

SVENSKA TRÄSKYDDSSINSTITUTET

SWEDISH WOOD PRESERVATION INSTITUTE

Meddelanden

Reports

Nr 126

1977

---

Faktorer som påverkar lövvedens impregnerbarhet  
En litteraturstudie

Factors affecting the permeability of hardwoods  
A literature study

Östen Bergman

---

STOCKHOLM 1977

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sid.
SAMMANFATTNING .....	3
1. INLEDNING .....	4
2. VÄRDEN FÖR OLIKA LÖVTRÄDSLAYS PERMEABILITET SAMT UPPTAGNING OCH INTRÄNGNING .....	4
3. FAKTORER SOM HAR SAMBAND MED VEDENS MIKRO- SKOPISKA STRUKTUR .....	9
3.1. De olika cellelementen i lövved .....	9
3.1.1. Kärn .....	9
3.1.1.1. Tyller i kärn .....	14
3.1.2. Trakeider .....	16
3.1.2.1. Vaskulära trakeider .....	16
3.1.2.2. Vasicentriska trakeider .....	17
3.1.3. Fibrer .....	17
3.1.4. Vedparenkymet .....	18
3.1.4.1. Längsgående parenkym .....	19
3.1.4.2. Tvärgående (mägstråle-) parenkym .....	19
3.1.4.3. Inlagringar i parenkymcellerna .....	21
3.2. Cellväggen .....	21
3.2.1. Mikrofibrillerna .....	21
3.2.2. Cellväggens uppbyggnad .....	23
3.2.3. Sekundärväggens uppbyggnad .....	24
3.2.4. Spiralförtjockningar .....	25
3.2.5. Vårtlagret .....	25
3.2.6. G-skiktet (SG) .....	26
3.3. Porer mellan cellerna .....	26
3.3.1. Porttyper mellan olika celler .....	27
3.3.2. Pormembranet .....	27
3.3.2.1. Pormembranet mellan två kärn .....	28
3.3.2.2. Pormembranet mellan ett kärn och en parenkymcell .....	28
3.3.2.3. Pormembranet mellan två parenkymceller .	29
3.3.3. Poraspiration (porstängning) .....	29
3.3.4. Klädda porer (vestured pits) .....	30

	Sid.
3.4. En impregneringsvätskas inträngning i lövved .....	32
3.4.1. Bland cellelementen .....	32
3.4.2. I cellväggen .....	35
4. FAKTORER SOM HAR SAMBAND MED VEDENS URSPRUNG ....	38
4.1. Vedens densitet .....	38
4.2. Kärnved och splintved .....	39
5. FAKTORER SOM HAR SAMBAND MED VIRKETS BEHANDLING FÖRE IMPREGNERINGEN .....	39
5.1. Virkets torkning .....	39
5.2. Lagring av virket i vatten .....	41
5.3. Behandling med vattenånga .....	42
6. FAKTORER SOM HAR SAMBAND MED IMPREGNERINGS- PROCESSEN .....	42
6.1. Impregnering av lövvirke vid höga tryck .....	42
LITTERATUR .....	45
SUMMARY .....	53
Bilaga 1 .....	54

## SAMMANFATTNING

Lövveden består vanligen av fyra eller fem typer av cell-element, nämligen kärl, parenkymceller, libriformfibrer, trakeider och fibertrakeider. Kärlen är karakteristiska celler i lövveden. De är cylindriska och har perforerade ändytter. De är sammankopplade i vedens längdriktning till rör, vilka kan bli avsevärt långa. Deras cellväggar är relativt tunna. Kärlen är extremt effektiva kanaler för transport av impregneringsvätskor i vedens längdriktning. När splintveden omvandlas till kärnved eller när den torkas bildas tyller i kärlen, som därvid helt eller delvis blockeras. Trakeiderna är också goda vätskeledare, eftersom de är rikligt försedda med porer. Fibertrakeiderna och libriformfibrerna är däremot dåliga ledare. De har mycket tjocka cellväggar. Märgstrålarna består endast av parenkymceller. Den radiella inträngningen är relativt dålig hos lövved. Ringporernas pormembraner hos lövved saknar torus och margo. En del anser att de är genomträngliga, medan andra anser att inget flöde genom pormembranerna är möjligt och att vätskorna endast kan passera genom diffusion. Lövvirke som efter tryckimpregnering med vattenlösliga saltmedel uppnått hög upptagning och god inträngning har trots detta snabbt angripits av soft rot vid användning i markkontakt. Det har nyligen påvisats att impregneringsmedlen inte tillräckligt tränger in i cellväggarna. För närvarande kan saltimpregnerat lövvirke inte rekommenderas för användning i markkontakt.

## 1. INLEDNING

Barrved består till mer än 90 % av trakeider medan lövved är uppbyggd av kärn, trakeider och fibrer. När en vätska pressas in i barrved går den från trakeid till trakeid via de så kallade ringporerna. Dessa bestämmer i huvudsak inträngningens resultat. När en vätska pressas in i lövved fyller den snabbt upp kärnen och går sedan långsamt via porer över till trakeider och fibrer. Kärnen kan dock vara blockerade av så kallade tyller. Inträngningen från ändytorna av ett vedstycke går avsevärt längre i lövved än i barrved. Den radiella inträngningen är däremot sämre än i barrved.

Faktorer som påverkar barrvedens impregnerbarhet har behandlats i en tidigare rapport (Bergman 1974). I denna litteraturstudie tas de faktorer upp som är speciella för lövvedens impregnerbarhet.

Det finns många fler undersökningar om barrvedens impregnerbarhet än om lövvedens. Tryckimpregnerat lövvirke uppvisar för övrigt i många fall inte lika lång livslängd i markkontakt som tryckimpregnerad barrved (furu). Litteratursammanställningar över lövvedens impregnerbarhet har publicerats av bland andra Hunt och Garratt (1953), Stone och Green (1958), Côté (1963), Siau (1971), Petrić (1972), Nicholas och Siau (1973) och Greaves (1974 b).

Anslag till denna litteraturstudie har erhållits från Svenska Träskyddsinstitutet. Ett varmt tack riktas till Professor P. Nylinder och Professor B. Henningsson för värdefulla bidrag till denna rapport.

## 2. VÄRDEN FÖR OLIKA LÖVTRÄDSLAGS PERMEABILITET SAMT UPPTAGNING OCH INTRÄNGNING

Uppsatser som anger olika lövträdslags permeabilitet i longitudinell, radiell och tangentiell riktning har publicerats av bl a Smith och Lee (1958), Isaacs et al. (1971), Kininmonth (1971), Choong och Fogg (1972), Choong et al. (1972) och (1974) och Tesoro och Choong (1976).

Smith och Lee (1958) anger permeabiliteten för luft i longitudinell riktning för ett stort antal lövträdsdrag. I tabell 1 visas resultaten för några av de vanligare trädslagen.

Inom olika trädsdrag kan stora variationer i permeabilitet påträffas. I figur 1 visas variationsvidden för den longitudinella permeabiliteten (kvävgas) hos några amerikanska lövträdsdrag (Choong et al. 1974). För varje trädsdrag undersöktes tio träd.

Tabell 1. Longitudinell (axiell) permeabilitet hos några lövträdsdrag.  
Utdrag ur tabell 1 från Smith och Lee (1958).

Longitudinal permeability of some hardwood species.  
Extraction from table 1 by Smith and Lee (1958).

Namn Name			Permeability Darcy Ka
Ek	Oak, European	<u>Quercus</u> spp.	4.7
Afr. valnöt	African walnut	<u>Lovoa klaineana</u>	4.7
Teak	Teak	<u>Tectona grandis</u>	7.9
Ask	Ash, European	<u>Fraxinus excelsior</u>	11
Mahogny	Mahogany, African	<u>Khaya</u> spp.	15
Hästkastanj	Hoarse-chestnut, European	<u>Aesculus hippocastanum</u>	62
Alm	Elm, European	<u>Ulmus procera</u>	140
Lind	Lime	<u>Tilia vulgaris</u>	160
Sykomorlönn	Sycamore	<u>Acer pseudoplatanus</u>	300
Björk	Birch, European	<u>Betula</u> spp.	610
Bok	Beech, European	<u>Fagus silvatica</u>	1300
Balsa	Balsa	<u>Ochroma lagopus</u>	1300

Permeabiliteten är alltid störst i longitudinell riktning hos ett lövvedstycke och vanligen minst i tangentiell riktning. I tabell 2 visas förhållandet mellan longitudinell, radiell och tangentiell permeabilitet (kvävgas), hos några amerikanska lövträdslag (Choong et al. 1974)

Mellan permeabilitet som kan mätas med gas eller vätska och upptagning respektive inträngning av impregneringsvätska finns ett samband. I en undersökning som omfattade 17 olika lövträdslag, erhöll Choong et al. (1972) signifikanta samband mellan permeabilitet (kvävgas) och upptagning såväl som mellan permeabilitet och inträngning. Impregneringen utfördes efter Lowry-metoden dels med kreosotolja och dels med kopparsulfat. I en fortsatt studie omfattande nio lövträdslag erhöll Tesoro och Choong (1976) även här hög korrelation mellan permeabilitet och upptagning resp. inträngning.

I en omfattande undersökning jämför Redding (1971) olika trädslags impregnerbarhet med kreosotolja, dels efter en tryckimpregnering enligt fullcellmetoden och dels efter en "open tank"-behandling. Schemat för tryckimpregneringen var följande:

Förvakuum -0.68 bar under 15 min

Oljetryck 9.66 bar under 1 tim

Eftervakuum -0.68 bar under 15 min

Kreosottemperatur 82<sup>o</sup> C

Vedmaterialet erhöles i form av hela stockar. Ur dessa sågades kärnvedsprover med dimensionen 50 x 50 mm x 1.1 m från olika delar av stocken. Proverna lufttorkades ned till fuktkvoten 18 %. Upp till 20 prover utvaldes för varje försök. När stockarna hade tillräckligt splintdjup utsågades ett motsvarande antal prover som helt eller delvis bestod av splintved.

I bilaga 1 visas upptagning och inträngning efter tryckimpregnering hos några av de vanligast förekommande lövträdslagen. Med hänsyn till impregnerbarheten har trädslagen indelats i fyra klasser nämligen permeabla (P), måttligt resistenta (MR), resistenta (R) och extremt resistenta (ER).

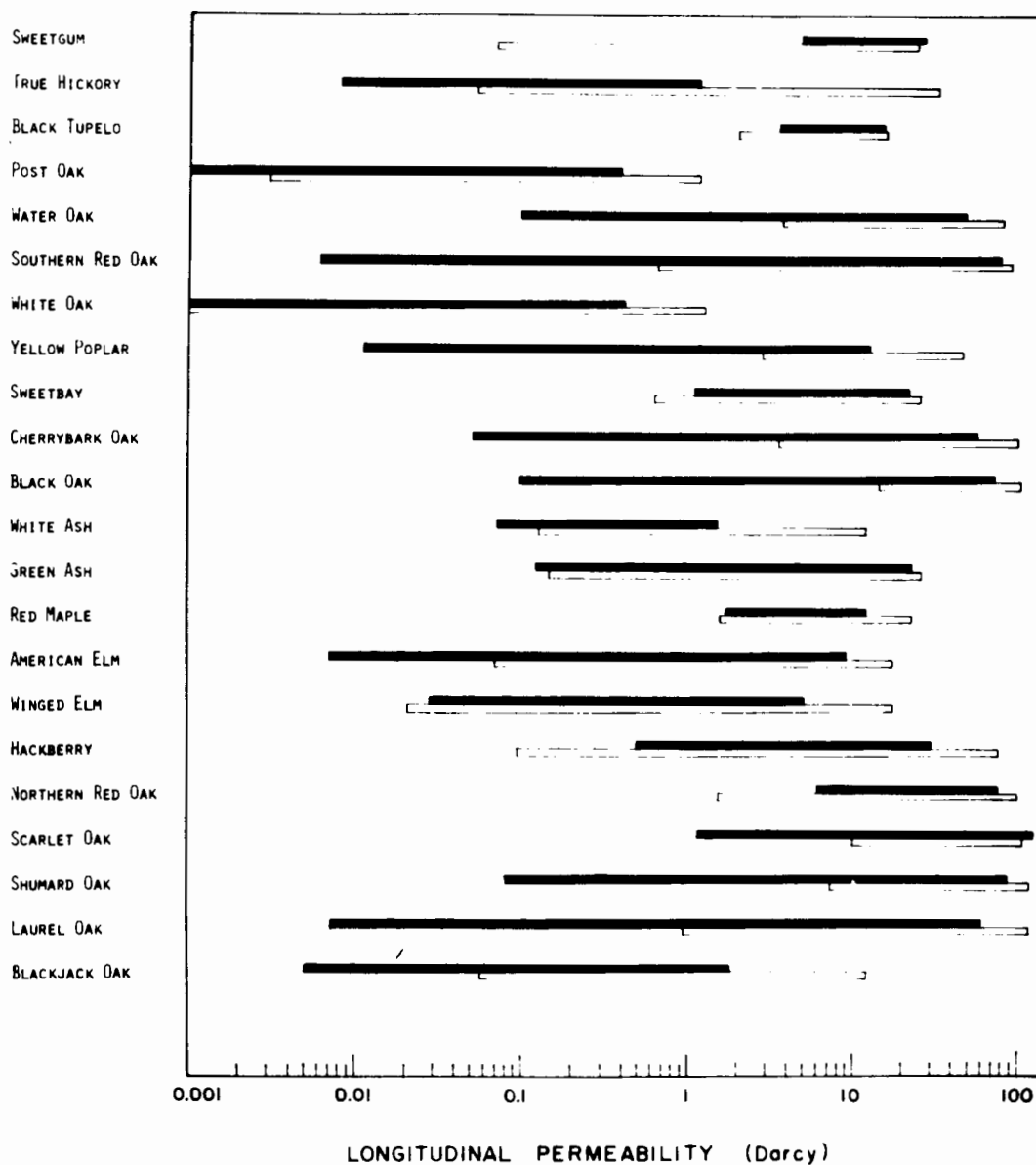


Fig. 1. Permeabilitetens variationsvidd i axiell riktning hos olika lövträdslag vid 0 % fuktkvot. Svarta linjer är kärnved och ofyllda linjer är splintved. Botaniska namn ges i tabell 2 (Choong et al. 1974).

Ranges of permeability values in the longitudinal direction for various hardwood species at 0 % moisture content. Shaded bars are corewood; unshaded bars are sapwood. Botanical names are presented in table 2.

Tabell 2. Förhållanden mellan longitudinella, radiella och tangentiella (L/R/T) värden för gaspermeabiliteten vid 0 % fukt-kvot (Choong et al. 1974).

Ratios of longitudinal, radial and tangential (L/R/T) gas permeability values at 0 % moisture content.

Trädslag	Species	L:R:T Medelvärden Mean values
Sweetgum	<u>Liquidambar styraciflua</u> L.	1598:1.10:1
True Hichory	<u>Carya</u> spp.	3481:0.79:1
Black Tupelo	<u>Nyssa sylvatica</u> Marsh.	27423:1.00:1
Post Oak	<u>Quercus stellata</u> Wangenh.	100:1.73:1
Water Oak	<u>Q. nigra</u> L.	82603:2.00:1
Southern Red Oak	<u>Q. falcata</u> Michx.	43339:1.56:1
White Oak	<u>Q. alba</u> L.	3558:3.50:1
Yellow Poplar	<u>Liriodendron tulipifera</u> L.	2753:2.09:1
Sweetbay	<u>Magnolia virginiana</u> L.	1585:0.67:1
Cherrybark Oak	<u>Q. falcata</u> var. <u>pagodaefolia</u> Ell.	143045:1.33:1
Black Oak	<u>Q. velutina</u> Lam.	25298:12.1:1
White Ash	<u>Fraxinus americana</u> L.	2712:0.80:1
Green Ash	<u>F. pennsylvanica</u> Marsh.	1318:1.24:1
Red Maple	<u>Acer rubrum</u> L.	11379:1.38:1
American Elm	<u>Ulmus americana</u> L.	491:0.89:1
Winged Elm	<u>U. alata</u> Michx.	210:0.69:1
Hackberry	<u>Celtis occidentalis</u> L.	12871:2.77:1
Northern Red Oak	<u>Q. rubra</u> L.	17902:1.39:1
Scarlet Oak	<u>Q. coccinea</u> Muenchh.	8956:1.82:1
Shumard Oak	<u>Q. shumardii</u> Buckl.	37124:1.69:1
Laurel Oak	<u>Q. laurifolia</u> Michx.	47687:5.83:1
Blackjack Oak	<u>Q. marilandica</u> Muenchh.	844:4.25:1

### 3. FAKTORER SOM HAR SAMBAND MED VEDENS MIKROSKOPISKA STRUKTUR

#### 3.1. De olika cellelementen i lövved

Lövveden består vanligen av fyra eller fem typer av cellelement nämligen kärll, parenkymceller, libriformfibrer, trakeider och fibertrakeider. I figur 2 visas teckningar av olika typer av cellelement i sekundärveden (= den färdigbildade veden) hos lövträd och barrträd (Jane 1970). Som framgår av figuren är lövveden mer differentierad än barrveden. Lövträden anses också vara mer utvecklade än barrträden.

Som exempel på hur lövveden är uppbyggd visas i figur 3 en schematisk tredimensionell teckning av ved från trädslaget sweetgum (*Liquidambar styraciflua* L.). Den volymetriska sammansättningen hos ved av sweetgum är följande (Panshin & de Zeeuw 1970).

Kärll	54.9 %
Fibertrakeider	26.3 %
Längsgående parenkym	0.5 %
Märgstrålar	<u>18.3 %</u>
Summa	100.0 %

Som jämförelse kan nämnas sammansättningen hos bok beräknad av Schulz (1957). Följande medelvärden erhöles när 30 vedprover mättes vid sammanlagt 15 000 punkter:

Kärll	31 %
Fibrer	42 %
Trakeider	5 %
Märgstrålar	17 %
Längsgående parenkym	5 %

De olika cellelementens andel i veden kan växla ganska mycket mellan olika lövträdsdrag och även inom trädsdraget.

#### 3.1.1. Kärll

Kärllen är karakteristiska celler i lövveden. De är cylindriska och har perforerade änddytor (fig 2). De är sammanlänkade i vedens längdriktning till rör, vilka kan bli av avsevärd längd (Johnstone & Blau 1970). För inträngning av vätskor i lövveden har kärllen den allra största betydelse. Dessa rör är ytterst effektiva kanaler för transport av kemikalier in till vedens inre, såvida de inte är blockerade av tyller (Stone & Green 1958).

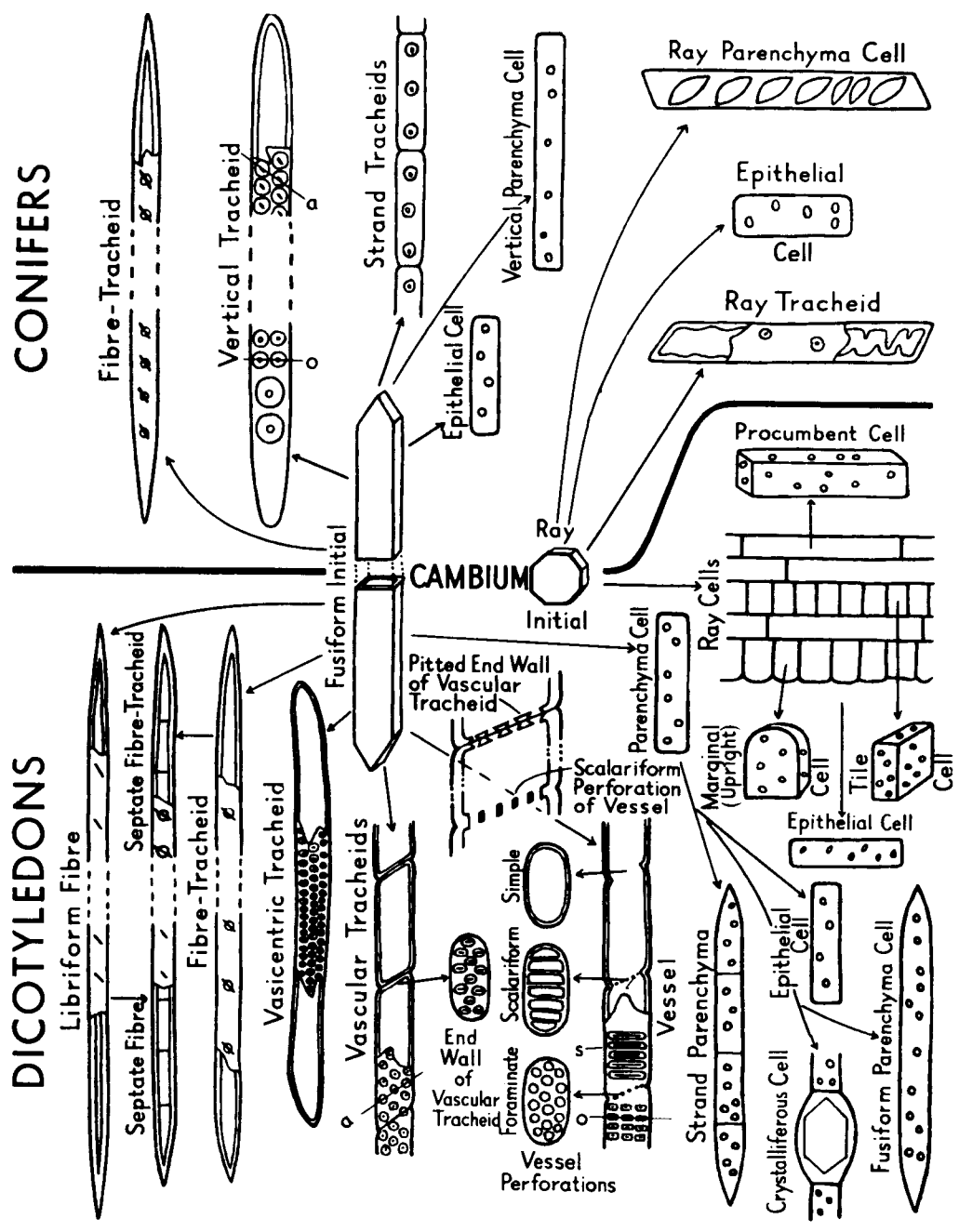
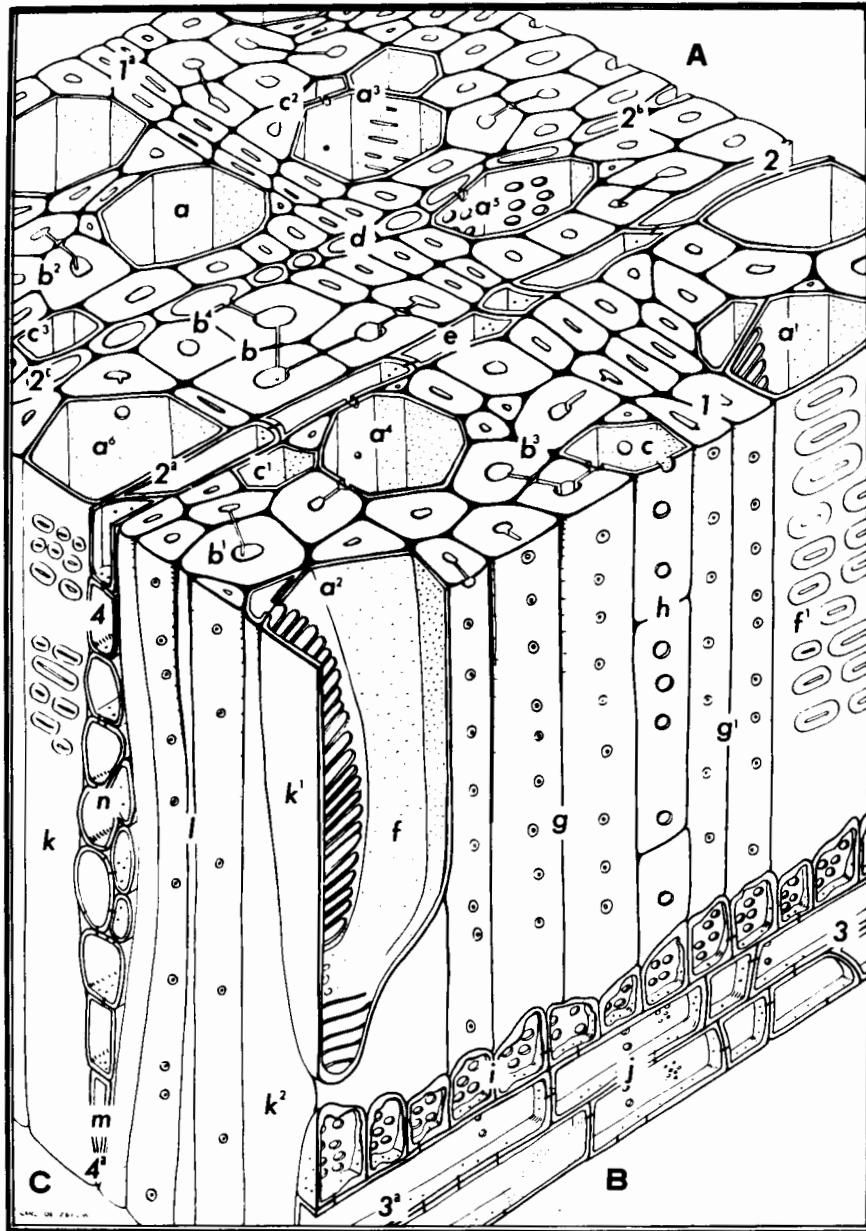


Fig. 2. Diagram som visar olika typer av cellelement i sekundärveden och de kambioceller från vilka de kan härledas (Jane 1970). Conifers = barrträd; Dicotyledons = lövträd; Ray = mäggråle; Vessel = kärl; Pit = por i cellväggen.

Diagram to show types of elements of secondary wood and the cambial initials from which they arise.

Fig. 3. Schematisk tredimensionell teckning av ved från sweetgum (*Liquidambar styraciflua* L.) (330 x) (Panshin & de Zeeuw 1970).



Yta A, tvärsnitt. 1-1<sup>a</sup>, gräns mellan två årsringar (tillväxten fortskrider från höger till vänster); 2-2<sup>a</sup>, märkestråle bestående av liggande celler; 2<sup>b</sup>-2<sup>c</sup>, märkestråle bestående av stående celler; a-a<sup>6</sup>, kärl i tvärsnitt; b-b<sup>4</sup>, fibertrakeider; c-c<sup>3</sup>, längsgående (axiellt) parenkym; e, liggande märkestrålecell.

Yta B, radialsnitt, f, f<sup>1</sup>, del av kärl; g, g<sup>1</sup>, del av fibertrakeid; h, sträng av längsgående parenkym, 3-3<sup>a</sup>, övre del av en heterocellulär märkestråle; i, en kantrad av stående celler; j, två rader av liggande celler.

Yta C, tangentialsnitt. k, del av kärl; k<sup>1</sup>, k<sup>2</sup>, förening av kärl; l, fibertrakeider, 4-4<sup>a</sup>, del av märkestråle; m, en stående cell i nedre kanten; n, liggande cell i mitten av märkestrålen.

Schematic three-plane drawing of the wood of sweetgum (*Liquidambar styraciflua* L.) (330 x).

Surface A. 1-1<sup>a</sup>, boundary between two annual rings (growth proceeded from right to left); 2-2<sup>a</sup>, wood ray consisting of procumbent cells; 2<sup>b</sup>-2<sup>c</sup>, wood ray consisting of upright cells; a-a<sup>6</sup>, inclusive, pores (vessels in transverse section); b-b<sup>4</sup>, inclusive, fiber tracheides; c-c<sup>3</sup>, inclusive, cells of longitudinal parenchyma; e, procumbent ray cell.

Surface B. f, f<sup>1</sup>, portions of vessel elements; g, g<sup>1</sup>, portions of fiber tracheides in lateral surface aspect; h, a strand of longitudinal parenchyma in lateral surface aspect; 3-3<sup>a</sup>, upper portion of a heterocellular wood ray in lateral sectional aspect; i, a marginal row of upright cells; j, two rows of procumbent cells.

Surface C. k, portion of a vessel element in tangential surface aspect; k<sup>1</sup>, k<sup>2</sup>, overlapping vessel elements in tangential surface aspect; l, fiber tracheides in tangential surface aspect; 4-4<sup>a</sup>, portion of a wood ray in tangential sectional view; m, an upright cell in the lower margin; n, procumbent cells in the body of the ray.

Ett kärl som betraktas i ett tvärsnitt av lövveden uppfattas som en por. Ibland är dessa porer (kärl) så stora att de är synliga för blotta ögat. (Porer = kärl skall inte förväxlas med porer i cellväggarna; se avsnitt 3.3.) Lövveden kan med utgångspunkt från porstorleken indelas i två grupper. Om porer (kärl) bildade under våren är mycket större än de som bildats senare under vegetationsperioden, så är veden bandporig. Exempel på bandporiga trädslag är ek, alm och ask. Om porerna (kärlen) är tämligen lika till storleken och jämnt fördelade över årsringen så säges veden vara ströporig. Exempel på ströporiga trädslag är björk, lönn och asp. (Panshin & de Zeeuw 1970). Hayashi och Nishimoto (1965) undersökte permeabiliteten hos 6 bandporiga och 10 ströporiga lövträds­slag, och fann att de förra gav något högre värden än de senare.

Där två kärlelement sammankopplas i stammens längdriktning finns det två ändväggar en från vardera cellen åtskilda av mittlamellen. Dessa ändväggar och mittlamellen upplöses sedan helt eller delvis så att fri förbindelse uppstår längs kärlet. I det första fallet återstår av ändväggarna och mittlamellen endast en ring runt kärlets innervägg. Kärlen säges då ha enkla kärlväggsperforationer (fig 2, simple vessel perforations). I det andra fallet då endast delar av ändväggarna och mittlamellen upplöses, bildas öppningar som antingen är ovala och stegformigt ordnade (scalariform vessel perforations), eller runda (foraminate). Öppningarna i två motsatta ändväggar är inte alltid sammanfallande. Det kan inträffa att en stor öppning i en vägg motsvaras av ett antal små öppningar i den andra väggen (Jane 1970).

Hur upplösningen av ändväggarna och bildandet av kärlväggsperforationerna går till har studerats med hjälp av elektronmikroskop av bl a Yata et al. (1970), Meyer och Muhammad (1971), Parameswaran och Liese (1973), Parham (1973) och Thomas och Bonner (1974).

Kärlen varierar enormt i storlek. De minsta kan vara omkring  $20 \mu$  i diameter ( $1 \mu = 10^{-4}$  cm) och de största så mycket som en halv millimeter ( $500 \mu$ ). I ett tvärsnitt av engelsk ek uppmättes porernas diameter till i medeltal  $268 \mu$  i vårveden och  $34 \mu$  i sommarveden (Jane 1970).

Kärlen kan uppträda enskilt (solitärt) eller i grupper (multipelt) (Jane 1970). Kärlsystemet hos bok (Fagus silvatica L.) har studerats av Kučera och Bosshard (1973) och Bosshard & Kučera (1973). De kom fram till att ett kärl som funktionell enhet aldrig uppträder isolerat. I figur 4 ges en schematisk framställning av kärlets nät-system.

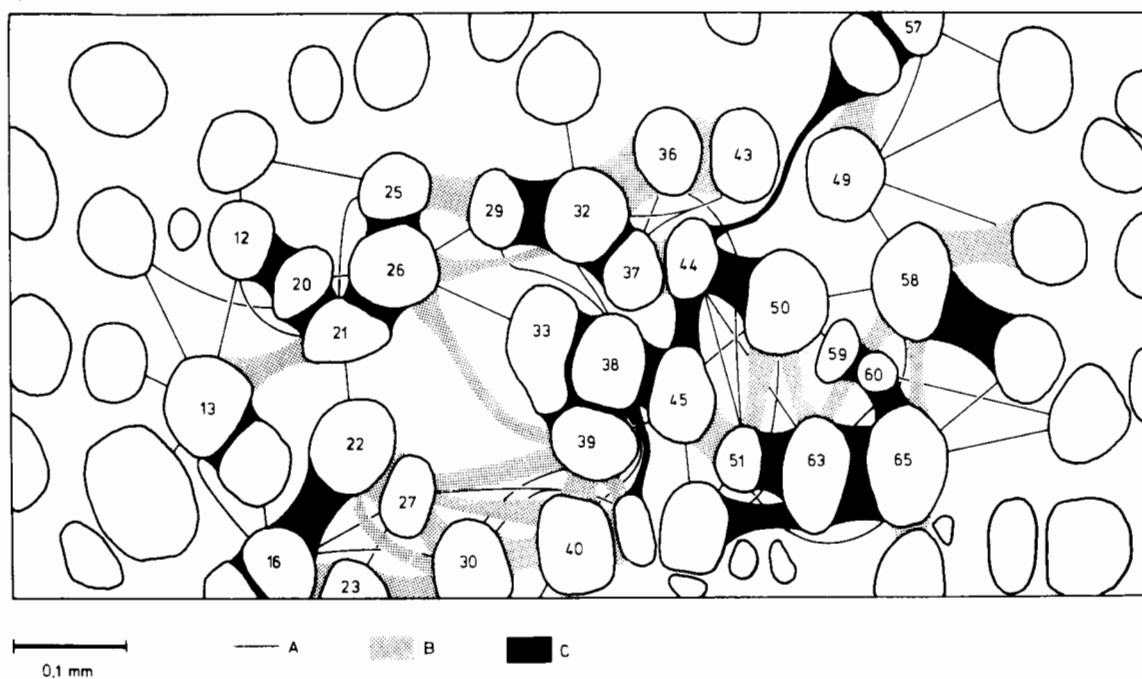


Fig. 4. Schematisk framställning av kärlets nätssystem. Undersökningen genomfördes på numrerade kärn. De observerade sammankopplingarna mellan kärnen indelades med hänsyn till deras längd i tre grupper, nämligen 1-10 % (A), 11-20 % (B) och mer än 20 % (C) av undersökt provlängd (Bosshard & Kučera 1973).

Schematic description of the network of vessels. The investigation was performed on numbered vessels. The observed contacts between the vessels were divided into three groups according to their length, namely 1-10 % (A), 11-20 % (B) and more than 20 % (C) of investigated sample length.

### 3.1.1.1. Tyller i kärn

Hos lövveden kan särskilda vävnader utvecklas i kärnen i samband med kärnvedsbildningen. Dessa kallas tyller och är blåsliknande utväxter från parenkymceller som gränsar till kärnen. Tyllerna kan helt eller delvis blockera kärnen (Panshin & de Zeeuw 1970).

När tyller helt stänger kärnen så blir virket svårare att torka och svårare att impregnera. Men tyller kan också vara till fördel eftersom de förbättrar vedens naturliga resistens mot biologiska angrepp (Meyer 1967).

Förekomsten av tyller beskrevs i en teckning av kastanjved så tidigt som år 1675 av italienaren Marcello Malphigi. Benämningen tyller infördes av en tysk botanist troligen Hermine von Reichenback år 1845 (Koran & Côté 1965). I början av 1900-talet började man få en bättre bild av tyllernas struktur och en viss uppfattning om hur de bildades och hur de påverkade veden. Med tillkomsten av elektronmikroskopet ökade informationen om tyllernas struktur genom studier av bland andra Nečessany (1955), Koran och Côté (1965), Kato och Kishima (1965), Foster (1967), Meyer (1967) Meyer och Côté (1968), Sachs et al. (1970) och Murmanis (1975).

Utvecklingen av en tyll i ett kärn föregås av att ett särskilt väggsnitt bildas i den parenkymcell från vilken tyllen utgår. Detta väggsnitt har benämnts "the protective layer" (= skyddslager) av Schmid (1965), eftersom det antogs skydda parenkymcellen från skadlig inverkan av angrepsdöda kärnelement. Detta skikt utbildas först i området runt pormembranet på insidan av den sekundära cellväggen och utvidgar sig senare tills hela cytoplasman i cellen är innesluten. Det är vanligen tjockare på de väggar av parenkymcellerna som gränsar mot kärnen. "The protective layer" visar också tecken på lignifiering. Studier av tyllbildningen hos några eukalyptusarter antyder att det kan vara tvåskiktat (Panshin & de Zeeuw 1970, Meyer & Côté 1968, Foster 1967). Innan Schmid (1965) införde benämningen "the protective layer" observerades detta skikt av bl a Harada (1962, 1965) hos Fagus crenata Blume varvid det benämndes S4 (Meyer & Côté 1968).

Vid tiden för tyllbildningen bryts pormembranet ned genom enzymatisk aktivitet helt eller delvis i den halvenkla poren mellan parenkymcellen och kärlet (ang. porer se avsnitt 3.3). Parenkymcellens cytoplasma ökar sin volym och det förstörade "protective layer" växer sedan som en knopp genom poren och in i kärlets lumen. Cytoplasman i parenkymcellen är därvid förenad med den i tyllknoppen. Från den del av "the protective layer" som trängt in i kärlets lumen bildas sedan tyllväggarna. Den fullt utvecklade tyllväggen hos Eucalyptus har av Foster (1967)

beskrivits som två-skiktad, det yttre skiktet (T 1) med slumpmässigt orienterade mikrofibriller och det inre skiktet (T 2) bestående av flera lameller med mer regelbunden orientering. Tyllernas slutliga storlek och form bestäms av det tillgängliga utrymmet i kärlets lumina. När individuella tyller kommer i kontakt med varandra blir de gemensamma väggarna lignifierade och porer utvecklas. Tyllväggarna hos många trädslag är ganska tunna och utan synliga porer, men ibland kan de bli kraftigt förtjockade med skiktad struktur och tydliga enkla porer (Panshin & de Zeeuw 1970). Murmanis (1975) har dock nyligen hos red oak (Quercus rubra L.) påvisat att enkla porer kan utvecklas i tyllväggen även om den inte ligger an mot en annan tyllvägg.

Behr et al. (1969) observerade att tyllernas packningsgrad i kärlet kunde variera kraftigt hos olika trädslag (ek, bok och hickory). Trots detta påträffades oljemedel efter tryckimpregnering i de flesta kärlet med tyller. Det visade sig alltså att tyller, där de inte var alltför tätt packade inte var den enda faktor som begränsade inträngen. Det påpekades också att tyller kunde hjälpa till med att hålla kvar oljemedel i veden.

Tyller i kärlet utvecklas naturligt i splintved hos växande träd före kärnvedsbildningen, men även i en skadad del av stammen, s k traumatiskt. Skadan kan vara mekanisk eller resultat av en svamp- eller virusinfektion. Låg fukthalt i veden kan också leda till tyllbildning. Traumatiska tyller utvecklas genomgående i trädet efter fällningen om förhållandena är gynnsamma, varvid alla kärlet i splintveden täpps igen (Meyer 1967, Panshin & de Zeeuw 1970).

Hur tyllbildningen hos red oak (Quercus rubra L.) påverkas av avverkningstidpunkt och lagringstemperatur har nyligen studerats av Murmanis (1975). Hos vedprover som insamlades under vegetationsperioden och lagrades på laboratoriet bildades tyller inom några timmar; på våren gick detta något långsammare (6 timmar) än på sommaren (2 1/2 timme). Hos prover som insamlades under viloperioden (november) bildades tyller först efter 1 1/2 månad när proverna lagrades vid 20° C. Prover som lagrades vid 20° C hade efter tre månader, då försöket avbröts, inte bildat tyller. Undersökningen visade att tyllbildningen kunde undvikas om träden avverkades vid tider när temperaturen inte var gynnsam (inte över 15° C) och när parenkymcellerna befann sig under vila (från november till april i Wisconsin, USA).

Schulz (1961) anger också att tyllbildningen hos bok (Fagus silvatica L.) ökar vid temperaturer över 15 till 20° C och vid långsam torkning av virket. För att minska detta problem vid impregnering av boksliprar strävar man

efter att avverka och behandla dessa endast under vintern, så långt det är möjligt. Borsholt & Ryder (1970) fann dock ingen nämnvärd skillnad i upptagning och inträngning mellan vinter resp sommaravverkade boksliprar efter kreosotimpregnering.

Enligt Hesse (1973) sker tyllbildningen hos bok (Fagus silvatica L.) när fuktkvoten sjunker under 80 %. För att undvika problemen med tyllbildningen hos boksliprar som skall kreosotimpregneras beskriver han en särskild metod som man utarbetat i Tjeckoslovakien. Man lagrar bokvirket under bevattning så att fuktkvoten hålls över 80 %. Sedan impregnerar man sliprarna i fuktigt tillstånd, varvid den heta oljan får vattnet i veden att avdunsta. Blandningen av vatten och vattenånga sugts sedan ut med hjälp av ett vakuum och ersätts med kreosotolja. Sliprarna måste sedan eftertorkas före användningen. För obehandlade boksliprar anger Hesse (1973) en livslängd på 2 år, kreosotimpregnerade med tyller 8 till 10 år och utan tyller 40 år.

En annan metod att undvika tyllbildning hos bok går ut på att förvara virket i en atmosfär bestående av minst 40 % koldioxid, högst 3 % syre och resten kväve. Den har prövats i praktiken av Yde-Andersen (1973). Den hindrar uppkomsten av rötskador och missfärgning. Stockarna lagrades i en välta som täcktes med PVC-plast. Täckningens kanter grävdes ned i marken runt vältan till ett djup av 50 cm. Kolsyresnö sprutades in under täckningen och den utvecklade koldioxiden drev sedan ut luften genom en ventil tills allt syre var borta. Täckningen höll sig lufttät under en sommar och höst, och under denna tid behövde man inte spruta in mer kolsyresnö.

### 3.1.2. Trakeider

I lövved finns två olika typer av trakeider, nämligen vaskulära trakeider och vasicentriska trakeider (Panshin & de Zeeuw 1970).

#### 3.1.2.1. Vaskulära trakeider

Vaskulära trakeider är till storlek, form och läge mycket lika små kärlelement i höstved, utom de att de har ändväggarna kvar (fig 2). De är ordnade i vertikala serier liksom de små kärll med vilka de är förenade. En given serie kan bestå enbart av vaskulära trakeider eller av en blandning av dessa och kärll utan någon regelbunden ordning. Sidoväggarna hos vaskulära trakeider är talrikt försedda med ringporer. I ett tvärsnitt kan vaskulära trakeider inte skiljas från kärll, eftersom de har samma utseende (Panshin & de Zeeuw 1970).

En rad av vaskulära trakeider kan kanske betraktas som ofullständigt utvecklade kärl där cellens protoplasma dött innan ändväggarna blivit perforerade. Ibland påträffas axiella rader av vaskulära element där vissa delar består av vaskulära trakeider och resten av kärlelement (Jane 1970).

#### 3.1.2.2. Vasicentriska trakeider

Vasicentriska trakeider är korta oregelbundet formade celler med stängda ändväggar. De uppträder rikligt i närheten av de stora vårvedskärlen hos t ex sådana bandporiga trädslag som ek och kastanje. De påträffas också i mindre antal i området av porösa vävnader som sträcker sig in i sommarveden hos dessa trädslag. I båda fallen är de förbundna med längsgående (axiella) parenkymceller, med vilka de har stor likhet sett i tvärsnittet. Sidoväggarna hos vasicentriska trakeider är rikligt försedda med ringporer. Vasicentriska trakeider skiljer sig från vaskulära trakeider genom att de har avsmalnande eller rundade ändar och att de inte är ordnade i bestämda längsgående rader (Panshin & de Zeeuw 1970).

#### 3.1.3. Fibrer

Beteckningen fiber används ofta obestämt för vilka slag av vedceller som helst. Mera noggrant användes beteckningen för långa, smala celler med stängda ändar, och vilka inte kan hänföras till trakeider. Två typer av fibrer kan urskiljas, nämligen fibertrakeider och libri-formfibrer. Fibertrakeider är vanligen relativt tjockväggiga fiberceller med spetsiga ändar och försedda med ringporer (fig 2). Librifibrer är förlängda fiberceller som skiljer sig från fibertrakeider genom att de har enkla porer (Panshin & de Zeeuw 1970)

Båda fibertyperna uppvisar ett antal olika former. Som regel är den inre ytan av fiberns sekundärvägg jämn men hos en del trädslag förekommer spiralformade förstärkningslistor. Hos andra trädslag bildas tunna tvärväggar (septa) i fibrerna vilket resulterar i septerade fibertrakeider eller librifibrer (se fig 2). Sådana tvärväggar sträcker sig enbart mellan de inre ytorna av sekundärväggen och delar fibern i två eller flera rum. Det är inte ovanligt att fibrerna är falskt septerade. Detta är sällsynt hos ved från den tempererade zonen men vanligt hos tropiskt virke. Det rör sig här om tvärväggar bildade av gummi- och hartsmaterial vilka påminner om äkta septa (Panshin & de Zeeuw 1970).

Fibertrakeider och libriformfiber kan uppträda i samma ved och övergången mellan dem är ofta så gradvis att det är omöjligt att hänföra en given cell till den ena eller andra typen. Fibertrakeider och libriformfiber, antingen enskilt eller i blandning, utgör vanligen 50 procent eller mer av lövvedens volym. Pappersmassa framställd av lövved består till huvuddelen av dessa fibrer (Panshin & de Zeeuw 1970).

Fibertrakeider och libriformfiber varierar mycket i diameter, längd, cellväggstjocklek och volymsandel. Detta gäller inte enbart mellan olika trädslag utan även mellan olika individer inom samma trädslag och mellan olika lägen i trädet. Från en analys av sex yellow poplar träd (Liriodendron tulipifera L.) rapporterar Taylor (1968) att medellängden hos fibrerna minskade med stigande höjd i trädet. Vidare observerade han att denna minskning av fiberlängden inte enbart kunde tillskrivas den ökade andelen ungdomsved eftersom denna trend var tydlig hos fiber från mogen ved också. Variationen beträffande mängden och kvalitén hos fibrerna har en avgjord inverkan på veddensiteten, hållfastheten och krympningen samt även andra faktorer som är av betydelse för vedens användning (Panshin & de Zeeuw 1970).

Relativt nyligen har tyller observerats i fibertrakeider hos arter av familjen Magnoliaceae (Gottwald 1972). Tidigare har förekomsten av tyller endast iakttagits i kärll hos lövved.

#### 3.1.4. Vedparenkymet

Parenkymcellernas uppgift är att i första hand lagra och i mindre utsträckning transportera kolhydrater i veden. De är funktionsdugliga under en avsevärt längre tid (antagligen så länge som de utgör en del av splintveden) än de ledande och stödjande prosenkymatiska cellerna (kärll, trakeider och fibrer).

Vedparenkymet hos lövved är liksom hos barrved av två typer, nämligen längsgående, även kallat longitudinellt, axiellt eller vertikalt och tvärgående, även kallat märkestråleparenkym. Det längsgående parenkymet kan härledas från spolformiga kambieceller (fig 2, Cambium fusiform initials) och går således längs fiberriktningen. Det tvärgående parenkymet kan härledas från märkestrålekambialceller (fig 2, Cambium ray initials) och går tvärs fiberriktningen, bildande märkestrålar. Dessa båda typer av vedparenkym förekommer rikligare hos lövved än hos barrved (Panshin & de Zeeuw 1970).

#### 3.1.4.1. Längsgående parenkym

Som framgår av figur 2 finns det tre typer av längsgående parenkym, nämligen strängparenkym (strand parenchyma), spolformiga parenkymceller (fusiform parenchyma cell) och epitelceller (epithelial cell). Strängparenkymet har bildats genom tvärdelning av den spolformiga kambiala dottercellen. De spolformiga parenkymcellerna saknar tvärdelning. Epitelcellerna omsluter hålrummet i de längsgående kanalerna. Längsgående hartskanaler är mycket sällsynta hos lövved. Hos sweetgum (Liquidambar styraciflua L.) kan de uppträda sporadiskt, förmodligen efter någon form av skada. Följaktligen saknas längsgående epitelceller hos inhemska trädslag. Däremot förekommer de hos vissa tropiska trädslag. Strängparenkymet är den mest vanliga typen av längsgående parenkym hos lövved (Panshin & de Zeeuw 1970).

Det längsgående parenkymet hos lövved är ordnat på olika sätt, vilket kan vara till stor hjälp vid identifiering av vedprover. I figur 5 visas olika typer av parenkymets fördelning sett i vedens tvärsnitt. Med apotrakeal och paratrakeal menas att parenkymet inte sitter respektive sitter i anslutning till kärl eller vaskulära trakeider. Med boundary menas att parenkymet ligger i början eller slutet av en årsring (Jane 1970).

#### 3.1.4.2. Tvärgående (märgstråle-) parenkym

Det finns en väsentlig skillnad mellan barrvedens och lövvedens märgstrålar. Hos barrveden består de större märgstrålarerna av parenkymceller och märgstråletrakeider, de senare belägna överst och nederst i märgstrålen. Märgstråletrakeiderna har en stor betydelse för vätskors radiella inträngning i barrveden. Hos lövveden däremot saknas märgstråletrakeiderna. Märgstrålarerna är här uteslutande uppbyggda av parenkymceller (se fig 2).

Märgstrålarerna hos lövveden varierar avsevärt mer till bredd och höjd än hos barrveden. Uteslutande enskiktade (uniseriate) märgstrålar (d v s de består av endast en cellrad sett i tangentialsnittet) av den typ som är karakteristiska i barrved påträffas sällan hos inhemska lövträdslag. Vanligen är märgstrålarerna två till flerskiktade. Hos ek kan de bestå av 30 eller flera celler i bredd. Hos flera trädslag är märgstrålarerna av två skilda storlekar, den mindre ofta enskiktad. Sådana kombinationer påträffas bland andra hos ek och bok (Panshin & de Zeeuw 1970). Abnormt breda märgstrålar som ger bruna fläckar i tangentialsnittet hos bok (Fagus silvatica L.), har nyligen observerats av Sachsse (1974). De uppträder sporadiskt och leder till kvalitetsnedsättning.

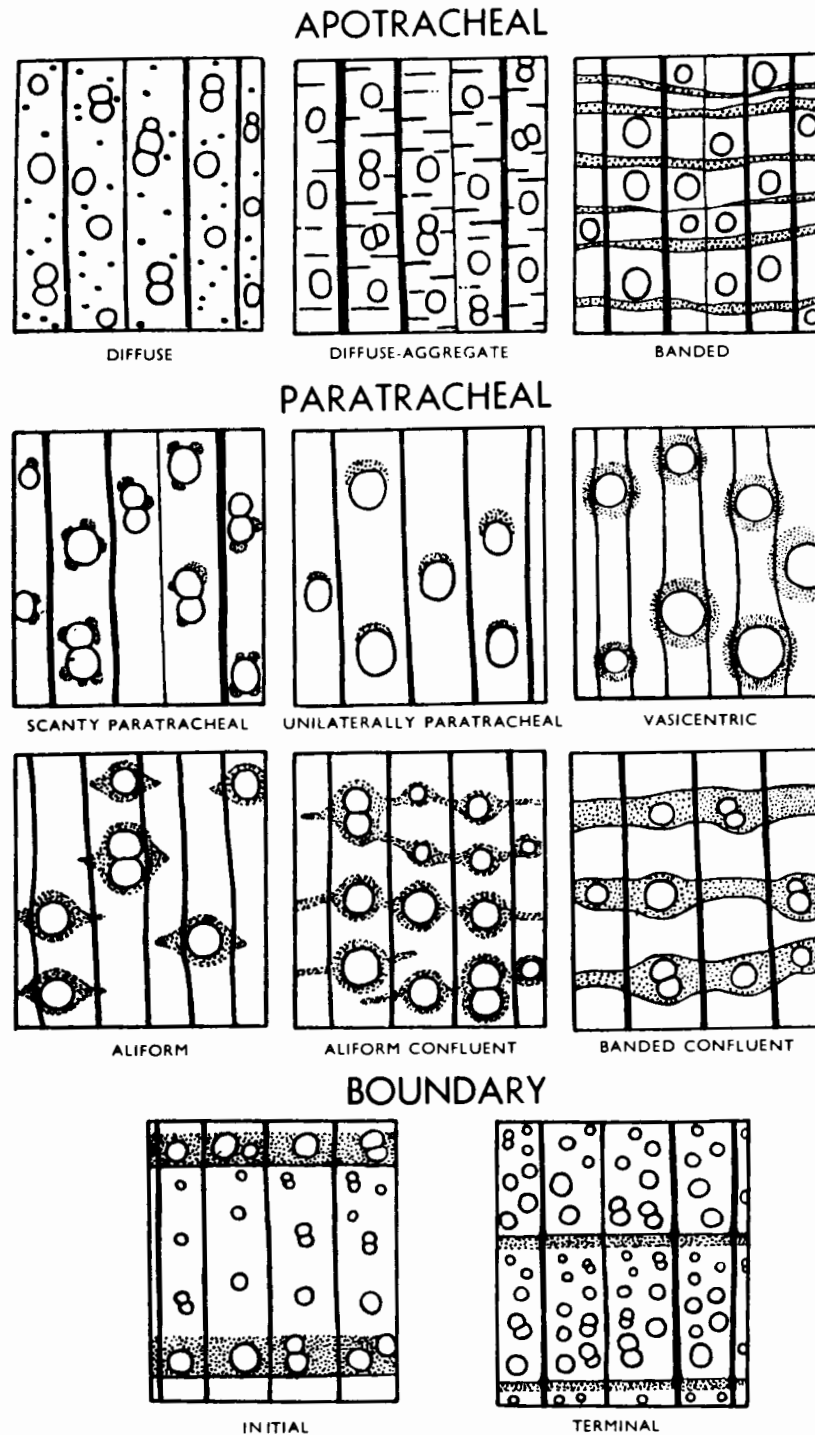


Fig. 5. Diagram över olika typer av parenkymfördelning hos lövved sett i tvärsnittet. (Parenkymet visas som prickade områden utom i det första diagrammet där det återgives som enstaka prickar och i det andra diagrammet där det visas som horisontella linjer) (Jane 1970).

Diagram of different types of distribution of parenchyma in hardwoods, as seen in transverse sections. (The parenchyma is shown as dotted areas, except in the first diagram, where it is represented by isolated dots and in the second where it is shown as horizontal lines.)

Fastän märkestrålar hos lövveden enbart består av parenkymceller så är de inte nödvändigtvis sammansatta av en typ av celler. Där det finns endast en typ av celler säges märkestrålar vara homogena, medan termen heterogen användes för att beteckna märkestrålar med mer än en typ av celler (Jane 1970). Enligt Panshin och de Zeeuw (1970) har termerna homogenous och heterogenous numera utbytt mot homocellular och heterocellular. Den vanligaste celltypen i märkestrålar är den radiellt förlängda, liggande (procumbent) cellen (fig 2). Ibland påträffas celler som är lika höga och ibland högre än de är långa, d v s de är axiellt förlängda. Dessa celler kallas stående celler och eftersom de ofta uppträder i märkestrålens övre och nedre marginal kallas de även marginalceller (fig 2, marginal, upright cell). I figur 6 visas olika typer av märkestrålar hos lövved som de ser ut i tangential- och radialsnitten (Jane 1970).

Tvärgående hartskanaler saknas hos inhemska lövträslag men de kan förekomma hos tropiska lövträd. Där de finns påminner de om hartskanalerna hos barrved d v s de går mitt i märkestrålen och de är omgivna av epitelceller (Panshin & de Zeeuw 1970).

Enligt en ny undersökning av Kučera (1975) så står märkestrålar hos bok (Fagus silvatica L.) alltid i förbindelse med kärnen.

#### 3.1.4.3. Inlagringar i parenkymcellerna

Parenkymcellerna innehåller ofta inlagringar. De kan vara kristaller, kisel och ett flertal amorfa ämnen av sammansatt kemisk natur till exempel gummi, hartser, tanniner, oljor, färgämnen m m. Kristaller mestadels av kalciumoxalat är ganska vanliga både i längsgående parenkym och i märkestråleceller. Den vanligaste formen hos sådana kristaller är rombisk. När kristallerna bildas i strängparenkymet omvandlas en cellenhet till en kristallbärande cell. Exempel på detta visas i figur 2; crystalliferous cell (Panshin & de Zeeuw 1970).

### 3.2. Cellväggen

I detta avsnitt behandlas kortfattat cellväggens uppbyggnad.

#### 3.2.1. Mikrofibrillerna

De ingående komponenterna i vedväxternas cellväggar är orienterade på ett regelbundet sätt. Cellulosan uppträder i form av långa smala strängar eller fibriller. De består

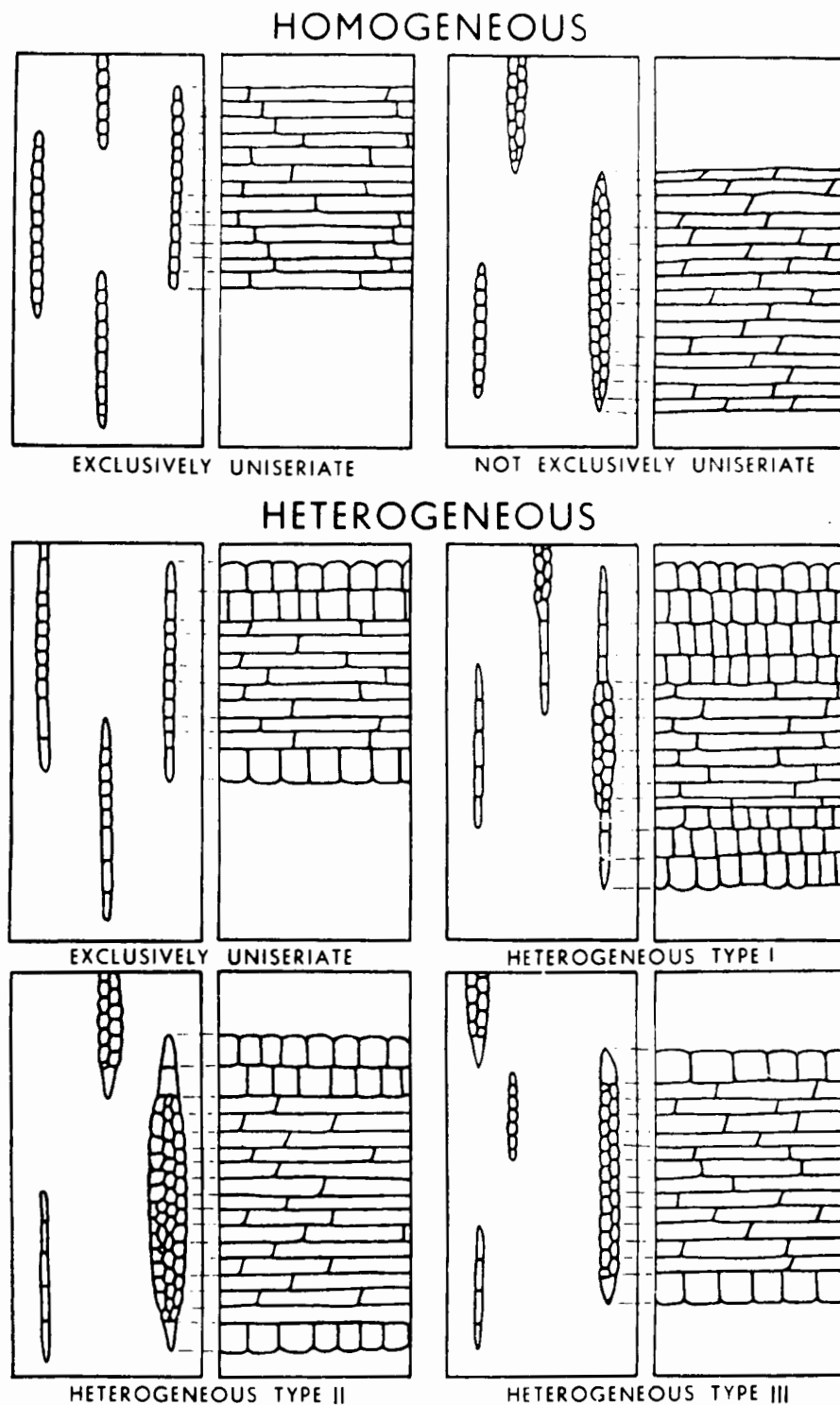


Fig. 6. Diagram över olika typer av märkestrålar i lövved, sett i tangential- och radialsnitt (Jane, 1970).

Diagrams of different types of rays in hardwoods, as seen in tangential and radial longitudinal sections.

av sammanhopningar av cellulosamolekyler, stora nog att iakttas med elektronmikroskop och tillräckligt ordnade för att analyseras med röntgenkristallografiska metoder. Den minsta sammanhopningen av cellulosamolekyler som påträffats hos växtmaterial är de s k elementarfibrillerna. De har en diameter av omkring 35 Å och de innehåller 37 till 42 parallella cellulosamolekyler (1 Å (Ångström) =  $10^{-8}$  cm) (Panshin & de Zeeuw 1970)

Elementarfibrillerna sammanbuntas på ett karakteristiskt sätt till större strängar, s k mikrofibriller, vilka har mer eller mindre rektangulärt tvärsnitt. Mikrofibrillerna kan lätt urskiljas med elektronmikroskop. De är 100 till 300 Å breda och 50 till 100 Å tjocka samt flera  $\mu$  långa ( $1 \mu = 10^{-4}$  cm). Mikrofibrillerna är inbäddade i en matris bestående av hemicellulosa, lignin och extraktivämnen. De bandliknande mikrofibrillerna är lagda kant till kant i matrisen så att de bildar tunna osammanhängande skikt av cellulosasträngar, vilka i sin tur varvas för att bygga upp cellväggen. Hela stommen av cellulosasträngar och skikt såväl som matrismaterialet är genomborrat av ett system av mikrokapillära håligheter vilka ändrar sin volym med cellväggens fukthalt. De största kapilläerna, som är tillräckligt stora för att rymma kristaller av jod eller guld är parallella med mikrofibrillerna (Panshin & de Zeeuw 1970).

### 3.2.2. Cellväggens uppbyggnad

Vid början av vedcellens differentiering är den levande protoplasman innesluten i primärväggen. Denna kan öka avsevärt till ytan för att hålla jämna steg med cellens volymökning vid den fortsatta tillväxten. Mellan angränsande celler finns det ett isotropt skikt kallat mittlamellen (fig 7). Såväl mittlamellen som primärväggen är tunna och svåra att skilja åt med ljusmikroskop. I praktiken kallar man därför mittlamellen och de två primärväggarna på vardera sidan för den sammansatta mittlamellen (Panshin & de Zeeuw 1970).

Efter det att cellens utvidningsfas är fullbordad pålagras ytterligare väggmaterial på insidan av primärväggen. Dessa kallas sekundärvägg och kan inte utvidgas till ytan. De är relativt täta och har hög cellulosaandel. Hos prosenkymatiska celler (kärl, trakeider, fibrer) inträffar slutfasen i cellens utveckling vid tiden för protoplasmas död. Rester av cellinnehållet avsätts på insidan av cellen antingen som ett amorft skikt eller i form av vårtor. Hos parenkymatiska celler fortsätter livsfunktionerna även efter det att sekundärväggen fullbordats, och så länge som de ligger i splintveden (Panshin & de Zeeuw 1970).

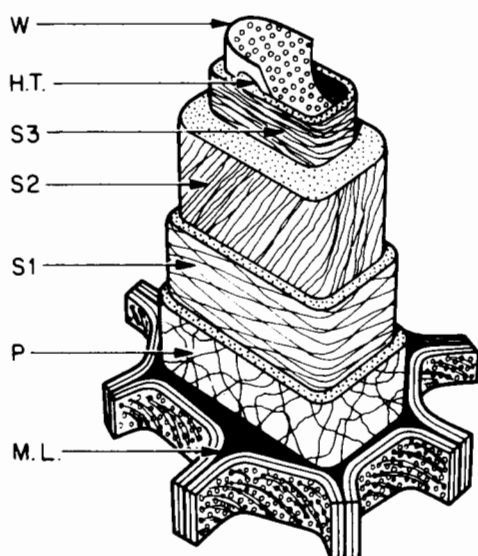


Fig. 7. Ett schematiskt diagram som visar vedcellens struktur och mikro-fibrillernas orientering inom olika skikt. ML, mittlamell; P, primärvägg; S1, sekundärväggens yttre skikt; S2, sekundärväggens mellan-skikt; S3, sekundärväggens innersta skikt; HT, spiralförtjockning; W, vårtlagret (Meylan & Butterfield 1972).

A schematic diagram to illustrate the structure of the plant woody cell wall and the orientation of the cellulose microfibrils within the various layers. ML, middle lamella; P, primary wall; S1, outer layer of the secondary wall; S2, middle layer of the secondary wall; S3, innermost layer of the secondary wall; HT, helical thickening; W, warty layer.

### 3.2.3. Sekundärväggens uppbyggnad

Vid normal utveckling av trakeider eller fibrer består sekundärväggens av tre skikt, benämnda S1, S2 och S3 (se fig 7). Det yttre skiktet S1 är tunt ( $0.1$  till  $0.2 \mu$ ,  $1 \mu = 10^{-4}$  cm), men trots detta har det visat sig vara uppbyggt av ett komplex av flera tunna lameller. Mikro-fibrillerna i dessa lameller alternerar mellan S- och Z-spiraler (höger- och västervridna spiraler), vilket ger en nätformad struktur. Karaktären hos S1 skiktet anges av de inre lamellerna med S-spiraler, vars mikro-fibrillvinkel i medeltal är  $50$  till  $70^\circ$  i förhållande till cellaxeln. S1-skiktet benämnes även övergångsskiktet, eftersom dess struktur företer en gradvis övergång från primärväggens struktur till den struktur som är förhärskande i de centrala delarna av sekundärväggens (Panshin & de Zeeuw 1970).

Sekundärväggens centrala del, S2 består av tätt ordnade lameller vars mikro-fibriller är orienterade nästan parallellt med cellaxeln ( $10$  till  $30^\circ$  från denna). S2-skiktet är det tjockaste av de tre sekundärväggsskikten och utgör huvuddelen av cellväggens volym. Detta skikt visar också den största variationen i tjocklek och återspeglar de viktigaste skillnaderna mellan vår- och höstved (Panshin & de Zeeuw 1970).

Sekundärväggens innersta skikt, S3 visar sig ofta vara tunnare än S1. Mikrofibrillerna är orienterade i övervägande horisontella spiraler, som ligger i en vinkel av 60 till 90° i förhållande till cellaxeln. Det finns dock stora avvikelser från detta mönster. Flera lameller har observerats inom S3-skiktet, men deras ordning är mindre noggrann än i S1 (Panshin & de Zeeuw 1970).

Cellväggens uppbyggnad hos parenkymceller och kärl överensstämmer med den hos trakeider och fibrer. Primärväggen är lika i alla celltyperna. De variationer som finns är mest begränsade till sekundärväggen och består av inskränkningar i tjockleken hos väggskikten eller i antalet bildade skikt. I allmänhet är väggarna hos parenkymcellerna och kärnen tunnare än hos trakeiderna och fibrerna (Panshin & de Zeeuw 1970).

#### 3.2.4. Spiralförtjockningar

Den inre ytan av sekundärväggen kan vara försedd med lister av mikrofibriller spiralförmigt orienterade. Dessa kallas spiralförtjockningar eller spirallister. De härrör från buntar av mikrofibriller (Panshin & de Zeeuw 1970).

I kärnen hos en del trädslag finns spiralförtjockningar. De uppträder som lister på sekundärväggens inre yta och anses vara en integrerad del av denna. Hos ströporiga lövvedslag kan kärnen över hela årsringen vara försedda med spiralförtjockningar. Hos bandporig ved påträffas spiralerna, om de finns överhuvudtaget, vanligen i de mindre kärnen i höstveden (Panshin & de Zeeuw 1970).

#### 3.2.5. Vårtlagret

Som tidigare nämndes avsätts vid cytoplasmas död ett efter utseendet kallat vårtlager på cellväggens insida, alltså över S3-skiktet. Att vårtlagret bildas av död cytoplasma är dock inte slutgiltigt fastställt. Nyare undersökningar av bland andra Parham och Baird (1974) och Baird et al. (1974 a) antyder att vårtlagret utvecklas innan cytoplasman försvinner från vedcellen och att cytoplasman inte lämnar några urskiljbara spår av oorganiserade rester efter sig.

Vårtlagret är helt tydligt och kan isoleras mekaniskt och kemiskt. Det har kemiska reaktioner liknande de för lignin, men dessutom visar de spår av proteiner som normalt inte påträffas i någon omfattning i sekundärväggen. Det är anmärkningsvärt motståndskraftigt mot kemisk upplösning. Vårtlagret uppträder hos ett stort antal barr- och lövträd (Liese 1963, 1965, Panshin & de Zeeuw 1970).

Dessutom är vårtlagret mycket resistent mot angrepp av mikroorganismer. I en ny undersökning över vårtlagrets sammansättning antyder Baird et al. (1974 b) att ligninet i vårtlagret skulle vara mera koncentrerat och mera kondenserat än övrigt lignin i cellväggen.

Vårtlagret fungerar som en innersta lamell i cellväggen. Det kan antagas att vissa egenskaper hos cellväggen som till exempel diffusion av vatten, impregneringslösningar och kokvätskor kan påverkas av vårtlagret. Beroende på dess exakta kemiska natur kan vidhäftning och fixering av kemikalier kanske också ändras. Stark torkning av veden kan eventuellt förändra vårtlagrets egenskaper och sålunda påverka vätskeinträngningen i cellväggen, vilket föreslagits av Wardrop och Davis (1958) (Liese 1965).

### 3.2.6. G-skiktet eller SG

En variation hos lövvedens fibrer är de så kallade "geleartade fibrerna" vilka mestadels påträffas i dragved. Dragved utbildas som bekant på översidan (dragsidan) hos ett lutande lövträd. De geleartade fibrerna skiljer sig från de normala med att de har ett inre cellväggsskikt som uppvisar avvikande fysiska och kemiska egenskaper. Det reflekterar ljuset kraftigt, därav benämningen geleartad och ger vanligen en cellulosaareaktion med olika färgreagenser vilket tyder på frånvaro eller låg halt av lignin. Det så kallade geleskiktet (G-skiktet eller SG) kan uppträda på tre sätt; (1) det kan finnas i anslutning till skikten S1, S2 eller S3, (2) det kan ersätta S3 eller (3) det kan ersätta skikten S2 och S3 (Côté & Day 1965, Panshin & de Zeeuw 1970)

### 3.3. Porer mellan cellerna i lövved

Porer som förenar cellerna har en avgörande betydelse för impregneringsvätskors inträngning och fördelning i veden. De behandlas därför i ett avsnitt för sig.

Studier av porer mellan cellerna i lövved har utförts av bl a Liese (1957), Côté (1958), Cronshaw (1960), Preusser et al. (1961), Harada (1962), Jayme och Azzola (1965), Schmid (1965), Rudman (1966 a, 1966 b), Bonner och Thomas (1972) och Kinninmonth (1972).

En por är en insänkning i den sekundära cellväggen. Ett porpar är sammansatt av motsvarande insänkningar i två angränsande cellväggar, med ett pormembran i mitten (Bonner & Thomas 1972). Pormembranet är sammansatt av primärväggarna och mittlamellen hos de angränsande cellerna (Schmid 1965).

Porerna hos olika trädslag och celltyper uppvisar en avsevärd variation vad beträffar storlek, form och fördelning. Detta gäller särskilt kärlens porer. Poröppningarna kan till exempel vara cirkulära, elliptiska eller spaltformade. Storleken och formen hos porkammaren kan variera på liknande sätt. Beroende på cellväggens tjocklek går förbindelsen mellan cellumen och porkammaren över en utvidgad öppning i sekundära cellväggen; en så kallad por kanal (Schmid 1965).

### 3.3.1. Portyper mellan olika celler

Porpar som förenar kärl, trakeider och fibertrakeider är av typen gårdade porer (ringporer). De är av samma typ som ringporerna hos barrved men de skiljer sig från dessa på två väsentliga punkter. Deras pormembran saknar nämligen dels torus och dels margo (= öppningar i pormembranen). Porpar som förenar kärl, trakeider och fibertrakeider med parenkymceller är av typen halvenkla porpar. De som förenar två parenkymceller med varandra är av typen enkla porpar. Libriformfibrerna har också enkla porer. En figur över olika porpartyper liksom även beskrivningar av torus och margo ges i uppsatsen om barrvedens impregnerbarhet (Bergman 1974).

Kärlens väggar är rikligt försedda med porer (Liese 1957, Cronshaw 1960). Hos vasicentriska trakeider uppträder porerna också ganska talrikt och sitter i lodräta rader. Fibrerna däremot har långt färre antal porer än trakeiderna. De är spridda längs fiberns längd och det är vanligen ganska långt mellan dem. Fibrernas porer är också mindre till storleken än trakeidernas porer (Cronshaw 1960).

Parenkymcellerna är talrikt försedda med stora enkla porer. Portätheten är särskilt stor i cellernas tvärväggar (Cronshaw 1960, Jayme & Azzola 1965).

### 3.3.2. Pormembranet

Indelningen i ringporpar, halvenkla porpar och enkla porpar är enligt Schmid (1965) inte att föredraga. Det är väsentligare att se enbart till pormembranet. Pormembranets struktur varierar nämligen i förhållande till funktionen hos inblandade celltyper. I det följande beskrives tre huvudtyper av pormembran nämligen pormembranet mellan två kärl, pormembranet mellan ett kärl och en parenkymcell och pormembranet mellan två parenkymceller (Schmid 1965).

### 3.3.2.1. Pormembranet mellan två kärl

Pormembranet mellan två kärl beskrives såsom ett enkelt membran bestående av mittlamellen och primärväggarna hos de angränsande kärlelementen. Hos fullt utvecklad splintved är mikrofibrillerna i pormembranet löst packade och slumpmässigt ordnade, vilket är typiskt för primärväggens vävnad. Mikrofibrillerna är ofta inlagrade i ett amorft material. Hos pormembranet finns ingen central förtjockning (torus) och inga öppningar (margo) (Schmid 1965).

Hos ett pormembran under utveckling mellan ett nybildat kärl och en kambiecell är plasmodesmata synliga. (Plasmodesmata är strängar av cytoplasma som går genom primärväggen och mittlamellen hos angränsande celler och förenar cytoplasman i ett sammanhängande system; Panshin & de Zeeuw 1970.) I senare stadier av utvecklingen är små kanaler och cytoplasmasträngar ej längre synliga. Pormembranet mellan två nybildade kärl uppvisar en minskning i densitet och en uppluckring i vävnaden, vilken påbörjas i den centrala delen och fortskrider inuti pormembranet mot dess kant. Flera skikt kan urskiljas i membranet; ett tjockare i mitten med mikrofibrillerna parallellt orienterade och två mindre täta skikt på ömse sidor, där mikrofibrillerna synes vara mer oregelbundet ordnade.

I nästa stadium uppvisar hela membranet en tämligen enhetlig fibrillvävnad, som är ytterst genomsläpplig för elektroner. I senare stadier syns spridda mörka områden i membranet. Dessa kan bero på förändringar av substanser som redan finns i membranet eller på sekundära inlagringar. Ofta kan en skiktning i mikrofibrillager och amorfa lager uppfattas. Det fullt utvecklade pormembranet mellan två kärl består av flera fibrillager som varvas med amorfa lager av inlagrad substans (Schmid 1965).

I en studie av pormembranen hos yellow poplar (Liriodendron tulipifera L.) fann Bonner och Thomas (1972) tydliga öppningar i pormembranen mellan kärl som var upp till två år gamla. Med ökande ålder blev pormembranen mer inlagrade och tillslutna. Hos pormembran mellan kärl och fibrer saknades synliga öppningar. Pormembranen mellan kärl hos red oak (Quercus spec.) undersöktes också, men några öppningar i dessa påträffades inte.

### 3.3.2.2. Pormembranet mellan ett kärl och en parenkymcell

Pormembranet mellan ett kärl och en parenkymcell genomgår en liknande utveckling som pormembranet mellan två kärl. I det senare fallet sker förändringarna symmetriskt inne i pormembranet eftersom detta tillhör två homogena celler (två kärl). I det förra fallet sker förändringarna inne i

pormembranet mycket osymmetriskt eftersom detta tillhör två heterogena celler (ett kärl och en parenkymcell).

I tidiga stadier gränsar det yttersta skiktet hos pormembranet till plasmalemma hos parenkymcellen. (Plasmalemma är det yttre avgränsade membranet hos cellens cytoplasma; Panshin & de Zeeuw 1970.) När kärlets cytoplasma dör uppstår ett extra skikt mellan parenkymcellens plasmalemma och pormembranet. Detta extra skikt kännetecknas av en lös blåsliknande vävnad med låg elektrondensitet. När detta är färdigbildat motsvarar dess tjocklek ungefär pormembranets diameter. Ofta täcker detta skikt delar av parenkymcellens vägg runt poren där det avtar gradvis med avståndet från pormembranet. Detta extra skikt har benämnts "the protective layer". (Se tidigare avsnitt 3.1.1.1.) (Schmid 1965).

Bonner och Thomas (1972) som studerade pormembran hos yellow poplar kunde inte upptäcka några synliga öppningar i pormembranen mellan kärl och parenkymceller vid någon ålder hos veden.

#### 3.3.2.3. Pormembranet mellan två parenkymceller

Pormembranet mellan två angränsande parenkymceller uppvisar inte de typiska utvecklingsstadier som beskrivits för de två andra pormembranen. Kännetecknande för detta membran är att det har ett stort antal små öppningar, plasmodesmata. Ibland kan de fina cytoplasmasträngarna observeras, vilka korsar pormembranet i små kanaler och således sammanbinder protoplasman i angränsande parenkymceller. Liknande cytoplasmatrådor uppträder också i pormembranen mellan levande vedfibrer. I allmänhet förekommer plasmodesmata i alla pormembran mellan levande cellelement (Schmid 1965).

#### 3.3.3. Poraspiration (porstängning)

Enligt IAWA:s (International Association of Wood Anatomists) är ett aspirerat porpar "ett gårdat porpar (ringporpar) i vilket torus förflyttats åt sidan så att den stänger ena poröppningen". Eftersom denna definition särskilt hänvisar till att poröppningen stängs av torus så kan den enbart gälla för barrved. Som tidigare nämnts saknar lövveden torus. Det visar sig dock att stängda porer kan påträffas även i lövved (Thomas 1972). I dessa porer har pormembranet pressats mot ena poröppningen. Eftersom pormembranen hos lövved saknar öppningar (margo hos barrvedens pormembraner) uppkommer frågan om en stängning av poren försvårar möjligheterna för gaser och vätskor att passera. Vid stängningen minskar pormembranets exponerade yta påtagligt. Normalt bör diffusionen gå

snabbare genom tunna pormembraner än genom dubbla cellväggar. En minskning av pormembranets exponerade yta bör således sänka diffusionshastigheten (Thomas 1972).

#### 3.3.4. Klädda porer (vestured pits)

Hos lövved förekommer en form av utväxter eller avsättningar på väggarna i porkammaren och porkanalen hos ringporerna. Sådana porer kallas på engelska "vestured pits" och på tyska "verzierte eller skulpturierte Tüpfeln".

Den som först gav en riktig beskrivning av denna förekomst och införde benämningen "vestured pits" var Bailey (1933). Han undersökte inte mindre än 2660 lövträdslog. Trots att han endast hade ljusmikroskop till hjälp står sig hans beskrivningar till huvuddelen än idag. Sedan elektronmikroskopet togs i bruk har studier över "vestured pits" utförts av bland andra Côté och Day (1962), Wardrop et al. (1963), Schmid och Machado (1963), Schmid (1965), Kanazawa (1968), Scurfield och Silva (1970), Scurfield et al. (1970) och Greaves (1973 b).

Utväxterna uppträder endast i gårdade porer (ringporer). I halvenkla porpar finns utväxterna endast i den del av porparet som vetter mot kärlet eller trakeiden (Bailey 1933, Côté & Day 1962). I figur 8 visas en schematisk teckning av en "vestured pit" hos Eucalyptus regnans F. Muell. Av denna framgår att utväxterna förekommer rikligast i porkanalen och särskilt i dess inlopp i porkammaren och utlopp i cellumen (Scurfield & Silva 1970).

Vad beträffar uppkomst och utseende så finns ett klart samband mellan utväxterna i ringporerna och vårtlagret i cellumen (se avsnitt 3.2.5.). Båda antages härröra från cytoplasman. Flera författare beskriver utväxterna i ringporerna som stora vårtor.

Schmid (1965) anser att vissa skillnader finns, nämligen att utväxterna i ringporerna bildats av levande cytoplasma medan vårtorna i cellumen är kvarlevor av död protoplasma. Scurfield och Silva (1970) framhåller däremot att det inte finns några morfologiska och kemiska skillnader mellan utväxterna i ringporerna och vårtorna i cellhåligheten. I porkanalens utlopp mot cellumen är det till exempel omöjligt att skilja mellan utväxter och vårtor. De framför hypotesen att när protoplasman dör i cellerna så fortsätter dess aktivitet ytterligare en tid i porerna. Utväxterna i ringporerna kan således betraktas som förstorade eller hopgyttrade vårtor.

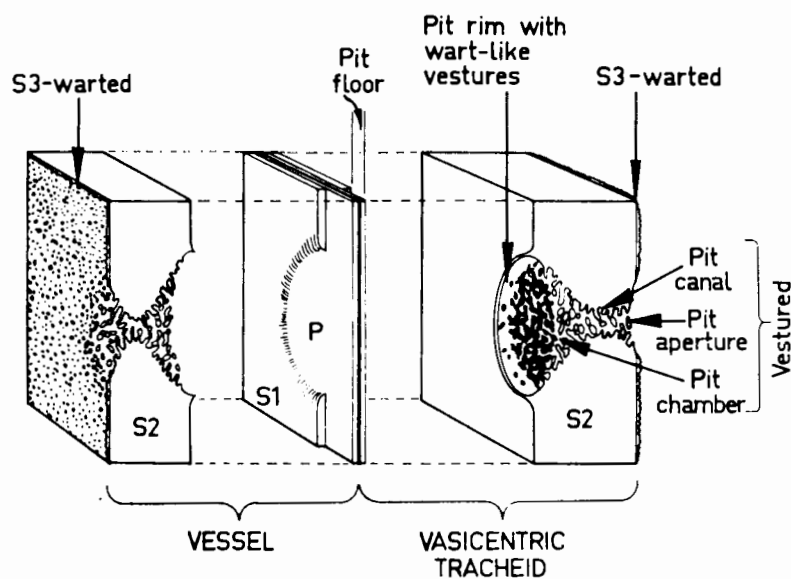


Fig. 8. Diagram över en klädd gårdad por hos *Eucalyptus regnans*. Det sekundära cellväggsskiktet S1 är delvis bortskuret för att visa den underliggande primärväggen P (Scurfield & Silva, 1970). Vessel = kärl; Vasicentric tracheid = vasicentrisk tracheid; S3-warted = S3 med vårtlager; Pit floor = pormembran; Pit rim with wart-like vestures = porkant med vårtlika utväxter; Pit canal = porkanal; Pit aperture = poröppning; Pit chamber = porkammare; Vested = klädd.

Diagram of a vested bordered pit of *Eucalyptus regnans*. Secondary wall layer S1 is cut back to show the underlying primary wall P.

De flesta lövträdsdrag som har dessa utväxter i ringporerna uppvisar också tydligt vårtlager i cellhåligheterna. Det finns dock några undantag. Således har kärnen hos *Fagus silvatica* L. (Fagaceae) och trakeiderna hos *Bubbia calothyrsa* (Diels) A.C. Smith (Winteraceae) ringporer utan utväxter medan cellhåligheterna är täckta med vårtor. Kärnen hos trädslagen *Liquidambar styraciflua* L. (Hamamelidaceae), *Ulmus procera* Salisb. (Ulmaceae), *Daphniphyllum gracile* Gage (Daphniphyllaceae) och *Helichrysum ferrugineum* Less. (Compositae) har varken utväxter i ringporerna eller vårtor i cellhåligheterna (Scurfield et al. 1970).

### 3.4. En impregneringsvätskas inträngning i lövved

I detta avsnitt behandlas en impregneringsvätskas inträngning i första hand bland cellelementen och i andra hand i cellväggen.

#### 3.4.1. En impregneringsvätskas inträngning bland cellelementen i lövved

I figur 9 visas en generaliserad modell för vätskors inträngning bland cellelementen i lövved. Den är utförd av Siau (1971). Pilarnas storlek antyder flödets relativa omfattning. Det kraftigaste flödet sker längs kärnen. Från dessa tränger sedan vätskan genom ringporerna och de halvenkla porerna över till fibrer respektive parenkymceller.

Vad beträffar flödet genom pormembranen så råder delade meningar. En del anser att något flöde genom dessa inte kan förekomma, medan andra anser att de är genomträngliga. I det följande beskrives resultat och diskussioner från olika undersökningar.

Stone och Green (1958) studerade flödet av kokkemikalier (för framställning av pappersmassa) i flera nordamerikanska lövträdsdrag. De fann att flödet helt och hållet var begränsat till kärnen, där det gick snabbt, ifall de var öppna och ytterst långsamt när de var igensatta av tyller. Till fibrerna kunde kemikalierna endast förflytta sig genom diffusion.

Cronshaw (1960) lät vakuumimpregnera små träprover av Eucalyptus regnans F. Muell med kolloider av kol eller guld (partikelstorlek 640 Å). Mikroskopiska observationer avslöjade att partiklarna uppsamlades i pormembranen och inte kunde passera genom pormembranen. Partiklar som från vedprovets ändyta gick in i avhuggna fibrer kunde inte heller ta sig över till angränsande celler.

Rudman (1965 a, 1965 b, 1966 a, 1966 b), som genomförde en omfattande undersökning över impregnerbarheten hos olika eukalyptusarter, anser att pormembranen är genomträngliga. De har inga tydliga öppningar men impregneringsvätskorna kan ändå tränga genom membranet på grund av dess lösa mikrofibrillvävnad. En del pormembran är dock ogenomträngliga på grund av inlagringar av extraktivämnen. Under en timmes tryckbehandling av en eukalyptusstock så går impregneringsvätskan in i kärnen och passerar sedan i sidled tjugo till trettio pormembraner. Hos en tallstock hinner vätskan passera väsentligt fler porer under samma tid eftersom inträngningen där sker radiellt från stockens periferi. Rudman anser att någon inträngning längs parenkymcellerna inte sker utom när man använder sig av hett

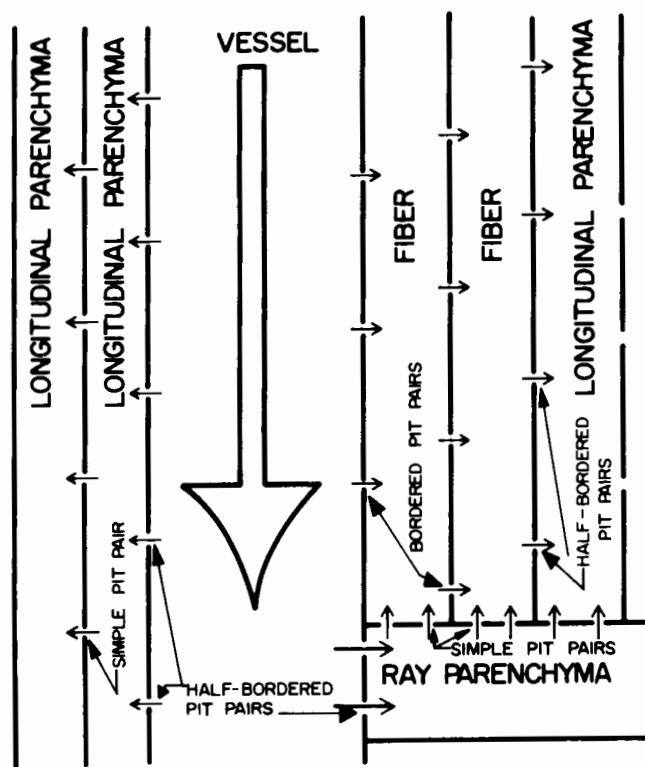


Fig. 9. En generaliserad modell över flödet i lövved. Pilarnas storlek utvisar flödets relativa omfattning (Siau, 1971).  
 Vessel = kärl; Longitudinal parenchyma = längsgående parenkym; Ray parenchyma = märkestråleparenkym; Simple pit pair = enkelt porpar; Half-bordered pit pair = halvenkelt porpar; Bordered pit pair = gårdat porpar (ringporpar).

Generalized flow model for hardwoods. The relative magnitude of the flow is indicated by the size of the arrow.

vatten eller alkaliska lösningar vilka mjukar upp och löser ut de extraktivämen som antas täppa till deras pormembran. Av fyra undersökta eukalyptusarter visade *Eucalyptus maculata* Hook lägst upptagning och sämst fördelning. Hos denna art utgöres fibrerna till större delen av libriformfibrer, vilka har tjocka cellväggar och litet antal porer. De andra arterna har övervägande fibertrakeider med stort antal porer och tunnare väggar. Det ringa antalet porer och möjligen även pormembranens dåliga genomtränglighet hos *E. maculatas* fibrer antogs vara orsaken till den dåliga impregnerbarheten.

Behr et al. (1969) har redovisat en mikroskopisk undersökning av nordamerikansk bok, ek alm och hickory som tryckimpregnerades med oljemedel. De fann att fibrerna hos de

olika lövträdslagen var impregnerbara, och att oljemedlet passerat från fiber till fiber via porerna, eftersom dessa innehöll olja. Man fann inte heller någon skillnad mellan vårveds- och höstvedsfibrer. I det långsgående parenkymet påträffades ingen olja. I mägstråleparenkymet var inträngningen oklar. Nära vedytan syntes det att oljemedel trängt in från cell till cell, men på det hela taget var inträngningen i mägstrålarna dålig. Avsaknaden av olja var särskilt markant i de breda (flerskiktade) mägstrålarna hos bok, ek och hickory. I en del breda mägstrålar hos bok fanns olja endast i de yttre cellerna. Detta antyder att oljemedlet först trängde in i fibrerna och sedan över till mägstrålarna.

Med hjälp av ett svep-elektronmikroskop (SEM) till vilket anslutits en röntgenutrustning (EDAX) från Edax International Inc. undersökte Greaves (1972) inträngningen i splintveden hos Eucalyptus regnans F. Muell och Pinus radiata D. Don efter vakuüm-tryckimpregnering med ett CCA-medel. Fördelningen av impregneringsmedlet i vedstrukturen var övervägande mycket bättre hos P. radiata än hos E. regnans trots att upptagningen var något högre hos den senare. Huvuddelen av impregneringsmedlet hos E. regnans var lokaliserad till kärlden medan näraliggande fibrer vanligen var dåligt impregnerade.

Med samma teknik fortsatte Greaves (1974 a) att mäta inträngningen hos P. radiata D. Don, Pinus silvestris L. (tall), Picea abies Karst. (gran), Fagus silvatica L. (bok), Eucalyptus regnans F. Muell och Eucalyptus maculata Hook som vakuüm-tryckimpregnerats med ett CCA-medel. Han fann att inträngningen huvudsakligen går radiellt hos barrved. Hos bok var mägstrålarna också betydelsefulla inträngningsvägar. (I motsats till impregnering med oljemedel enligt Behr et al. 1969!) Hos eukalyptus och särskilt E. maculata var däremot kärlden viktigast. Pormembranen visade höga halter av CCA-medlet, vilket antydde att de fungerade som viktiga sammanbindningsvägar mellan cellerna. I barrveden var impregneringsmedlet relativt jämnt fördelat medan i lövveden och speciellt hos E. maculata stora områden av oimpregnerade celler påträffades mellan inträngningsvägarna.

Bravery et al. (1975) vakuümimpregnerade vedprover av bok (Fagus silvatica L.) med tri-n-butyltennoxid löst dels i dietylenoxid + 5 % vatten och dels i ren torr dietylenoxid. Den förra lösningen orsakar svällning i veden men inte den senare. Genom direkta elektronmikroskopiska studier kunde de observera impregneringsmedlet i veden i form av mörka prickar. Dessa påträffades alltid i kärlden. I fibrerna däremot saknades de ofta helt och hållet eller uppträdde oregelbundet. Där de fanns var de mestadels koncentrerade till pörkamrarna och pormembranen. I parenkymcellerna saknades alltid impregneringsmedlet.

### 3.4.2. En impregneringsvätskas inträngning i cellväggarna hos Lövved

Fältförsök och praktiska erfarenheter har visat att lövvirke impregnerat med vattenlösliga saltmedel har mycket mindre motståndskraft mot soft rot än barrvirke impregnerat med samma medel (Henningsson 1974). Soft rot svampar igenkänns på att de bildar rombiska kaviteter i sekundärväggens S2-skikt. I en pågående undersökning har dylika kaviteter påträffats i cellväggarna hos bokstolpar (Fagus silvatica L.) tryckimpregnerade med ett CCA-medel (normal upptagning) redan efter ett år i markkontakt (muntligen från Thomas Nilsson, Skogshögskolan). Det räcker alltså inte med att lövverket visar "normal" upptagning av saltmedel och tillfredsställande fördelning bland cell-elementen för att det skall vara skyddat mot soft rot. Impregneringsmedlet måste också tränga in i cellväggarna.

Mätningar av inträngningen i cellväggarna hos två lövträds-slag Acer pseudoplatanus L. (sykomorlönn) och Eucalyptus maculata Hook har rapporterats av Dickinson (1974). Splintvedsprover 2 x 2 x 15 cm fullcellimpregnerades med ett CCA-medel (hög upptagning). För att mäta impregneringsmedlets fördelning användes ett instrument kallat EMMA-4 (electron microscope microanalyser). Det är ett vanligt transmissions elektronmikroskop (TEM) till vilket kopplats en extra minilins som ger en 200 nm ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ) diameter elektronstråle för mikroanalys. Två fullt fokuserande spektrometrar, en på vardera sidan av objektbordet mäter den karakteristiska röntgenstrålning som utgår från det område av provet som bestrålas. Detta gör det möjligt att relativt beräkna t ex koppar, krom och arsenik på vilken punkt som helst i provet. Mätningarna utföres på mycket tunna vedsnitt (tjocklek ca 100 nm). I figur 10 visas relativa utslag per sekund för olika komponenter av impregneringsmedlet i olika delar av cellväggen mellan ett kärl och en fiber av Acer pseudoplatanus. På kärlets innervägg (a) är mängden impregneringsmedel mycket hög. Sedan faller den drastiskt i område (b), (c) och (d). På fiberns innervägg (e) är värdena åter höga men inte så höga som på kärlets insida. Liknande resultat erhöles för E. maculata. Försöket visade klart att impregneringsmedlet avsatte sig på kärlets och fibrernas innerväggar och att ytterst obetydliga mängder trängde in i cellväggarna.

Som jämförelse kan nämnas en undersökning av Chou et al. (1973) där man med samma instrument, EMMA-4, bestämde inträngningen i cellväggarna hos tall (Pinus silvestris L.) efter impregnering med ett CCA-medel. Försöket visade att impregneringsmedlet var väl fördelat inne i cellväggarna.

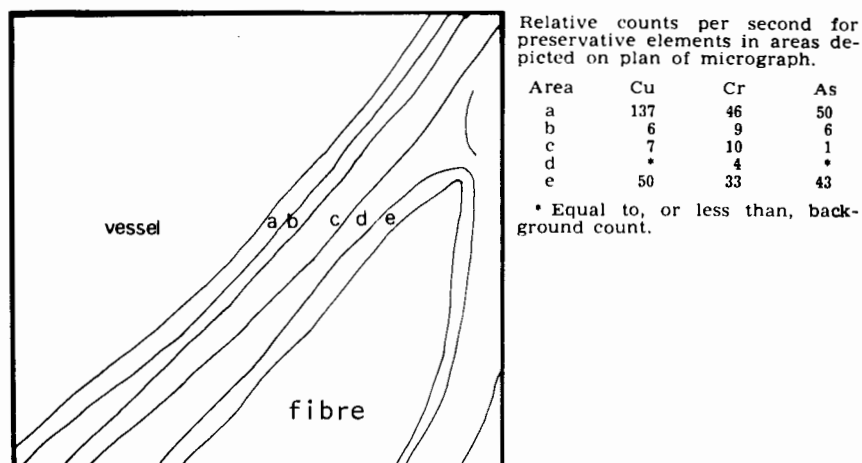


Fig. 10. Fördelning av impregneringsmedlets beståndsdelar tvärs cellväggen mellan ett kärl (vessel) och en fiber hos Acer pseudoplatanus (Dickinson, 1974). Relativa utslag per sekund för impregneringsmedlets beståndsdelar i områden utmärkta på skissen. \* Lika eller mindre än bakgrundens utslag.

Distribution of preservative elements across vessel, fibre wall in Acer pseudoplatanus.

En undersökning över inträngningen av CCA-medel i cellväggarna hos björk (Betula sp.) och tall (Pinus silvestris L.) har nyligen presenterats av Levy et al. (1976). De använde samma instrument som Dickinson (1974), d v s EMMA-4. De fann att mängden av impregneringsmedel var 50 gånger högre i trakeidväggarna hos tall än i fiberväggarna hos björk. I parenkymcellernas väggar hos björk var mängden omkring fyra gånger större än i björkens fiberväggar. I figur 11 visas relativa mängder av koppar, krom och arsenik i de olika cellväggsskikten, uttryckta som medelvärden av relativa utslag per sekund. Utslagen för arsenik ansågs vara felaktiga.

Inträngningen av vattenlösliga saltmedel i cellväggarna hos lövved är tydligen avsevärt sämre än hos barrved. Detta är förbryllande eftersom cellväggarna vanligen beskrivs vara uppbyggda och kemiskt sammansatta på likartat sätt hos barrved och hos lövved. Men uppenbarligen finns där vissa skillnader. Kanske är vårtlagret, S3-skiktet och även det tjocka S2-skiktet tätare hos lövvedscellerna än hos barrvedscellerna, så att inträngningen försvåras rent fysiskt. Eller kanske är den kemiska sammansättningen

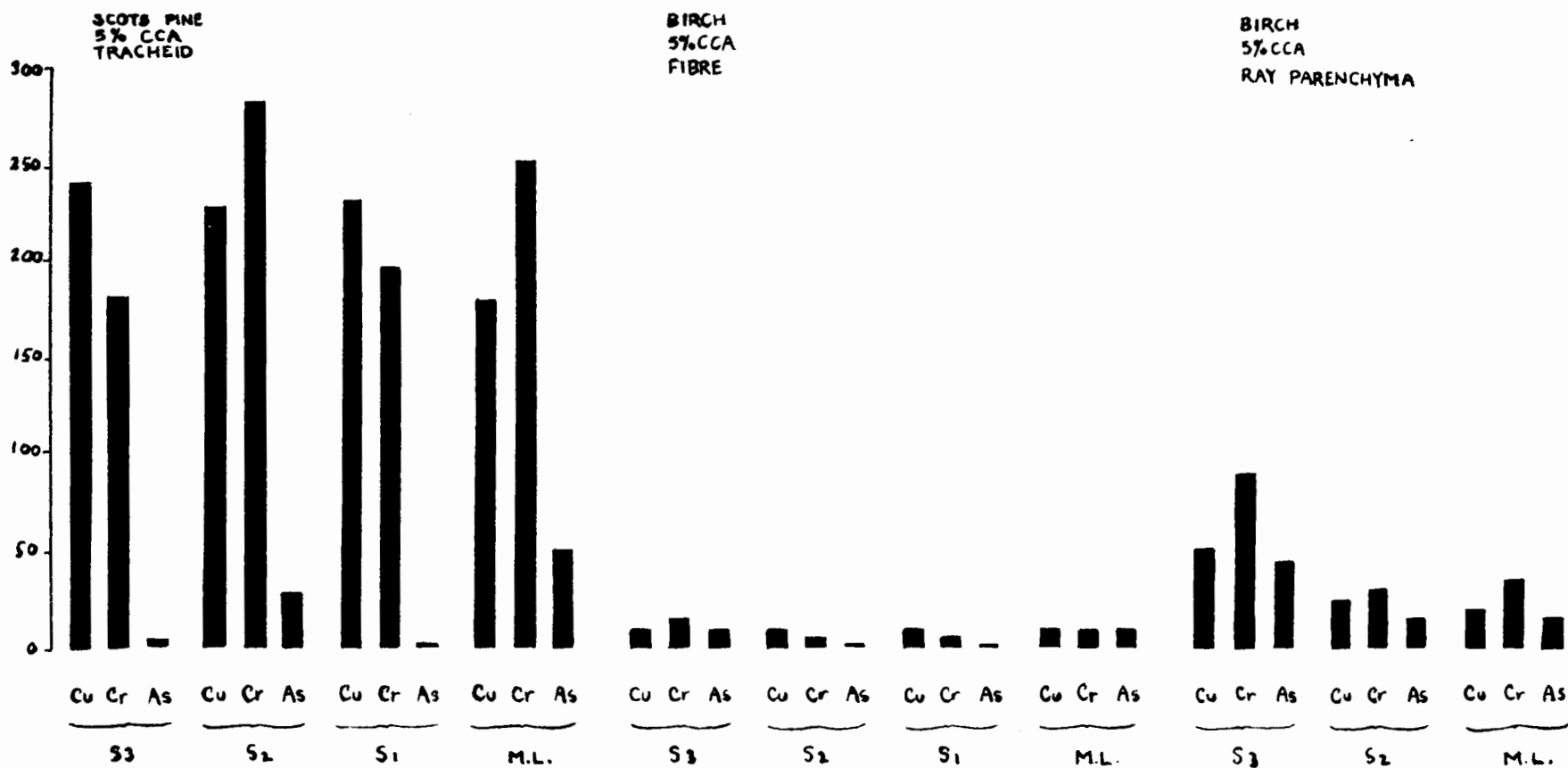


Fig. 11. Stapeldiagram som visar relativa mängden koppar, krom och arsenik i cellväggsskikten S3, S2 och S1 samt mittlamellen (M.L.) hos en trakeid av tall (*Pinus sylvestris*) samt en fiber och en mörkstråleparenkymcell av björk (*Betula* sp.), uttryckta som medelvärden av relativa utslag per sekund (Levy et al. 1976).

Histogram to illustrate the relative amounts of copper, chromium and arsenic in the wall layers of a tracheid of Scots pine (*Pinus sylvestris*) and a fibre and a ray parenchyma cell of birch (*Betula* sp.), expressed as average relative counts per second.

hos vårtlagret och/eller S3-skiktet annorlunda hos lövved än hos barrved, så att saltmedlen fälls ut och fixeras för snabbt, varvid fortsatt inträngning i cellväggen blockeras.

Problemet med den dåliga och ibland nästan uteblivna inträngningen i cellväggen hos lövved är för närvarande under studier på flera institutioner runt om i världen. Kanske kan det lösas inom de närmaste åren. Så länge man inte kan uppnå bättre inträngning i cellväggarna kan saltimpregnerat lövvirke inte rekommenderas för användning i markkontakt.

#### 4. FAKTORER SOM HAR SAMBAND MED VEDENS URSPRUNG

I detta avsnitt behandlas hur sådana faktorer som vedens densitet samt splintved och kärnved påverkar lövvedens impregnerbarhet.

##### 4.1. Vedens densitet

Hayashi och Nishimoto (1965) undersökte impregnerbarheten i splint- och kärnved hos 16 japanska lövträslag. De fann inget samband mellan vedens densitet och permeabiliteten. Andra faktorer, t ex förekomsten av tyller, ansågs överträffa densitetens inverkan.

Isaacs et al. (1971) fann att den axiella permeabiliteten i kärnved hos cottonwood (Populus deltoides Bart.) minskade med ökande torr-rådensitet. I splintveden kunde däremot inget samband mellan den axiella permeabiliteten och densiteten påvisas. Choong och Fogg (1972) erhöill liknande resultat för yellow poplar (Liriodendron tulipifera L.). Detta förklarades med att minskad densitet hos ströporig ved beror på ökat antal kärll, vilka är de viktigaste ledningsvägarna i längsgående riktning. Att detta samband inte gällde för splintved ansågs bero på andra faktorer, vilka inte beaktats i undersökningen.

Till skillnad från de två föregående undersökningarna visade Čop (1974) att den axiella permeabiliteten minskar med ökande torr-rådensitet såväl i kärnveden som i splintveden hos Populus marilandica Bosc. Detta berodde på att andelen kärll i stamtvärsnittet minskade med ökande torr-rådensitet.

Sammanfattningsvis kan sägas att densiteten torde ha en viss betydelse för impregnerbarheten hos lövved. Ved med låg densitet har i regel större andel kärll än ved med hög densitet. Hos barrved däremot har inget samband mellan impregnerbarhet och densitet påvisats.

#### 4.2. Kärnved och splintved

Hos barrved är permeabiliteten i kärnveden avsevärt lägre än i splintveden. I de flesta fall är det helt omöjligt att impregnera kärnveden. Hos lövved är skillnaderna mindre påtagliga.

Vanligen uppvisar splintveden större axiell permeabilitet än kärnveden, vilket till exempel framgår av figur 1. Hos fyra trädslag i denna figur nämligen sweetgum, black tupelo, hackberry och northern red oak kunde dock inte någon skillnad påvisas (Choong et al. 1974). För cottonwood (*Populus deltoides* Bart.) observerade t o m Isaac et al. (1971) högre axiell permeabilitet i kärnveden än i splintveden.

Hos en del lövträdslag kan skillnaden i permeabilitet mellan splintved och kärnved vara mycket stor. Således beskrev Kininmonth (1971) splintveden hos *Nothofagus fusca* Hook f. och *Eucalyptus regnans* F. Muell som permeabel i radiell och tangentiell riktning vid tryckskillnader upp till 60 cm Hg, medan kärnveden inte var permeabel. Pormembran och cellulina i kärnveden hos *Nothofagus fusca* studerades och befanns vara kraftigt inlagrade med polyfenoler (Kininmonth 1972).

### 5. FAKTORER SOM HAR SAMBAND MED VIRKETS BEHANDLING FÖRE IMPREGNERINGEN

#### 5.1. Virkets torkning

När barrved torkas minskar permeabiliteten i olika riktningar avsevärt, därför att de flesta ringporer stängs (aspirerar). Hos lövved saknar ringporerna torus och vidare är den axiella permeabiliteten enormt större än den radiella och den tangentiella.

Chen (1974, 1975) mätte den axiella och radiella permeabiliteten hos de ströporiga trädslagen yellow-poplar (*Liriodendron tulipifera* L.) och American beech (*Fagus grandifolia* Ehrh.) och de ringporiga trädslagen northern red oak (*Quercus rubra* L.) och white oak (*Quercus alba* L.) i färskt tillstånd och efter lufttorkning ned till en fuktkvot av 3 till 5 %. Han fann att permeabiliteten ökade signifikant till följd av torkningen (tabell 3). Orsaken till den ökade permeabiliteten kunde inte klarläggas. Ett antagande var att de stegformiga kärlväggsperforationerna förstördes vid torkningen. En studie av dessa visade att de vreds något men bara en "stegpinne" av 1 323 undersökta var sönderbruten. En återfuktning av några vedprover ledde till att de stegformiga kärlväggsperforationerna fick tillbaka det utseende de hade i

Tabell 3. Permeabilitet hos fyra lövträds­slag före och efter torkning (Chen 1975).

Permeability of four hardwood species before and after air-drying.

Träds­slag Species	Longitudinell permeabilitet Longitudinal permeability <sup>1)</sup>			Procentuell ökning på grund av luft- torkning Per cent increase due to air-drying
	Färsk Green (Darcy)	Lufttorkad Air-dried (Darcy)	Skillnad Difference (Darcy)	
	(Kgl)	(Kal)	(Kal-Kgl)	(%)
Yellow-poplar	12.131	15.926	3.795	31 xx
American beech	1.614	2.952	1.338	83 xx
Red oak	18.700	20.310	1.610	9 xx
White oak	0.00269	0.00272	0.00003	1 NS

	Radiell permeabilitet Radial permeability <sup>1)</sup>			
	Färsk Green (Millidarcy)	Lufttorkad Air-dried (Millidarcy)	Skillnad Difference (Millidarcy)	
	(Kgr)	(Kar)	(Kar-Kgr)	(%)
Yellow-poplar	0.406	1.173	0.767	189 xx
American beech	0.030	0.116	0.086	286 xx
Red oak	0.052	0.081	0.029	55 x
White oak	0.022	0.040	0.018	82 xx

<sup>1</sup> Varje permeabilitetsvärde är ett medelvärde av 32 mätningar.  
Each permeability value is an average of 32 measurements.

x Signifikant vid 5 % nivån.  
Significant at 5 per cent level.

xx Signifikant vid 1 % nivån.  
Significant at 1 per cent level.

NS Inte signifikant.  
Not significant.

färsk ved. Av detta drog Chen den slutsatsen att öppningarna i kärlden inte ökades vid torkningen. Ett annat antagande var att mikroskopiska sprickor bildades i veden vid torkningen, men något bevis för detta lades inte fram.

Choong et al. (1974) mätte permeabiliteten för kvävgas hos 22 nordamerikanska träslag (listade i tabell 2) vid fuktkvoterna 0 % och 20 %. De fann att permeabiliteten i axiell riktning var omkring 1.5 gånger högre vid 0 % än vid 20 % fuktkvot, men i tangentiell eller radiell riktning var permeabiliteten vid 0 % fuktkvot omkring hälften av den vid 20 %. Någon godtagbar förklaring till de erhållna resultaten gavs inte.

Större upptagningar vid fuktkvoter omkring 6-8 % än vid 25-26 % har också noterats av Walters (1967) och Akhtar och Walters (1974) (se avsnitt 6).

## 5.2. Lagring av virket i vatten

Barrvirke som lagrats i vatten eller under bevattning visar en markant förbättring av impregnerbarheten, på grund av bakterieangrepp på ringporer och mägstrålar. Vattenlagring kan tänkas förbättra impregnerbarheten också hos lövvirke. Dels hindrar vattenlagringen att tyller bildas, vilket behandlats i avsnitt 3.1.1.1. och dels kan det antagas att även lövvedens mägstrålar och porer angrips av bakterier.

I ett par uppsatser beskriver Greaves (1970, 1973 a) bakterieangrepp på Eucalyptus regnans F. Muell och Pinus radiata D. Don. Det rörde sig här om vedprover som inokulerats med olika arter och stammar av vedväxande bakterier. Mägstrålarna hos de två träslagen blev med lätthet angripna. Kärlden hos E. regnans syntes tjäna som inkörsportar för bakterierna, innan de spred sig till mägstrålarna. Porerna hos E. regnans blev inte så kraftigt angripna som hos P. radiata.

Moltesen (1973) redogör för en undersökning, där 60 boksliprar kreosotimpregnerades. Hälften av sliprarna var utsågade från nyavverkade, icke lagrade stockar och andra hälften var stockar som varit lagrade under bevattning i 22 månader. De senare härrörde från en stormfällning. Kreosotupptagningen blev något högre i sliprarna från de icke lagrade stockarna än i de från de lagrade (medelvärde 141 resp 131 kg/m<sup>3</sup>). Inträngningen däremot blev något djupare i det lagrade än i det icke lagrade bokvirket.

### 5.3. Behandling med vattenånga

Behandling av virket med vattenånga före torkningen kan tänkas förbättra impregnerbarheten. Kininmonth (1973) fann till exempel att torkningshastigheten hos kärnved av Nothofagus fusca Hook f. ökade signifikant (10 - 15 %) efter ångbehandling vid 100<sup>o</sup> C under tre timmar.

MacLean (1953) redovisar en studie över ångtemperaturens (250<sup>o</sup> F-121<sup>o</sup> C, 300<sup>o</sup> F-149<sup>o</sup> C, 350<sup>o</sup> F-177<sup>o</sup> C) och behandlingsperiodernas inverkan på hållfastheten hos vedprover av Douglas fir (Pseudotsuga taxifolia - kusttypen), sitka spruce (Picea sitchensis Bong Carr.) southern yellow pine (Pinus spp.) hard maple (Acer saccharinum) och yellow birch (Betula lutea). Han fann att barrveden tog mindre skada än lövveden vid samma ångtemperatur och behandlingstid. Lövveden visade en tendens att krympa och kollapsa. Han föreslog att ångtemperatur över 250<sup>o</sup> F (121<sup>o</sup> C) undviks, när behandlingen utsträcker sig under 10 timmar eller längre. För trädslag som lätt tar skada rekommenderades lägre temperatur (240<sup>o</sup> F-116<sup>o</sup> C eller mindre). I en fortsatt studie visade MacLean (1954) att temperaturer mellan 200 och 220<sup>o</sup> F (93-104<sup>o</sup> C) kunde anbringas under mycket längre perioder utan att orsaka signifikanta styrkeförluster jämfört med temperaturer över 250<sup>o</sup> F (Rak & Mc Knight 1972).

## 6. FAKTORER SOM HAR SAMBAND MED IMPREGNERINGSPROCESSEN

### 6.1. Impregnering av lövvirke vid höga tryck

Ett sätt att förbättra upptagning och inträngning hos svårimpregnerat virke är att öka trycket. Men vissa faktorer begränsar tryckets storlek. För det första är de flesta impregneringscylindrar i praktiken avsedda för tryck på 200 psi (14 kp/cm<sup>2</sup>) eller lägre, vilket klart begränsar möjligheterna att använda höga tryck. För det andra måste yttersta försiktighet iakttas vid höga tryck för att undvika kollaps hos veden. Risken för att veden skall kollapsa varierar med trycket, impregnerbarheten, trädslaget, provets tjocklek, typ av vätska, vätsketemperatur och den hastighet med vilken trycket ökas. Alla dessa faktorer måste beaktas, när höga tryck överväges. Höga tryck användes kommersiellt i Australien vid impregnering av eukalyptus. Detta visar att i vissa fall är användningen av höga tryck för att förbättra inträngningen praktiskt möjlig (Nicholas & Siau 1973).

Försök med inträngning hos lövvirke vid höga tryck har också beskrivits av Walters (1967), Akhtar och Walters (1974) och Rosen (1975).

Walters (1967) impregnerade vedprover (1' x 1' x 16"; 25 x 25 x 400 mm) av red gum (Liquidambar styraciflua L.) med olika fuktkvot vid olika tryck och lösningstemperatur enligt Lowry-metoden. Impregneringsmedlet var pentaklorfenol löst i olja. Två oljetemperaturer användes, 100° F (38° C) respektive 200° F (93° C). De olika trycken var följande: 0 (atmosfärstryck), 100, 200, 400 och 800 psi (100 psi = 7.03 kp/cm<sup>2</sup>). Provbitarnas fuktkvot före impregneringen var 8 respektive 25 %.

Trycket hade en tydlig inverkan på upptagningen som till exempel vid 100 psi (7 kp/cm<sup>2</sup>) blev 2.79 pcf (45 kg/m<sup>3</sup>) och vid 800 psi (56 kp/cm<sup>2</sup>) 14.66 pcf (235 kg/m<sup>3</sup>). Sambandet var linjärt.

En ökning av impregneringslösningens temperatur från 100° F (38° C) till 200° F (93° C) resulterade i en 28 procentig ökning av upptagningen. Denna ökning tillskrevs minskad viskositet hos lösningen.

Hos vedprover med fuktkvoten 8 % blev upptagningen dubbelt så hög som hos vedprover med fuktkvoten 25 %. Skillnaden antogs bero på att kanalerna för flödet i veden förbättrades vid torkningen.

Ingen kollaps observerades hos vedprover behandlade vid 400 psi (28 kp/cm<sup>2</sup>) och lägre. Vid trycket 800 psi (56 kp/cm<sup>2</sup>) påträffades kollaps enligt följande schema:

Fuktkvot %	Oljetemperatur °F	
	100 (38° C)	200 (93° C)
8	Mycket lindrig kollaps; ett prov	Svår kollaps hos alla prover
25	Lätt men ändå tydlig kollaps hos alla prover	Ingen synlig kollaps

Akhtar och Walters (1974) impregnerade vedprover (1' x 1' x 16"; 25 x 25 x 400 mm) av white oak (Quercus alba L.) och red oak (Quercus rubra L.) med olika fuktkvot vid olika tryck och lösningstemperatur enligt Lowry-metoden. Impregneringsmedlet var pentaklorfenol löst i olja och de använda oljetemperaturerna var 100° F (38° C) respektive 200° F (93° C). De anbringade trycken var 150, 300, 450 och 600 psi (100 psi = 7.03 kp/cm<sup>2</sup>). Provbitarnas fuktkvot före impregneringen var 6 respektive 26 %.

För båda trädslagen blev upptagningen signifikant större hos vedprover med fuktkvoten 6 % än hos de med fuktkvoten 26 %. Likaså blev upptagningen högre vid oljetemperaturen 200° F (93° C) än vid 100° F (38° C).

Tryck över 300 psi ( $21 \text{ kp/cm}^2$ ) hade en bättre effekt på upptagningen hos white oak än hos red oak, där tryck på 300 psi gav nästan lika hög upptagning som tryck på 600 psi ( $42 \text{ kp/cm}^2$ ). Upptagningen hos white oak blev 4.59 pcf ( $74 \text{ kg/m}^3$ ) vid 150 psi ( $10.5 \text{ kp/cm}^2$ ) och 8.67 pcf ( $139 \text{ kg/m}^3$ ) vid 600 psi ( $42 \text{ kp/cm}^2$ ). Motsvarande värden för red oak blev 16.66 pcf ( $267 \text{ kg/m}^3$ ) respektive 19.48 pcf ( $312 \text{ kg/m}^3$ ). Ingen kollaps hos vedproverna observerades.

Rosen (1975) impregnerade torra vedprover av white oak (*Quercus alba* L.) och black oak (*Quercus velutina* Lam.) med dimensionsstabiliserande PEG-lösningar. Han observerade kollaps vid tryck över 1 015 psi ( $71 \text{ kp/cm}^2$ ) och lösningstemperaturerna 75 och 100° F (24 och 38° C) samt vid tryck över 515 psi ( $36 \text{ kp/cm}^2$ ) och temperaturen 200° F (93° C).

Sammanfattningsvis kan sägas att de undersökningar som hittills gjorts visar att högre tryck och temperatur förbättrar impregneringsresultatet vad gäller oljelösliga impregneringsmedel. Undersökningar över vattenlösliga medel saknas ännu i stor utsträckning, varför effekten av höga tryck på upptagning och inträngning av sådana medel inte kan belysas närmare.

## LITTERATUR

- Akhtar, M.A., Walters, C.S.: High-pressure treatment of white oak and red oak. Amer. Wood Pres. Ass. Proc. 70 (1974), 209-234.
- Bailey, I.W.: The cambium and its derivative tissues. No. 8. Structure, distribution, and diagnostic significance of vestured pits in Dicotyledons. J. Arnold Arboretum 14 (1933), 259-273.
- Baird, W.M., Parham, R.A., Johnson, M.A.: (1974 a). Development and composition of the warty layer in balsam fir. I Development. Wood and Fiber 6 (1974):2, 114-125.
- Baird, W.M., Johnson, M.A., Parham, R.A.: (1974 b). Development and composition of the warty layer in balsam fir. II Composition. Wood and Fiber 6 (1974):3, 211-222.
- Behr, E.A., Sachs, I.B., Kukachka, B.F., Blew, J.O.: Microscopic examination of pressure-treated wood. For. Prod. J. 19 (1969):2, 31-40.
- Bergman, Ö.: Faktorer som påverkar barrvedens impregnerbarhet. En litteraturstudie. Skogshögskolan, Inst. för Virkeslära, Rapporter Nr. R 89 (1973) eller Svenska Träskyddsinstitutet, Meddelanden Nr. 107 (1974).
- Bonner, L.D., Thomas, R.J.: The ultrastructure of intercellular passageways in vessels of yellow poplar (*Liriodendron tulipifera* L.). Part I: Vessel pitting. Wood Science and Technology 6 (1972), 196-203.
- Borsholt, E., Ryder, S.: Bøgesvelle impregnering. Traeindustrien 20 (1970):9, 131-132.
- Bosshard, H.H., Kučera, L.: Die dreidimensionale Strukturanalyse des Holzes. - Erste Mitteilung: Die Vernetzung des Gefäßsystems in *Fagus sylvatica* L. Holz als Roh- und Werkstoff 31 (1973):11, 437-445.
- Bravery, A., Parameswaran, N., Liese, W.: Electron microscopic investigations of the effect of tri-n-butyl tin oxide on the decay of beechwood by *Polystictus versicolor*. Part 2. Observations on preservative-treated material. Material und Organismen 10 (1975), 31-41.

- Chen, P.Y.S.: A note on the effect of air-drying on vessel openings and air-blockage in yellow-poplar. *Wood and Fiber* 5 (1974):4, 308-311.
- Chen, P.Y.S.: Effect of air-drying and rewetting on hardwood permeability. *Wood Science* 7 (1975):4, 280-283.
- Choong, E.T., Fogg, P.J.: Variation in permeability and treatability in shortleaf pine and yellow poplar. *Wood and Fiber* 4 (1972):1, 1-12.
- Choong, E.T., Fogg, P.J., Tesoro, F.O.: Relationship of fluid flow to treatability of wood with creosote and copper sulfate. *Amer. Wood Pres. Ass. Proc.* 68 (1972), 235-249.
- Choong, E.T., Tesoro, F.O., Manwiller, F.G.: Permeability of twenty-two small diameter hardwoods growing on southern pine sites. *Wood and Fiber* 6 (1974):1, 91-101
- Chow, C.K., Chandler, J.A., Preston, R.D.: Microdistribution of metal elements in wood impregnated with a Copper-Chrome-Arsenic preservative as determined by analytical electron microscopy. *Wood Science and Technology* 7 (1973), 151-160.
- Čop, D.: Die Permeabilität und kapillarporöse Struktur des Holzes der Pappel *Populus marilandica* L. *Holztechnologie* 15 (1974):3, 176-183.
- Côté, W.A., Jr.: Electron microscope studies of pit membrane structure. *For. Prod. J.* 8 (1958):10, 296-301.
- Côté, W.A., Jr., Day, A.C.: Vestured pits. - Fine structure and apparent relationship with warts. *Tappi* 45 (1962):12, 906-910.
- Côté, W.A., Jr.: Structural factors affecting the permeability of wood. *J. Polymer Science: Part C*, (1963) No. 2, 231-242.
- Côté, W.A., Jr., Day, A.C.: Anatomy of reaction wood. In Côté, W.A., Jr.: *Cellular ultrastructure of woody plants*. Syracuse Univ. Press, N.Y. (1965), 391-418.
- Cronshaw, J.: The fine structure of the pits of *Eucalyptus regnans* F. Muell and their relation to the movement of liquids into the wood. *Aust. J. Bot.* 8 (1960):1, 51-57.

- Dickinson, D.J.: The micro-distribution of Copper-Chrome-Arsenate in Acer pseudoplatanus and Eucalyptus maculata. Material und Organismen 9 (1974):1, 21-33.
- Foster, R.C.: Fine structure of tyloses in three species of the Myrtaceae. Aust. J. Bot. 15 (1967), 25-34.
- Gottwald, H.P.J.: Tyloses in fibre tracheids. Wood Science and Technology 6 (1972), 121-127.
- Greaves, H.: The effect of some wood-inhabiting bacteria on the permeability characteristics and microscopic features of Eucalyptus regnans and Pinus radiata sapwood and heartwood. Holzforschung 24 (1970):1, 6-14.
- Greaves, H.: Structural distribution of chemical components in preservative-treated wood by energy dispersion X-ray analysis. Material und Organismen 7 (1972), 277-286.
- Greaves, H.: (1973 a) Selected wood-inhabiting bacteria and their effect on strength properties and weights of Eucalyptus regnans F. Muell and Pinus radiata D. Don sapwood. Holzforschung 27 (1973):1, 20-26.
- Greaves, H.: (1973 b) Comparative morphology of selected sapwood species using the scanning electron microscope. Holzforschung 27 (1973):3, 80-88.
- Greaves, H.: (1974 a) The microdistribution of Copper-Chrome-Arsenic in preservative treated sapwoods using X-ray microanalysis in scanning electron microscopy. Holzforschung 28 (1974):6, 193-200.
- Greaves, H.: (1974 b) A review of the influence of structural anatomy on liquid penetration into hardwoods. J. Inst. Wood Sci. 6 (1974):6.
- Harada, H.: Electron microscopy of ultrathin sections of beechwood Fagus crenata Blume. J. of the Japan Wood Res. Soc. 8 (1962):6, 252-258.
- Harada, H.: Ultrastructure of angiosperm vessels and ray parenchyma. In Côté, W.A., Jr.: Cellular ultrastructure of woody plants. Syracuse Univ. Press, N.Y. (1965), 235-249.
- Hayashi, S., Nishimoto, K.: (Studies on the water permeability of hardwoods.) Wood Research, Kyoto No. 35 (1965), 33-43.

- Henningsson, B.: NTR fältförsök nr 1 med tryckimpregneringsmedel. Resultat efter 5 års provningar. (NWPC field test no. 1 with pressure preservatives. Results after 5 years' testing.) NTR-INF Nr 6, 1974.
- Hesse, R.: Die Anwendung moderner Methoden des Holzschutzes in der Forstwirtschaft und Holzindustrie. Holzindustrie 26 (1973):10-11, 306-309, 332-334.
- Hunt, G.M., Garratt, G.A.: Wood preservation chapter 7: Factors affecting penetration and absorption. Second edition. Mc Graw - Hill Book Company, Inc. New York (1953).
- Isaacs, C.P., Choong, E.T., Fogg, P.J.: Permeability variation within a cottonwood tree. Wood Science 3 (1971):4, 231-237.
- Jane, F.W.: The structure of wood. Second edition. A. and C. Black, London (1970).
- Jayme, G., Azzola, F.K.: Textur und Topochemie der Tüpfel und Tüpfelschliesshäute von Buchenholz zellen (*Fagus sylvatica* L.). Holz als Roh- und Werkstoff 23 (1965):2, 41-49.
- Johnstone, R.S., Blau, E.J.: Pressure Boucherie treatment of eucalypt poles. Holzforschung 24 (1970):6, 206-212.
- Kanazawa, K.: (Electronmicroscopic investigations on vestured pits.) Bulltin, Faculty of Agriculture, Shizuoka University, Iwata No 18 (1968), 75-83.
- Kato, H., Kishima, T.: Some morphological observations of tyloses. Wood Research, Kyoto No 36 (1965), 55-60.
- Kininmonth, J.A.: Permeability and fine structure of certain hardwoods and effects on drying. I. Transverse permeability of wood to micro-filtered water. Holzforschung 25 (1971):4, 127-133.
- Kininmonth, J.A.: II. Differences in fine structure of *Nothofagus fusca* sapwood and heartwood. Holzforschung 26 (1972):1, 32-38.
- Kininmonth, J.A.: III. Problems in drying of heartwood. Holzforschung 27 (1973):1, 26-31.
- Koran, Z., Côté, W.A., Jr.: The ultrastructure of tyloses. In Côté, W.A., Jr.: Cellular ultrastructure of woody plants. Syracuse Univ. Press, N.Y. (1965), 319-333.

- Kučera, L., Bosshard, H.H.: Die zweidimensionale Gewebeanalyse, dargestellt an Untersuchungen über das Gefäßsystem von *Fagus sylvatica* L. Holz als Roh- und Werkstoff 31 (1973):10, 343-347.
- Kučera, L.: Die dreidimensionale Strukturanalyse des Holzes. 2. Mitteilung: Das Gefäß/Strahl-Netz bei der Buche (*Fagus sylvatica* L.). Holz als Roh- und Werkstoff 33 (1975):7, 276-282.
- Levy, J.F., Dickinson, D.J., Sorkhoh, N.A.A.H.: The microdistribution of a wood preservative within the cell wall of treated woods. Svenska Träskyddsinstitutet, Meddelanden Nr 124 (1976).
- Liese, W.: Der Feinbau der Hoftüpfel bei der Laubhölzern. Holz als Roh- und Werkstoff 15 (1957):11, 449-453.
- Liese, W.: Tertiary wall and warty layer in wood cells. J. Polymer Science Part C (1963) No 2, 213-219.
- Liese, W.: The warty layer. In Côté W.A., Jr.: Cellular ultrastructure of woody plants. Syracuse Univ. Press, N.Y. (1965), 251-269.
- Mac Lean, J.D.: Effect of steaming on the strength of wood. Amer. Wood Pres. Ass. Proc. 49 (1953), 88-112.
- Mac Lean, J.D.: Effect of heating in water on the strength properties of wood. Amer. Wood Pres. Ass. Proc. 50 (1954), 253-281.
- Meyer, R.W.: Tyloses development in white oak. For. Prod. J. 17 (1967):12, 50-56.
- Meyer, R.W., Côté, W.A., Jr.: Formation of the protective layer and its role in tylosis development. Wood Science and Technology 2 (1968), 84-94.
- Meyer, R.W., Muhammad, A.F.: Scalariform perforation - plate fine structure. Wood and Fiber 3 (1971):2, 139-145.
- Meylan, B.A., Butterfield, B.G.: Three-dimensional structure of wood. Chapman and Hall Ltd, London (1972).
- Moltesen, P.: Sprinklerlagrede bøgsvellers imprægnerbarhed. Dansk Skovforønings Tidsskrift 58 (1973), 219-238.

- Murmanis, L.: Formation of tyloses in felled Quercus rubra L. Wood Science and Technology 9 (1975), 3-14.
- Nečesaný, V.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen der Tyllen und der Kernstoffe der Rotbuche Fagus sylvatica L. Botanisk Tidsskrift 52 (1955), 48-55.
- Nicholas, D.D., Siau, J.F.: Factors influencing the treatability of wood. In Nicholas, D.D.: Wood deterioration and its prevention by preservative treatments. Vol. II Preservatives and preservative systems. Page 299-343. Syracuse Univ. Press, N.Y. (1973).
- Panshin, A.J., de Zeeuw, C.: Textbook of wood technology. Volume 1. Mc Graw - Hill Book Company, Inc. New York (1970).
- Parameswaran, N., Liese, W.: Scanning electron microscopy of multiperforate perforation plates. Holz-forschung 27 (1973):6, 181-186.
- Parham, R.A.: On the structure of scalariform perforation plates. Wood and Fiber 4 (1973):4, 342-346.
- Parham, R.A., Baird, W.M.: Warts in the evolution of angiosperm wood. Wood Science and Technology 8 (1974), 1-10.
- Petrič, B.: (The influence of wood structure on permeability of hardwoods.) Sumarski List 96 (1972), 9/10, 364-373.
- Preusser, H.J., Dietrichs, H.H., Gottwald, H.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen an Ultradünnschnitten des Markstrahlparenchyms der Rotbuche (Fagus sylvatica L.). Holz-forschung 15 (1961):3, 65-75.
- Rak, J., Mc Knight, T.S.: Survey of North American practice in conditioning forest products before preservative treatment. Brit. Wood Pres. Ass. News Sheet No. 126 (1972).
- Redding, L.W.: Resistance of timbers to impregnation with creosote. For. Prod. Res. Lab., Princes Risborough, Bull. No. 54 (1971).
- Rosen, H.N.: High pressure penetration of dry hardwoods. Wood Science 8 (1975):1, 355-363.

- Rudman, P.: (1965 a) Fine structure of wood. *Nature* 208 (1965), 55-56.
- Rudman, P.: (1965 b) Studies in wood preservation. Pt. I The penetration of liquids into eucalypt sapwood. *Holzforschung* 19 (1965):1, 5-13.
- Rudman, P.: (1966 a) Pt. II Movement of aqueous solutions through the pits and cell walls of eucalypt sapwood. *Holzforschung* 20 (1966):2, 57-60.
- Rudman, P.: (1966 b) Pt. III The penetration of the fine structure of wood by inorganic solutions, including wood preservatives. *Holzforschung* 20 (1966):2, 60-67.
- Sachs, I., Kuntz, J., Ward, J., Nair, G., Schultz, N.: Tyloses structure. *Wood and Fiber* 2 (1970):3, 259-268.
- Sachsse, H.: Eine Anomalie des Strahlgewebes von Fagus sylvatica L. *Holz als Roh- und Werkstoff* 32 (1974):3, 95-98.
- Schmid, R., Machado, R.D.: Über den Feinbau der "verzierten" Tüpfel bei der Gattung Plathymenia. *Holz als Roh- und Werkstoff* 21 (1963):2, 41-47.
- Schmid, R.: The fine structure of pits in hardwoods. In Côté, W.A., Jr.: *Cellular ultrastructure of woody plants*. Syracuse Univ. Press, N.Y. (1965), 291-304.
- Schulz, G.: Preservative treatment of sleepers and other railway timbers of the German federal railways. *Brit. Wood Pres. Ass. Ann. Conv.* (1961), 29-68.
- Schulz, H.: Der Anteil der einzelnen Zellarten an dem Holz der Rotbuche. *Holz als Roh- und Werkstoff* 15 (1957):3, 113-118.
- Scurfield, G., Silva, S.R.: The vestured pits of Eucalyptus regnans F. Muell. - A study using scanning electron microscopy. *Bot. J. Linn. Soc. London* 63 (1970):4, 313-320.
- Scurfield, G., Silva, S.R., Ingle, H.D.: Vessel wall structure. - An investigation using scanning electron microscopy. *Aust. J. Bot.* 18 (1970), 301-312.
- Siau, J.F.: *Flow in wood*. Syracuse Univ. Press, N.Y. (1971).

- Smith, D.N., Lee, E.: The longitudinal permeability of some hardwoods and softwoods. Dep. Sci. and Ind. Res., For. Prod. Res. London, Spec. Report No 13 (1958).
- Stone, J.E., Green, H.V.: Penetration and diffusion into hardwoods. Pulp and Paper Magazine of Canada 59 (1958), 223-232.
- Taylor, F.W.: Variation in the size and proportions of wood elements in yellow-poplar trees. Wood Science and Technology 2 (1968), 153-165.
- Tesoro, F.O., Choong, E.T.: Relationship of longitudinal permeability to treatability of wood. Holz-forschung 30 (1976):3, 91-96.
- Thomas, R.J.: Bordered pit aspiration in angiosperms. Wood and Fiber 3 (1972):4, 236-237.
- Thomas, R.J., Bonner, L.D.: The ultrastructure of inter-cellular passageways in vessels of yellow-poplar (Liriodendron tulipifera L.) Part II Scalariform perforation plates. Wood Science 6 (1974):3, 193-199.
- Walters, C.S.: The effect of treating pressure on the mechanical properties of wood: 1. Red gum. Amer. Wood Pres. Ass. Proc. 63 (1967), 166-186.
- Wardrop, A.B., Davies, G.W.: Some anatomical factors relating to the penetration of water into xylem of gymnosperms. Aust. J. Bot. 6 (1958), 96-102.
- Wardrop, A.B., Ingle, H.D., Davies, G.W.: Nature of vestured pits in angiosperms. Nature 197 (1963), 202-203.
- Yata, S., Itoh, T., Kishima, T.: Formation of perforation plates and bordered pits in differentiating vessel elements. Wood Research, Kyoto No. 50 (1970), 1-11.
- Yde-Andersen, A.: Opbevaring af bølgeved i kuldioxid-atmosfaere. Det Forstlige Forsøgsvaesen, Danmark 33 (1973):3, 243-280.

## SUMMARY

Hardwoods usually consist of four or five types of cell elements, viz. vessel, parenchyma cell, libriform fibre, tracheid and fibre-tracheid. Vessels are characteristic cells of hardwoods. They are cylindrical in shape and have perforated ends. They are aligned longitudinally forming tubes, which can be of considerable length. Their cell walls are relatively thin. The vessels are extremely effective channels for transporting preservative liquids in the longitudinal direction of the wood. When the sapwood is transformed to heartwood or when it is dried, tyloses are formed in the vessels, which are then wholly or partly blocked. The tracheids are also good fluid conductors, as they are copiously pitted. The fibre-tracheids and the libriform fibres are on the other hand bad conductors. They have very thick cell walls. The wood rays consist only of parenchyma cells. The radial penetration in hardwoods is relatively poor. The pit membranes of the bordered pits in hardwoods have no torus and no margo. Some are of the opinion that they are permeable, while others consider that no flow through the pit membranes is possible and that the fluids can only pass by diffusion. Hardwoods which after pressure treatment with water-borne preservatives have reached high absorption and good penetration have in spite of that been rapidly attacked by soft rot, when used in ground contact. Recently it was shown that the preservatives do not sufficiently penetrate the cell walls. For the present salt-treated hardwoods may not be recommended for use in ground contact.

Upptagning och inträngning hos några lövträdsdrag efter tryckimpregnering med kreosotolja enligt fullcellmetoden. Utdrag ur tabell 1, Redding (1971).

Schemat för tryckimpregneringen var följande:

Förvakuum - 0.68 bar under 15 min.

Oljetryck 9.66 bar under 1 tim.

Eftervakuum - 0.68 bar under 15 min.

Kreosottemperatur 82<sup>0</sup> C.

Vedmaterialet erhöles i form av hela stockar. Ur dessa sågades kärnvudsprover med dimensionen 50 mm x 50 mm x 1.1 m från olika delar av stocken. Proverna lufttorkades ned till fuktkvoten 18 %. Upp till 20 prover utvaldes för varje försök. När stockarna hade tillräckligt splintdjup utsågades ett motsvarande antal prover som helt eller delvis bestod av splintved.

Med hänsyn till impregnerbarheten har trädslagen indelats i fyra klasser nämligen permeabla (P), måttligt resistent (MR), resistent (R) och extremt resistent (ER).

Absorption and penetration of some hardwood species after pressure treatment with creosote according to the full-cell method. Extraction from table 1, Redding (1971).

Specimens of each timber were impregnated with coal tar creosote conforming to BS 144 by a standardised full cell process consisting of:

Initial vacuum - 0.68 bar (20 in Hg) for 15 minutes.

Hydraulic pressure 9.66 bar (140 psi) for 1 hour.

Final vacuum - 0.68 bar (20 in Hg) for 15 minutes.

Creosote temperature 82<sup>0</sup> C.

The material was obtained in log form from authenticated sources and, after conversion, was air dried to a moisture content of about 18 per cent. Heart-wood specimens 50 mm x 50 mm x 1.10 metres were selected from various positions in each log for treatment. Up to 20 specimens were selected for each test. Where timbers contained an appreciable depth of sapwood a similar number of specimens comprising wholly or partially of sapwood were selected as well.

In order to have a convenient index of the extent to which the various timbers can be impregnated they have been classified into four groups, namely, permeable (P), moderately resistant (MR), resistant (R) and extremely resistant (ER).

Pressure treatment  
Hardwoods

Bilaga 1.

Name	Country of origin	HEARTWOOD				Classification	SAPWOOD				Classification	
		Absorption kg m <sup>-3</sup>		Penetration (mm)			Absorption kg/m <sup>3</sup>		Penetration (mm)			
		Average	Range	Lateral	Longitudinal		Average	Range	Lateral	Longitudinal		
Sykomor- lönn	Sycamore ( <i>Acer pseudoplatanus</i> )	British Isles	477	425-537	Complete or almost complete		P					
Socket- lönn	Maple, Rock ( <i>Acer saccharum</i> )	Canada						388	274-432	Almost complete		P
Häst- kastanj	Horse-chestnut, European ( <i>Aesculus hippocastanum</i> )	British Isles	513	491-531	Complete		P					
Klibbal	Alder, Common ( <i>Alnus glutinosa</i> )	British Isles	543	512-562	Complete		P					
Björk	Birch, European ( <i>Betula species</i> )	British Isles	514	465-554	Complete		P					
Vårt- björk	Birch, European ( <i>Betula verrucosa</i> )	British Isles	489	437-538	Complete		P					
Avenbok	Hornbeam ( <i>Carpinus betulus</i> )	British Isles	384	335-418	Complete or almost complete		P					
Äkta kastanj	Chestnut, Sweet ( <i>Castanea sativa</i> )	British Isles	117	56-192	½-5	3-75 in fibres. Up to 300 in springwood vessels. Up to 200 in summer- wood vessels	ER					
			63	27-131	½-2 radial ½-5 tangential	3-60 average 25, in fibres. 300-400 in springwood vessels. 100-150 in a number of summerwood vessels						

**Pressure treatment  
Hardwoods (contd.)**

Bilaga 1.

	Name	Country of origin	HEARTWOOD				Classification	SAPWOOD				Classification
			Absorption kg/m <sup>3</sup>		Penetration (mm)			Absorption kg/m <sup>3</sup>		Penetration (mm)		
			Average	Range	Lateral	Longitudinal		Average	Range	Lateral	Longitudinal	
Bok	<b>Beech, European</b> <i>(Fagus sylvatica)</i>	British Isles	463	429-503	Complete		P			Not distinguished from heartwood		P
		Carpathians						412	364-465	Complete or almost complete		P
Ask	<b>Ash, European</b> <i>(Fraxinus excelsior)</i>	British Isles	380	328-420	6-12	100-150 in fibres. Complete in a few summerwood vessels	MR					
			343	296-367								
			372	197-429								
Äkta valnöt	<b>Walnut, European</b> <i>(Juglans regia)</i>	British Isles	66	58-74	< ½ radial. 1-6 tangential	Up to 75 in fibres and vessels	R	538	503-570	Almost complete		P
Mahogny	<b>Mahogany, African</b> <i>(Khaya anthotheca)</i>	Ghana	14	8-30	NIL	2 in fibres. Up to 50 in a few vessels	ER					
			24	5-77	NIL	2 in fibres. Up to 150 in a few vessels						
Mahogny	<b>Mahogany, African</b> <i>(Khaya grandifoliola)</i>	Nigeria	30	11-109	NIL	1 in fibres. Up to 75 in scattered vessels	ER			NIL	3 in fibres. Almost complete in vessels	MR
Balsa	<b>Balsa</b> <i>(Ochroma species)</i>	Trinidad	128	115-163	Up to 2. Some collapse and distortion	Up to 25 in fibres. Complete in a number of vessels	R			Almost complete		P
Gråpoppel	<b>Poplar, Grey</b> <i>(Populus canescens)</i>	British Isles	91	62-115	< ½	Up to 500 in tangential bands	R	594	533-679	Complete		P

**Pressure treatment  
Hardwoods (contd.)**

Bilaga 1.

	Name	Country of origin	HEARTWOOD				Classification	SAPWOOD				Classification
			Absorption kg/m <sup>3</sup>		Penetration (mm)			Absorption kg/m <sup>3</sup>		Penetration (mm)		
			Average	Range	Lateral	Longitudinal		Average	Range	Lateral	Longitudinal	
Ek	<b>Oak, European</b> ( <i>Quercus species</i> )	British Isles	56	22-91	Up to ½	Up to 15 in fibres. Up to 200 in a number of springwood vessels	ER			Complete except in rays		P
			80	66-85	NIL to 1	Up to 100, average 18, in fibres. Complete in a large number of springwood vessels						
Bergek	<b>Oak, European</b> ( <i>Quercus petraea</i> )	British Isles	32	18-64	NIL	½-18, average 6, in fibres. Complete in a few springwood vessels	ER			Complete except in rays		P
Vitpil	<b>Willow, White</b> ( <i>Salix alba</i> )	British Isles			1-3	12-35 in fibres. Up to 75 in a few vessels	R	658	605-705	Complete or almost complete		P
Meranti	<b>Meranti, Light Red</b> ( <i>Shorea dasyphylla</i> )	Malaya	74	53-104	NIL	6-18 in fibres. 100-150 in vessels	ER			Complete or almost complete		MR
Lind	<b>Lime, European</b> ( <i>Tilia vulgaris</i> )	British Isles	612	548-662	6-12	Complete in summerwood. Complete in springwood from 150-300 and in a number of springwood vessels	P					
Teak	<b>Teak</b> ( <i>Tectona grandis</i> )	Burma	90	40-120	NIL	Complete in a small number of vessels	ER					
Skogsalm	<b>Elm, Wych</b> ( <i>Ulmus glabra</i> )	British Isles	98	51-138	½ radial. Up to 3 tangential	Complete for 25. Up to 150 in vessels	R					