



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

## Leverbaarheid 5.1.1

# Methodiek voor productie van plaatstructuren

Sirris | Wannes Lembrechts - Linde De Vriese  
[wannes.lembrechts@sirris.be](mailto:wannes.lembrechts@sirris.be) - [linde.devriese@sirris.be](mailto:linde.devriese@sirris.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



**sirris** innovation  
forward

## Lijst van figuren

|   |    |
|---|----|
| Figuur 1: Opstelling van het vlas-PLA weefsel tijdens de droogtest .....  | 5  |
| Figuur 2: Het consolidatieproces afgebeeld aan de hand van een temperatuur-tijd grafiek [2].....  | 7  |
| Figuur 3: Voorbeeld van een pers geschikt voor thermocompressie tot 2D-plaatmateriaal   | 7  |
| Figuur 4: Kracht-temperatuur-tijds grafiek voor thermocompressie vlas-PP door Dehondt Composites [3].....   | 8  |
| Figuur 5: Kracht-temperatuur-tijd grafiek voor thermocompressie vlas-PA11 door Dehondt Composites [4] .....   | 9  |
| Figuur 6: Overzicht variatie perstemperatuur en persdruk, de verschillende processtappen en de cyclustijd voor een perstempeartuur van 200°C .....  | 10 |
| Figuur 7: druk-temperatuur-tijd grafiek voor de non-woven hennep-PP testen. ....  | 10 |
| Figuur 8: Resultaten van variatie in perstemperatuur en persdruk voor non-woven hennep-PP .....   | 10 |
| Figuur 9: Vergelijking stijfheid (a) en sterkte (b) van zelfversterkt PLA geperst op 15, 30 en 50 bar (rood: ongedroogd, groen: gedroogd); (c): gedroogd sample, (d): ongedroogd sample [7] ..... | 11 |
| Figuur 10: Voorbeeld van een autoclaaf [10] .....   | 12 |
| Figuur 11: Voorbeeld van een productie-opstelling in een autoclaaf [11].....  | 13 |
| Figuur 12: Aanbevolen uithard cyclus voor vlas-epoxy tijdens autoclaafproductie [8].....  | 13 |
| Figuur 13: Aanbevolen uithard cyclus voor vlas-epoxy tijdens autoclaafproductie voor een optimale oppervlakte-afwerking [8] .....   | 13 |
| Figuur 14: Voorbeeld van een automated tape laying proces [11] .....  | 14 |
| Figuur 15: Verschillende stappen tot de productie van een (bio)composieten product met RTM [13].....  | 15 |
| Figuur 16: Voorbeeld van de harsinjectiefase tijdens het RTM-proces .....   | 15 |
| Figuur 17: Overzicht van de verschillende stappen in het vacuüminfusie proces [13].....   | 16 |
| Figuur 18: Voorbeeld van de injectiefase in een vacuüminfusie proces .....  | 17 |
| Figuur 19: Voorbeeld van de productie van een bootromp met een vacuüminfusie proces   | 17 |
| Figuur 20: Voorbeeld hoe het product opgebouwd wordt tijdens een hand lay-up proces [15] .....  | 18 |
| Figuur 21: Voorbeeld van de productie bij een hand lay-up proces [16].....  | 18 |
| Figuur 22: Voorbeeld van een dubbele bandpers voor de productie van thermoplastische composieten platen [14].....   | 20 |
| Figuur 23: Voorbeeld van een multi-daylight pers voor de productie van thermoplastische composieten platen [18] .....   | 21 |

## Inhoudstafel

|   |    |
|---|----|
| Introductie.....  | 4  |
| 1 Algemene aandachtspunten voor de verwerking van plantvezels .....                                   | 5  |
| 1.1 Voordrogen .....  | 5  |
| 1.2 Maximale procestemperatuur .....  | 6  |
| 2 Consolidatie van thermoplastisch plaatmateriaal .....   | 6  |
| 2.1 Aanbevelingen persparameters van halffabricaat leveranciers: vlas-PP, vlas-PA11<br>vlas-PLA ..... | 8  |
| 2.2 Aanbevelingen persparameters uit eigen onderzoek, hennep-PP .....                                 | 9  |
| 2.3 Aanbevelingen persen zelfversterkt PLA .....  | 11 |
| 3 Autoclaaf .....   | 12 |
| 4 Automated tape laying .....   | 14 |
| 5 RTM .....   | 15 |
| 6 Vacuüminfusie .....   | 16 |
| 7 Hand lay-up .....   | 18 |
| 8 Aanbevelingen voor commerciële productie met dubbele bandpers en multi-daylight<br>pers 19          |    |
| 8.1 Dubbele bandpers .....  | 19 |
| 8.2 Multi-daylight pers .....   | 20 |
| Conclusie .....   | 21 |
| Referenties .....   | 22 |

## Introductie

Bij het ontwerpen van een composieten product is het belangrijk om de mogelijke productieprocessen te kennen, zodat het productdesign rekening kan houden met de produceerbaarheid van een product. De typische productiemethodes van halffabricaat tot product voor conventionele composieten kunnen ook gebruikt worden voor biocomposieten. Bij de verwerking van biocomposieten van een halffabricaat tot product komen hier nog enkele extra aandachtspunten bij.

Dit verslag overloopt de verschillende methodes in de productie van plaatstructuren uit biocomposiet. Indien mogelijk worden hierbij concrete aanbevelingen voor procesparameters opgesteld en worden voorbeelden van PTT-diagramma (pressure/ temperature /time) aangereikt.

Hoofdstuk 1 bespreekt de algemene aandachtspunten voor de verwerking van plantvezels tegenover conventionele vezels.

De verdere hoofdstukken overlopen de mogelijke productieprocessen om tot 2D-plaatstructuren uit biocomposiet. Zo bespreekt Hoofdstuk 2 het thermocompressie -/pers proces, Hoofdstuk 3 de autoclaaf productie, Hoofdstuk 4 productie via automated tape laying, Hoofdstuk 5 het resin transfer moulding (RTM) proces, Hoofdstuk 6 het vacuüminfusie proces en hoofdstuk 7 het hand lay-up proces. Hierbij wordt telkens aangegeven voor welke materiaalsoorten (thermoplastisch biocomposiet, thermohardend biocomposiet, zelfversterkt biocomposiet) deze processen mogelijk zijn.

Hoofdstuk 8 sluit dit verslag af met de aanbevelingen voor een commerciële plaatproductie bij grote volumes met een dubbele band pers of multi-daylight pers.

# 1 Algemene aandachtspunten voor de verwerking van plantvezels

Dit hoofdstuk bespreekt de algemene aandachtspunten voor de verwerking van plantvezels tegenover conventionele vezels: het voordrogen en de limitatie in de maximale verwerkingstemperatuur. Hierbij wordt de nadruk gelegd op 'plantvezels' aangezien mineraalvezels, zoals basalt, deze limitaties niet of minder strikt hebben. Vanwege een hoge smelttemperatuur van basalt wordt de procestemperatuur hierbij eerder gelimiteerd door de degradatietemperatuur van de polymeren matrix.

## 1.1 Voordrogen

Tijdens de verwerking van biocomposieten zijn er enkele aandachtspunten waarmee rekening gehouden moet worden. Plantvezels hebben vaak een hydrofiële aard waardoor deze vocht kunnen absorberen uit de omgeving. Voor een optimale hechting te verkrijgen met de, vaak hydrofobe, matrix is het belangrijk om plantvezels voor te drogen alvorens dit tot geconsolideerd plaatmateriaal te verwerken. Zo zullen de mechanische eigenschappen van het eindproduct beter en consistent zijn.

Vanwege het belang van het drogen van plantvezels voor de verwerking van biocomposieten is binnen het BREPLA-project een droogtest uitgevoerd op vlas-PLA weefsel. Figuur 1 toont de opstelling tijdens de test waarbij gestart werd met 1365 gram vlas-PLA weefsel. Het weefsel werd tijdens de test gedroogd in een oven op 80°C met een uiteindelijke gewichtsafname van -2,2 % tot gevolg.

Na het uitvoeren van de test wordt aangeraden om plantvezels als vuistregel minstens 4 uur op 80 °C te laten drogen alvorens deze te verwerken tot plaatmateriaal.



*Figuur 1: Opstelling van het vlas-PLA weefsel tijdens de droogtest*

## 1.2 Maximale procestemperatuur

Een belangrijk aandachtspunt bij de verwerking van plantvezels is de limitatie in maximale procestemperatuur. Onderzoek toont namelijk aan dat bij het overschrijden van 200°C de pectine, hemicellulose en cellulose structuren in de vezel degraderen waardoor de mechanische eigenschappen afnemen. Hierdoor wordt aangeraden om tijdens de productie van plantvezels (bv. vlas, hennep) te zorgen dat het materiaal maximaal 200°C bereikt. Voor de verwerking van basaltvezels geeft dit geen limitatie. [1]

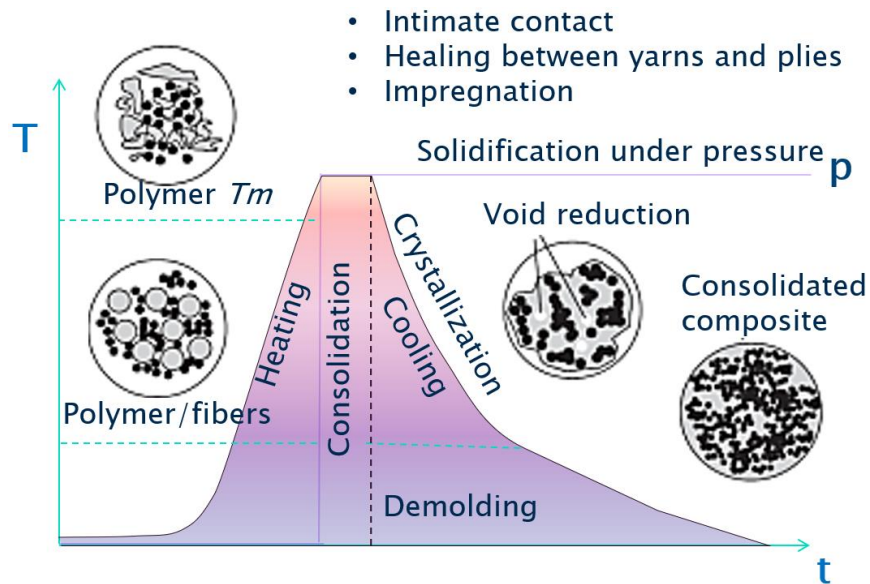
Belangrijk is om bij de productie van een biocomposiet product naast de maximale verwerkingstemperatuur van plantvezels ook rekening te houden met de degradatietemperatuur van de polymeren matrix. Het is belangrijk om het productieproces af te stemmen op de component met de laagste degradatietemperatuur.

## 2 Consolidatie van thermoplastisch plaatmateriaal

Een typisch proces voor de verwerking van droge vezels tot composieten 2D-plaatstructuur is het persproces. Dit is een batchproces dat geschikt is om vezelversterkte en zelfversterkte thermoplasten te verwerken met zowel een UD, gewoven of non-woven vezelstructuur. Het proces dient voor het inmengen/impregneren van de droge vezel met het thermoplastisch polymeer (folie, filamenten of poeder). Het polymeer moet hiervoor vloeien over een relatief grote afstand om tot een homogene vermenging met de vezel te komen.

Tijdens thermocompressie worden de vezel en matrix eerst opgewarmd, vervolgens een bepaalde tijd op hoge temperatuur en hoge druk gehouden, om als laatste stap weer af te koelen. Figuur 2 toont hoe een persproces de inmenging/impregnatie tussen vezels en matrix bevordert tot het matrixmateriaal homogeen verdeeld is over de vezels, dit eindresultaat wordt een geconsolideerd composiet genoemd. Hierin zijn de vezels volledig geïmpregneerd met het polymeer.

De homogene verdeling van de matrix overheen de vezels is nodig zodat de spanning in het materiaal verdeeld kan worden overheen de verschillende vezels, wat de mechanische eigenschappen van het eindresultaat maximaliseert. Om een geconsolideerd geheel van goede kwaliteit te krijgen, is het belangrijk om het materiaal op te warmen zodat het thermoplastisch polymeer vloeibaar wordt. Door tegelijkertijd druk aan te leggen op het geheel kan het gesmolten polymeer zich verdelen overheen de vezels en worden luchtinsluitels uit het materiaal geperst. Wanneer het geheel vervolgens onder druk wordt afgekoeld, wordt een geconsolideerd composiet bekomen. Een geconsolideerd composiet is van goede kwaliteit bij een homogene verdeling van het polymeer overheen de vezels met een minimum aan luchtinsluitels.



Figuur 2: Het consolidatieproces afgebeeld aan de hand van een temperatuur-tijd grafiek [2]

Figuur 3 toont een voorbeeld van een pers die geschikt is voor thermocompressie tot 2D-plaatmateriaal. Het opwarmen en afkoelen van vezel en matrix gebeurt typisch in de pers. Vanwege de warmteoverdracht door conductie en het opwarmen en afkoelen van de volledige pers is dit een relatief traag proces, maar noodzakelijk om een voldoende consolidatie te verkrijgen. In hoofdstuk 8 van dit document wordt beschreven hoe dit trage proces op commerciële schaal rendabel kan worden ingezet.



Figuur 3: Voorbeeld van een pers geschikt voor thermocompressie tot 2D-plaatmateriaal

## 2.1 Aanbevelingen persparameters van halffabricaat leveranciers: vlas-PP, vlas-PA11 vlas-PLA

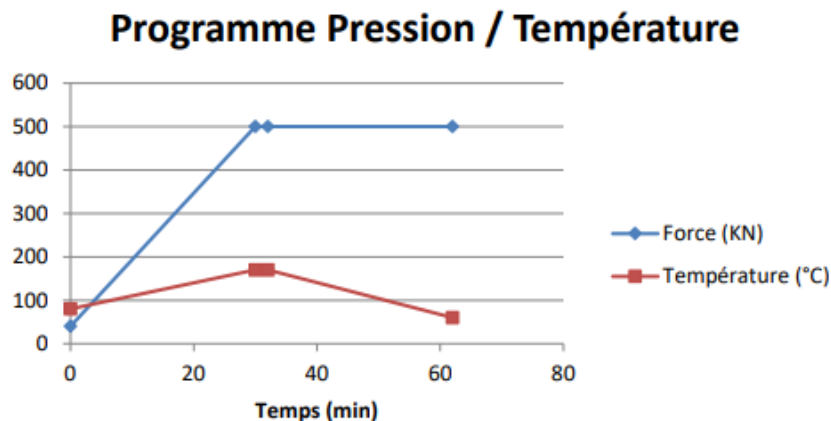
Mogelijke productiemethodes en ideale procesparameters worden soms meegegeven in de datasheet van een halffabricaat. Deze sectie vat enkele aanbevelingen samen van halffabricaat leveranciers om hun materiaal te verwerken via thermocompressie.

### Dehondt Composites

Deze halffabricaat leverancier biedt weefsels en UD-materiaal aan waarbij de vlas- en thermoplastische vezels reeds met elkaar verwoven of gemengd zijn. Hierbij wordt aangeraden om het materiaal 8 uur op 60°C te laten drogen.

Figuur 4 toont de kracht-temperatuur-tijd grafiek voor thermocompressie met een vlas-PP weefsel. Dit weefsel heeft een gewicht van 500 g/m<sup>2</sup> en bevat 60 gew% vezels. In de datasheet wordt enkel de aangelegde kracht in kN beschreven. Bij het persen van halffabricaten speelt echter de aangelegde druk een rol. Omdat geen materiaaloppervlakte of persdruk wordt meegegeven geeft de datasheet op dit vlak geen reproduceerbare persparameters mee. Wel is te zien dat de aangelegde kracht stelselmatig wordt opgebouwd tot het materiaal de gewenste perstemperatuur bereikt.

Het persen op hoge temperatuur gebeurt voor dit materiaal op 170°C en duurt 2 minuten. Hiervoor en hierna wordt het materiaal opgewarmd en afgekoeld in de pers waardoor de totale cyclustijd meer dan 60 minuten inneemt. [3]



Figuur 4: Kracht-temperatuur-tijds grafiek voor thermocompressie vlas-PP door Dehondt Composites [3]

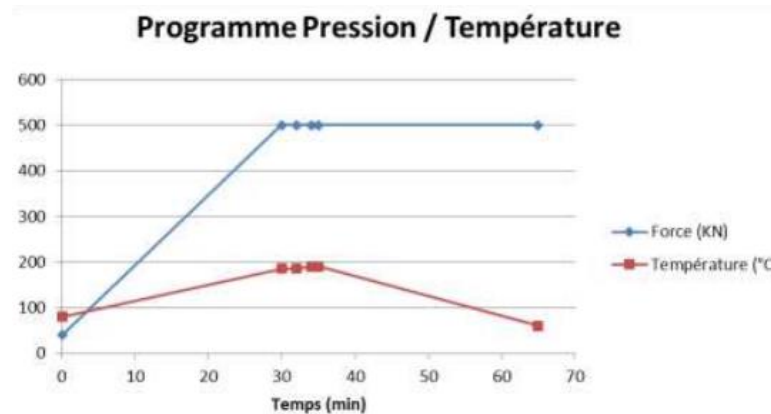
Figuur 5 toont de kracht-temperatuur-tijd grafiek voor thermocompressie van een biocomposiet uit vlasweefsel met biopolymeer PA11. De persmethode is hetzelfde als de methode die wordt aanbevolen voor het persen van vlas-PP weefsel volgens Figuur 4.

Dit weefsel heeft een gewicht van 500 g/m<sup>2</sup> en bevat 60 gew% vezels. Ook in deze datasheet wordt enkel de aangelegde kracht in kN beschreven, bij het persen van halffabricaten speelt echter de aangelegde druk een rol. Omdat geen materiaaloppervlakte of persdruk wordt meegegeven geeft de datasheet op dit vlak geen reproduceerbare persparameters mee.



Wel is te zien dat de aangelegde kracht stelselmatig wordt opgebouwd tot het materiaal de gewenste perstemperatuur bereikt.

Het persen op hoge temperatuur gebeurt voor dit materiaal op 190°C en duurt 5 minuten. Hiervoor en hierna wordt het materiaal opgewarmd en afgekoeld in de pers waardoor de totale cyclus tijd zo'n 65 minuten inneemt. [4]



Figuur 5: Kracht-temperatuur-tijd grafiek voor thermocompressie vlas-PA11 door Dehondt Composites [4]

## Scabro

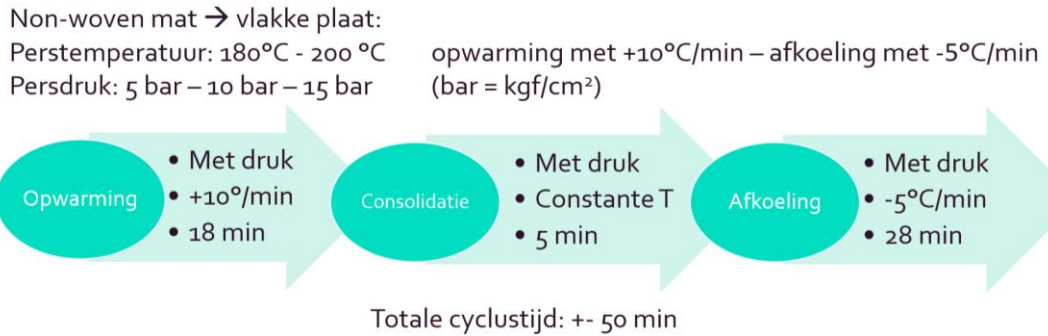
Deze halffabricaat leverancier biedt vlas-PLA weefsels aan waarbij wordt aangeraden om dit materiaal op te warmen tot 180-200°C en een druk van 1-50 bar aan te leggen. Dit materiaal kan ook verwerkt worden in een autoclaaf of met enkel een vacuümzak. [5]

## 2.2 Aanbevelingen persparameters uit eigen onderzoek, hennep-PP

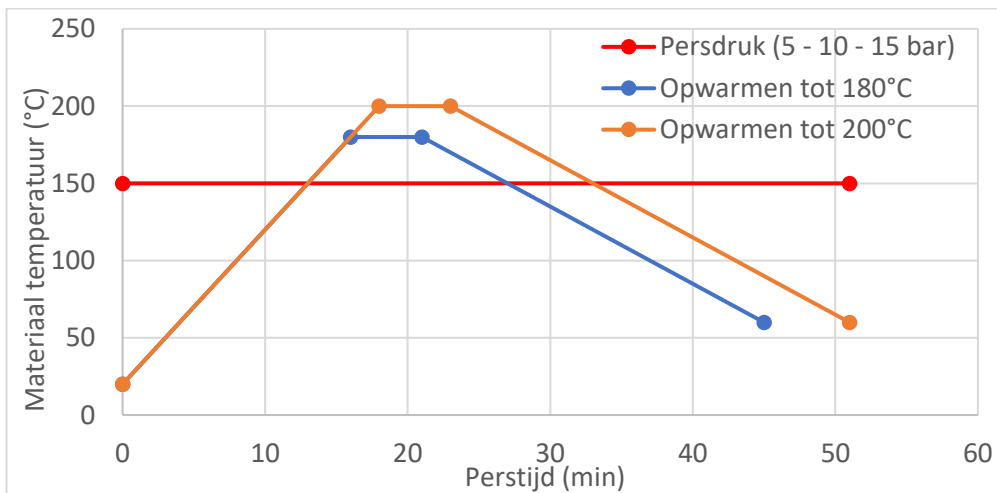
Ook binnen het BREPLA project is thermocompressie met biocomposiet materiaal onderzocht. Hierbij zijn non-woven hennep-PP matten geperst. Het startmateriaal wordt verdeelt door halffabricaat leverancier EcoTechnilin en heeft een gewicht van 1900 g/m<sup>2</sup> met een gewichtsverhouding van 50/50.

Dit onderzoek vergelijkt de plaatkwaliteit bij een variatie in perstemperatuur (180°C en 200°C) en een variatie in persdruk (5 bar, 10 bar en 15 bar). Hierbij wordt het materiaal opgewarmd in de pers met een opwarming van +10°C/min en afgekoeld in de pers met een afkoeling van -5°C/min. Deze waarden zijn bepaald door de limitatie in opwarm- en afkoelsnelheid van de gebruikte pers.

Figuur 6 geeft een overzicht van de gevarieerde parameters en uitgevoerde stappen in dit proces. Een tijdsindicatie wordt meegegeven voor elke stap waarbij wordt uitgegaan van een perstemperatuur van 200°C. Figuur 7 toont de druk-temperatuurs-tijd grafiek voor deze testen. De persdruk wordt aangehouden tijdens het afkoelen en opwarmen. Vanwege de hogere perstemperatuur duurt de cyclus voor 200°C 6 minuten langer (51 min) dan voor 180°C (45 min).



Figuur 6: Overzicht variatie perstempertuur en persdruk, de verschillende processtappen en de cyclustijd voor een perstempertuur van 200°C



Figuur 7: druk-temperatuur-tijd grafiek voor de non-woven hennep-PP testen.

Figuur 8 toont de geconsolideerde platen na de gevarieerde perscyclus. Op de geperste plaat op 180°C met 5 bar zijn verschillende droge plekken te zien waar de matrix niet homogeen is gemengd met de vezel. Droge plekken zijn ook, maar in mindere mate, te zien voor de platen geperst op 180°C – 10 bar en 200°C – 5 bar. De platen geperst op 180°C – 15 bar en 200°C – 10 bar tonen geen droge plekken en hierdoor een goede kwaliteit. Dit komt doordat de inmenging van vezel – matrix hierbij wordt bevorderd door een hogere druk of de lagere viscositeit van de matrix die veroorzaakt wordt door de hogere temperatuur. De plaat geperst op 200°C – 15 bar toont ook een goede inmenging van vezel en matrix. Hierbij is echter een uitvloeiing van de matrix uit de buitenzijden van het materiaal te zien. Het persen van non-woven hennep-PP wordt hierdoor aanbevolen bij 180°C – 15 bar of 200°C – 10 bar.

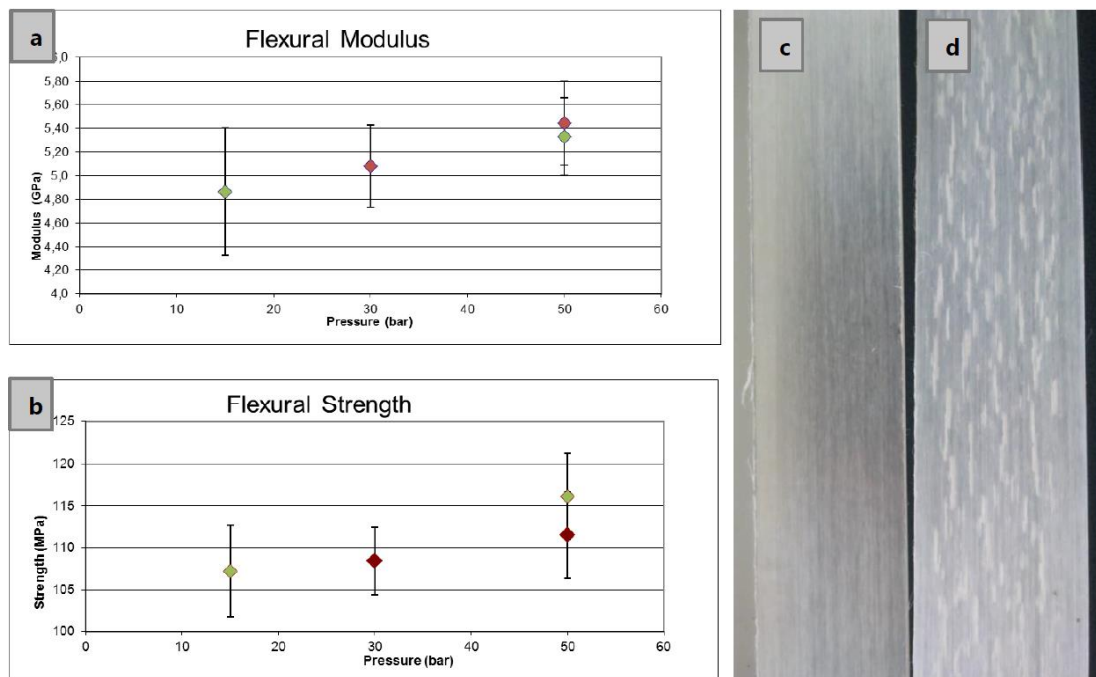


Figuur 8: Resultaten van variatie in perstempertuur en persdruk voor non-woven hennep-PP

### 2.3 Aanbevelingen persen zelfversterkt PLA

Naast plantvezels neemt ook biopolymeer PLA vocht op uit de omgeving. Hierdoor wordt bij het werken met zelfversterkt PLA ook aanbevolen om voor te drogen bij 80°C om hiermee de mechanische eigenschappen te maximaliseren. Eerder onderzoek uit het Bio-SRPC project, getoond in Figuur 9, toont namelijk dat in een ongedroogd materiaal tijdens het persen scheuren kunnen ontstaan parallel met de vezelrichting.

Na optimalisatie van de persparameters wordt in dit onderzoek aanbevolen om zelfversterkt PLA te persen op 160°C, 50 bar gedurende 5 minuten. Figuur 9 toont de resultaten uit dit onderzoek waaruit blijkt dat een persdruk van 50 bar de hoogste stijfheid en sterkte geeft voor zelfversterkt PLA.



Figuur 9: Vergelijking stijfheid (a) en sterkte (b) van zelfversterkt PLA geperst op 15, 30 en 50 bar (rood: ongedroogd, groen: gedroogd); (c): gedroogd sample, (d): ongedroogd sample [6]

### 3 Autoclaaf

Een andere productietechniek die mogelijk is voor de verwerking tot 2D- (en 3D-) biocomposieten is de productie met een autoclaaf. Buiten dat het nodig is om het halffabricaat op voorhand voor te drogen en rekening te houden met de maximale verwerkingstemperatuur van plantvezels, is ook dit proces gelijkaardig voor biocomposieten tegenover conventionele composieten.

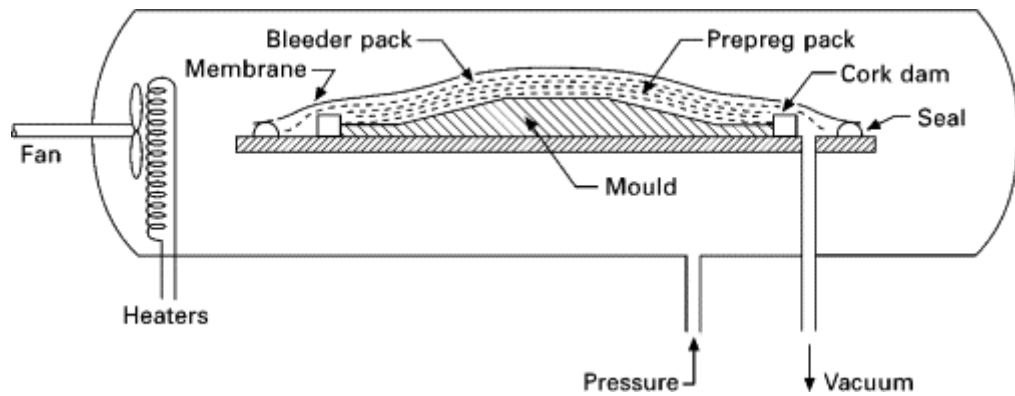
Dit proces is in de markt gangbaar voor (bio)composieten met een thermohardend hars, maar het kan mits kleine aanpassingen ook gebruikt worden voor een thermoplastische matrix. De autoclaaf zelf is een ruimte waar de temperatuur en druk kan verhoogd worden. Figuur 10 toont een voorbeeld van een autoclaaf. Een autoclaaf bestaat in verschillende groottes.

Het proces start typisch met thermohardende prepregs als startmateriaal waar de vezel reeds vermengd is met de matrix. Dit materiaal wordt op een plaat (2D) of mal (3D) gelegd en omhuld door een vacuümzak. Vervolgens wordt deze volledige opstelling in een autoclaaf gelegd en wordt het geheel opgewarmd, op hoge temperatuur gehouden en afgekoeld. In de autoclaaf wordt langs de buitenkant van het product nog een extra druk naast de vacuümdruk aangelegd. Figuur 11 toont een voorbeeld van een productieopstelling in een autoclaaf.

Autoclaafproductie maakt de beste mechanische eigenschappen met hoge vezelvolumefractie mogelijk voor (bio)composieten. Belangrijke nadelen zijn echter de hoge kostprijs van de installatie en lange cyclustijden door bijvoorbeeld een stijging en daling in temperatuur van 1-2 °C/min [7], [8].

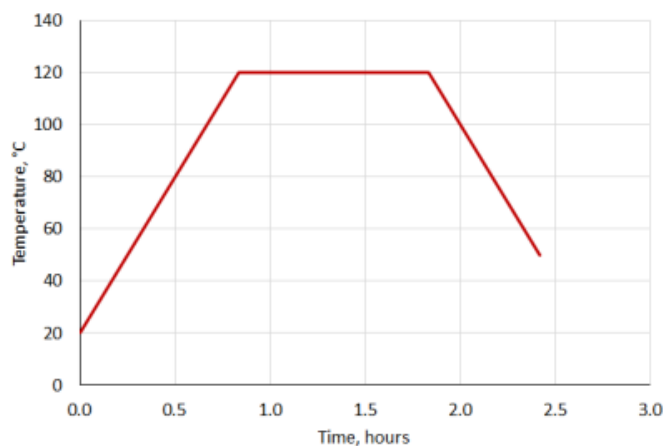


Figuur 10: Voorbeeld van een autoclaaf [9]

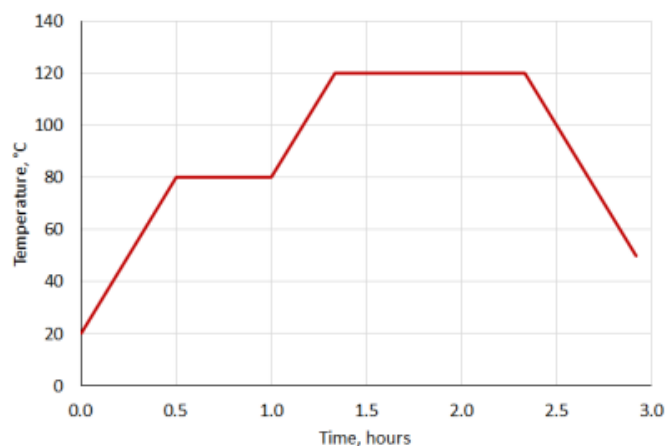


Figuur 11: Voorbeeld van een productie-opstelling in een autoclaaf [10]

Halffabricaat leverancier Composites Evolution beveelt in de datasheet voor het vlas-epoxy prepreg materiaal twee procescycli aan in de autoclaaf. Figuur 12 en 13 tonen de temperatuur-tijd cycli van deze twee voorbeelden. Hierbij wordt een opwarm- en afkoelsnelheid van 2 °C/min gehanteerd en wordt het biocomposiet 1 uur op een uithardtemperatuur van 120°C gehouden. Figuur 13 toont een alternatieve cyclus waarbij het sample tijdens de opwarmfase tussendoor 30 minuten op 80°C wordt gehouden om een betere oppervlakte-afwerking te krijgen als eindresultaat.



Figuur 12: Aanbevolen uithard cyclus voor vlas-epoxy tijdens autoclaafproductie [8]



Figuur 13: Aanbevolen uithard cyclus voor vlas-epoxy tijdens autoclaafproductie voor een optimale oppervlakte-afwerking [8]

## 4 Automated tape laying

Een andere productietechniek voor de verwerking tot 2D biocomposieten is automated tape laying. Buiten dat het nodig is om het halffabricaat op voorhand voor te drogen en rekening te houden met de maximale verwerkingstemperatuur van plantvezels, is ook dit proces gelijkaardig voor biocomposieten tegenover conventionele composieten.

Figuur 14 toont een voorbeeld van een automated tape laying proces. Dit proces is zowel geschikt voor thermoplastische als voor thermohardende composieten. Hierbij wordt van een prepreg tape gestart waarbij de vezel en matrix reeds een goede inmenging hebben. Bij thermoplastische composieten wordt de tape net voor de aanbrenging lokaal opgewarmd door bijvoorbeeld laser straling. Verder wordt de tape rechtstreeks aangebracht aan het product en zorgt een drukroller lokaal voor een goede consolidatie. Dit proces maakt het mogelijk om een geoptimaliseerde laagopbouw accuraat en consistent te produceren en wordt hierdoor vooral gebruikt voor high-end toepassingen.



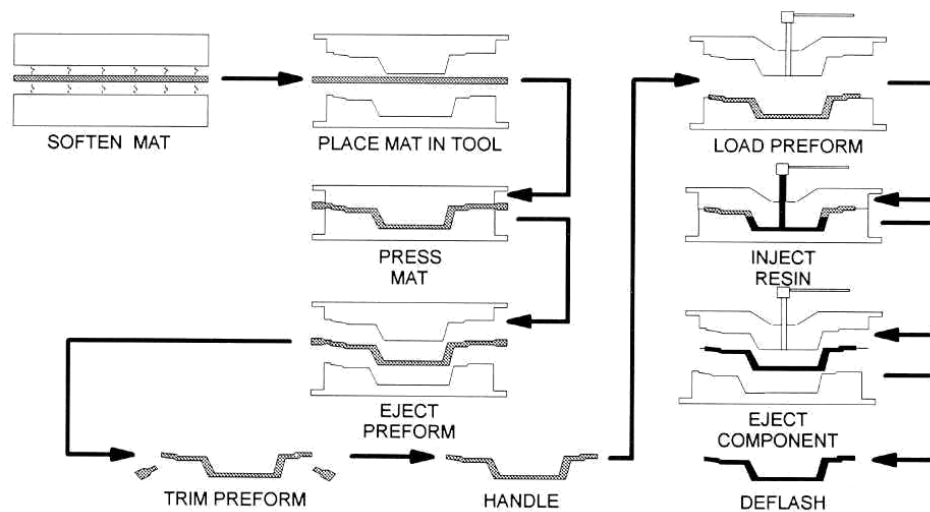
*Figuur 14: Voorbeeld van een automated tape laying proces [11]*

## 5 RTM

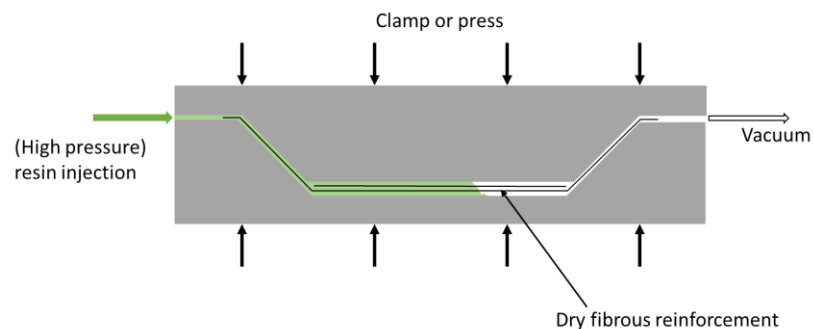
Een andere productietechniek die mogelijk is voor de verwerking tot 2D - biocomposieten is resin transfer moulding (RTM). Buiten dat het nodig is om het halffabricaat op voorhand voor te drogen en rekening te houden met de maximale verwerkingstemperatuur van plantvezels, is ook dit proces gelijkaardig voor biocomposieten tegenover conventionele composieten.

RTM is enkel geschikt om (bio)composieten producten met een thermohardende matrix uit te produceren. Figuur 15 en 16 tonen hoe het RTM eruit ziet en welke stappen typisch gevolgd worden. Voor het proces is een gesloten mal in de vorm van het uiteindelijk product nodig (2D of 3D). Om te beginnen wordt tijdens de uitvoering van dit proces de gewenste lay-up, bestaande uit enkel de vezels, voorgevormd en op maat gesneden. Vervolgens wordt de mal gesloten met hierin de op maat gesneden en voorgevormde vezels. Tijdens de volgende stap wordt het hars geïnjecteerd onder druk terwijl aan de andere kant van het product voor een vacuümafzuiging wordt gezorgd. Na uitharding van het hars wordt het product uit de mal gehaald en worden de randen opnieuw afgewerkt.

De mal wordt typisch voorverwarmd tot een temperatuur van 60-80 °C. De injectiedruk van het hars varieert voor een standaard RTM proces van 2 tot 7 bar. Een hoge druk RTM proces (HP-RTM), waarbij gestreefd wordt naar een kortere productcyclus, werkt typisch met een hogere injectie druk die varieert van 30 tot 120 bar in de mal afhankelijk van de productgrootte en -geometrie [11]. De uithardduur is afhankelijk van het hars en de maltemperatuur.



Figuur 15: Verschillende stappen van de productie tot een (bio)composieten product met RTM [13]



Figuur 16: Voorbeeld van de harsinjectiefase tijdens het RTM-proces

## 6 Vacuüminfusie

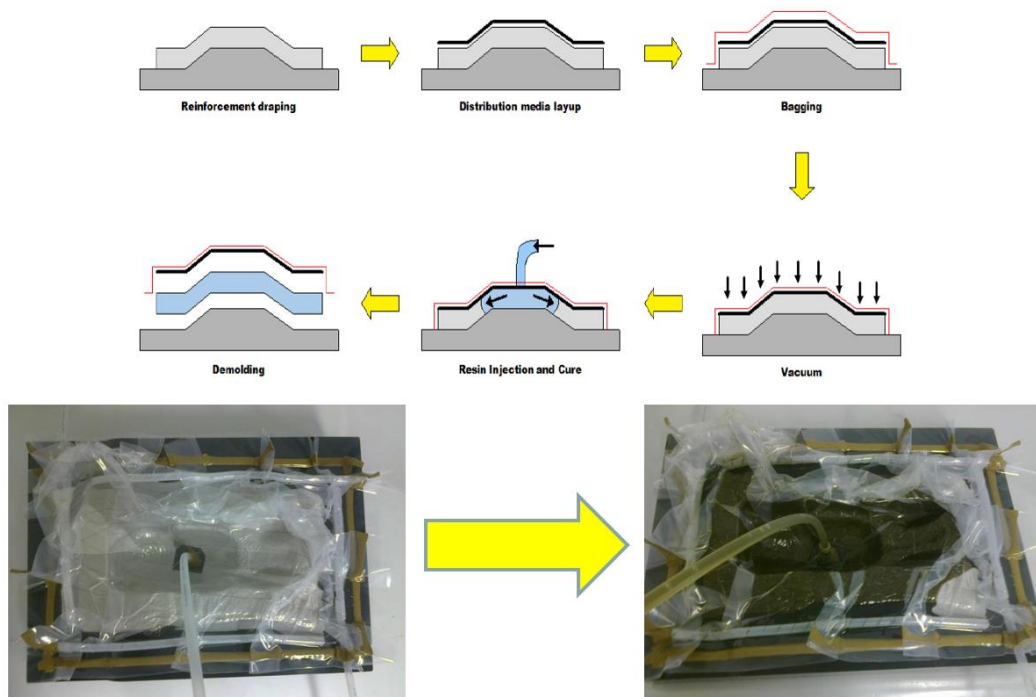
Een andere productietechniek die mogelijk is voor de verwerking tot 2D- biocomposieten is het vacuüminfusie proces. Buiten dat het nodig is om het halffabricaat op voorhand voor te drogen en rekening te houden met de maximale verwerkingstemperatuur van plantvezels, is ook dit proces gelijkaardig voor biocomposieten tegenover conventionele composieten.

Vacuüminfusie is enkel geschikt om (bio)composieten producten met een thermohardende matrix te produceren. Figuren 17, 18 en 19 tonen hoe een vacuüminfusie proces er typisch uitziet en welke stappen gevolgd worden.

Voor de uitvoering van dit proces zijn verschillende voorbereidingsstappen nodig die typisch manueel worden uitgevoerd. Als eerste stap tijdens dit proces worden droge vezels met de gewenste lay-up op een plaat (2D) of mal (3D) gelegd. De toevoeging van vloeiverbetersaars als tweede stap zorgt voor de snellere en volledige verspreiding van het hars tijdens de infusie. Vervolgens worden de peel ply en vacuüm zak geïnstalleerd. Waarna het hars onder een vacuüm druk doorheen de vezels kan vloeien.

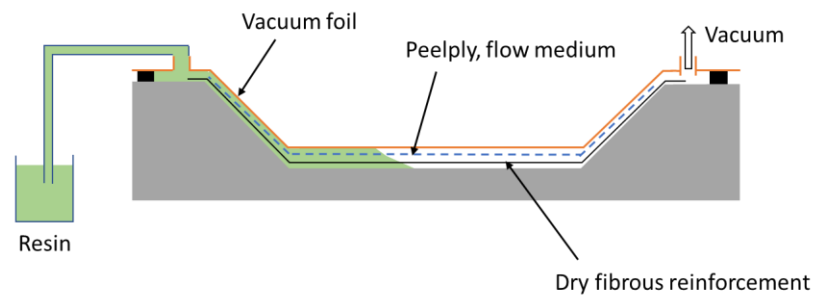
In dit proces worden zowel epoxy als polyester harsen gebruikt. Afhankelijk van de samenstelling van het gebruikte hars kan de mal verwarmd worden, wordt het product achteraf in een oven gelegd of hard het hars uit op kamertemperatuur. Bij gebruik van polyester harsen met styreen is het belangrijk om geen volledige vacuüm aan te leggen om te voorkomen dat het styreen begint te koken.

Dit is een relatief traag proces dat de mogelijkheid biedt om grote producten op een kostenefficiënte manier te produceren. Zo toont Figuur 19 een voorbeeld van de productie van de romp van een boot.

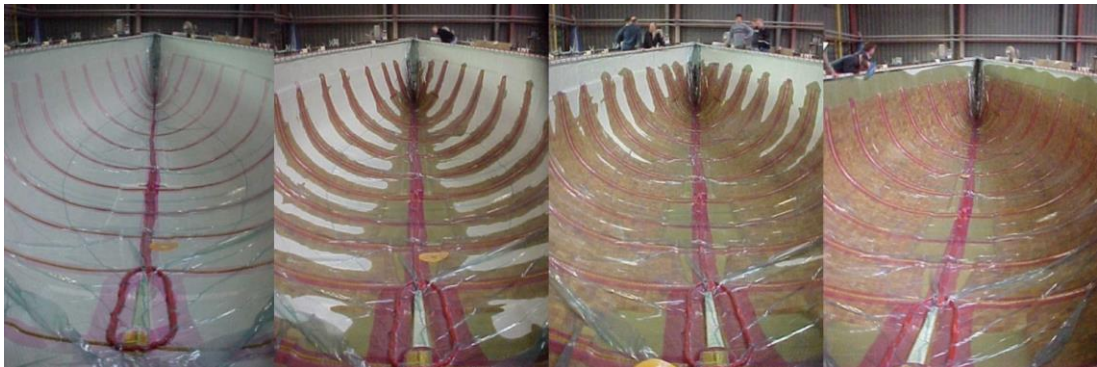


Figuur 17: Overzicht van de verschillende stappen in het vacuüminfusie proces [12]





*Figuur 18: Voorbeeld van de injectiefase in een vacuüminfusie proces*



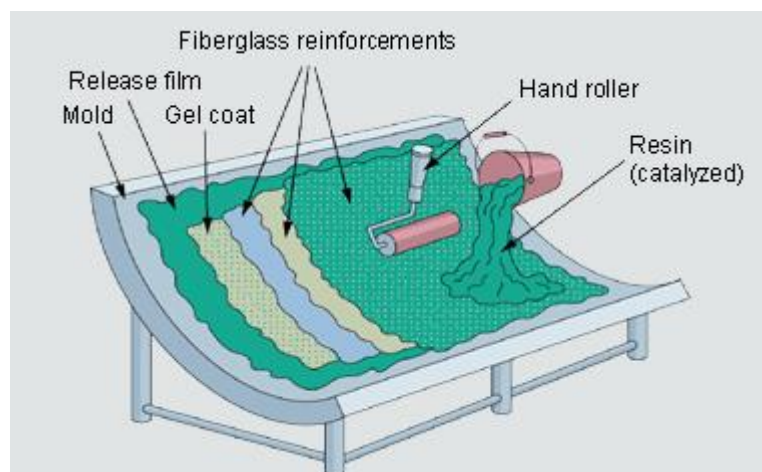
*Figuur 19: Voorbeeld van de productie van een bootromp met een vacuüminfusie proces*

## 7 Hand lay-up

Een andere productietechniek die mogelijk is voor de verwerking tot 2D- (en 3D-) biocomposieten is het hand lay-up proces. Buiten dat het nodig is om het halffabricaat op voorhand voor te drogen en rekening te houden met de maximale verwerkingstemperatuur van plantvezels, is ook dit proces gelijkaardig voor biocomposieten tegenover conventionele composieten.

Hand lay-up is enkel geschikt om (bio)composieten producten met een thermohardende matrix te produceren. Figuren 20 en 21 tonen hoe een hand lay-up proces er typisch uitziet. Zoals ook de procesnaam het zelf aangeeft, vereist dit proces veel manuele handelingen. Tijdens de opbouw van het proces worden eerst een release film en indien gewenst een gel coat op een plaat (2D) of mal (3D) aangebracht. Vervolgens worden droge vezels volgens de gewenste lay-up aangebracht en wordt het hars in de vezels gerold door de druk van een manuele rol.

In dit proces worden typisch polyester harsen gebruikt. Het hars wordt op kamertemperatuur aangebracht en meestal niet verwarmd.



Figuur 20: Voorbeeld hoe het product opgebouwd wordt tijdens een hand lay-up proces [15]



Figuur 21: Voorbeeld van de productie bij een hand lay-up proces [16]

## 8 Aanbevelingen voor commerciële productie met dubbele bandpers en multi-daylight pers

Wanneer een hoge productiesnelheid vereist is voor thermoplastische biocomposieten panelen is het mogelijk om het persen van een vlakke geconsolideerde plaat te versnellen met een dubbele bandpers of een multi-daylight pers. Buiten dat het nodig is om het halffabricaat op voorhand voor te drogen en rekening te houden met de maximale verwerkings-temperatuur van plantvezels, zijn ook deze processen gelijkaardig voor biocomposieten tegenover conventionele composieten. De procesdruk, -temperatuur en verwerkte materialen (thermoplastische composieten) zijn vergelijkbaar met een statisch persproces.

### 8.1 Dubbele bandpers

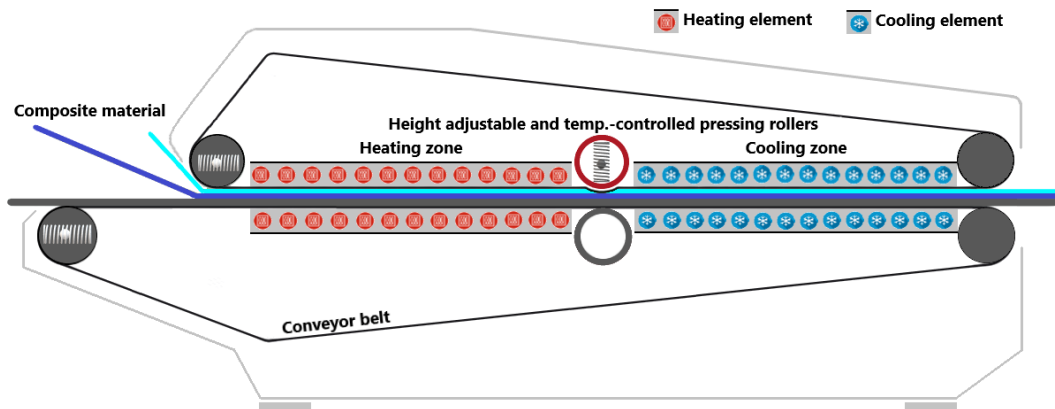
Een geschikte dubbele bandpers bestaat uit twee stalen banden en bevat verschillende verwarmings- en afkoelingszones waartussen een (bio)composieten halffabricaat kan geconsolideerd worden tot 2D-plaatmateriaal. Tussen de verwarmings- en afkoelingszone kan een persroller worden geplaatst. De pershoogte van de persroller is verstelbaar wat verschillende persdrukken en plaatdiktes mogelijk maakt. Een dubbele bandpers werkt volgens een continue systeem waardoor een hogere productie-efficiëntie mogelijk is dan bijvoorbeeld een statische pers. Figuur 22 toont een voorbeeld van een dubbele band pers. [13]

Het is essentieel dat de machine uit twee stalen rolbanden bestaat aangezien deze kunnen zorgen voor een hoge persdruk. De persdruk die kan aangelegd worden door de dubbele bandpers varieert. Zo bestaan persen die tot 20 bar kunnen gaan, maar is in andere persen een persdruk van 60 bar mogelijk. De hoge persdruk is belangrijk om luchtinluitsels te beperken en de consolidatiekwaliteit te optimaliseren. Omdat de persdruk in een dubbele bandpers gelimiteerd is tegenover de persdruk van een statische pers is de hoeveelheid luchtinluitsels typisch iets hoger en de consolidatiekwaliteit hierdoor iets lager in een dubbele bandpers. [14], [15]

De consolidatiekwaliteit hangt naast de druk ook samen met de temperatuur en de tijd op hoge temperatuur en hoge druk. Om te zorgen voor een homogene temperatuursverdeling in het materiaal wordt het materiaal langzaam opgewarmd langs verschillende verwarmingszones, wordt de gewenste druk aangelegd en wordt het materiaal vervolgens afgekoeld doorheen verschillende koelingszones. De ingestelde temperatuur is vergelijkbaar met deze in een statische pers en houdt rekening met de maximale verwerkingstemperatuur van vezel en matrix. Een procestemperatuur van 180-200 °C is typisch voor de meest voorkomende biocomposieten.

Een andere belangrijke procesparameter die ook de consolidatiekwaliteit beïnvloedt, is de bandsnelheid. Bij een te hoge bandsnelheid zal er namelijk een kwaliteitsverschil zijn tussen de buitenste en binnenste lagen die een mindere goede impregnatiekwaliteit kunnen vertonen. Onderzoek naar de verwerking met conventionele composieten toont aan dat een productiesnelheid van 0,2 m/min een eindresultaat bekomt met gelijkaardige mechanische eigenschappen als bij een statische pers. Een verhoging van de productiesnelheid zorgt in deze onderzoeken voor een daling in mechanische

eigenschappen. Voor biocomposieten is de optimale productiesnelheid mogelijk lager vanwege de maximale verwerkingstemperatuur bij plantvezels. [14], [15], [16]



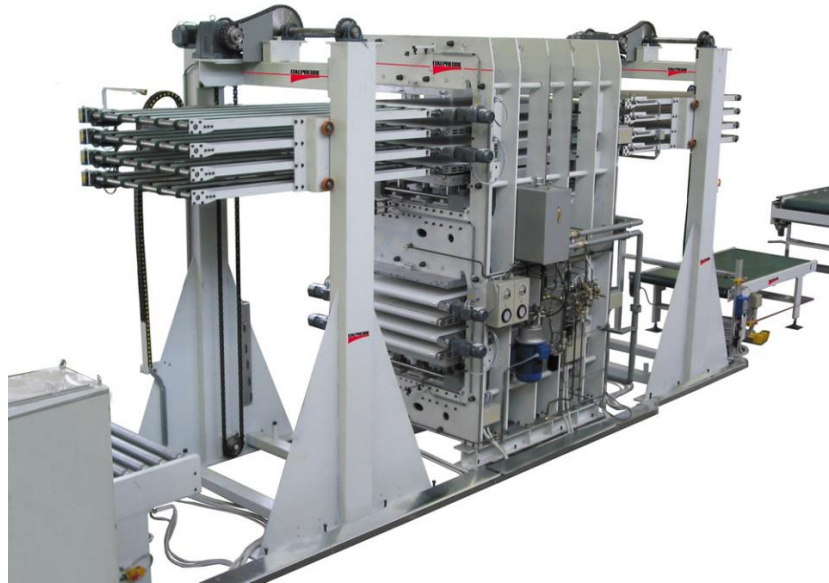
Figuur 22: Voorbeeld van een dubbele bandpers voor de productie van thermoplastische composieten platen [13]

## 8.2 Multi-daylight pers

Ook een multi-daylight pers zorgt voor een verhoogde productie-efficiëntie bij de consolidatie van 2D-plaatmateriaal uit biocomposiet. Figuur 23 toont een voorbeeld hoe een multi-daylight pers eruit kan zien. Deze pers is vergelijkbaar met een statisch persproces aangezien het werkt volgens een batch proces met een vergelijkbare procesdruk- en temperatuur. Het voordeel van de multi-daylight pers is echter dat verschillende platen tegelijk kunnen opgewarmd, geperst en afgekoeld worden in verschillende units.

Volgende video's laten voorbeelden zien hoe een multi-daylight pers in de praktijk kan werken:

- [https://www.youtube.com/watch?v=YRHRD\\_PoVho](https://www.youtube.com/watch?v=YRHRD_PoVho)
- <https://www.youtube.com/watch?v=-67yevx5Ymo>



Figuur 23: Voorbeeld van een multi-daylight pers voor de productie van thermoplastische composieten platen [17]

## Conclusie

Dit verslag beschrijft de verschillende methodes voor de productie van biocomposieten plaatstructuren. Hoofdstuk 1 geeft als vuistregel mee om plantvezels minstens 4 uur op 80°C te laten drogen alvorens deze te verwerken tot plaatmateriaal. Verder is het belangrijk om bij de verwerking van plantvezels rekening te houden met de maximale verwerkingstemperatuur van 200°C. Vanwege de hoge smelttemperatuur van basaltvezel is bij de verwerking hiervan de procestemperatuur eerder gelimiteerd door de degradatietemperatuur van de polymeren matrix.

Uit hoofdstuk 2 tot 8 blijkt dat, buiten het voordrogen en de maximale verwerkingstemperatuur van plantvezels, veel productieprocessen gelijkaardig zijn voor biocomposieten tegenover conventionele composieten. Deze hoofdstukken beschrijven elk een mogelijke productietechniek voor plaatstructuren waarbij, indien mogelijk, concrete productieparameters worden meegegeven.

## Referenties

- [1] J. L. Thomason en J. L. Rudeiros-Fernández, „Thermal degradation behaviour of natural fibres at thermoplastic composite processing temperatures,” *Polymer Degradation and Stability*, nr. 188, 2021.
- [2] A. C. Long, *Composites forming technologies*, Nottingham: Woodhead Publishing 2007, 2007.
- [3] DEHONDT Composites, „TWINFLAX P-Preg PP 500,” PORT JEROME SUR SEINE, 2019.
- [4] DEHONDT Composites, „TWINFLAX P-Preg PA11 500,” PORT JEROME SUR SEINE, 2018.
- [5] Scabro, „Biotex Flax/PLA 4x4 Plain Weave 500g/m2 Fabric Technical Data Sheet,” 2013.
- [6] L. D. Vriese, „Eindrapport Bio-SRPC IWT 120628,” Centexbel, 2015.
- [7] S. Black, „Composites World - SQR™ enables net-shape parts,” 31 8 2010. [Online]. Available: <https://www.compositesworld.com/articles/sqr™-enables-net-shape-parts>.
- [8] Composites Evolution, „Technical Data Sheet Evopreg ampliTex™ EPC300 Medium temperature cure flax epoxy prepregs for component,” 2021.
- [9] Daxen, „COMPOSITES AUTOCLAVES OUR SOLUTIONS FOR YOUR PRODUCTS,” [Online]. Available: <https://daxen.fr/en/autoclaves/autoclave-composites/>.
- [10] P.J.Halley, „Rheology of thermosets: the use of chemorheology to characterise and model thermoset flow behaviour,” *Thermosets: Structure, Properties and Applications*, pp. 92-117, 2012.
- [11] G. Gardiner, „CompositesWorld - HP-RTM on the rise,” 14 4 2015. [Online]. Available: <https://www.compositesworld.com/articles/hp-rtm-on-the-rise>.
- [12] Eco-Technilin, „Thermoset materials Fibrimat LCM: F300”.
- [13] Linnenbrink Technik Warburg Maschinenbau, „Double belt presses,” [Online]. Available: <https://www.linnenbrink-technik-warburg.de/en/products/laminating-lines/double-belt-presses>.
- [14] X. WANG, C. MAYER en M. NEITZEL, „Some Issues on Impregnation in Manufacturing of Thermoplastic Composites by Using a Double Belt Press,” *POLYMER COMPOSITES*, vol. 18, nr. 6, pp. 701-710, 1997.
- [15] D. Liu, Y. Zhu, J. Ding, X. Lin en X. Fan, „Experimental investigation of carbon fiber reinforced poly(phenylene sulfide) composites prepared using a double-belt press,” *Composites Part B*, vol. 77, pp. 363-370, 2015.
- [16] S. Tamrakar, S. M. Shaler, R. A. Lopez-Anido, D. J. Gardner, C. H. West, Y. Han en R. Edgar, „Mechanical Property Characterization of Fiber-Reinforced Polymer Wood-Polypropylene Composite Panels Manufactured Using a Double Belt Pressing Technology,” *JOURNAL OF MATERIALS IN CIVIL ENGINEERING*, vol. 24, nr. 9, pp. 1193-1200, 2012.
- [17] Italpresse - Hydraulic presses, „Automatic loading multi-daylight presses (MAGNUM),” [Online]. Available: <https://www.italpresse.com/en/wood-presses/line-for-finishing-panels/multi-daylight-press/>.
- [18] Composites Evolution Ltd, „Biotex Jute Fabrics,” Chesterfield, 2013.

- [19] R. Ilyas, S. Sapuan, M. Harussani, M. Hakimi, M. Haziq, M. Atikah, M. Asyraf, M. Ishak, M. Razman, N. Nurazzi, M. Norrrahim, H. Abrial en M. Asrofi, „Polylactic Acid (PLA) Biocomposite: Processing, Additive Manufacturing and Advanced Applications,” *Polymers*, vol. 1326, nr. 13, p. 34, 2021.
- [20] mTorres, „Automatic taping machine - TORRESLAYUP,” [Online]. Available: <https://mtorres.es/en/equipment/manufacturing-systems/lamination/automatic-wrapping-machine-torreslayup>.
- [21] K. J. Channer, W. Cosgriff, G. Smith en O. Okoli, „Development of the Double RIFT Diaphragm Forming Process,” *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 21, pp. 1629-1635, 2002.
- [22] S.K.Vignesh en E. Kumar, „DYNAMIC BEHAVIOUR OF COMPOSITE LEAF SPRING,” *European Journal of Material Science*, vol. 6, nr. 1, pp. 27-42, 2019.
- [23] Fassmer, „Hand lay-up,” [Online]. Available: <https://www.fassmer.de/en/wind-power/production/hand-lay-up>.
- [24] BPREG, „Technical Sheet - high-performing lightweight affordable natural-fiber composite solutions,” 2022.
- [25] Composites Evolution, „Technical Data Sheet Evopreg Medium temperature cure flax epoxy prepregs for component,” Chesterfield, 2021.