



NEDERLANDS PROEFSTATION VOOR STROVERWERKING
TE GRONINGEN

WAAROP BERUST DE STERKTE VAN PAPIER.

Goed artikel

Voordracht gehouden voor de Kring
Vezels en Cellulose van de Bond
van Materialenkennis, op Maandag
1 Juni 1942 te Arnhem.

door

Ir. E.L. Ritman.

2205962

WAAROP BERUST DE STERKTE VAN PAPIER/

Voordracht gehouden voor de Kring Vezels en Cellulose van
de Bond voor Materialenkennis, op Maandag 1 Juni
1942 te A R N H E M.

door
E.L. Ritman.

Mijnheer de Voorzitter, Dames en Heeren,

"A dipole molecule behaves at large distances as a neutral structure", aldus Mark in zijn bekende werk over hoge polymere stoffen.

Deze regel is de basis van de werkhypothese betreffende het ontstaan van de samenhang tusschen de papiervezels in het papierblad en daarmee van de verklaring der papiersterkte.

Voordat ik echter mijn betoog op deze basis ga opbouwen lijkt het noodig een andere, men mag zeggen: de klassieke werkhypothese inzake het ontstaan van de samenhang der papiervezels in het papierblad te bestrijden en de onhoudbaarheid daarvan aan te toonen. Ik bedoel de verviltings-theorie.

Ik begin dus met U deze theorie te beschrijven en de onhoudbaarheid daarvan, zij het in korte bewoordingen, aan te toonen.

Paul Klemm de bekende Duitse papierdeskundige heeft in 1938 nog een artikel geschreven waarin hij poogde aan te toonen dat de sterkte van papier toe te schrijven zou zijn aan de vervilting der vezels. Hij sprak van "Wirrung".

Paul Klemm is niet de eenige, die aldus verwarring sticht, aangezien vele papiertechnici gemakshalve vasthouden aan de idee van een halve eeuw geleden, dat in de papierfabrieken de vezels gefibrilleerd worden en dat die fibrillen vervolgens in de loop van het proces in elkaar zouden strengen en aldus de vezels aan elkaar bevestigen. Een erg prettige werkhypothese overigens welke geen problemen stelt zooals de samenhang tusschen chemische samenstelling van de vezels en de papiersterkte, de vezellengte en de papiersterkte, het gedrag der vezels in andere suspensiemiddelen dan water, niets daarvan: fibrilleeren, in elkaar kinkelen van die fibrillen, drogen en klaar is kees.

Men vraagt zich af of de huidige voorstanders der fibrilleeringstheorie dan nooit kennis hebben genomen van de experimenten van Edge, van de scherpe analyse van Boyd Campbell, van het onderzoek van Doughty van Ainsworth Harrison, of, om een veteraan te noemen, van de theorieën van Forrvick.

Ik noem maar eenige namen en het is geen toeval dat daar veel Engelschklinkende bij zijn, want vooral de Engelschen en Amerikanen hebben een groot aandeel in het vele spuurwerk op dit gebied gehad. Als veelschrijver noem ik dan nog den ouderen heer Stroachan.

Naar mijn meening heeft Edge de verviltingstheorie als te zijn onhoudbaar definitief verworpen. Wat namelijk was zijn experiment?

Om U dit duidelijk te maken moet ik U voor alle zekerheid even de principes van het papiermaken noemen, daarbij met een paar woorden U de voordracht van Professor Selleger, gehouden in 1941, in het geheugen terugroepende. Om papier te maken maakt men de papiervezels in waterige suspensie. Daarbij worden, wanneer men sterk papier wil maken, de vezels gefibrilleerd, a.h.w. uitgekouwd dus. Vervolgens wordt de suspensie met veel water verdund, ontwaterd over een zeef en het gevormde papier verder uitgeperst en gedroogd.

Edge heeft nu de volgende proef genomen.

Hij maalde de vezels in toluol totdat hij onder de microscoop een zeer volledige fibrilleering kon waarnemen. Daarna verdrong hij de toluol door water en scheppte er papier uit. De sterkte was zeer gering.

Dixson heeft iets dergelijks gedaan.

Hij bracht de vezels normaal in water, doch beitsste ze vervolgens met tannine. Ook aldus gaven vezels een uiterst zwak papier.

Voor mijn gevoel is daarmede de verviltingstheorie volledig onhoudbaar gemaakt en het beste wat men ervan zeggen kan is, dat in de practijk fibrilleering voorwaarde is voor de bereiding van een sterk papier niet echter de oorzaak van de sterkte.

Hiermede ben ik aan het begin van mijn in den aanvang in uitzicht gestelde betoog gekomen. Het voorgaande heeft er dus slechts toe gediend om U te motiveeren waarom ik de theorie, welke de sterkte van het papier toeschrijft aan vervilting der vezels, volstrekt verwerp.

Dus eerst nu kan ik beginnen U uiteen te zetten waarop naar mijn^m meening de sterkte van papier dan wél berust. En wanneer ik U nu over sterkte spreek dan moet nadrukkelijk onderscheid gemaakt worden tusschen enerzijds de sterkte, tot uiting komende in trekvastheid, berstvastheid en vouwgetal, anderzijds in de doorscheursterkte. Waarom ik dit onderscheid naar voren breng zal ik U straks verduidelijken.

Papier dan bestaat uit vezels en een plakmiddel. Het plakmiddel bevindt zich op de oppervlakte der vezels en wordt uit de vezels gevormd. Dit geschiedt tijdens het maalproces en de mate waarin deze plakmiddelvorming optreedt is afhankelijk van de chemische samenstelling van de vezels. Daar kom ik later op terug.

Er is papier waarin de vezels vrijwel volledig tot plakmiddel zijn uitgemalen, dat is het bekende vatvrije papier en er is papier waar practisch geen plakmiddel op de vezels voorkomt, dat is het vloeï-resp. filtreerpapier. Dertusschen in liggen alle normale papiersoorten.

U voelt wel dat het kernprobleem hier ligt bij het begrip plakmiddel en om dat probleem in kort bestek te kunnen behandelen volsta ik met het volgende.

Het plakmiddel, waar het hier om gaat, bestaat uit deeltjes met een werkelijk oppervlak. Dit oppervlak is bezaaid met OH-groepen, welke een watermantel om zich heen vermogen te fixeeren of beter nog een waterwolk. Zoo binden die deeltjes een groote massa watermoleculen. Dit plakmiddel is nu op de vezel gefixeerd, hetzij via zulke waterwolken, aangezien de cellulosemicellen eveneens bezaaid zijn met de sterk waterbindende OH-groepen, hetzij rechtstreeks. Op deze kwestie kom ik aan het einde van mijn voordracht nog even terug. Bij de papierbereiding perst men nu de natte papierbaan uit tot een vochtgehalte van circa 60%, dit is ruim twee keer zooveel als men mag rekenen dat het gewicht der waterwolken bedraagt.

Bij het nu volgende drogen van het papier zal de overmatige waterhoeveelheid verdampen, waarbij de plakmiddeldeeltjes wederzijds en daarmede de vezels een weinig tot elkaar worden getrokken; dit is het eerste begin van de krimp. Het is duidelijk dat bij onvoldoende bewegelijkheid van de vezels, d.w.z. bij een te geringe verdeling der vezels in fibrillen, de krachten te gering zullen zijn om de oppervlakken der vezels tot elkaar te doen nederen. In dat geval zal een vacuum ontstaan tusschen de waterwolken behorende tot naburige vezels, waardoor de wederzijdsche waterwolken het onderlinge contact verliezen. Doch, wanneer de papiervezelbrij op de juiste wijze is behandeld, blijven de waterwolken met elkaar in contact en vloeien in elkaar over.

Nu moet de droging geleidelijk verder gaan. De waterwolken worden dan langzaam vervluchtigd en de oppervlakken nederen elkaar meer en meer totdat de daarop aanwezige OH-groepen in elkaars werkingssfeer komen en dan niet meer watermoleculen, doch elkander binden.

Het zal U duidelijk zijn, dat dit gedeelte van het droogproces voorzichtig dient te geschieden, daar hier de grootste weerstand overwonnen moet worden bij het zoeken der vezels naar de stand overeenkomende met de minste spanning in de vezel. Bovendien zal het U duidelijk zijn, dat, om een zoo volledig mogelijk contact van alle vezeloppervlakken te bewerkstelligen overal tegelijkertijd het watergehalte tot nul gereduceerd moet zijn, daar anders bij

het uitdrijven der laatste hier en daar gelocaliseerde percentages water de vezels zich ter plaatse niet meer zouden kunnen "zetten", zoodat de in elkaar overgegane waterwolken, behorende tot twee verschillende vezels, zouden scheuren, waardoor ter plaatse geen verband tusschen de vezels zou ontstaan.

Misschien in mijn gedachtengang U niet geheel duidelijk geweest; laat ik U hetzelfde nog eens, doch dan vanuit een ander gezichtspunt, vertellen.

In het voorgaande ging ik er van uit, dat papier opgebouwd is uit vezels en een plakmiddel en ik beschreef een werkhypothese betreffende het mechanisme van het plakken, d.w.z. van de gevolgen welke de waterverwijdering heeft tijdens een doelmatige droging van het natte papier. Deze werkhypothese was zeer algemeen gehouden. Wanneer ik die nu echter nog verder inperk, dan kom ik tot de volgende voorstelling van zaken.

Door de maling van de vezels in water, worden deze overdekt met talloze submicroscopische haartjes, welke overdekt zijn met OH-groepen, welke, wegens hun sterke polariteit waterwolken om zich heen binden. Deze waterwolken vloeien geleidelijk uit in het normale tusschen de vezels aanwezige water.

Verdamp nu dit normale water, en nu vertel ik U dus hetzelfde als zooveel nogmaals, dan trekken zuiver om redenen van capillariteit de vezels naar elkaar toe en wel met des te grooter kracht naarmate de diameters der vezels kleiner zijn. En deze diameters worden juist door de in de papierfabricage onontbeerlijke maling d.w.z. de fibrilleering zoo sterk gereduceerd. Is alle normale water verdamp dan vloeien dus de waterwolken van naburige vezels in elkaar over en verdamping van de watermoleculen uit deze wolken heeft een verder naar elkaar toe trekken der vezels tengevolge. Dit is geen capillaire werking meer te noemen doch is een zuiver tewerkstellen van de polaire aantrekking der OH-groepen via de ineengevloeide waterwolken. Ik laat overigens de begrenzing van het begrip capillariteit in dit verband gaarne buiten beschouwing.

Zijn nu deze krachten te gering om de vezels te verbuigen om zooveel mogelijk onderlinge contactplaatsen te veroorzaken, dan knappen de ineengevloeide steeds slinkende waterwolken en is ter plaatse de kans op een onderlinge aantrekking der vezels verkeken. Dit "knappen" der waterwolken is behalve door fibrilleering te vermijden door geweldig hard persen van het vochtige papier, waardoor \hat{a} priori de vezels plastisch vervormd worden en deze een groot aantal contactplaatsen verkrijgen. Inderdaad is waargenomen dat de papiersterkte, welke natuurlijk evenredig is met het aantal contactplaatsen tusschen de vezels, stijgt bij verhooging van de persdruk bij de z.g.

het
-natpersen.-

netpersen. Zeer duidelijk is dit gedemonstreerd door een proef welke Clark deed met reepjes cellulosefolie, welke hij in vochtige toestand op elkaar perste en droogde. De samenhang van deze reepjes kon daarbij zoodanig worden opgevoerd, dat bij belasting der aldus aan elkaar geplakte strookjes niet de lasch, doch één der strookjes brak.

Ik hoop, dat ik met deze dubbele uiteenzetting van deze werkhypothese voldoende duidelijk ben geweest en formuleer U nu de daaruit te trekken conclusies als volgt:

- 1°. De bouw van een papiervezels moet zoodanig zijn, dat met behoeft van zoo weinig mogelijk energie een zoo groot mogelijke fibrilleering plaats vindt, d.w.z. een microscopische verandering.
- 2°. De chemische samenstelling van een papiervezel moet zoodanig zijn, dat een zoo groot mogelijke plakmiddelontwikkeling plaats vindt en dus een maximum aan water als waterwolken wordt gebonden. Een submicroscopische verandering dus.

Dit zijn niet alle eischen, welke aan een papiervezel gesteld moeten worden. Het zijn slechts de eischen welke een goede samenhang der vezels stelt. Het blijkt zelfs dat ook niet vezelige weefseldeelen, zooals parenchymcellen, mits aan de twee gestelde eischen volden, enorme breek-lengte, berstweerstand en vouwgetal vermogen te ontwikkelen. Maar een goed papier dient ook een goede doorscheursterkte te bezitten, welke door het voldoen der vezels aan b.g. eischen eer ten kwade dan ten goede wordt beïnvloed. Hierover straks meer.

Zoo komen wij vanzelf aan de nadere preciseering der bouw en samenstelling van een papiervezel, welke leiden tot hooge trek- en berstvastheid en een hoog vouwgetal, dus niet een hooge doorscheursterkte.

1°. Wat betreft de bouw.

Hiervan is men vrij weinig op de hoogte, doch men bezit een practisch bruikbare indicering van deze eisch in het cijfer aangevende de tijd welke noodig is om een vezelbrij tot een bepaalde malingsgraad of zoo men wil ontwatertijd dier brij te malen in één of ander goed dupliceerbaar werkend maaltoestel. Deze bouw hangt ook ten nauwste samen met de chemische samenstelling van de vezel en het zijn grondstof en de ontsluitingsmethode waarmede uit de grondstof de vezels worden gewonnen welke hier beslissend zijn. Voor naaldhout geldt b.v. het volgende: volgens het natronprocédé gewonnen vezels hebben doorgaans een hoogere maalweerstand dan volgens het sulfaatprocédé

gewonnen vezels al zijn de eerstgenoemde doorgaans zwaker, wat hier buiten beschouwing blijft.

Volgens het bisulfietprocédé gewonnen vezels hebben weer een veel lagere maalweerstand dan volgens het sulfaatprocédé gewonnenen.

Binnen de begrenzing van deze ontsluitingsmethodes blijkt het vooral de z.g. "hardheidsgraad" te zijn welke de maalweerstand bepaalt. Deze "hardheidsgraad" wordt op haar beurt weer bepaald door het ligninegehalte. Bij een al te hoog ligninegehalte, d.w.z. hooger dan circa 15% stijgt de maalenergie zoodanig, dat de vezel volmaakt vernietigd wordt tijdens het malen alvorens de vereischte fibrilleering bereikt kan worden.

2^o. De chemische samenstelling.

Afgedacht dus van het ligninegehalte, dat dus zoo laag mogelijk gehouden moet worden, blijken het vooral de laagmoleculaire koolhydraten te zijn, welke een geweldige plakmiddelontwikkeling bij het malen tengevolge hebben.

Sommige planten, zooals de graminaeën hebben zeer hoge gehalten aan zulke laagmoleculaire koolhydraten. Een ligninevrije celstof kan b.v. 30% pentosaan en 15% andere natuurlijke hemicelluloses bevatten. Om zulke vezels te winnen zijn echter speciale ontsluitingsmethodes noodzakelijk.

Aldus gewonnen vezels ontwikkelen ongehoorde sterktecijfers. Wij hebben namelijk eens een papiertje uit een zoodanige stroocelstof bereid met een vouwgetal van 12000 d.w.z. de geheele schaal van de Schopper-vouwgetalmeter rond $\frac{1}{4}$ nog 2000, bij een m^2 -gewicht van 66,6 gram. Ook breeklengtes van 9000 meter werden geconstateerd en berstvastheden, bij eenzelfde m^2 -gewicht, van over de $3\frac{1}{2}$ kg/cm² (inspanvlakte = 10 cm²). Veel praktische waarde hecht ik daar nu niet aan, maar theoretisch is dit belangrijk. Het merkwaardige van deze celstoffen is, dat ze na de ontsluiting het uiterlijk hebben van wit of crème gekleurd stroo en buitengewoon lastig te vervezelen zijn. Is dit eenmaal gelukt, dan gaat de feitelijke fibrilleering zeer snel.

In de fabriekspraktijk is het echter zoo, dat de lignineverwijdering steeds gepaard gaat met verwijdering van een deel der pentosanen maar vooral van het grootste deel der andere hemicelluloses. Hier gedragen zich de verschillende grondstoffen zeer verschillend en schuilt ook de invloed van het ontsluitingsprocédé op de vezeleigenschappen. Vooral de graminaeën zijn in dit opzicht geweldig gevoelig en stellen dan ook volkomen tegenstrijdige eischen aan de fabricagemethodiek.

Mijn gedachtengang in dezen resumeerende stel ik e.e.a. als volgt voor.

Vezels of zeer in het algemeen plantaardige weefseldeelen geschikt voor de papierfabricages dienen een bepaalde chemische samenstelling te hebben.

Deze samenstelling wordt gekarakteriseerd door een bepaalde grens van het ligninegehalte waarboven fibrilleering d.w.z. het ontwikkelen van een groot aantal contactplaatsen der vezels praktisch onmogelijk wordt. Dit is in wezen dus meer een kwestie van vezelbouw dan van chemische samenstelling. Voorts is voor de ontwikkeling van een maximum aan plakmiddel noodzakelijk, dat het gehalte aan pentosanen en andere hemicelluloses zoo hoog mogelijk zij.

Dit alles waarborgt hooge trekvastheid en berstvastheid en een hoog vouwgetal.

Maar hoe is het met de doorscheursterkte?

Mij is gebleken, dat deze in slechts zeer geringe mate van de kwaliteit en kwantiteit van het plakmiddel afhankelijk is, ja, een teveel daarvan schaadt doorgaans. Proefnemingen met kraftcelstoffen, ampascelstoffen, sisalcelstoffen en echte phormium tenax celstoffen hebben mij, toen ik nog in dienst was van het Proefstation voor de Java Suikerindustrie te Pasoeroean hier een merkwaardig inzicht in geschonken.

Mij bleek namelijk dat de vezellengte hier de beslissende factor is. Dat dit vooral uit latere overeenkomstige onderzoekingen minder goed tot uiting komt zit hem daarin, dat de vezellengte meestal als gemiddelde vezellengte opgegeven wordt, hetgeen een vrijwel waardeloos cijfer is. Immers in dit verband is de verdeling der lengteintervallen van het allergrootste gewicht. D.w.z. een gemiddelde lengte van 1 mm. tot stand komende door de loutere aanwezigheid van vezels van 1 mm. lengte is totaal iets anders dan zulk een gemiddelde lengte tot stand gekomen door de aanwezigheid van vezels met lengteintervallen liggende tusschen 0 tot 2 mm. b.v. Bovendien is het van het grootste gewicht dat deze verdeling der lengteintervallen wordt genoteerd in procent van de in alle intervallen gemeten totale lengte van alle vezels tezamen en niet in procent van het totale aantal gemeten vezels.

Zoo bleek mij dat het lengtepercentage vezels gelijk aan en groter dan 1½ mm. een zeer bruikbaar cijfer gaf. Was dit groter dan circa 35 à 45% dan kon men bij onbeschadigde vezels zeker zijn van zeer goede doorscheursterktes onafhankelijk van de aard van de vezels. Wel moet natuurlijk de malingsgraad als gecombineerde index voor voldoende fibrilleering en plakmiddelontwikkeling voldoende zijn en b.v. meer zijn dan 25° S.R..

In principe bleek mij toen, dat alle vezels in dezen, mits langer dan 1½ mm. en onbeschadigd, volkomen gelijkwaardig zijn. Dat sommige vezels in de practijk zoo uitzonderlijk goed

resp. slecht voldoen in dit opzicht zit hem louter in de specifieke verzwakking bij maling in de gangbare maalwerktuigen. Andersom kan men ook zeggen, dat eenzelfde vezelbrij in het eene maalwerktuig veel en veel gunstiger resultaten geeft dan in het andere en zelfs dat variaties in b.v. de specifieke maaldruk van eenzelfde hollander duidelijk merkbare verschillen geeft bij een en dezelfde vezelsoort.

Deze bezwaren en moeilijkheden leiden vanzelf tot de gedachte van het synthetische papier. Immers de eisch voor een hoge doorscheursterkte is, globaal gesproken, dat 35 á 45% der vezels in het papier $1\frac{1}{2}$ mm. moeten zijn. Anderzijds is de eisch voor hoge waarden van vouwgetal, trekvastheid en berstvastheid een grondige fibrilleering met rijkelijke plakmiddelontwikkeling. Deze eischen widerspreken elkaar, daar slechts speciale grondstoffen bij een maling, voldoende om aan de laatstgenoemde eischen te voldoen, ook nog aan de eerstgenoemde eisch voldoen.

Men vindt dan ook in de octrooiliteratuur allerlei suggesties welke allen neerkomen op het volgende. Wanneer men in een papierfabriek b.v. twee maalwerktuigen ter beschikking heeft om de vezelsuspensie voor één papiermachine te bereiden, dan moet men deze beide machines niet zonder meer parallel laten lopen. Integendeel, in het eene maalwerktuig maalt men een gedeelte van de suspensie tot maximale fibrilleering en plakmiddelvorming en in het andere tot de juiste vezellengte, waarbij met volledig behoud van een lengte der vezels $1\frac{1}{2}$ mm. toch voldoende fibrilleering en plakmiddelvorming wordt veroorzaakt dat deze vezels solide ingebed kunnen worden in de vezels afkomstig van eerstgenoemd werktuig. Het is duidelijk dat bij toepassing van eenzelfde celstof in het eerste en het tweede maalwerktuig de maalduur in het eerste veel groter zou moeten zijn dan in het tweede. De voor de hand liggende oplossing is dan ook de toepassing van een snel plakmiddel ontwikkelende en fibrilleerende celstof in het eerste maalwerktuig en een harde celstof zoals kraftcelstof in het tweede.

Zeer handig bij de toepassing van gramineeën als grondstof voor de celstofbereiding bleek mij vroeger om de verkregen celstof te fractionneeren in een langvezelige fractie en een kortvezelige, waarvan men dan nog het allerkorste gedeelte verwijdert. De aldus ontstane kortvezelige fractie laat zich snel en volledig tot een enorme plakmiddelontwikkeling malen, voorondersteld, dat men de ontsluiting op de juiste wijze heeft gevoerd. De langvezelige fractie maalt men zeer voorzichtig en daarna mengt men beide componenten. Uit een zoodanig bereid vezelmengsel heb ik met uitsluitende toepassing van ampas als grondstof, reeds in 1934 of daaromtrent papier bereid met doorscheursterktes gelijk aan die van een middelmatige kwaliteit kraftpapier. Voegt men dan bovendien nog een percent of 10 goed gefibrilleerde kraft-

in feite "buropening" met langer vezel

vezels aan het mengsel toe, dan komt men in het gebied der zeer goede kwaliteiten kraftpapier.


Dezelfde idee ligt ten grondslag aan het toevoegen van bepaalde toevoegingen in den hollander. Hiertoe kan men allerlei kunstgrepen toepassen, zoals de toevoeging van wat vette houtslip, de toevoeging van zetmeelpreparaten, zoals het bekende Papérine, de toevoeging van parenchym, e.d. snel tot slijm te vermalen weefseldeelen, enz.. In de oude Chineesche en Japansche handpapiermakerijen was de receptuur voor al dergelijke slijmstoffen een hoogst belangrijk onderdeel van het vak.

Deze gedachtengang volgende is het begrijpelijk dat men als voor de hand liggende methode voor het bereiden van supersterke papieren, welke in de klasse van het kunstleer vallen, is overgegaan tot het bereiden van een soort vloeipapier waar dus het natuurlijke plakmiddel praktisch aan ontbreekt en dat men daar kunstmatig plakmiddel in aan brengt door drenken in latex, viscosé, e.d.. Maar hiermede zou ik mijn boekje te buiten gaan.

Zoo, mijnheer de Voorzitter, ben ik aan het einde van mijn voordracht gekomen, welke, naar ik hoop, mede ertoe moge bijdragen een bepaald vooroordeel, dat in papiermakerkringen bestaat, uit de weg te ruimen. Dat is het vooroordeel, dat slechts enkele vezelsoorten in staat zouden zijn superieure sterkte-eigenschappen in het papier te ontwikkelen. Een juiste interpretatie der modernere theorieën wedsprekt dit opent de mogelijkheid om veronachtzaamde vezelsoorten in veel ruimer mate voor sterke papieren te gebruiken dan tot heden het geval is.

→ de Z pot. bij cell vezels is waarschijnlijk te verhogen door pH verhoging en wordt verhoogd door zouten.

NR Er zijn nog twee aspecten:

a de Z potentiaal: een sterke aan het oppervlak (negatief) geladen deeltje "trekt zich" en spreid zijn "atomen" uit ^{speciaal ook gaat voor een langer vezel!} 

bij een hoge Z pot.

Zal het deeltje

"glad" worden

b. de H- bruggen: die je hier vooral in dit verband moet over "plakken" en "slijm" wordt gesproken - hij moet denken. Hoe meer mogelijke H- bruggen hoe sterker papier; b.v. chemie cellulose en slijm stoffen met een af "moleculair"

dit is waarschijnlijk gelijkelijk de H- bruggen prof. 9. pag 2