisuuksista on Pohjoismaissa tutkimuksia vähän. Ruotsin energiametsäprojektissa on tehty vertaileva tutkimus yksivuotiaiden pajukloonien ominaisuuksista (Flower-Ellis ja Olsson 1981) ja lisäksi on mainittava Valtion teknillisessä tutkimuskeskuksessa suoritettut kokeet (esim. Äijälä 1982). Maatiaispuun ja hieskoivun yksivuotisten vesojen ominaisuuksia ovat tutkineet Bhat ym. (1981).

Tässä tutkimuksessa määritettiin hyvin nuorista vesipajun (Salix 'Aquatica') vesoista eri korkeuksilta otettujen näytteiden avulla puuaineen ja kuoren kuiva-tuoretiheys, kosteus ja kosteussuhde sekä kuoren osuus massasta ja ti-lavuudesta. Samalla selvitettiin, missä osassa pajun runkoa on edellä mainittujen tunnusten keskimääräisarvo. Tällä tiedolla on merkitystä pajubiomassan mittaustelmien kehittämässä.

Koepuiden otannasta ja alkukäsittelystä huolehtivat Olavi Kohal ja Tarja Palola. Laboratoriomittaukset suorittivat Tarja Palola ja Tarja Oja. Aineiston käsittelyssä avusti Seppo Vihanta. Puhtaaksi-kirjoituksesta huolehti Maire Ala-Pönttiö. Käsikirjoitukseen ovat tustuneet Eero Paavilainen ja Olli Uusvaara. Kiitämme lämpimästi kaikkia työssä avustaneita henkilöitä.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

Koemateriaalina käytettiin 1-, 2-, 4- ja 5-vuotiaita vesipajuja (klooni E 4856), jotka kasvoivat Kannuksen taimitarhalla. Kasvualustoja oli lannoitettu toistuvasti Normaali-Y-lannoksella. Koepuiksi otettiin kutakin

ikäluokkaa neljä kappaletta eli yhteensä 16 kantove-
saa maaliskuussa 1984 (taulukko 1).

Taulukko 1. Koevesojen keskipituus ja keskityviläpimitta. Suluissa keskihajonta.
Table 1. Mean height and base diameter of sample sprouts. Standard deviation in parenthesis.

Ikä Age	Pituus, cm Height	Tyviläpimitta, mm Base diameter
1	170 (8,2)	13 (1,5)
2	255 (31,1)	22 (1,4)
4	435 (19,1)	34 (5,0)
5	515 (83,9)	49 (3,9)

Laboratoriomittauksia varten katkottiin 1- ja 2-vuotiaista vesoista n. 10 cm:n sekä 4- ja 5-vuotiaista vesoista n. 5 cm:n pituiset kiekot tyvestä alkaen puolen metrin välein koko vesan pituudelta sekä lisäksi rinnankorkeudelta. Oksia ei niiden vähäisyyden vuoksi mitattu lainkaan. Kiekot säilytettiin mittausten ajan kylmähuoneessa muovipusseissa. Kiekoista mitattiin ennen kuorintaa kuorellinen tuoremassa, suurin ja sitä vasten kohtisuoraan oleva läpimitta sekä tilavuus, joka määritettiin veteenupotusmenetelmällä (0,1 g tarkkuus). Kuorinnan jälkeen mitattiin puun ja kuoren tuoremassa, kuoreton suurin ja sitä vasten kohtisuoraan oleva läpimitta sekä kuorettoman kiekon tilavuus. Lopuksi puu ja kuori kuivattiin kuivamassamääritystä varten lämpökaapissa yhden vuorokauden ajan 105°C. Laboratoriossa kiekkoja mitattiin kaikkiaan 130 kpl.

Mittaustiedoista laskettiin kiekkojen ja koepuiden puun, kuoren ja kuorellisen puun kuiva-tuoretiheys, kuoren ja kuorellisen puun kosteussuhde ja -pitoisuus, kuoren osuus tilavuudesta sekä kuivamassasta. Kiekoittain mitatuista tiedoista selvitettiin pituuden suuntainen vaihtelu ts. eri ikäisten vesipajujen puutieteellisten tunnusten muutos tyvestä latvaan. Painottamalla kiekkokohtaisia tietoja läpimitan neliöllä saatiin koevesoille mitattujen tunnusten keskimääräisarvot. Kosteus ja tiheysnäytteiden vesojen vertikaalisuuntaista optimaalista näytteenotto-kohtaa selvitettiin vertaamalla vesakohtaisia arvoja kiekkokohtaisiin arvoihin parittaisten tulosten

t-testillä. Eri ikäisten vesojen puutieteellisiä tunnuksia verrattiin toisiinsa varianssianalyysillä. Askeltavalla regressioanalyysillä tutkittiin kuiva-tuoretiheyteen, kosteussuhteeseen ja kuoren osuuteen vaikuttavia tekijöitä.

3. TULOKSET

3.1. Kuiva-tuoretiheys

Vesipajun vesojen puuaineen kuiva-tuoretiheys kasvoi hidastuvalla nopeudella yksivuotiaiden vesojen 284 kg/m^3 :stä viisivuotiaiden vesojen 380 kg/m^3 :iin (taulukko 2). Pajujen iän noustessa yhdestä kahteen vuoteen suureni puuaineen kuiva-tuoretiheys voimakkaasti eli 63 kg/m^3 . Iän noustessa kahdesta viiteen vuoteen suureni kuiva-tuoretiheys enää 33 kg/m^3 . Yksi- ja viisivuotiaiden vesojen puuaineen kuiva-tuoretiheyden ero oli siis vajaa 100 kg/m^3 . Yksivuotiaiden vesojen puuaineen kuiva-tuoretiheys poikkesi tilastollisesti erittäin merkitsevästi muista ikäluokista ja kaksivuotiaiden melkein merkitsevästi ($p < 0,021$) viisivuotiaista (taulukko 2).

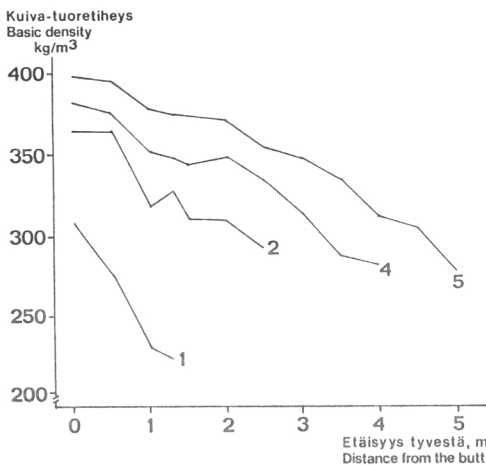
Vesipajun vesojen keskimääräinen kuoren kuiva-tuoretiheys kasvoi myös hidastuen iän kohoamisen myötä yksivuotiaiden vesojen 292 kg/m^3 :sta viisivuotiaiden vesojen 407 kg/m^3 :iin (taulukko 2). Pajujen iän kasvaessa yhdestä kahteen vuoteen kasvoi kuoren kuiva-tuoretiheys ensin, 81 kg/m^3 . Ero oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ($p = 0,000$). Kuoren kuiva-tuoretiheys oli keskimäärin $5\text{--}27 \text{ kg/m}^3$ suurempi kuin puuaineen tiheys.

Keskimääräinen kuorellinen kuiva-tuoretiheys vaihteli 284 kg :sta 382 kg/m^3 :iin pajujen iän mukaan (taulukko 2). Nytkin tiheys kasvoi voimakkaimmin iän noustessa yhdestä kahteen vuoteen (68 kg/m^3).

Taulukko 2. Eri ikäisten vesipajun vesojen puuteknisiä ominaisuuksia. (Samalla kirjaimilla on merkitty ne keskiarvot, jotka eivät poikkea toisistaan 5 %:n merkitsevyystasolla.)
 The technical properties of the wood of different aged Salix 'Aquatika' sprouts. (Means marked with the same letter do not differ from each other at the 5 % significance level.)

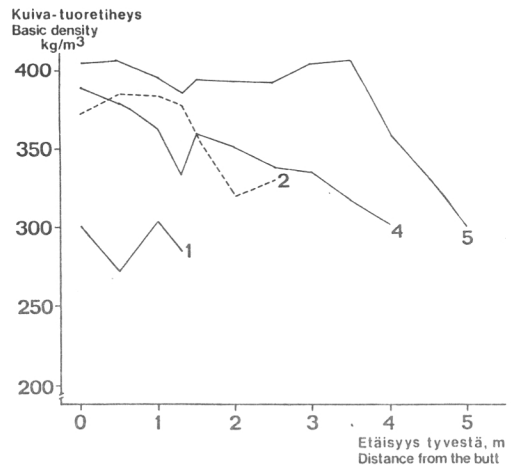
Vesojen ikä Age of sprouts	Kuivatuuressa, kg/m ³ Basic density, kg/m ³		Kuoren osuus, % Proportion of bark, %		Kosteussuhde, % Moisture content, %		Kosteuspitoisuus, % Water content, %			
	Puuaine Wood	Kuorellinen puuaine Wood and bark	Kuivamasta Out of dry mass	Tilavuudesta Out of volume	Puuaine Wood	Kuorellinen puuaine Wood and bark	Puuaine Wood	Kuorellinen puuaine Wood and bark		
1	284 ^(a)	292 ^(a)	284 ^(a)	31,9 ^(a)	173,6 ^(a)	195,3 ^(a)	184,5 ^(a)	61,9 ^(a)	65,7 ^(a)	63,7 ^(a)
2	347 ^(b)	373 ^(b)	352 ^(b)	20,3 ^(b)	131,0 ^(b)	141,6 ^(b)	134,1 ^(b)	56,5 ^(b)	59,0 ^(b)	57,1 ^(b)
4	359 ^(bc)	364 ^(b)	360 ^(b)	13,1 ^(c)	130,7 ^(b)	151,2 ^(b)	133,6 ^(b)	56,6 ^(b)	59,9 ^(b)	57,2 ^(b)
5	380 ^(c)	407 ^(c)	382 ^(c)	10,6 ^(c)	127,1 ^(b)	126,3 ^(c)	127,1 ^(b)	55,9 ^(b)	55,7 ^(c)	55,9 ^(b)

Kuvissa 1...3 on esitetty eri-ikäisten vesipajun vesojen puuaineen, kuoren ja kuorellisen puuaineen kuiva-tuoretiheyden vaihtelu rungon pituussuunnassa. Kuiva-tuoretiheys oli suurin vesojen tyvellä laskien sitten voimakkaasti latvaa kohti. Tiheyden alenema oli sitä jyrkempi mitä nuoremmista vesoista oli kyse. Kuoren kuiva-tuoretiheys aleni vasta aivan vesojen latvaosissa päinvastoin kuin puuaineen, jonka kuiva-tuoretiheyden alenema oli tasaisempaa. Mittauskohdan läpimitan sekä puuaineen, kuoren ja kuorellisen puuaineen kuiva-tuoretiheyden väliset vastaavuussuhteet on esitetty kuvissa 4...6. Läpimitan kasvaessa kuiva-tuoretiheys lisääntyi aluksi suoraviivaisesti, mutta taittui, kun läpimitta oli noin 3 cm. Läpimitan noustessa yli 4 cm:n kuiva-tuoretiheys ei lisääntynyt enää juuri lainkaan.



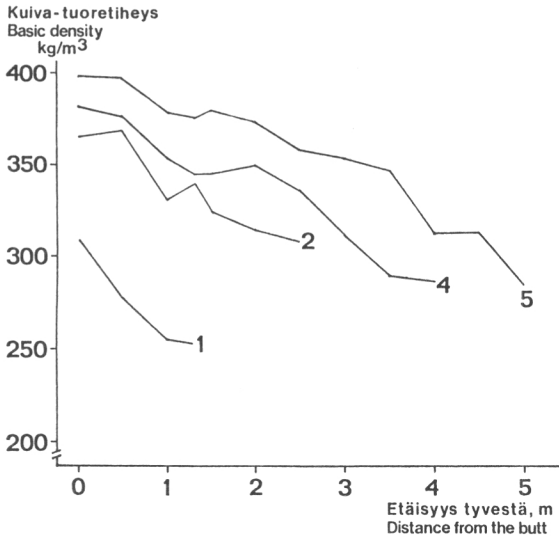
Kuva 1. Vesipajun 1-, 2-, 4- ja 5-vuotiaiden vesojen puuaineen kuiva-tuoretiheyden vaihtelu rungon pituussuunnassa.

Fig. 1. Variation in the basic density of wood of 1-, 2-, 4- and 5-year-old *Salix 'Aquatica'* sprouts throughout the length of the stem.



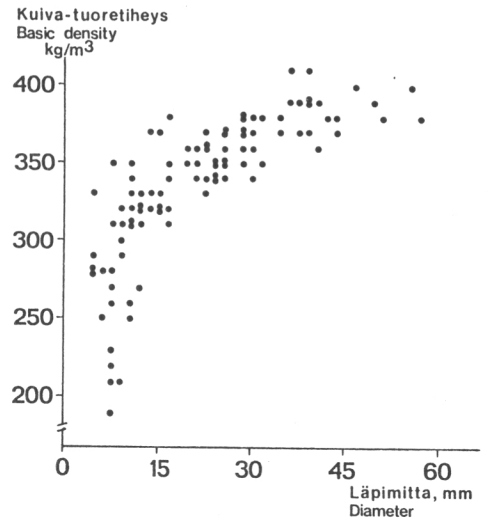
Kuva 2. Vesipajun 1-, 2-, 4- ja 5-vuotiaiden vesojen kuoren kuiva-tuoretiheyden vaihtelu rungon pituussuunnassa.

Fig. 2. Variation in the basic density of bark of 1-, 2-, 4- and 5-year-old *Salix 'Aquatica'* sprouts throughout the length of the stem.



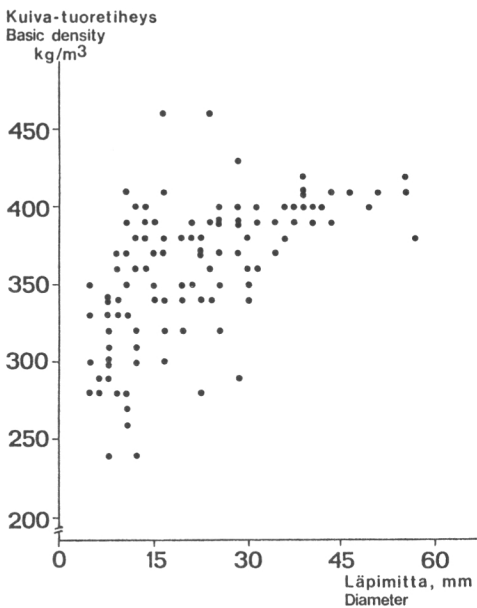
Kuva 3. Vesipajun 1-, 2-, 4- ja 5-vuotiaiden vesojen kuorellisen puuaineen kuiva-tuoretiheyden vaihtelu rungon pituus-suunnassa.

Fig. 3. Variation in the basic density of wood and bark of 1-, 2-, 4- and 5-year-old *Salix* 'Aquatica' sprouts throughout the length of the stem.



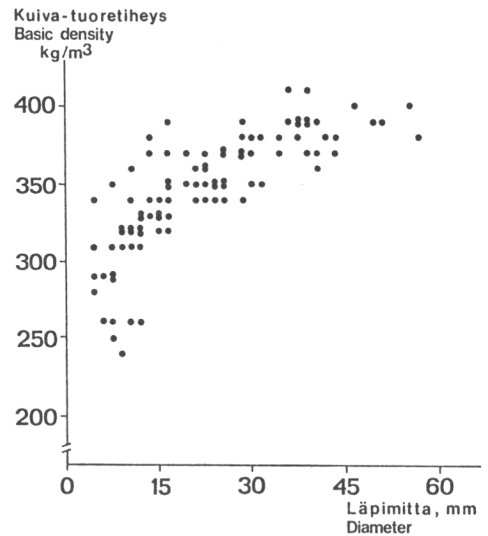
Kuva 4. Vesipajun puuaineen kuiva-tuoretiheyden vaihtelu mittauskohdan kuorenpäällisen läpimitan suhteen.

Fig. 4. Variation in the basic density of wood of *Salix* 'Aquatica' in relation to diameter on bark.



Kuva 5. Vesipajun kuorellisen puuaineen kuiva-tuoretiheyden vaihtelu mittauskohdan kuorenpäällisen läpimitan suhteen.

Fig. 5. Variation in the basic density of bark of *Salix* 'Aquatica' in relation to diameter on bark.



Kuva 6. Vesipajun kuorellisen puuaineen kuiva-tuoretiheyden vaihtelu mittauskohdan läpimitan suhteen.

Fig. 6. Variation in the basic density of wood and bark of *Salix* 'Aquatica' in relation to diameter on bark.

Puuaineen kuiva-tuoretiheyteen vaikuttivat mittauskohdan läpimitta, vesojen ikä sekä mittauskohdan etäisyys tyveltä. Askeltavassa regressioanalyysissä läpimitta ja vesan ikä tulivat malliin mukaan käänteislukuina. On korostettava, että ikä tarkoittaa tässä todellakin vesan biologista ikää eikä näytekiekon vuosilustojen määrää. Iän ja läpimitan kasvaessa niiden puuaineen kuiva-tuoretiheyttä lisäävä vaikutus hidastui. Regressioyhtälö sai seuraavan muodon:

Selitettävä: Puuaineen kuiva-tuoretiheys, kg/m^3

Selittäjät:	Kerroin	t-arvo
Vakio	0,4387	71,58
1/d, mm	-0,2884	-4,20
1/t, a	-0,1309	-10,27
Δh , cm	-0,0002	-6,86

(etäisyys tyvestä)

Selitysaste (R^2) = 79,2 %

Jäännöshajonta (s) = 0,021 kg/m^3

Kuoren kuiva-tuoretiheyteen vaikuttivat eniten läpimitta sekä vesan ikä. Ikä tuli malliin mukaan käänteislukuna. Selitysaste oli huomattavasti alhaisempi kuin puuaineen kuiva-tuoretiheydellä. Yhtälöksi saatiin seuraava:

Selitettävä: Kuoren kuiva-tuoretiheys, kg/m^3

Selittäjät:	Kerroin	t-arvo
Vakio	0,3631	32,38
d, mm	0,0013	4,75
1/t, a	-0,0779	-5,24

Selitysaste (R^2) = 47,1 %

Jäännöshajonta (s) = 0,033 kg/m^3

Kuorellisen puuaineen tiheydelle saatiin askeltavassa regressioanalyysissä samat selittäjät kuin puuaineen kuiva-tuoretiheyttä ennustettaessakin. Läpimitan sekä iän käänteisluvut olivat parhaat selittäjät ja mittauskohdan etäisyyden mukaan ottaminen lisäsi selitystä vielä 8 %. Iän ja läpimitan neliöiden mukaanotto olisi lisännyt selitystä vielä 1,5 %. Regressioyhtälö sai seuraavan muodon:

Selitettävä: Kuorellisen puuaineen kuiva-tuoretiheys, kg/m³

Selittäjät:	Kerroin	t-arvo
Vakio	0,4382	74,49
1/d, mm	-0,1955	-2,97
1/t, a	-0,1303	-10,65
Δh , cm	-0,0002	-7,72

Selitysaste (R^2) = 77,8 %

Jäännöshajonta (s) = 0,02 kg/m³

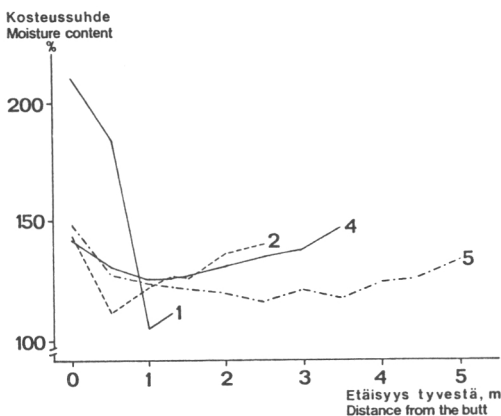
Tutkittaessa eri korkeuksilta otettujen tiheysnäytteiden soveltuvuutta koko rungon tiheyden määrittämiseen sopiviksi, kutakin ikäluokkaa tarkasteltiin erikseen, koska tiheys lisääntyi selvästi iän myötä. Yksi-, neljä- ja viisivuotiaille pajuilla kuorellisen puuaineen tiheyttä arvioitaessa parhaaksi näytteenottokohdaksi osoittautui noin 30 %:n osakorkeus. Kaksivuotiaille vastaavasti paras näytteenotto kohta olisi rinnankorkeus eli n. 50 %:n korkeus. Viisivuotiaille näytteenottokohdan vaihteluväli oli laajin: näyte 20-40 % osakorkeudesta (1...2 m korkeus) ei eronnut vesan tiheyden keskiarvosta.

3.2. Kosteussuhde

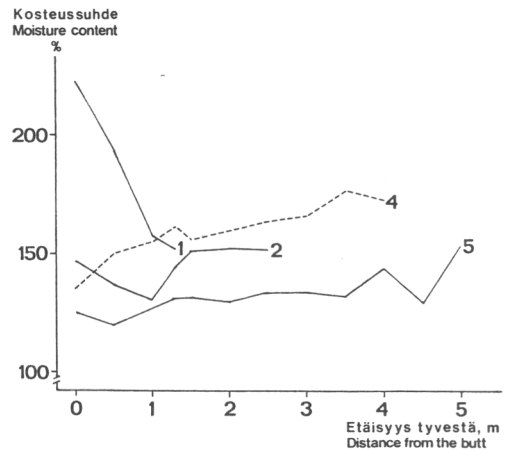
Yksivuotiaiden pajujen kuorellisen puuaineen kosteussuhde oli korkein, 184,5 % (taulukko 2). Vanhemmilla pajuilla kosteussuhde hieman laski iän kohoamisen myötä kaksivuotiaiden 143,1 %:sta viisivuotioiden 127,1 %:iin. Ainoastaan yksivuotiaiden pajujen kosteussuhde poikkesi tilastollisesti merkitsevästi muista. Yksi-neljävuotiaiden pajujen kuoren kosteussuhde oli 10,6 - 21,7 % suurempi kuin puuaineen kosteussuhde. Sensijaan viisivuotioiden pajujen kuoren ja puuaineen kosteussuhteet eivät poikenneet toisistaan. Kuvissa 7...9 on esitetty eri-ikäisten pajujen puuaineen, kuoren ja kuorellisen puuaineen kosteussuhteen vaihtelu rungon pituussuunnassa. Yksivuotiaiden pajujen kosteussuhde laski jyrkästi tyveltä latvaan päin. On ilmeistä, että näiden pajujen latvaosat olivat syksyn ja talven aikana paleltuneet ja osaksi kuivuneet.

Vanhempien pajujen puuaineen, kuoren ja kuorellisen puuaineen kosteussuhde neljävuotiaiden kuorta lukuunottamatta aleni ensin tyveltä tietylle korkeudelle ja kohosi sen jälkeen latvaan päin.

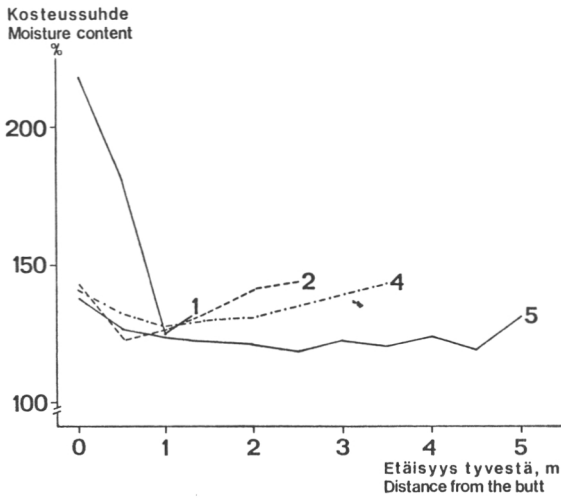
Eri kosteussuhteiden ja läpimitan välinen riippuvuus on esitetty kuvissa 10...12, joista yksivuotiaiden pajujen arvot on jätetty pois niiden latvojen ilmeisen kuivumisen vuoksi. Kuoren kosteussuhde laskee läpimitan kasvaessa ($r = -0,495$, $p < 0,001$) (kuva 11). Sensijaan puuaineen ja kuorellisen kosteussuhteen sekä läpimitan välillä ei ollut selkeää vastaavuussuhdetta (kuvat 11 ja 12).



Kuva 7. Vesipajun 1-, 2-, 4- ja 5-vuotiaiden vesojen puuaineen kosteussuhteen vaihtelu rungon pituussuunnassa.
Fig. 7. Variation in the moisture content of wood of 1-, 2-, 4- and 5-year-old *Salix* 'Aquatica' sprouts throughout the length of the stem.

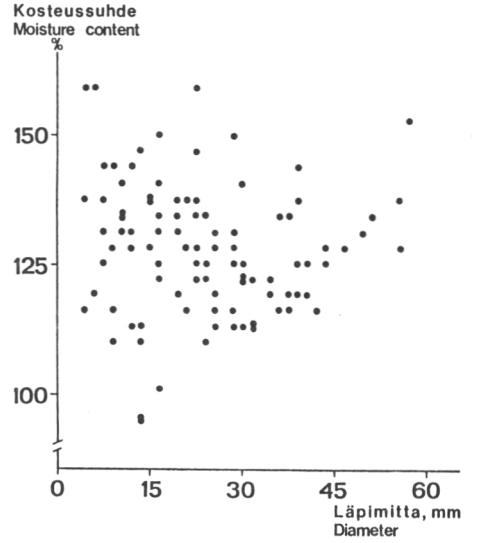


Kuva 8. Vesipajun 1-, 2-, 4- ja 5-vuotiaiden vesojen kuoren kosteussuhteen vaihtelu rungon pituussuunnassa.
Fig. 8. Variation in the moisture content of bark of 1-, 2-, 4- and 5-year-old *Salix* 'Aquatica' sprouts throughout the length of the stem.



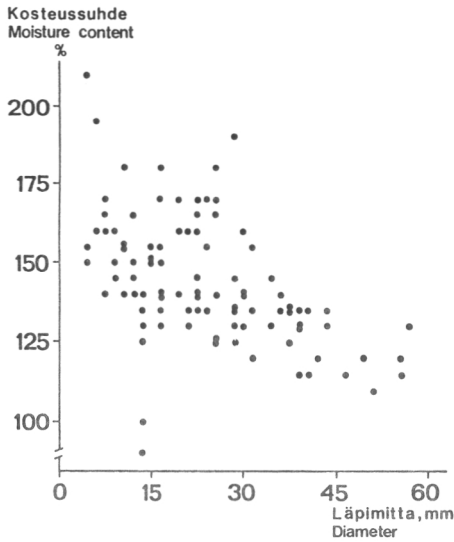
Kuva 9. Vesipajun 1-, 2-, 4- ja 5-vuotiaiden vesojen kuorellisen puuaineen kosteussuhteen vaihtelu rungon pituus-suunnassa.

Fig. 9. Variation in the moisture content of wood and bark of 1-, 2-, 4- and 5-year-old sprouts of *Salix 'Aquatica'* throughout the length of the stem.



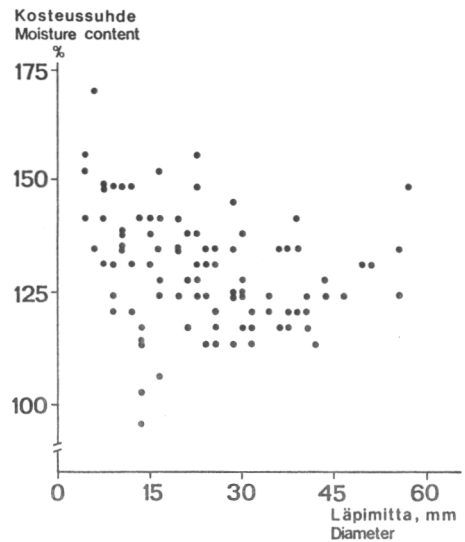
Kuva 10. Vesipajun puuaineen kosteussuhteen vaihtelu mittauskohdan kuorenpäällisen läpimitan suhteen.

Fig. 10. Variation in the moisture content of wood of *Salix 'Aquatica'* in relation to diameter on bark.



Kuva 11. Vesipajun kuoren kosteussuhteen vaihtelu mittauskohdan kuorenpäällisen läpimitan suhteen.

Fig. 11. Variation in the moisture content of bark of *Salix 'Aquatica'* in relation to diameter on bark.



Kuva 12. Vesipajun kuorellisen puuaineen kosteussuhteen vaihtelu mittauskohdan kuorenpäällisen läpimitan suhteen.

Fig. 12. Variation in the moisture content of wood and bark of *Salix 'Aquatica'* in relation to diameter on bark.

Kun puuaineen kosteussuhdetta ennustettiin regressio-mallilla, yhtälön selittäjiksi tulivat näytekiekon etäisyys tyvestä sekä vesan ikä käänteislukuinaan. Yhtälö oli seuraava:

Selitettävä: Puuaineen kosteussuhde, %

Selittäjät:	Kerroin	t-arvo
Vakio	113,02	28,14
$1/\Delta h$, cm	306,13	4,79
$1/t$, a	29,67	3,55

Selitysaste (R^2) = 26,9 %

Jäännöshajonta (s) = 21,1 %

Kuoren kosteussuhteeseen vaikutti vesan ikä ja mittauskohdan läpimitta. Näiden tekijöiden vaikutus ilmenee seuraavasta yhtälöstä:

Selitettävä: Kuoren kosteussuhde, %

Selittäjät:	Kerroin	t-arvo
Vakio	138,95	24,93
$1/t$, a	40,79	4,36
d^2 , mm	-0,011	-3,47

Selitysaste (R^2) = 31,9 %

Jäännöshajonta (s) = 21,5 %

Kuorellisen puuaineen kosteussuhteen malliin tulivat mukaan ikä ja etäisyys tyveltä käänteislukuinaan. Näiden tekijöiden vaikutus ilmenee seuraavasta yhtälöstä:

Selitettävä: Kuorellisen puuaineen kosteussuhde, %

Selittäjät:	Kerroin	t-arvo
Vakio	112,65	30,68
$1/t$, a	45,31	5,92
$1/\Delta h$, cm	237,08	4,06

Selitysaste (R^2) = 35,0 %

Jäännöshajonta (s) = 19,3 %

Mikäli tämän tutkimuksen kaksi-, neljä- ja viisivuotiaista vesipajuista haluttaisiin ottaa kosteusnäyte kuvaamaan vesojen keskimääräistä kosteutta, tulisi tämä näyte ottaa noin 50 cm:n korkeudelta. Erityisesti viisivuotiailla pajuilla tämä kohta, mikä merkitsee noin 10 %:n osakorkeutta, näyttäisi sopivalta.

3.3. Kuoren osuus

Kuoren osuus rungon kuivamassasta laski pajujen iän kohotessa: yksivuotiaiden vesojen kuoren osuus oli suurin, 33,5 % ja viisivuotiaiden pienin, 11,2 %. Kuoren osuus tilavuudesta oli 0,2 - 1,6 %-yksikköä pienempi. Vesojen tyvestä latvaan edettäessä kuoren osuus suureni selvästi (kuva 13). Lisääntyminen oli sitä jyrkempi mitä nuorempia pajut olivat.

Kuoriosuuden riippuvuus läpimitasta on esitetty kuvassa 14. Aluksi läpimitan kasvaessa kuoren osuus pienenee jyrkästi; 1-vuotiailla vesoilla lineaarisesti 50 %:sta 25 %:iin läpimitan kasvaessa 5 mm:stä 15 mm:iin. Yli 3 cm suurempi läpimitta ei enää juuri pienennä kuoren osuutta massasta.

Kuoren osuuden ennusteyhtälöön saatiin selittäjiksi läpimitta ja vesan ikä. Läpimitta ja ikä tulivat malliin mukaan käänteislukuinaan. Regressioyhtälö oli seuraava:

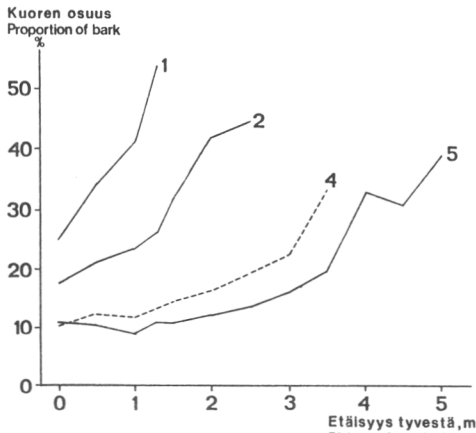
Selitettävä: Kuoren osuus kuivamassasta, %

Selittäjät:	Kerroin	t-arvo
Vakio	1,72	1,8
1/d, mm	205,87	18,32
1/t, a	13,24	6,33

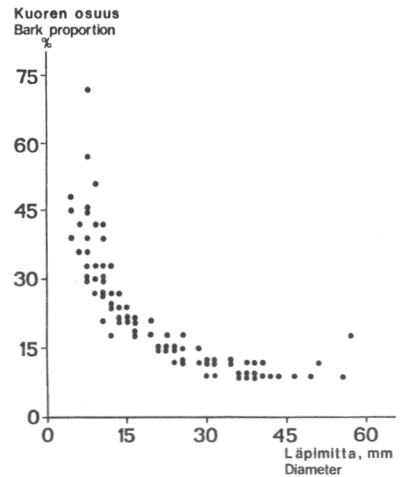
Selityssaste (R^2) = 84,4 %

Jäännöshajonta (s) = 4,7 %

Tietyltä osakorkeudelta otetun näytekiekon kuoren osuus kuivamassasta ei eronnut koko vesan kuoriosuuden keskiarvosta tilastollisesti merkitsevästi, kun näyte otettiin pajuista 20-30 %:n suhteelliselta korkeudelta. Kuoriosuuden selvittämiseksi sopiva näytteenotto kohta vaihteli tutkimuksen aineistossa 50 cm:stä 130 cm:iin.



Kuva 13. Vesipajun 1-, 2-, 4- ja 5-vuotiaiden vesojen kuoren osuuden (kuivamassasta) vaihtelu rungon pituussuunnassa. Variation in the proportion of bark (out of dry mass) of 1-, 2-, 4- and 5-year-old *Salix* 'Aquatica' sprouts throughout the length of the stem.



Kuva 14. Vesipajun kuoren osuuden (kuivamassasta) vaihtelu mittauskohdan kuorenpäällisen läpimitän suhteen. Variation in the proportion of bark (out of dry mass) of *Salix* 'Aquatica' sprouts in relation to diameter on bark.

4. TULOSTEN TARKASTELU JA PÄÄTELMIÄ

Tutkimuksen tulokset perustuvat pieneen, yhdeltä paikkakunnalta kerättyyn aineistoon. Merkittävä piirre aineistossa on kuitenkin, että pajut on kasvatettu samoin hoitoperiaattein ja ne kuuluvat samaan kasvullisesti monistettuun klooniiin, jolloin ne ovat perimältään yhtenäisiä. Useinhan puutieteellisissä tutkimuksissa esim. kuiva-tuoretiheyden vaihtelua selvitetessä suuri jäännös-vaihtelu johtuu (tai selitetään johtuvan) puiden geneettisistä eroista.

Puuaineen, kuoren sekä kuorellisen puuaineen tiheys nousi iän mukana ja aleni tyvestä latvaan, kuten monilla muilla puulajeilla, mm. meikäläisellä männyllä, kuusella ja koivulla (ks. Hakkila 1966, Kärkkäinen 1977, Uusvaara 1974). Mielenkiintoista oli, että tiheyden rungon pituussuunnassa tapahtunut alenema oli sitä jyrkempi mitä nuoremista vesoista oli kyse.

Puun ja kuoren kosteussuhde oli vesipajuilla varsin korkea, korkeampi kuin lehtipuulajeille on yleensä esitetty (ks. esim. Hakkila ym. 1970, Lehtonen ym. 1978, Uusvaara ja Pekkala 1979). Tosin kosteussuhde aleni iän myötä ja erityisesti verrattaessa yksivuotiaita vesoja vanhempiin vesoihin. Kosteussuhde oli yksivuotiaita vesoja lukuunottamatta melko vakaa rungon pituussuunnassa. Tulos on poikkeava muista lehtipuulajeista, joilla kosteussuhde niin puuaineessa kuin kuoressakin yleensä lisääntyy selvästi latvaan päin (ks. Kärkkäinen 1977) tai joissakin tapauksissa - esim. raidan ja pienten koivujen rungossa - pienenee tyvestä latvuksen yläosaan päin (Lehtonen ym. 1978, Björklund ja Ferm 1982).

Kuoren osuus rungon kuivamassasta laski voimakkaasti pajun vesojen iän myötä, läpimitan kasvaessa sekä edettäessä latvasta tyveen päin. Männyllä, kuusella ja koivulla todettua selvää kuoripitoisuuden nousua tyvässä (ks. Hakkilä 1967) ei vesipajulla esiintynyt. Tämä johtunee

paitsi pajun rotuominaisuuksista myös nuoresta iästä. Viisivuotiailla vesipajuilla kuoren osuus oli jo hyvin vähäinen (11,2 %). Itse asiassa se on alhaisimpia arvoja mitä lehtipuulajeille on esitetty (vrt. esim. Hakkila 1967 ja 1970, Lehtonen ym. 1978, Sennerby 1979, Uusvaara ja Pekkala 1979).

Mielenkiintoista on, että - käydyn tarkastelun mukaan - vesipaju olisi syytä kasvattaa ainakin 3 cm:n paksuiseksi minimiläpimitaltaan. Tuo 3 cm näyttää olevan raja, jonka jälkeen esimerkiksi kuiva-tuoretiheystunnukset ja kuoren osuus kuivamassasta eivät tässä aineistossa sa-
nottavasti muuttuneet.

Toinen merkittävä johtopäätös tämän tutkimuksen tulok-
sista on, että vesipajun käytännöllisesti kaikki mita-
tut ominaisuudet ja lisäksi mm. tuhkapitoisuus (ks. esim. Äijälä 1982) muuttuvat iän myötä siten, että yksivuo-
tiaiden pajujen käyttökelpoisuus esimerkiksi energia- tai
massapuuna on huomattavasti heikompi kuin vanhempien pa-
jujen. Vanhemmistakin pajuista viisivuotias on selvästi
suositeltavampi kuin kaksivuotias. Tällä tiedolla on
merkitystä vesipajun kiertoaikakysymyksiä tarkasteltaessa.

KIRJALLISUUS

- BHAT, K.M., FERM, A. & KÄRKKÄINEN, M. On the properties of one-year shoots of *Betula pubescens* Ehrh. and *Salix* spp. Seloste: Hieskoivun ja pajun yksivuotisten vesojen ominaisuuksista. *Silva Fenn.* 15(1): 18-22.
- BJÖRKLUND, T. & FERM, A. 1982. Pienikokoisen koivun ja harmaalepän biomassassa ja tekniset ominaisuudet. Abstract: Biomass and technical properties of small-sized birch and grey alder. *Folia For.* 500: 1-37.
- FLOWER-ELLIS, I. G. K. & OLSSON, L. 1981. Wood density and the weight and proportion of bark in current shoots of *Salix* clones. Sveriges Lantbruksuniversitet Energiskogsodling. Technical report No. 18: 1-31.
- HAKKILA, P. 1966. Investigations on the basic density of Finnish pine, spruce and birch wood. Tiivistelmä: Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheydestä. *Commun. Inst. For. Fenn.* 61(5): 1-98.
- " 1967. Vaihtelumalleja kuoren painosta ja painoprosentista. Summary: Variation patterns of bark weight and bark percentage by weight. *Commun. Inst. For. Fenn.* 62(5): 1-37.
- " 1970. Basic density, bark percentage and dry matter content of grey alder (*Alnus incana*). Seloste: Harmaalepän puuaineen tiheys, kuoriprosentti ja kuiva-ainesisältö. *Commun. Inst. For. Fenn.* 71(5): 1-33.
- " , HEIKKILÄ, P. & MICHELSEN, P. 1970. Vanerikoivujen rasiinkaatoaika. Summary: Leafseasoning in vaneer birch logging. *Commun. Inst. For. Fenn.* 70(2): 1-42.

KÄRKKÄINEN, M. 1977. Puu. Sen rakenne ja ominaisuudet. Helsinki. 442 s.

LEHTONEN, I., PEKKALA, O. & UUSVAARA, O. 1978. Tervalepän (*Alnus glutinosa* (L.) baertn.) ja raidan (*Salix caprea* L.) puu- ja massateknisiä ominaisuuksia. Summary: Technical properties of black alder (*Alnus glutinosa* (L.) baertn.) and great sallow (*Salix caprea* L.) wood and pulp. *Folia For.* 344: 1-19.

SENNERBY, L. 1979. Vedegenskaper hos *Salix caprea* och *Salix pentandra*. Summary: Wood properties of *Salix caprea* and *Salix pentandra*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för virkeslära. Rapport nr 107: 1-49.

UUSVAARA, O. 1974. Wood quality in plantationgrown Scots pine. Lyhennelmä: Puun laadusta viljelymänniköissä. *Commun. Inst. For. Fenn.* 80(2): 1-105.

" & PEKKALA, O. 1979. Eräiden ulkomaisten ja kotimaisten puulajien puu- ja massateknisiä ominaisuuksia. Summary: Technical properties of the wood and pulp of certain foreign and uncommon native tree species. *Commun. Inst. For. Fenn.* 96(2): 1-59.

ÄIJÄLÄ, M. 1982. Metsäenergian käyttö ja jalostus. Osa 6. Nopeakasvuisten puiden ominaisuudet ja jauhatus. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Research reports 108: 1-39.

**METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA -SARJASSA
KANNUKSEN TUTKIMUSASEMALTA ILMESTYNYT:**

**N:o 98 Jyrki Hytönen. Vaaka- ja pystyistutuksen vertailua pajunkasvatuksessa.
Abstract: Comparison of horizontal and vertical planting of willow cuttings. 1983.**

N:o 120 Metsäntutkimuspäivä Kannuksessa 15.9.1983.

**N:o 132 Ari Ferm ja Jyrki Hytönen. Säilytyksen vaikutus kosteusnäytteeseen
puun kuivamassan määrittämisessä. Abstract: Effect of sample storage in
determination of tree dry mass. 1984.**

Kannus 1984
ISBN 951-40-0979-7
ISSN 0358-4283