



Biobased fibre **RE**inforced **PLA**stics

Leverbaarheid 2.1: Rapport over 100% natuurlijke vezels en vezelmodificatie voor thermohardende composiettoepassingen

Frederik Goethals (Centexbel)

frg@centexbel.be

Project: HBC.2020.2567 Biogebaseerde Vezelversterkte Kunststoffen

Projectpartners: Centexbel en Sirris

Collectief Onderzoek & Ontwikkeling en Collectieve Kennisverspreiding (COOCK), gesteund door Vlaio

1 januari 2021 – 31 december 2023

Samenvatting

Dit document geeft een overzicht van verschillende natuurlijke vezels die kunnen gebruikt worden voor het maken van thermohardende biocomposieten en hoe de vezels gemodificeerd kunnen worden voor een betere interactie met de matrix. Hierbij worden volgende zaken besproken: type vezel, herkomst, mechanische eigenschappen en benchmark met glasvezels. Naast de plantaardige vezels worden ook basaltvezels beschouwd als natuurlijke vezels omdat ze worden gemaakt uit mineraal gesteente. Om ze met thermohardende harsen te combineren worden deze vezels veelal verwerkt tot een textielvorm waarvoor de verschillende mogelijkheden in deze leverbaarheid besproken worden. Opdat bedrijven die biocomposieten willen maken zouden weten waar ze de textielversterkingen kunnen vinden, wordt ook een overzicht gegeven van welke (lokale) bedrijven natuurlijk vezels en versterkingen aanbieden.

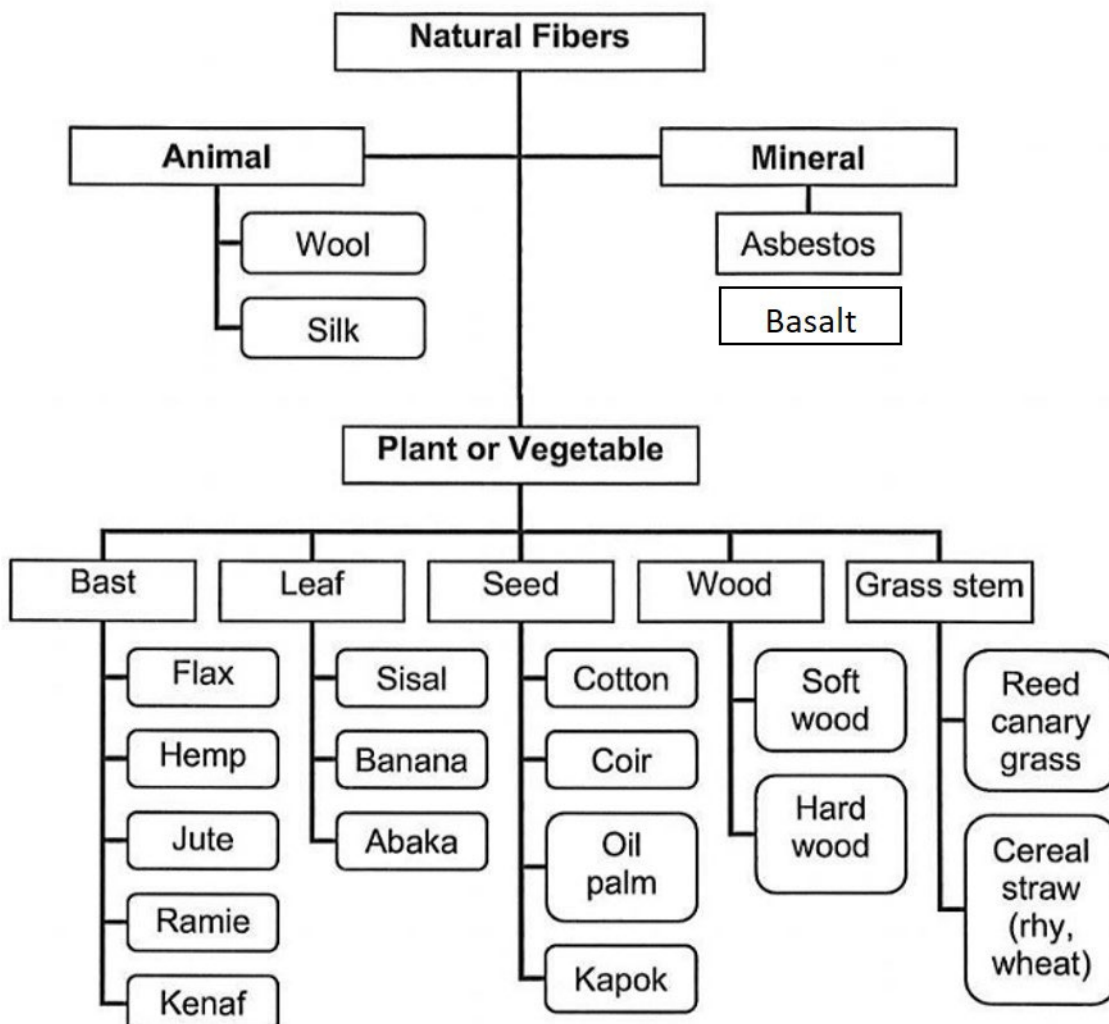
In een tweede luik wordt dieper ingegaan op het behandelen van plantvezels om de interactie met de matrix te verbeteren. Synthetische vezels zoals glas en carbon worden voorzien van een sizing (dunne primerlaag) die ervoor zorgt dat de matrix goed kan hechten op de vezel. Basaltvezels worden gelijkaardig als glasvezels reeds van een sizing voorzien, maar bij de plantvezels wordt dit niet standaard toegepast voor de commerciële textielversterkingen alhoewel sommige bedrijven reeds vermelden dat hun biotextiel voorbehandeld is. Op basis van eigen en literatuuronderzoek worden de meest interessante behandelingen voor combinatie met thermohardende harsen kort besproken in deze leverbaarheid.

Inhoudstabel

| | |
|--|----|
| Samenvatting..... | 2 |
| Inhoudstabel..... | 3 |
| Introductie..... | 4 |
| Natuurvezels voor composiettoepassingen..... | 6 |
| Kenaf (Hibiscus cannabinus) | 6 |
| Hennep(Cannabis sativa) | 7 |
| Jute (Corchorus capsularis) | 7 |
| Vlas (Linum usitatissimum) | 8 |
| Ramie (Boehmeria nivea)..... | 9 |
| Sisal (Agave sisalana)..... | 9 |
| Kokosvezel (Cocos nucifera)..... | 10 |
| Bamboe (Bambusoideae)..... | 11 |
| Basaltvezel | 11 |
| Eigenschappen natuurlijke vezels | 12 |
| Vezelversterkingen | 15 |
| Nonwovens | 16 |
| Weefsels..... | 16 |
| UD versterkingen & UD textiel..... | 19 |
| Multi-axiaal/Non-crimp..... | 20 |
| Vlechtwerk | 21 |
| Leveranciers van natuurlijk vezels en vezelversterkingen | 22 |
| Vezelmodificatie | 23 |
| Conclusie | 25 |
| Bronnen | 26 |

Introductie

Biovezels kunnen van plantaardige en dierlijke oorsprong zijn waarvan de plantaardige vezels het meest interessant zijn voor composiettoepassingen omdat ze over het algemeen een hogere stijfheid en sterkte hebben dan dierlijke vezels. Bovendien kunnen plantenvezels economisch en ecologisch in veel landen groeien, zijn ze een hernieuwbare bron en worden ze als CO₂-neutraal beschouwd. Naast biovezels worden onder natuurlijke vezels ook minerale vezels verstaan zoals asbest die om de bekende gezondheidsredenen niet meer mogen gebruikt worden. Als 'natuurlijk' alternatief kan hiervoor overgeschakeld naar basaltvezel aangezien dit gesponnen basaltsteen is.



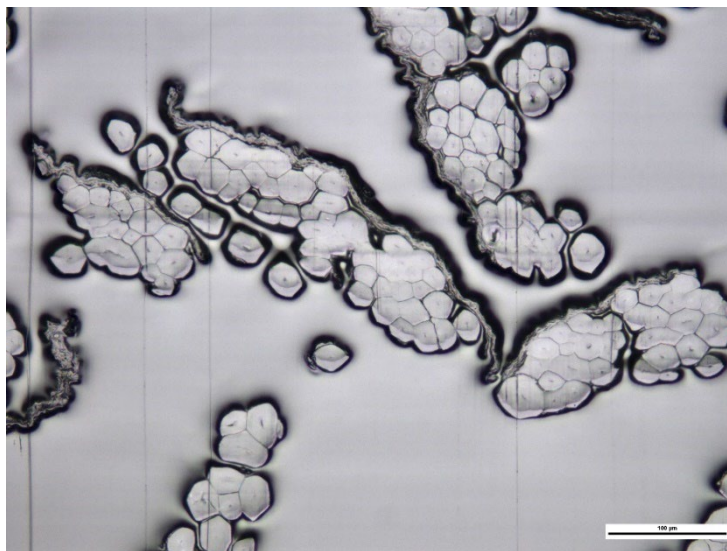
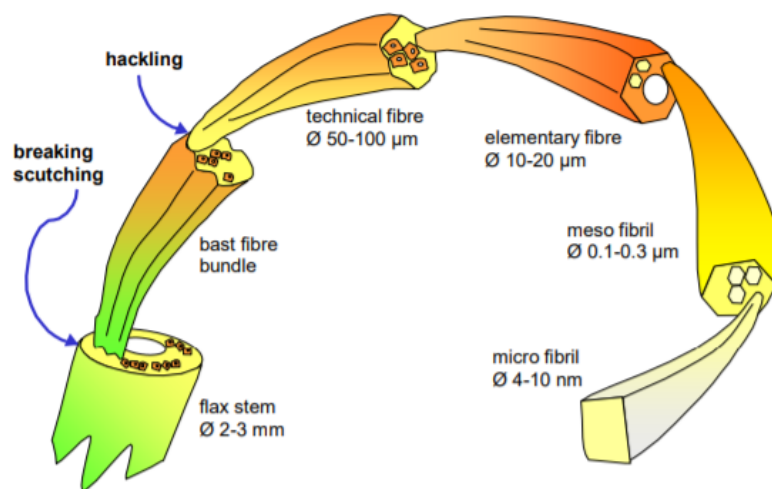
Figuur 1: classificatie van natuurlijke vezels volgens oorsprong¹

In figuur 1 wordt een overzicht gegeven van de natuurlijke vezels volgens oorsprong. Zoals in de figuur getoond kunnen plantaardige vezels geëxtraheerd worden uit de bast (vlas, hennep, jute, ramie,

¹ https://www.researchgate.net/publication/331648994_Reviewing_the_Development_of_Natural_Fiber_Polymer_Composite_A_Case_Study_of_Sisal_and_Jute

kenaf), uit het blad (sisal, banaan, abaca), zaden (katoen, kokos, kapok palm), hout (zacht en hard hout) en grasstengels (rietgras, stro).

Natuurlijke vezels zijn opgebouwd uit verschillende componenten. Dit wordt getoond in figuur 2 waarbij de vlasvezel als voorbeeld wordt gebruikt. De bastvezelbundels bestaan uit technische vezels en die elementaire vezels bestaan uit fibrillen gevormd door celluloseketens.



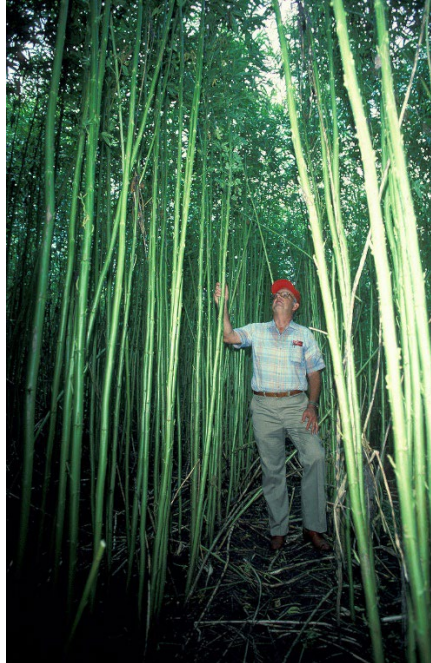
Figuur 2: opbouw vlasvezelstructuur² en microscopisch beeld van aan elkaar geplakte elementaire vlasvezels

De vezels die het meest gebruikt worden voor composiettoepassingen worden kort besproken in de volgende sectie.

² https://www.wur.nl/upload_mm/7/c/6/de36d60c-5582-4211-b91b-4dc34b7e75c3_14Biocomposieten.pdf

Natuurvezels voor composiettoepassingen

Kenaf (*Hibiscus cannabinus*)



Figuur 3: kenaf³

De kenafvezels zijn één van de belangrijkste bastvezels en worden vooral gebruikt in de productie van papier en touw. Kenaf is een vezelige plant. Ze zijn stijf, sterk en taai en hebben een hoge weerstand tegen insecticiden. Deze planten werden 4.000 jaar geleden gekweekt in Afrika, Azië, Amerika en in sommige delen van Europa. De vezels worden gewonnen uit de bast. De kenafplanten worden na het oogsten verwerkt met behulp van een mechanische vezelscheider. De geëxtraheerde vezels moeten chemisch of bacterieel worden behandeld om ze te scheiden van de niet-vezelachtige stoffen zoals was, pectine en andere stoffen. Deze vezels kunnen worden omgezet in fijn geweven stoffen. Kenafvezels zijn milieuvriendelijk omdat ze volledig biologisch afbreekbaar zijn. Vroeger werden deze vezels gebruikt voor textiel, koorden, touwen, opbergzakken en de Egyptenaren gebruikten het voor het maken van boten. Tegenwoordig worden deze vezels samen met andere materialen toegepast in composieten en gebruikt in de auto-industrie, de bouw, en in verpakkingen, meubels, textiel, matten, papierpulp, enz.

³ https://en.wikipedia.org/wiki/Kenaf#/media/File:Hibiscus_cannabinus0.jpg

Hennep (Cannabis sativa)



Figuur 4: Hennep⁴

Hennep is één van de plantensoorten die voornamelijk in Europa en Azië worden gekweekt. De hennepplant groeit tot 1,2-4,5 m en heeft een diameter van 2 cm. De binnenste singel is omgeven door een kern en de buitenste laag is de bastvezel die door een lijmachtige substantie (pectine) aan de binnenste laag is bevestigd. Deze vezels worden gebruikt voor touwen, textiel, tuinmulch, bouw materiaal en strooisel voor dieren. In recente ontwikkelingen wordt het gebruikt om verschillende composieten te vervaardigen. De hennepplanten worden geoogst en de houtachtige kern van bastvezels wordt gescheiden door een opeenvolging van mechanische processen. De houtige kern wordt gereinigd en soms op de gewenste maat gesneden, terwijl de gescheiden bastvezels verder worden verwerkt tot garen of bundels.

Jute (Corchorus capsularis)



Figuur 5: Jute⁵

⁴ https://en.wikipedia.org/wiki/Cannabis_sativa#/media/File:Cannabis_sativa_2.jpg

⁵ [https://en.wikipedia.org/wiki/Jute#/media/File:Jute_Field_Bangladesh_\(7749587518\).jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Jute#/media/File:Jute_Field_Bangladesh_(7749587518).jpg)

Jute is een belangrijke natuurlijke vezel die wordt verbouwd in delen van Azië, waaronder India, Bangladesh, China en Myanmar. De juteplant groeit tot 15-20 cm in 4 maanden en de vezels worden geëxtraheerd na de oogst, wat ongeveer 4 maanden na de teelt is. Het rotingsproces gebeurt ofwel met behulp van chemicaliën ($N_2H_8C_2O_4$, Na_2SO_3 , enz.) of biologisch. Bij biologisch roten worden de geogste stengels in bundels gerangschikt en ongeveer 20 dagen in water geweekt. Dit verwijdert de pectine tussen de bast en de houten kern, wat helpt bij het scheiden van de vezels. Daarna worden de vezels gedroogd.

Vlas (*Linum usitatissimum*)



Figuur 6: vlas⁶

Vlasvezels zijn afkomstig uit de stengels van de plant en zijn één van de eerste vezels die uit planten werden geëxtraheerd voor het maken van textiel. De klimatologische omstandigheden in Nederland, België en Frankrijk zijn zeer geschikt voor het telen van vlas en deze landen zijn daarom ook hoofdproducenten van vlas. In deze gebieden wordt het vlas gezaaid in maart en al geogst in juli.

Via een root- en zwingelproces worden de vezels geëxtraheerd en die vezels worden gebruikt voor het maken bedlinnen, kledij, meubelstoffen en als versterking voor kunststoffen. Ook de bijproducten van de plant namelijk klodden, lijnzaad en vlasleem, kunnen gebruikt worden waardoor vlas een zeer duurzaam gewas is. Het zaad wordt gebruikt om opnieuw te zaaien, voor het maken van lijnzaadolie of verder te verwerken in de voedingsindustrie. Klodden vinden toepassingen in de textielindustrie en vlasleem kan worden gebruikt als bodembedekker, strooisel voor dieren en in de biomassa.

⁶ <http://www.gotos3.eu/nl/nieuws/utilisation-des-fibres-naturelles-lin-et-chanvre-pour-preparer-des-materiaux-plus-respectueux-de-lenvironnement>

Ramie (Boehmeria nivea)



Figuur 7: Ramie⁷

Ramie is één van de kruidachtige vaste planten die op grote schaal worden gekweekt in China, Japan en Maleisië, waar het al meer dan een eeuw wordt gebruikt als textielstof. Ramie is een niet-vertakkende, snelgroeiende plant die tot 1-2 m hoog wordt. De vezels die uit de stengel worden gehaald, zijn de sterkste en langste van de natuurlijke bastvezels. Ze worden gebruikt om truien te maken in combinatie met katoen, evenals in stoffering, gasmantels, visnetten en scheepsverpakkingen, enz. Daarnaast worden met deze vezels biogebaseerde producten ontwikkeld voor de auto-industrie, meubels, constructie, etc. De ramie-vezels worden op grote schaal gebruikt voor de productie van een breed scala aan textiel, pulp en papier, landbouwchemicaliën, composieten, enz. De verwerking van de ramievezels is vergelijkbaar met linnen uit vlas.

Sisal (Agave sisalana)



Figuur 8: Sisal⁸

⁷ https://en.wikipedia.org/wiki/Ramie#/media/File:Boehmeria_nivea_1.jpg

⁸ <https://en.wikipedia.org/wiki/Sisal#/media/File:Plantsisal.jpg>

Sisal is een van de meest gebruikte natuurlijke vezels en Brazilië is één van de grootste producenten van deze vezel. Het is een soort is inheems in Zuid-Mexico en bestaat uit een rozet van bladeren die tot 1,5-2 m hoog kan worden. De sisalplant produceert ongeveer 200-250 commercieel bruikbare bladeren in de levensduur van 6-7 jaar. De sisalvezels hebben goede mechanische eigenschappen en worden gebruikt in de auto-industrie, scheepvaart (voor het aanmeren van kleine vaartuigen en het behandelen van vracht), civiele constructies, als vezelkern in de staaldraadkabels van liften, landbouwtouw of balenperstouw, enz.

Kokosvezel (Cocos nucifera)



Figuur 9: Kokosvezel⁹

De kokosvezel wordt verkregen uit de schil van de kokosvrucht. Van de verschillende natuurlijke vezels is kokosvezel de dikste. Kokospalmen worden voornamelijk gekweekt in tropische gebieden. Het grootste deel van de commercieel geproduceerde kokosvezel komt uit India, Sri Lanka, Indonesië, de Filipijnen en Maleisië. Kokosvezel is een lichte en sterke vezel die wetenschappelijk en commercieel belang heeft gekregen vanwege hun specifieke kenmerken en beschikbaarheid. Vergeleken met andere typische natuurlijke vezels, heeft kokosvezel een hogere lignine en een lager gehalte aan cellulose en hemicellulose. Samen met zijn hoge microfibrillaire hoek, biedt het verschillende waardevolle eigenschappen, zoals veerkracht, sterkte en demping, slijtage, weerstand tegen weersinvloeden en hoge rek bij breuk. De kokosvezel wordt gebruikt voor het maken van touwen, matten, matrassen, borstels, in de stofferingsindustrie, landbouw, bouw, enz.

⁹ https://en.wikipedia.org/wiki/Coir#/media/File:Coir_segregation.jpg

Bamboe (Bambusoideae)



Figuur 10: bamboe¹⁰

Bamboevezel is ook bekend als natuurlijke glasvezel vanwege de oriëntatie van vezels in de lengterichtingen. De bamboe is een van de meest voorkomende bomen in dichte bossen, vooral in China. Er bestaan ongeveer 40 families en 400 soorten. Bamboevezel wordt gebruikt als versterking in polymere materialen vanwege het lichte gewicht, de lage kosten, de hoge sterkte en stijfheid. Bamboe wordt van oudsher gebruikt voor het maken van huizen, bruggen, traditionele boten, enz. De vezels die uit bamboe worden gewonnen, worden in verschillende industrieën gebruikt als versterking voor geavanceerde composieten.

Basaltvezel



Figuur 11: basaltgesteente en basaltvezel¹¹

Basalt is een vulkanisch gesteente gevormd uit gesmolten lava. Basalt continue vezels worden verkregen in een één-stapsproces door basaltgesteente te smelten en vervolgens te extruderen. Het heeft mechanische prestaties die vergelijkbaar zijn met S-2-glasvezels tegen een prijs tussen S-2-glas en E-glas. Bij blootstelling aan vlammen zal basalt niet verbranden. De hittebestendigheid van basaltvezels is veel hoger dan die van glasvezels, waardoor het een zeer interessant brandwerend materiaal is. Door toevoegen van specifieke natuurlijke mineralen kunnen ook sterktes bekomen worden die vergelijkbaar zijn met de sterkte van carbonvezels.

¹⁰ https://en.wikipedia.org/wiki/Bamboo#/media/File:Bamboo_Forest,_Arashiyama,_Kyoto,_Japan.jpg

¹¹ <https://www.basaltex.com/>

Eigenschappen natuurlijke vezels

Vezeleigenschappen die belangrijk zijn in composiettoepassingen zijn hun stijfheid, sterkte en rek, waarbij vooral een hoge stijfheid en sterkte gewenst zijn om hoogwaardige composietmaterialen te kunnen produceren. Tabel 1 geeft een overzicht van de mechanische eigenschappen van verschillende natuurlijke vezels en glasvezels.

Tabel 1: eigenschappen van natuurlijke vezels vergeleken met glasvezels^{12,13,14}

| Fiber | Density (g/cm ³) | Failure strain (%) | Tensile strength (MPa) | Young's modulus (GPa) | Specific Young's modulus (GPa/g cm ³) | moisture absorption (%) |
|----------------------|------------------------------|--------------------|------------------------|-----------------------|---|-------------------------|
| Ramie | 1,5 | 2 | 500 | 44 | 29 | 12-17 |
| Flax | 1,4 | 1,2-1,06 | 800-1500 | 60-80 | 43-57 | 7 |
| Hemp | 1,48 | 1,6 | 550-900 | 70 | 47 | 8 |
| Jute | 1,46 | 1,8 | 400-800 | 10-30 | 7-21 | 12 |
| Sisal | 1,33 | 2-3 | 600-700 | 38 | 29 | 11 |
| Cotton | 1,51 | 3-10 | 400 | 12 | 8 | 8-25 |
| Coir | 1,25 | 15-25 | 220 | 6 | 5 | 10 |
| Basalt | 2,67 | 3,15 | 2900-3100 | 85-89 | 32-33 | / |
| Filava mineral fiber | 2,61 | 2,4 | 3400-3700 | 88-94 | 33-36 | / |
| E-glass | 2,55 | 2,5 | 2400 | 70 | 29 | / |

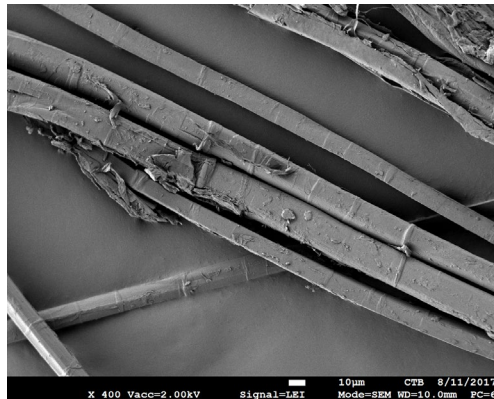
Uit de tabel blijkt dat de hoogste sterkte en stijfheid voor de op cellulose gebaseerde vezels bekomen worden voor vlas en hennep. In vergelijking met de E-glasvezel, de meest gebruikte vezel in composieten, kan worden vastgesteld dat glasvezels in absolute waarden een nog hogere modulus hebben, maar wanneer naar de specifieke modulus wordt gekeken zijn de waarden van de vezels zelfs hoger dan die van glasvezels. Ook basaltvezels scoren beter dan E-glas vezels. Op basis van deze waarden kunnen we stellen dat natuurlijk vezels een goed alternatief zijn om glasvezels te vervangen in composiettoepassingen. Anderzijds zijn die alternatieven duurder of minder beschikbaar dan glasvezel waardoor nog altijd meestal gekozen wordt voor glasvezel.

We kunnen ook nog opmerken dat de variatie in eigenschappen groter is bij de plantaardige vezels. Omdat het om een natuurlijke vezel gaat is het moeilijk om altijd dezelfde eigenschappen te verkrijgen. Op de SEM-opname van vlasvezels (figuur 12) is duidelijk te zien dat de vezels verschillen in diameter, knikbanden hebben en sommige vezels zelfs beschadigd zijn.

¹² <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0266353803000964>

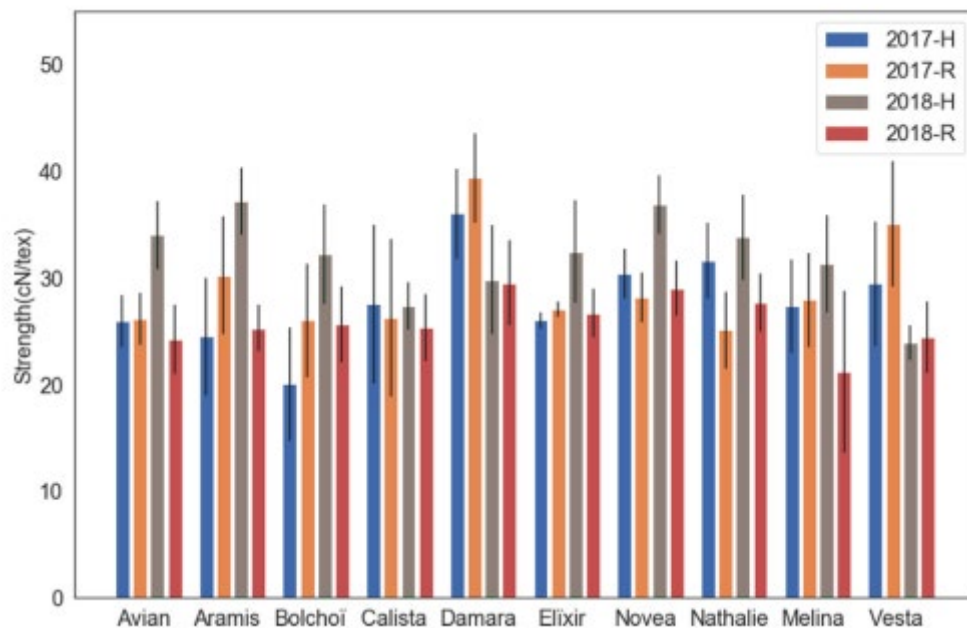
¹³ <https://www.basaltex.com/>

¹⁴ <https://www.isomatex.com/>



Figuur 12: SEM beeld van vlasvezels

De gebruikte vlasvariëteiten en groeicondities beïnvloeden ook de mechanische eigenschappen van de vezels. Dit werd onderzocht in het Interreg project Biocompal. De figuur hieronder toont de invloed van de vlasvariëteit en groeicondities (bepaald door jaar van teelt) op de vezelsterkte. Hier is duidelijk te zien dat zowel de variëteit als het jaar een invloed hebben op de sterkte van de vlasvezel. Om dit effect zoveel mogelijk te minimaliseren gebruiken vlastextielabrikanten een combinatie van verschillende vezelvariëteiten en jaartallen om een constante kwaliteit te bekomen. Het kan ook interessant zijn om variëteiten te selecteren die gemiddeld gezien voor hogere sterktes zorgen.



Figuur 13: sterkte van vlasvezels van verschillende variëten bij verschillende groeiomstandigheden (jaartal en groeiplaats: Houtem of Rutten)¹⁵

Andere verklaringen voor de variatie in mechanische eigenschappen zijn: de vezels werden beschadigd tijdens de verwerking; er werden verschillende karakteriseringsmethoden gebruikt zoals het testen van enkele vezels in plaats van vezelbundels of er werden verschillende testomstandigheden toegepast

¹⁵ <https://www.centexbel.be/sites/default/files/node/publication/varietal-selection-flax-fibers.pdf>

zoals verschil in snelheid, inspanlengte, vochtgehalte of temperatuur. Ondanks die grotere variatie in sterkte en stijfheid blijven plantvezels interessante vezels voor composiettoepassingen wegens hun hoge specifieke stijfheid, goede sterkte en hernieuwbaarheid.

De laatste kolom in tabel 1 geeft de hoeveelheid vocht weer die de vezels absorberen in normale omstandigheden. Omdat plantaardige vezels vocht bevatten, worden ze bij voorkeur gedroogd of behandeld zodat ze geen vocht meer opnemen voordat ze met een hars worden geïmpregneerd. Zodra ze goed ingebed zijn in een hars of wanneer het composiet nog voorzien wordt van een extra coating laag is er in principe geen risico dat de vezels door vocht worden aangetast en kunnen ze dus toegepast worden in surfplanken en zelfs bootonderdelen.

Vezels kunnen direct gebruikt worden voor het maken van composieten. In combinatie met een hars spreekt men dan van Bulk Moulding Compound (BMC) of Sheet Moulding Compound (SMC) composietmaterialen. BMC is een mengsel van korte vezels, harspasta en vulstoffen. Dit resulteert in een deeg in de vorm van een dik touw. De vezellengte is normaal in het gebied van 6-12 mm. Composieten worden dan verkregen door het deeg in een mal te plaatsen, te persen en uit te harden.

SMC is een speciale vorm van een prepreg waarbij een mengsel van vezels, hars en vulstoffen wordt gemaakt als een laag tussen 2 plasticfolies. Figuur 14 toont een voorbeeld van een hennep SMC compound.



Figuur 14: hennep sheet moulding compound¹⁶

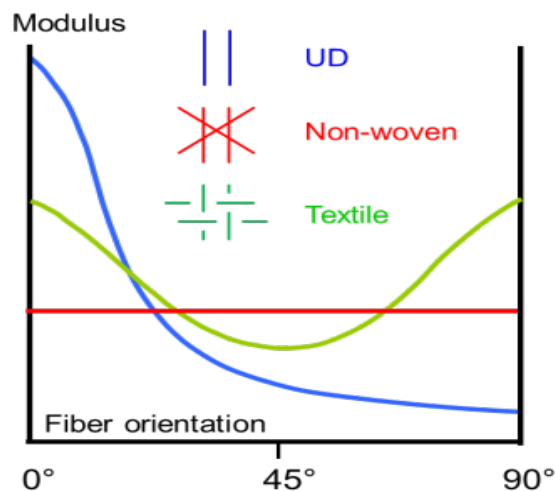
De SMC compound wordt dan een paar dagen verouderd voordat het in een pers wordt uitgedrukt tot composietmateriaal. De vezellengte is meestal langer en het vezelgehalte is meestal hoger dan bij BMC waardoor de mechanische eigenschappen ook beter zijn voor SMC composieten. Toepassingen zijn vb behuizing van elektronica en auto-onderdelen (e.g. bumpers, deksels).

16

https://www.researchgate.net/publication/268429878_Development_of_natural_HEMP_fibre_sheet_mould_composites_NF-SMC

Vezelversterkingen

Net zoals synthetische textielversterkingen kunnen natuurlijke vezels in verschillende textielvormen gemaakt worden. De vorm beïnvloedt de mechanische eigenschappen van het composiet. Figuur 15 toont de invloed van het type textielversterking op de mechanische eigenschappen.



Figuur 15: invloed van de vezeloriëntatie op de stijfheid van een composietmateriaal¹⁷

UD staat voor uni-directioneel en betekent dat de vezels in dezelfde richting liggen. De stijfheid van het composiet is maximaal in de vezelrichting (0°). De vezels bieden nauwelijks versterking in de richting loodrecht op de vezelrichting en de stijfheid wordt hoofdzakelijk bepaald door de modulus van de matrix. Bij een homogeen **non-woven** waarbij de vezels in alle richtingen liggen en de vezeldensiteit overal gelijk is, is de stijfheid van het composietmateriaal overal gelijk (isotroop), maar natuurlijk wel lager dan de maximale stijfheid die wordt bereikt met vezels in één bepaalde richting. Met '**textile**' worden weefsels bedoeld. Bij weefsels heb je zowel vezels in de kettingrichting (0°) als in de inslagrichting (90°). In die 2 richtingen wordt het composiet het meest versterkt. In de diagonaalrichting (45°) lopen er geen vezels en is de stijfheid van het materiaal minder hoog. Deze verschillen in stijfheid worden anisotropie genoemd en is eigen aan vezelversterkte kunststoffen. Anderzijds geeft dit extra mogelijkheden aan composietdesigners aangezien er kan gespeeld worden met de vezeloriëntatie. Zo kan men in de richting waar de belasting het grootst is, meer vezels in die richting plaatsen en quasi geen waar er geen belasting wordt uitgeoefend op het composietmateriaal. Het optimaliseren van de vezeloriëntatie zorgt ervoor dat een zo licht mogelijk materiaal kan bekomen worden met nog steeds uitstekende mechanische eigenschappen.

Daarnaast heeft de vorm ook invloed op de verwerking tot composietmateriaal. Zo kunnen bepaalde type vezelversterkingen beter geïmpregneerd worden met een hars of zijn ze makkelijker drapeerbaar dan andere vezelversterkingen. De verschillende versterkingen die kunnen worden gebruikt in combinatie met thermohardende harsen worden hieronder besproken

¹⁷ Figuur genomen uit de projectaanvraag van het Cornetproject Suscomtrab

Nonwovens

Nonwovens zijn een web of mat van vezels in willekeurige richting waarbij de vezels mechanisch of chemisch met elkaar verbonden zijn. Een voorbeeld wordt getoond in figuur 16.



Figuur 16: jute non-woven

Omdat ze rechtstreeks vanuit de vezelvorm worden gemaakt, zijn ze goedkoper dan andere textielmaterialen. Anderzijds is de versterkingsbijdrage minder groot t.o.v. andere textielmaterialen. Nonwovens hebben goede isolatie-eigenschappen en zijn schokdempend. In combinatie met thermohardende polymeren kunnen composieten gemaakt worden via hand lay-up, infusie, injectie en persen. Toepassingsgebieden zijn o.a. de auto-industrie (zie figuur 17), elektronica, luchtvaart, sport, consumentengoederen, gebouwen, treinsector, scheepvaart en windenergie.



Figuur 17: non-woven composiet als deurpaneel.¹⁸

Weefsels

Weefsels worden gemaakt door garens die in één richting lopen (kettingrichting of 0° richting) en garens die de kettinggarens haaks kruisen (inslagrichting of 90° richting). Het weefseltype wordt bepaald door hoe die garens elkaar overlappen. Weefsels hebben het voordeel dat ze niet zo snel uitrafelen en makkelijk te draperen zijn. Weefsels geven versterking in de 0° en 90° richting. Indien er

¹⁸ <https://eco-technilin.com/fr/page/10-automobile>

ook versterking nodig is in de 45°C worden tijdens de laminaatopbouw enkele weefsellagen 45° gedraaid.

De meest gebruikte weefselbindingen in composiettoepassingen zijn:

- **Effenbinding:** dit is de meest typische vorm van een geweven stof, waarbij iedere inslagdraad afwisselend over en onder een kettingdraad loopt. Dit levert een dambordpatroon op. De effenbinding heeft als voordeel dat de ketting- en inslaggarens sterk met elkaar verweven zijn en uitrafeling tijdens verwerken beperkt blijft. Anderzijds zorgt dit ook voor een golvend patroon (krimp), vooral wanneer er met grovere garens of rovings wordt gewerkt wat de mechanische eigenschappen vermindert aangezien de vezels niet mooi in het vlak liggen. Daarom wordt ook veelal met een variant van de effenbinding gewerkt namelijk de **basket binding**. Hierbij wordt een zelfde patroon gevormd maar worden groepen ketting- en inslagdraden gebruikt. Een voorbeeld wordt getoond in figuur 18.



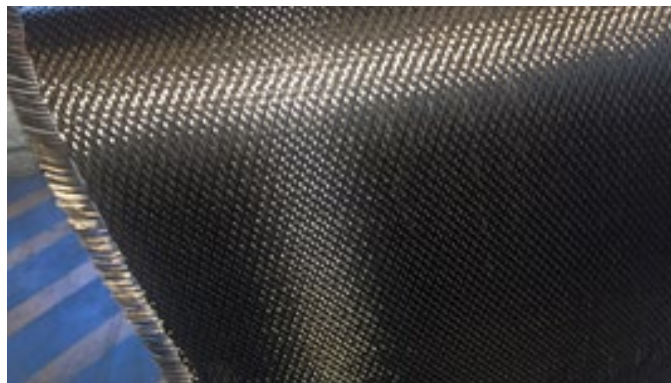
Figuur 18: vlasweefsel basket

- **Keperbinding:** typisch voor keperbinding is de schuine lijn die zichtbaar is in het weefsel. Eén of meer kettingvezels weven afwisselend over en onder twee of meer inslagvezels op een regelmatige herhaalde manier. Een keperbinding is makkelijker te draperen en beter te impregneren dan een effen binding met slechts een kleine vermindering van de stabiliteit. Met verminderde krimp heeft de stof ook een gladder oppervlak en iets hogere mechanische eigenschappen. Figuur 18 toont een vlaskeperweefsel.



Figuur 19: vlasweefsel keper

- **Satijn:** satijnweefsels zijn fundamenteel keperweefsels die zijn aangepast om minder kruisingen van ketting en inslag te produceren. Het 'harnas'-nummer dat in de aanduiding wordt gebruikt (meestal 4, 5 en 8) is het totale aantal vezels dat is gekruist en onderdoor is gegaan, voordat de vezel het patroon herhaalt. Satijnweefsels zijn zeer vlak, hebben een goede uitvloeiing en een hoge mate van drapering. De lage krimp geeft goede mechanische eigenschappen. Met satijnbindingen kunnen vezels zo dicht mogelijk bij elkaar worden geweven. Er moet echter rekening worden gehouden met de lage stabiliteit en asymmetrie van de stijl. De asymmetrie zorgt ervoor dat één zijde van het weefsel vezels heeft die voornamelijk in de kettingrichting lopen, terwijl de andere zijde vezels heeft die voornamelijk in de inslagrichting lopen. Bij het samenstellen van meerdere lagen van satijnweefsels moet er dus op gelet worden dat het asymmetrische effect niet zorgt voor te hoge spanningen in het composietmateriaal.



Figuur 20: basaltweefsel in satijn -of atlasbinding

Daarnaast is het in composiettoepassingen ook belangrijk dat er gewerkt wordt met “low twist” garens om weefsels te maken aangezien de torsie van de vezels zorgt voor lagere mechanische eigenschappen. Weefsel lenen zich perfect om te combineren met thermohardende harsen via hand lay-up, vacuüminfusie, RTM, prepreg, persen en autoclaaf.

Weefseltextielversterkingen kunnen in veel toepassingen gebruikt worden. Figuur 21 toont een motorkap in vlascomposiet die gebruikt maakt van een keperweefsel.



Figuur 21: motorkap in vlascomposiet¹⁹

UD versterkingen & UD textiel

Bij UD versterkingen (uni-directioneel) zijn de meeste vezels in dezelfde richting georiënteerd. Het voordeel van UD-versterkingen is dat ze recht zijn en geen krimp vertonen, wat resulteert in de hoogste mechanische eigenschappen. De sterkte wordt echter alleen geleverd in vezelrichting, waardoor ze enkel geschikt zijn wanneer spanning en belastingen op het composiet in de vezelrichting worden uitgeoefend, tenzij er een complexere lay-up wordt gebouwd (bijv. laminaat van 5 lagen waarvan de vezels van één laag afwisselend georiënteerd worden op -90° , -45° , 0 , 45° en 90°). UD-stoffen zijn ook vrij moeilijk te hanteren en te draperen.



Figuur 22: UD vlaspape

Om ze beter handelbaar te maken wordt soms ook UD textiel gemaakt. Hier lopen de meeste vezels slechts in één richting. Een kleine hoeveelheid vezels of ander materiaal kan in andere richtingen lopen met als hoofddoel de primaire vezels op hun plaats te houden, hoewel de andere vezels ook enige

¹⁹ <https://www.bcomp.ch/news/composites-evolution-launches-new-evopreg-amplitex-range/>

structurele eigenschappen kunnen bieden. Sommige wevers van 0/90°-weefsels noemen een weefsel met slechts 75% van zijn gewicht in één richting als UD, terwijl voor anderen de uni-directionele aanduiding alleen van toepassing is op die weefsels met meer dan 90% van het vezelgewicht in één richting. Uni-directionele vezels hebben meestal hun primaire vezels in de 0°-richting (ketting UD), maar kunnen ze ook op 90° ten opzichte van de rollengte hebben (een inslag UD).



Figuur 23: UD textiel

Ze lenen zich tot volgende composietprocessen: infusie, RTM, persen, autoclaaf en zijn vooral interessant voor toepassingen waarin de belasting uit één bepaalde richting komt. Meestal worden ze voorzien van een weefsel als toplaag om ze beter te beschermen tegen impact en voor een mooier esthetisch aspect.

Multi-axiaal/Non-crimp

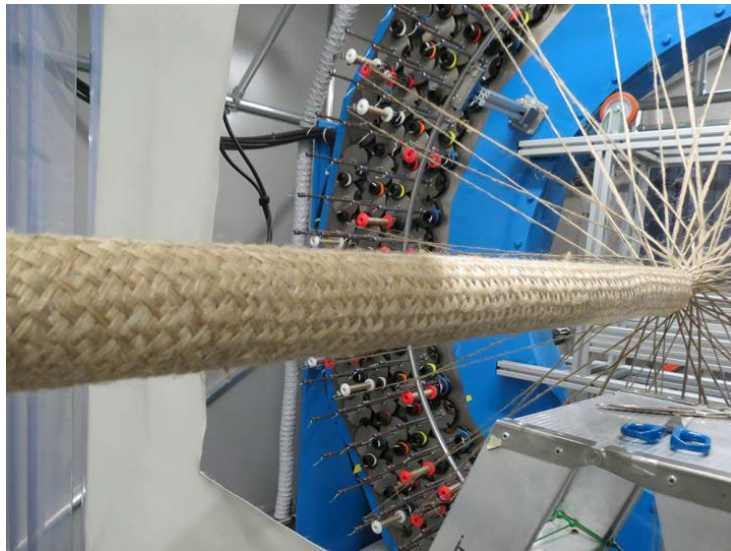
Multi-axiale of non-crimptextielen bestaan uit meerdere lagen lange vezels die op hun plaats worden gehouden door een secundair niet-structureel stiksel. Dankzij het stikproces kunnen verschillende vezelrichtingen, naast de eenvoudige 0/90° van geweven stoffen, in één stof worden gecombineerd. Multi-axiale weefsels hebben als voordeel dat ze betere mechanische eigenschappen hebben dan weefsels, vooral door het feit dat de vezels altijd recht en niet gegolfd zijn, en dat er meer oriëntaties van vezels beschikbaar zijn door het toegenomen aantal lagen vezels. Daarnaast bouwen ze sneller een composiet laminaat op door het feit dat composieten dikker kunnen worden gemaakt en met meerdere vezeloriëntaties, zodat er minder lagen in de laminaatreeks hoeven opgenomen te worden. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat het stikgaren een rol kan spelen bij de harsverdeling en kan zorgen voor harsrijke gebieden rond het stikgaren. Figuur 24 toont een multi-axiaal basalttextiel. Multi-axiale versterkingen zijn net zoals UD versterkingen geschikt voor RTM, infusie, persen en autoclaaf.



Figuur 24: multi-axiaal basalttextiel²⁰

Vlechtwerk

Bij vlechten worden drie of meer garens met elkaar verbonden, waardoor een naadloze textielvorm over een spil wordt gevormd. Deze technologie is geschikt om buisvormige en complexere vormen te produceren. Gevlochten composieten vertonen ook een hoge weerstand tegen delaminatie. Gevlochten textielversterkingen zijn geschikt voor infusie en RTM.



Figuur 25: gevlochten vlasversterking.

²⁰ <https://www.basaltex.com/products/multi-axial-fabrics>

Leveranciers van natuurlijk vezels en vezelversterkingen

Tabel 2 geeft een overzicht van bedrijven die natuurlijke vezels in vezelvorm of textielvorm aanbieden die kunnen gebruikt worden voor composiettoepassingen. De lijst is zeker niet volledig, maar focust op bedrijven die in België of in de nabijheid gevestigd zijn. Indien gewenst en relevant kunnen we aan die lijst extra bedrijven toevoegen. U kan de gegevens via e-mail bezorgen aan frg@centexbel.be

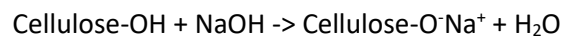
Tabel 2: lijst van leveranciers van natuurlijke vezels en vezelversterkingen

| Bedrijf | Natuurlijke vezels | Textielvorm | Website |
|--------------------------------|---|---|---|
| Basaltex | basalt | vezels, garens, weefsels, nonwovens, UD, multi-axiaal | https://www.basaltex.com/ |
| Bcomp | vlas | weefsels, UD, vlechtwerk | http://www.bcomp.ch |
| Cobratex | bamboe | Weefsels, UD, multi-axiaal, lint | https://www.cobratex.com/ |
| Dehondt Composites | vlas | vezels, garens, weefsels, nonwovens, UD, multi-axiaal | http://www.dehondtcomposites.com/en/group/ |
| Derotex | Jute, vlas, sisal, hennep, kenaf | vezels | https://www.derotex.be |
| Ecotechnilin | vlas | nonwoven, UD, weefsels | https://ecotechnilin.com |
| Fibres Recherche Développement | vlas, hennep, jute, sisal, kokos, kenaf, miscanthus | vezels, garens, weefsels, nonwovens, UD, multi-axiaal | https://www.f-r-d.fr |
| Flaxco | vlas | nonwoven, weefsels | https://flaxco.be |
| Groupe Depestele | vlas | vezels, garens, weefsels, UD | https://www.groupedepestele.com/ |
| Isomatex | Basalt + minerale toevingen | vezels, garens, weefsels, nonwovens, UD, multi-axiaal | https://www.isomatex.com/ |
| Procotex | vlas, hennep, kenaf, jute, sisal | vezels | https://en.procotex.com/ |
| Safilin | vlas | low twist garens en rovings | www.safilin.fr |
| TERRE DE LIN | vlas | bi-axiaal, UD | https://www.terredelin.com/ |

Vezelmodificatie

De beste compositie-eigenschappen worden verkregen dankzij een sterke interactie tussen vezel en matrix. Een slechte hechting tussen de vezel en de matrix leidt tot een snel falen van het compositiet omdat de belasting niet efficiënt tussen de vezels verdeeld kan worden. Natuurlijke vezels zijn hydrofiel door de aanwezigheid van hydroxylgroepen uit cellulose en lignine. De matrix is daarentegen meestal hydrofoob zodat hechting erg moeilijk is. Om deze mismatch te verhelpen, kan het oppervlak van natuurlijke vezels worden gewijzigd door een chemische behandeling die de compatibiliteit met het hars te vergroten.

Mogelijke behandelingen zijn alkalibehandeling, isocyanaatbehandeling, peroxidebehandeling, acetylering en behandeling met koppelingsagentia. Alkalibehandeling verwijdert vezelbestanddelen zoals lignine, was, oliën en hemicellulose en wijzigt het cellulose-oppervlak via de volgende reactie:

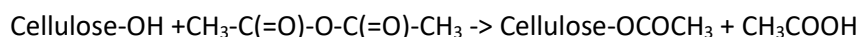


Het effect op de vezel is een verhoogde ruwheid wat resulteert in een toename van de hoeveelheid cellulose aan het vezeloppervlak waardoor er meer reactieplaatsen beschikbaar zijn. Een toename van 30% in treksterkte is mogelijk voor met alkali behandelde vlas/epoxycomposieten. Een concentratie van 5% natriumhydroxide (NaOH) resulteert in betere sterktes dan wanneer de vezels worden behandeld met een 10% oplossing. Een grotere hoeveelheid NaOH lijkt de vezel te beschadigen.

Isocyanaten kunnen reageren met de hydroxylgroepen van de natuurlijke vezel om een urethaanbinding te vormen. Deze sterke covalente bindingen kunnen de compatibiliteit tussen vezel en matrix verbeteren.

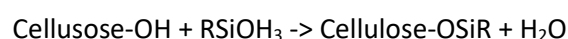
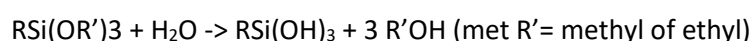
Peroxiden vormen snel radicalen die kunnen reageren met de waterstofatomen van de hydroxylgroepen van de cellulosevezels. Voorbeelden van gebruikte peroxiden zijn benzoylperoxide en dicumylperoxide.

Acetylering is een verestering van de cellulosevezels volgens deze reactie:



Hierbij worden hydrofiele OH groepen vervangen door acetylgroepen zodat de vezel hydrofober is en dit verbetert de dimensionele stabiliteit van de compositiet.

Koppelingsagentia worden vaak gebruikt om de compatibiliteit tussen natuurlijke vezels en organische matrices te verbeteren. Silanen worden in de glasvezelindustrie gebruikt om de hechting met organische matrices te verbeteren. Silaan vormt in water silanolgroepen die kunnen reageren met de OH-groepen van de glasvezels. De organische functionele groep kan interageren met de matrix. Omdat natuurlijke vezels OH-groepen bevatten, kan hetzelfde proces worden toegepast:

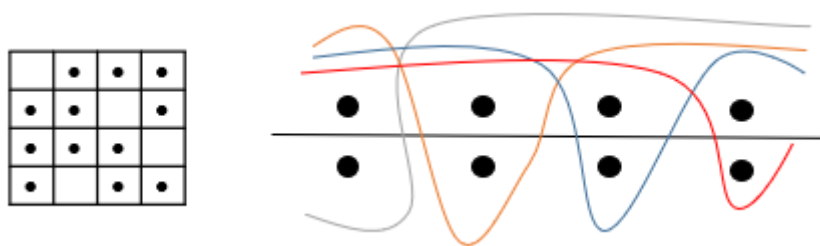


De R groep staat voor verschillende functionele groepen en afhankelijk van de functionaliteit kan het interageren met verschillende matrices (zie tabel 3).

Tabel 3: soorten silanen en hun compatibiliteit met polymeren²¹

| Resin | thermoplastic | | | | | | | | | | thermoset | | | | | |
|-------------------------|---------------|----|----|---------|-----|----|----|----|-----|-----|-----------|-------|----|-----------|-----------------------|-------|
| | PE | PP | PS | Acrylic | PVC | PC | PA | PU | PET | ABS | Phenolic | Epoxy | PU | Polyimide | unsaturated polyester | furan |
| Functional group silane | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vinyl | ++ | ++ | | | | | | | | | | | | | + | |
| Epoxy | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + | + |
| Styryl | | | + | + | | | | | | | | | | | | |
| Methacryloxy | ++ | ++ | ++ | + | | + | | + | | ++ | | | | | ++ | |
| Acryloxy | + | + | + | + | | + | | + | | ++ | | | | | ++ | |
| Amino | + | + | ++ | ++ | ++ | + | ++ | + | + | + | ++ | ++ | + | + | | ++ |
| Ureide | | | | | | | ++ | | | | + | | + | + | | |
| Mercapto | + | + | + | | + | | | + | | + | + | + | + | | | |
| Isocyanate | | | | | | + | + | ++ | + | + | + | + | ++ | + | | + |

In het Interreg project Biocompal ontwikkelde Centexbel een nieuwe textielversterking op basis van de Damara-variëteit aangezien die vezelvariëteit gemiddeld gezien de beste mechanische eigenschappen vertoonde in datzelfde project (zie figuur 13). De versterking was een 3D interlock satijnweefsel (zie figuur 26).



Figuur 26: voorstelling van 3D interlock satijnweefsel

Dit weefsel werd behandeld met een aminosilaan en vervolgens werd een composiet gemaakt door verschillende weefsels te impregneren met een bio-epoxy. Vervolgens werden buigtesten en dynamische mechanische testen (DMA) uitgevoerd zowel in de 0° richting als in de 90° richting. De resultaten worden getoond in tabel 4.

²¹ <http://www.shinetsusilicone-global.com>

Tabel 4: DMA en buigresultaten in de 0° en 90° richting van composieten waarvan silaan

| Sample | Flex modulus (GPa) | Flex strength (MPa) | Storage modulus (GPa) |
|--------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|
| 0° direction | 5,8 | 101 | 5,1 |
| 90° direction | 8,5 | 135 | 8,1 |
| silane treated 0° | 6,5 | 115 | 6,2 |
| silane treated 90° | 9,5 | 152 | 10 |

Uit de tabel blijkt dat het composiet anistroop is aangezien de waarden in de 90° richting hoger liggen dan in de 0°. Dus alhoewel het een weefsel is wordt de meeste versterking verkregen in de 90° richting doordat de vezeldensiteit in die richting hoger is. Daarnaast zien we ook een positief effect van de silaanbehandeling daar voor zowel de stijfheid (flex en storage modulus) als sterkte hogere waarden worden bekomen.

Conclusie

Er zijn verschillende natuurlijke vezels beschikbaar die kunnen gebruikt worden in composiettoepassingen. Hierbij springen vlas en hennep in het oog omdat ze goede mechanische eigenschappen hebben en goed gedijen in West-Europa. Deze twee en dan vooral de vlasvezel worden dan ook het meest gebruikt door lokale bedrijven als vezelversterking in bio-composieten. Naast plantaardige vezels, heeft de basaltvezel ook interessante eigenschappen voor composiettoepassingen en springt naast de mechanische eigenschappen ook de uitstekende thermische eigenschappen van deze vezel in het oog. Ook met natuurlijke vezels kunnen er verschillende soorten textielversterkingen worden gemaakt en de keuze hangt af van de toepassing, composietproductiemethode en natuurlijk ook de prijs.

Vezelmodificatie om de adhesie met de composietmatrix te verhogen kan op verschillende manieren, maar het is belangrijk dat de vezelbehandeling wordt afgestemd op de matrix om tot de optimale mechanische eigenschappen te komen.

Bronnen

https://www.researchgate.net/publication/331648994_Reviewing_the_Development_of_Natural_Fiber_Polymer_Composite_A_Case_Study_of_Sisal_and_Jute

<https://www.inholland.nl/media/17934/k-tazelaar--biocomposieten-ontwerpen-met-vezels-en-bio-polymeren.pdf>

https://www.researchgate.net/publication/241868239_Biocomposieten_2012_natuurlijke_vezels_en_bioharsen_in_technische_toepassingen

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmats.2019.00226/full>

http://www.dekrachtvanvlas.nl/sites/default/files/brochure_krachtvanvlas.pdf

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836813004228>

<https://www.landbouwleven.be/5022/article/2019-04-06/vlas-eeen-teelt-met-mogelijkheden>

<http://article.sapub.org/pdf/10.5923.j.textile.20120104.02.pdf>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128184936000105>

<https://www.centexbel.be/sites/default/files/node/publication/varietal-selection-flax-fibers.pdf>

<https://www.centexbel.be/en/projects/biocompal>

<https://netcomposites.com/guide/reinforcements/woven-fabrics/>

<https://www.intechopen.com/chapters/55424>

[https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/bulk-moulding-compound#:~:text=Compression%20molding%20in%20polymer%20matrix%20composites&text=Bulk%20molding%20compound%20\(BMC\)%20is,BMC%20is%20E%2Dglass%20fiber.](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/bulk-moulding-compound#:~:text=Compression%20molding%20in%20polymer%20matrix%20composites&text=Bulk%20molding%20compound%20(BMC)%20is,BMC%20is%20E%2Dglass%20fiber.)

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/sheet-moulding-compound>

https://www.researchgate.net/publication/268429878_Development_of_natural_HEMP_fibre_sheet_mould_composites_NF-SMC

<https://www.bcomp.ch/products/amplitex/>

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352340917301208>

<http://news.europeanflax.com/technique/flax-and-hemp-semi-products/>

<https://eco-technilin.com>

<https://www.derotex.be>

<https://www.basaltex.com/>

<https://flaxco.be/>

<https://www.f-r-d.fr>

<https://en.procotex.com/>

<https://www.groupepepestele.com/>

www.safilin.fr

<http://www.dehondtcomposites.com/en/groupe/>

<https://www.terredelin.com/>

<https://www.isomatex.com/>

<https://www.cobratex.com/?lang=en>

Mohanty AK, Misra M, Drzal LT. Surface modifications of natural fibers and performance of the resulting biocomposites: An overview. *Compos Interfaces* 2001;8:313–43.
doi:10.1163/156855401753255422.

<http://www.shinetsusilicone-global.com>