Populierehout, een grondstof

ir. R.P. van der Zwan,
universitair docent
vakgroep Bosbouwtechniek
Landbouwuniversiteit

Samenvatting
Het artikel geeft een overzicht van populierehout. Aan de orde komen de anatomie en chemie en de toepassingen in de vorm van vezel, plaatmaterialen en massiefhout. Het besluit met een beschouwing over de gebruiksmogelijkheden in de toekomst.
Dit artikel is een uitgebreide samenvatting van een rapport dat is aangeboden aan de NPC. Het rapport past in een groter onderzoeksproject inzake inlands hout met bijzondere aandacht voor populieren. (lit. 49).

1. Inleiding

De laatste jaren neemt de belangstelling voor populieren toe. Deze algemene bewering kan in tweeën gesplitst worden, waarbij gesteld kan worden dat de vraag naar het hout nog sterk groeit en de belangstelling voor de teelt wel groeit, maar dat ondanks stimuleringsregelingen de daadwerkelijke aanplant nog achterblijft bij de mogelijkheden.
Wanneer het hout op de markt komt zal het op de juiste plaats en op de goede manier verwerkt moeten worden.
Hoewel er onmiskenbaar al veel kennis over populierehout in de wereld aanwezig is, wordt de kwaliteit van populierehout nog veel afgedaan met frasen als 'waaibomenhout' of juist 'prima soort, overal voor geschikt'. Of de waarheid in het midden ligt of toch meer naar een van beide kanten, zal de praktijk moeten uitwijzen. Dit geldt zeker voor de vele 'nieuwe klonen' waarvan nog weinig eigenschappen bekend zijn. Voordat de praktijk concreet íets gaat uitwijzen zal zij ondersteund moeten worden door gericht onderzoek naar zaken zoals kloonsverschillen, relatie opstandsbeheer-houtkwaliteit, relatie groeisnelheid-houtkwaliteit, specifieke eigenschappen, bewerkbaarheid, toepassingsmogelijkheden enzovoorts.
Het rapport is geschreven als basis van waaruit gerichter onderzoek ten behoeve van die praktijk opgezet kan worden. Het behandelt slechts in zeer geringe mate afzonderlijke klonen. Er is gekozen voor een neutrale benadering van populierehout in het algemeen.

Anatomie en vezelvormen van populieren

Het hout van populieren is verspreidporig. Binnen een jaarring is een gering verloop van een aantal vaten per oppervlakte en van vatdiameters herkenbaar.
Het percentage vatvolume in het hout kan bij populier groot zijn (24-44%), hetgeen een hoge porositeit inhoudt en mede bepalend is voor de lage volumieke massa. Soms is een deel van de vaten afgesloten door thyllen, kleine vliesjes die uit het parenchym de vaten ingegroeid zijn. Dit kan invloed hebben op de vloeistof-doorlatendheid van het hout, welke in de meeste gevallen (geen thyllen) groot is.
Het hout is vrij eenvoudig en regelmatig van opbouw. Naast de houtstralen komt parenchym niet of slechts in zeer geringe mate voor. Het grondweefsel is de vezelmassa van het hout.
Verschillen in vezelvormen tussen variëteiten zijn niet groot. Binnen een stam zijn echter zeer duidelijk verschillen te onderkennen, waarbij een van de belangrijkste de toename van de vezellengte vanaf het hart naar de buitenkant toe is. Extreme waarden van de vezellengte bedragen 300 μ enerzijds en 2100 μ anderzijds. Gemiddeld is ca. 800-1300 μ een reëel traject (lit. 6). Belangrijker dan de vezellengte is de lengte/diameter-verhouding, welke 40 à 50 bedraagt bij diameters van ca. 24 μ. De wanden van de vezel zijn relatief dun.
Uit deze waarden blijkt dat populier qua vezelvormen een redelijke papierhoutsoort is in vergelijking tot veel gebruikte andere houtsoorten. De grote vezellengteverschillen, die juist bij zeer snel gegroeid hout in relatie tot de stamdiameter optreden, maken al te algemene beweringen echter ongerechtvaardigd.

Chemie

Voor wat betreft de chemische bouwstoffen bestaat populier voor een relatief groot deel uit cellulose, terwijl het ligninegehalte betrekkelijk laag is. Dit kenmerk is sprekender bij snel gegroeid hout. De polymerisatiegraad van de cellulose, van belang voor chemisch ontsloten pulp, is hoog. Voorts is populier betrekkelijk neutraal qua zuurgraad, reuk e.d.

Papier op basis van populierehout

Het nu volgende behandelt populier als vezelhout. Snel gegroeid populierehout is als zodanig niet slechter voor vezeltoepassingen dan langzaam gegroeid hout. Wel blijft het feit bestaan dat het juveniele hout een beduidend kortere vezel heeft. Van belang kunnen de verschillen tussen klonen zijn, maar tot dusver vindt bij de inkoop geen selectie op klonen plaats. Ook in de literatuur worden verschillen tussen klonen voor vezeltoepassingen gering genoemd. (lit. 19, 27). Snelle groei hoeft niet samen te gaan met een lage volumieke massa. Afhankelijk van de wijze van inkoop van de industrie (gewicht of volume) kan de volumieke massa een rol spelen in de input/output verhouding.
In een woord met populier wordt meestal wilg genoemd. Hoewel wilg in vele houttechnologische opzichten overeenkomst vertoont met populier, blijken de sterkteeigenschappen van wilgepapier iets lager te liggen dan die van populier.
In zijn algemeenheid is er betrekkelijk veel bekend van verschillende ontsluitingsprocessen bij populier. Dat wil zeggen van puur mechanische tot chemische processen.
De ondoorschijnheid (opaciteit) van papier uit mechanische processen is groot. Het papier krijgt een groot volume en daarmee een hoge porositeit. De vezels slaan dus niet zo plat in het vlak van het papier.
Absoluut worden deze eigenschappen minder bij meer chemische processen, maar ook dan zijn zij relatief t.o.v. andere houtsoorten hoog.
De witheid, sterkteeigenschappen en opbrengstverhoudingen zijn sterk afhankelijk van het proces. Bij mechanische processen, dus 'natuurlijk' hout is de witheid goed. Voor witheden die in de praktijk gevraagd worden moet het nog wat gebleekt worden. Populier leent zich goed voor semichemische processen.
Verschillen tussen soorten:
De verschillen tussen bomen van een kloon onderling kunnen afhankelijk zijn van groeiplaats, leeftijd e.d. soms groter zijn

dan de algemene verschillen tussen klonen. Selectie op bomen is derhalve efficiënter dan het uitkiezen van kruisingen.
De pulpeigenschappen van snelgroeiende hybriden bij het sulfaatproces zijn iets beter dan die van langzaam groeiende populiersoorten. De opbrengst is daarentegen iets lager en er is meer energie nodig voor het verpulpen . Dit wordt echter weer ruimschoots gecompenseerd door de snellere groei. Hetzelfde geldt bij Chemo-Thermo-Mechanische-Pulp (CTMP).
Pulp van jonge populier (9 jaar oud) heeft bij ontsluiting met sulfaat iets slechtere sterkte-eigenschappen en een iets lagere opbrengst.
Bij ontsluiting met behulp van sulfiet is er nauwelijks verschil. Wel dient in ogenschouw genomen te worden, dat jonge populier een lagere dichtheid heeft en de pulpproduktie per m^3 dus lager is. Er is dus extra digester capaciteit nodig.
Of het gebruik van 'zeer korte omlopen hout' al dan niet gunstig is, hangt af van het totale economische beeld, inclusief teelt, oogst en transport.

Plaatmaterialen op basis van populierehout

We behandelen hier de plaatmaterialen op basis van populier. In afnemende 'deeltjesgrootte' zijn platen te definiëren als:
- meubelplaat, variaties in kern en fineren
- triplex
- waferboard OSB etc. variaties in laagopbouw
- conventionele spaanplaat
- vezelplaat: hardboard, zachtboard, MDF.

Bovendien zijn allerlei combinaties mogelijk en kunnen de bindmiddelen bij sommige typen variëren van lijm in vele soorten tot anorganische bindmiddelen als gips en cement.
De *fineer- en triplexindustrie* in Canada gebruikt jaarlijks ca. 500.000 m^3 populierehout. Naast wat problemen met trekhout aan het oppervlak is men tevreden over de kwaliteit.
De geschiktheid van populieren voor het schillen wordt gekenmerkt door de homogene zachte structuur en het mede daarmee samenhangende hoge vocht-gehalte van vers materiaal.
Het oppervlak is licht van kleur en vrij egaal. Kernhout-spinthout kleur-verschillen verminderen bij het drogen.
Het hout kan goed gelijmd worden.
Noesten en trekhout geven bij het schillen problemen.
Wanneer de messen wat stomper worden kunnen zich 'draden' van trekhout om en achter de messen vormen, die het juiste schillen bemoeilijken en leiden tot een hoog energieverbruik. Overigens kunnen ook te scherpe messen een vrij hoog energieverbruik geven.
Het drogen van trekhout fineer kan vervormingen geven.
Verstoringen in het cambium, veroorzaakt door larven van mineerkevers kunnen mergvlekken in het hout geven, die zich uiten als zwarte vlekjes.
De keuze, indien mogelijk, tussen populier en andere soorten valt bij schilbedrijven soms niet op eerstgenoemde, omdat het ontschorsen wat slecht kan gaan, de diameters van de blokken veelal niet zo groot zijn, het vele water een lange droogtijd vergt en er regelmatig fouten gecorrigeerd moeten worden. De alternatieven zijn dan meestal de lichtere tropische loofhoutsoorten. De importmogelijkheden daarvan worden echter nihil.
Resumerend kan gesteld worden, dat populier voor een aantal fineertoepassingen geschikt kan zijn.
Door de lage volumieke massa is het gewicht per oppervlakte bij een bepaalde dikte gering bij populiereplaten.
Bij spaanplaten kan eventueel binnen bepaalde grenzen sterker geperst worden tot een hogere volumieke massa, waarbij de buigsterkte door een grotere interne geslotenheid toeneemt. Bij een persing van bijvoorbeeld 700 kg/m^3 kan populierespaanplaat een buigsterkte hebben van 40 N/mm^2, terwijl een verder identieke Beukenplaat bij dat gewicht normaal 25 N/mm^2 kan hebben.
Bij het verspanen gelden dezelfde problemen van stompere messen en trekhout als bij de paragraaf 'triplex' zijn genoemd.
Mengingen van populierehout met andere houtsoorten in spaanplaten worden genoemd, maar het is niet erg gewenst sterk afwijkende soorten door elkaar te gebruiken, tenzij een zeer homogene menging op deeltjesniveau verkregen kan worden.
In België, Italië en Frankrijk is het gebruik van populierehout voor *vezelplaten* aanzienlijk. Ook in Amerika, waar het aandeel van vezelplaten in het houtgebruik groter is dan dat van spaanplaten, worden goede ervaringen opgedaan met populierehout als grondstof.
Populierehout laat zich veel makkelijker vervezelen dan de loofhoutsoorten met een hogere dichtheid en makkelijker dan sommige naaldhoutsoorten. Men produceert er homogeen vezelmateriaal mee, hetgeen een belangrijke voorwaarde is voor de fabricage van homogene platen. Het lagere gewicht van populierehout is ook hierbij van voordeel, daar er hierdoor platen met een hogere of lagere dichtheid geperst kunnen worden.
Zowel wat betreft de fabricage als de eigenschappen van de vezelplaten neemt populierehout in vergelijking met andere houtsoorten een goede plaats in. De vezelverbindingen zijn bijvoorbeeld sterker dan bij Piceavezels.

Nadelig is echter dat het vezelmateriaal een zeker deel fijnstof bevat, dat bij de vervezeling ontstaat, hetgeen de ontwatering vertraagt. Het fabricageproces wordt daardoor langzamer en de kans op vorming van blaasjes wordt vergroot. Echter niet alle hardboard hoeft in een nat proces gefabriceerd te worden.
De verwijdering van schorsgedeelten uit de populiervezelstof is tot op zekere hoogte mogelijk. Het restant vermindert de plaatkwaliteit niet buitengewoon.
Het grootste gedeelte van het populierehout wordt echter in de celstof en papierindustrie gebruikt.
Over het gebruik van populier in *mineraal gebonden platen* is in de literatuur niets gevonden. Grote problemen met gipsspaan- of gipsvezelplaten zullen zich, denkend aan ervaringen met andere soorten, niet voordoen.

Cementspaan- of cementvezelplaten kunnen wellicht afbindingsstoringen geven door het hoge vrije suikergehalte van populier. Bij vezelplaten heeft door de ontsluiting echter wel een uitspoeling plaatsgevonden. Technologieën voor het verminderen van suiker-/cementproblemen zijn in ontwikkeling.

AMAZONE®
Mauritz
BUSSUM
Ons bedrijf heeft door zijn jarenlange ervaring
een grote keuze in **vak**-gereedschap
voor groenvoorziening en bosbouw.
Postbus 112 1400 AC BUSSUM
Telefoon: 02159 - 43914 Telex: 43402 Amazo
De speciaalzaak voor alle tuinbouwartikelen

Het gebruik van populier als massief hout

We gaan nu over tot het gebruik van populier van timmerhout en dergelijke.
Voor dit hoofdstuk is mede gebruik gemaakt van literatuur over Aspen (Witpopulieren), dat qua groeihistorie (ouder bos) in Noord Amerika verschilt van de nieuwere klonen in Europa.
De duurzaamheid van populierehout is gering. In contact met de grond verrot het in 3-4 jaar. Door de open structuur is verduurzaming goed mogelijk en verschillende typen van middelen werken goed. Impregneren van kernhout kan moeilijk gaan. Toch wordt aangeraden om ook verduurzaamd hout niet in contact met de grond te houden. Wat voor alle houtsoorten geldt is zeker hier van toepassing, namelijk dat een goede waterwerende of waterafvloeiende constructie de beste verduurzamingsmethode is tegen vele typen rot.
Dit brengt ons tevens op het punt van lakken. Verftesten hebben uitgewezen dat populier excellent te lakken is en dat in de buitenlucht de laag zeker vier jaar goed blijft. Een gronding met ijzeroxidelak verlengt die periode met 2-3 jaar (lit. 16, 26).
In de praktijk zijn gevallen bekend, waarin sommige klonen weleens te poreus zijn en daardoor te veel lak opnemen.
De sterkte-eigenschappen van hout zijn in vele categorieën in te delen met daarbij nog variaties. We noemen: buigsterkte, schokweerstand, brandbaarheid, stijfheid, afschuifsterkte, splijtsterkte, nagelhoudend vermogen.
Bonneman (lit. 7) geeft als gemiddelde buigsterkte 76 N/mm^2 met de opmerking dat de spreiding niet zo groot is.
Het CTBA (Parijs) geeft voor een achttal cultivars waarden voor verschillende sterktes, waarbij de buigsterkte binnen de gemiddelden varieert van 65 tot 89 N/mm^2.
Extreme waarden van de afzonderlijke beproevingen waren: 21 en 125 N/mm^2, hetgeen als aanzienlijke spreiding aangemerkt mag worden. Een grote spreiding komt ook naar voren bij Laming, Rijsdijk en Verwijs. (lit. 29).
In de verschillende literatuuropgaven komen de trends voor de onderscheiden klonen niet overeen. Buigsterkte komt als testmethode enigszins overeen met treksterkte, terwijl de laatste een zekere positieve relatie met trekhout heeft. Dit reaktiehout komt veel bij populier voor. Wellicht is hieruit enige spreiding te verklaren.
Ook voor de elasticiteitsmodulus is een breed gebied van waarden aan te geven. In dezelfde literatuur als boven genoemd komt dit neer op een variatie van 3200 tot 12000 N/mm^2, maar het gemiddelde benadert 8000 N/mm^2 en komt vrij frequent voor.
De druksterkte is iets meer constant over de verschillende beproevingen en bedraagt in extremo 19 tot 46 N/mm^2, met een gemiddelde in de buurt van 32 N/mm^2.
De uitkomst van splijtsterktemetingen blijkt per literatuuropgave systematisch af te wijken. Algemeen wordt gesteld dat populier zeer splijtvast is. Het genoemde boek van Laming et. al. geeft waarden van 32 tot 63 N/mm, terwijl dit voor vuren ligt bij ca. 38 N/mm.
De afschuifsterkte daarentegen ligt voor populierehout vrij laag en wel in de buurt van 4 à 5 N/mm^2, met uitschieters van 0,7 en 10 N/mm^2. Bonneman wijkt hier af van de andere twee en geeft 7,25 N/mm^2 als gemiddelde.
Populieren is een zachte houtsoort. Verschillende testmethoden (Janka en Brinell) wijzen dit uit.
Aan de kopse kant is het hout echter nog wel relatief hard. De verhouding hardheid kops/langsvlak is volgens Bonneman ruim 4, terwijl dit voor de meeste houtsoorten om en nabij 2 is.
Resumerend kunnen we stellen dat populier qua sterkte-eigenschappen laag uitkomt, maar dat in vergelijking tot bijvoorbeeld vuren het verschil niet erg groot is.

Alternatieve toepassingen

In het kader van alternatieve gebruiksmogelijkheden kan genoemd worden dat er onderzoek wordt verricht naar het impregneren van het hout met kunstharsen. Doel daarvan is het verbeteren van vormstabiliteit waarmee tevens verduurzamende effecten bereikt kunnen worden. Ook kan dit ten goede komen aan sterkte-eigenschappen. Bij een economisch rendabel proces zou zo het scala van gebruiksmogelijkheden vergroot kunnen worden.
Ook in combinatie met andere materialen kan het hout verwerkt worden (composieten). Men denke aan platen, vormdelen, glasfiberlagen etc. In de meubelindustrie zijn reeds nu voorbeelden te vinden.
Ook zou het hout, al dan niet met kunstharsen, verdicht kunnen worden wanneer dat uit gebruikstechnisch en economisch oogpunt gewenst is.

Slotbeschouwing

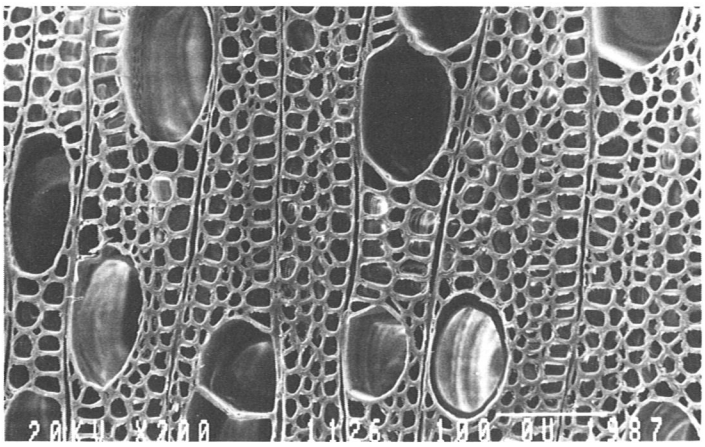
Uit het voorgaande relaas wordt duidelijk dat populier zeker geschikt is om een belangrijk deel van de houtbehoefte te dekken in Nederland, als deze soort voldoende voorhanden is.
Het lijkt evenwel onterecht om te stellen, dat het hout in aanmerking komt voor alle gangbare houttoepassingen. Populieren zal voor bepaalde constructies in grotere maten moeten worden verwerkt om voldoende sterkte te waarborgen. Het verschil ten opzichte van vuren bijvoorbeeld is gering, maar de spreiding en daarmee de veiligheidsfactor lijkt iets hoger te liggen.
Voor buiten-toepassingen vergt het hout een zeer sterke kunstmatige verduurzaming. Een kosten/baten analyse zou de haalbaarheid moeten uitwijzen.
Het marktinformatieplan voor populierehout met zijn marktkundige en technologische componenten maakt het mogelijk, tezamen met het algemene houtstroomonderzoek in Nederland, het populierehout, te allen tijde mede afhankelijk van marktmechanismen, zodanig te geleiden dat het temidden van andere houtsoorten op basis van zijn goede eigenschappen zijn juiste bestemming krijgt. Dit geldt evenzeer voor andere houtsoorten bij andere bestemmingen.
Opvallende (goede) eigenschappen van populieren zijn ondermeer het lichtgekleurde oppervlak (de witte vezel), de goede lijmbaarheid, het lichte gewicht en de zachtheid. Deze eigenschappen wijzen in de richting van (bepaalde) papier- en kartonsoorten, plaatmaterialen en gelamelleerde producten.
De pulp- en papiertechnologie kent heden ten dage een zodanig niveau, dat aanpassingen in processen een breed scala van grondstoffen toestaan om tot speciale papiertoepassingen komen. Een selectieve grondstofkeuze blijft echter van belang, maar populieren kan redelijk breed ingezet worden.
De gebruikers van hardboard hanteren nog steeds het idee 'hoe donkerder de plaat des te steviger' voortkomend uit de chemische ontsluitingen en daarbij nog vaak toegepaste hoge temperaturen.
Hoewel het mogelijk is van populieren chocoladebruine platen te maken, ligt het meer voor de hand juist de lichte kleur te benutten zonder aan sterkte in te boeten. Een lichte kleur geeft in zekere zin veel meer verwerkingsmogelijkheden.
Spaanplaten en triplex op basis van populieren zijn licht van kleur en gewicht en kunnen goede sterkte-eigenschappen bezitten. Voor triplex is evenwel foutvrij zwaar hout gewenst.
In gelamelleerde balken kan hout van een oorspronkelijk kleinere diameter verwerkt worden. In dergelijke composieten wordt de grote spreiding in afzonderlijke planken verkleind.
Alle samengestelde materialen kunnen natuurlijk voorzien worden van een deklaag o.i.d. in de vorm van bijvoorbeeld edeler fineer.
Wel moet bij combinaties van houtsoorten bedacht worden of eigenschappen (bijvoorbeeld krimp of zwelling) in voldoende mate overeenkomen om verbindingen aan te gaan. In dit kader valt ook te denken aan het impregneren van dekfineer van populier zelf met kunstharsen.

Onderzoeken in deze of naastliggende richting zijn bekend.
Teruggrijpend op het houtstroomonderzoek kunnen we in dit verband ook stellen, dat hoofd- en nevenstromen de volle aandacht behoeven. In andere toepassingen kunnen de nevenproducten hun weg vinden: afrolkernen, chips, spaanders, etc. Stromen kunnen zowel binnen als tussen bedrijven voorkomen.
Toepassing van populieren als timmerhout verdient zeker aandacht, maar zal meer gedegen getest moeten worden, daar ervaringen slechts spaarzaam voorhanden zijn en vele beweringen nog op theorie berusten. Wel is duidelijk dat in de massief hout sfeer de emballage-industrie een grote en tevreden afnemer is.
Ook de meubelindustrie gebruikt redelijke hoeveelheden en in buitentoepassingen zijn schuren opgetrokken uit populieren bekend.
Tot zover is in deze slotbeschouwing slechts uitgegaan van het materiaal als grondstof.
Nederland is ten aanzien van de houtverwerkende industrie geen land met ongebreidelde mogelijkheden door de extreem lage zelfvoorzieningsgraad in de afgelopen honderd jaar en het verdwijnen van verwerkingscapaciteit in de sfeer van plaatmaterialen en chemische verpulpingsinstallaties. We zullen ons derhalve moeten realiseren, dat vele van bovengenoemde toepassingen 'nieuw' zijn.
Weloverwogen en gerichte adviezen, zo deze gevraagd worden, en juiste beslissingen zijn meer dan normaal van belang. Alleen bij optimaal gebruik van grondstoffen zullen teler en verwerker beiden gebaat zijn.

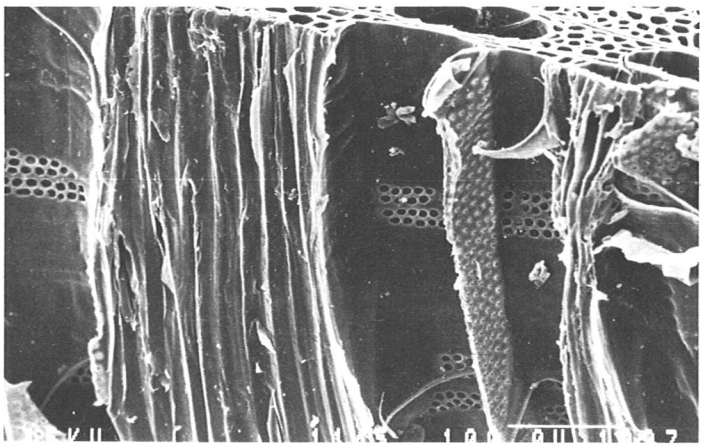
Literatuurlijst

1) Anon., 1953, Onderzoek naar de mechanisch-psychische en enige technische eigenschappen van Populus marilandica, Houtinstituut TNO, H53-24, Delft.
2) Anon., 1970, Anatomisch onderzoek ter bepaling van enige afmetingen van de libriformvezels in enige stammen Populus gelrica, Houtinstituut TNO, H70-72, Delft.
3) Anon., 1984, Le Peuplier en structure – prescriptions d'emploi, CTBA, Parijs.
4) Anon., 1984, New Strandboard mill utilizes Alberta Poplar, Canadian Forest Industries 16-17.
5) Balatinecz, J.J. 1986, Technical and economic issues of the utilization of Poplar wood in Canada, I.P.C. Gembloux, België.
6) Berlo, J. van 1987, Geschiktheid van populier voor papier en vezelplaten, LUW Bosbouwtechniek Wageningen.
7) Bonneman, A. 1980, Die Eigenschaften des Pappelholzes, DRW-verlag, Stuttgart.
8) Bos, J. 1959, Celstof uit Populierehout, Centraal Lab. van Gelder, rap. 49-3, Velzen.
9) Bowyer, J.L. 1974, An analysis of selected production alternatives for the utilization of Minnesota aspen, University of Minnesota, Technical bulletin 299.
10) Corell, C.G., Wang, P., 1983, Data for prediction of mechanical properties of aspen flakeboards, US Dept. of Agriculture FPL 0246 Madison.
11) Craig, R., 1948, Aspen defiberization and refining of product, Lake States Aspen Report no. 17, US Dept. of Agriculture, Minnesota.
12) Davis, E.M., 1947, Machining and related properties of aspen, Lake States Aspen Report no. 8, US Dept of Agriculture, Minnesota.
13) Fayle, D.C.F., Zsuffa, L., Anderson, H.W., 1979, Poplar Research, Management and utilization in Canada, Forest Research paper 102, Ministry of Natural Resources, Ontario.
14) Fengel, D., Wegener, G., 1984, Wood chemistry, Ultrastructure, reactions, Walter de Gruyter, Berlijn - New York.
15) Garland, H., 1948, Aspen for veneer, Lake States Aspen Report no. 13, US Dept. of Agriculture, Minnesota.
16) Garland, H., 1949, Aspen for excelsior, Lake States Aspen Report no. 16, US Dept. of Agriculture, Minnesota.
17) Griffioen, K., 1976, Kwaliteitsbeoordeling van populierehout voor gebruik in de papier- en kartonindustrie, Populier 13 (2).
18) Guinard, D., 1986, l'Utilisation du Peuplier en structure en France, I.P.C. Gembloux, België.
19) Hamilton, J.R., Wendel, G.W., 1967, Specific gravity and fiber length of some hybrid Poplars growing in West Virginia, West Virginia University, Bulletin 556T, Morgantown.
20) Hedquist, D.C., Laundrie, J.F., 1983, Improved aspen mechanical pulp through course grinding and refining, US Dept. of Agriculture FPL 443, Madison.
21) Heilig, P.M. (red.), 1981[5], Houtvademecum, Stichting Houtvoorlichtingsinstituut Amsterdam.
22) Jackson, M., 1985, High yield pulp from North American aspen, Tappi Journal 1985, p. 62-66.
23) Jayme, G., Hindenburg, K.G., Harders, M., Brandscheid, F., 1943, Über die Eignung ein- und zehnjährigen Pappelholzes zur Zellstoffgewinnung, Holz als Roh- und Werkstoff 6 (1), p. 1-16.
24) Johnson, R.P.A., Kittredge, J., Schmitz, H., 1930, Aspen availability, properties and utilization, University of Minnesota.
25) Johnson, R.P.A., 1947, Mechanical properties of aspen. Lake States Aspen Report no. 7, US Dept. of Agriculture, Minnesota.
26) Kaufert, F., The preservative treatment of aspen, Lake States Aspen Report no. 19, US Dept. of Agriculture, Minnesota.
27) Keays, J.L., Hatton, J.V., Bailey, G.R., Neilson, R.W., 1974, Present and future uses of Canadian Poplars in fibre and wood products, Department of the Environment WFPL Vancouver.
28) Keresztesi, B. 1986, La situation de l'exploitation et de l'utilisation du bois du Peuplier en Hongarie, I.P.C. Gembloux, België.
29) Laming, P.B., Rijsdijk, J.F., Verwijs, J.C., 1978, Houtsoorteninformatie voor de praktijk, Houtinstituut TNO, Delft.
30) Marton, R., Stairs, G.R., Schreiner, E.J., 1968, Influence of growth rate and clonal effects on wood anatomy and pulping properties of hybrid Poplars, Tappi 51 (5).
31) Meiden, H.A., van der (ed.), 1976, Handboek voor de Populierenteelt, Heidemij, Arnhem, (B3549).
32) Neilson, R.W., 1975, Poplar utilization – a problem analysis, Western Forest Products Laboratory, Vancouver, report VP-X-149.
33) Panshin, A.J., 1950, Dimension stock and other uses of aspen, Lake States Aspen Report no. 12, US Dept. of Agriculture, Minnesota.
34) Rees, L.W., 1947, Aspen lumber for building purposes, Lake States Aspen Report no. 9, US Dept. of Agriculture, Minnesota.
35) Ritter, G.J., 1947, Chemical utilization of aspen, Lake States Aspen Report no. 18, US Dept. of Agriculture, Minnesota.
36) Rydholm, S.A., 1965, Pulping processes, Interscience Publishers, New York-London-Sydney.
37) Schantz-Hansen, T., 1948, Logging methods and peeling of aspen, Lake States Aspen report no. 3, US Dept. of Agriculture, Minnesota.
38) Sikma, B., Mondelinge mededelingen, Parenco, Renkum.
39) Sipkens, J. en Eppenga, R., Hoe kan een m^3 populierehout een ton wegen?, Populier 14 (1).
40) Smith, H.H., 1947, Seasoning of aspen, Lake States Aspen report no. 5, US Dept. of Agriculture, Minnesota.
41) Telford, C.J., 1947, Malcolm, F.B., Milling of aspen into lumber, Lake Sta-

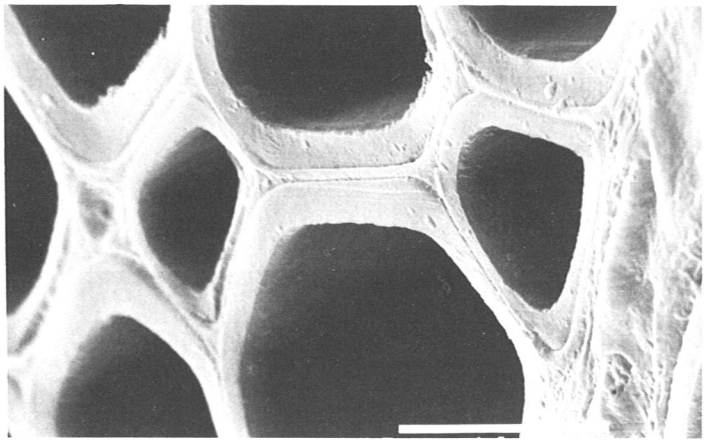
tes Aspen Report no. 4, US Dept. of Agriculture, Minnesota.
42) Tissingh, A., 1980-1981, Waar wordt populierehout voor gebruikt? I, II en III, Populier 17 (1), 17 (3), 18 (3).
43) Toole, A.W., 1947, Aspen for core stock, Lake States Aspen Report no. 11, US Dept. of Agriculture, Minnesota.
44) Wagenführ, T., 1979[2], Anatomie des Holzes, VEB Fachbuchverlag, Leipzig.
45) Wagenführ, T. & Scheiber, Chr., 1974, Holzatlas, VEB Fachbuchverlag, Leipzig.
46) Winkelman, T. 1978, Wegen van hout, Scriptie bosbouw S683, Wageningen.
47) Zasada, Z.A., 1947, Aspen properties and uses, Lake States Aspen Report no. 1, US Dept. of Agriculture, Minnesota.
48) Zasada, Z.A., 1948, Aspen lumber grades and characteristics, Lake States Aspen Report no. 6, US Dept. of Agriculture, Minnesota.
49) Zwan, R.P. van der, Berlo, J. van, 1986, Populierehout als materiaal en grondstof, Rapport aan de NPC, LUW bosbouwtechniek.



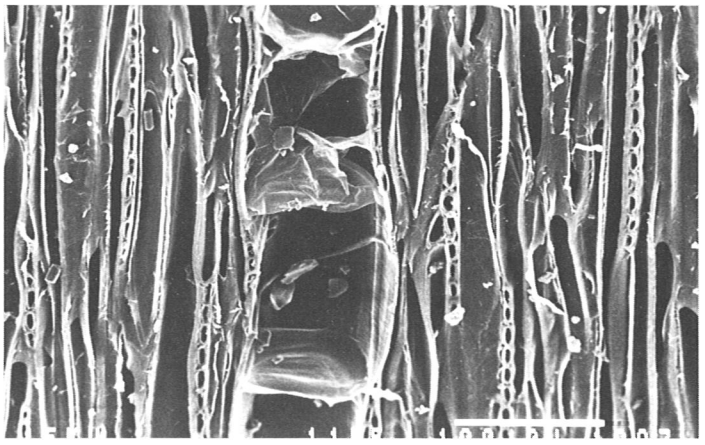
'Robusta':
Dwarsdoorsnede. Witte balk is 100 μ.



'Oxford':
Radiale doorsnede van een klein stukje kloon oxford. Nb. Vaten met stippelvelden. Witte balk is 100 μ.



'Dorschkamp':
Dwarsdoorsnede van een aantal vezels. Nb. Gelaagde structuur van de wanden. Witte balk is 10 μ.



'Andros coggin':
Tongentiale doorsnede. Thyllen in de vaten en stralen zijn duidelijk. Witte balk is 100 μ.