



**Growing a Green Future**

**Ontwikkeling van high-end  
en high-tech agro papier**

**Activiteit 6.2 en 6.3**

*Auteur: Millvision BV*

*Datum: donderdag 23 januari 2020*



Agrodome



Delphy

KdG  
Karel de Grote  
Hogeschool



ILVO

Het project 'Growing a Green Future' is gefinancierd binnen het Interreg V-programma Vlaanderen-Nederland, het grensoverschrijdend samenwerkingsprogramma met financiële steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling. Meer info: [www.grensregio](http://www.grensregio)



## Samenvatting

In deze rapportage is het onderzoek beschreven naar de inzet van agroreststromen en natuurvezelgewassen in papier en karton en de mogelijk daarbij horende toepassing van het verkregen papier richting high-end office en als halffabricaat richting high-tech bouw applicaties. Hierbij is gekeken of hoogwaardige relatief dure vezelgewassen, zoals vlas, hennep en Miscanthus, kunnen worden gecombineerd met meer laagwaardige goedkope lokale agroreststromen (landbouwgewassen), om in te zetten als lignine- en/of cellulosebron als duurzame grondstof voor verschillende types office- en verpakkingsmateriaal, op basis van papier en karton.

Deze werkzaamheden zijn uitgevoerd in het kader van het **Growing a Green Future** project. Dit project heeft als doel om bij te dragen aan de overgang van een economie die draait op fossiele grondstoffen naar een economie met biomassa als grondstof. Op deze wijze kan het gebruik van fossiele grondstoffen worden beperkt.

Middels het onderzoek is gebleken dat een high-end office papier en high-tech bouw papier kan worden gemaakt met gewenste specificaties gemaakt uit een combinatie van agroreststromen en vezelgewassen. Hierbij is gebleken dat spruitkoolstronkvezels zeer geschikt zijn als alternatieve bron voor papierproductie. Het blijkt dat tot ca. 25% spruitkoolvezels kunnen worden bijgemengd, waarbij papier wordt verkregen met gewenste sterkte van 4 tot zelfs bijna 5 km breek Lengte. Verder heeft deze vezel het voordeel dat deze een homogene off-white kleur geeft aan het papier, waarbij de vezel nauwelijks zichtbaar is qua kleur. Bij vele andere agroreststromen is deze vezel duidelijk zichtbaar in de verkregen papierbaan.

In combinatie met vlas is een duidelijk synergetisch effect qua sterkte van het papier waargenomen. Het papier is goed te produceren met een pilot papiermachine, welke dus een goede reële doorzicht geeft richting industriële productie mogelijkheden van dit papier.

Wanneer er wordt gekeken naar prototype papierproducten, blijkt dat het papier als high-end office of verpakkingspapier kan worden ingezet. Het papier is goed bedrukbaar en is te converteren tot verpakkingsmaterialen. Een eerste globale schatting van kosten van de spruitkoolvezels leert dat deze mogelijk kan concurreren met prijzen van een celstof.

Het project 'Growing a Green Future' is gefinancierd binnen het Interreg V-programma Vlaanderen-Nederland, het grensoverschrijdend samenwerkingsprogramma met financiële steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling. Meer info: [www.grensregio.eu](http://www.grensregio.eu)



Kijkend naar high-end bouwtoepassingen blijkt dat het papier mogelijk ingezet zou kunnen worden als behangpapier of dienen als halffabricaat richting een kozijnprofiel. Hoe deze profielen op grotere schaal te kunnen produceren moet nog nader worden onderzocht. Eerste testen om het papier in te zetten voor het maken van huidplaten bleek minder succesvol en de mogelijkheid om hiervan sandwichpanelen te maken is daarom niet verder onderzocht.

Door middel van kuilen is er een mogelijkheid gevonden om de spruitkoolstronken dusdanig te bewaren zodat deze het gehele jaar beschikbaar zouden zijn voor papierproductie. Indien het gekuilde materiaal voor gebruik wordt geperst, blijkt er een grote sapfractie vrij te komen welke mogelijke diverse interessante inhoudsstoffen blijkt te bevatten. Deze sapstroom kan mogelijk worden ingezet voor de productie van biogas om zo verder te kunnen bijdragen aan vierkantsverwaarding. Ook dit zal echter nader moeten worden onderzocht.



## Inhoudsopgave

Samenvatting .....	2
Inhoudsopgave .....	4
<b>1 Inleiding en doel .....</b>	<b>5</b>
<b>2 Experimenteel / Aanpak .....</b>	<b>7</b>
2.1. Inleiding papierproductie .....	7
2.1.1. Pulpen .....	7
2.1.2. Papier productie .....	9
2.2. Pakket van eisen high-end papier .....	10
2.3. Pakket van eisen high-tech papier .....	10
<b>3 Resultaten .....</b>	<b>13</b>
3.1. Lab screening agroreststromen en vezel gewassen .....	13
3.2. Productie handsheets natuurvezels .....	14
3.2.1. Combinaties .....	15
3.3. Focus op spruitkoolstronk pulpen – lab schaal .....	17
3.3.1. Huidige logistiek spruitkoolstengels .....	17
3.3.2. Met of zonder persstap - sapfractie .....	19
3.3.3. Effect spruitkool voorbehandelingen op de mechanische eigenschappen .....	20
3.4. Experimenten op pilotschaal met georiënteerd papier .....	21
3.4.1. Pilot-fase .....	21
3.5. Ontwikkeling high-end en high-tech prototype producten .....	23
3.5.1. High-end papierproducten .....	23
3.5.2. High-tech prototype papierproducten .....	24
3.6. Inventarisatie eerste aanzet businesscase high-end office papier .....	27
<b>4 Conclusies en aanbevelingen .....</b>	<b>28</b>



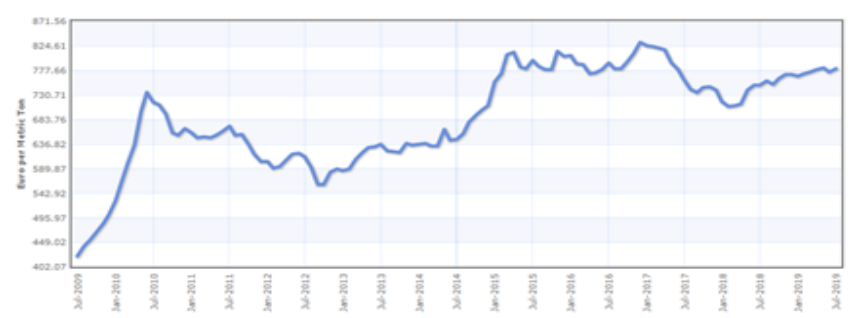
## 1 Inleiding en doel

Het project ***Growing a Green Future*** heeft als doel om bij te dragen aan de overgang van een economie die draait op fossiele grondstoffen naar een economie met biomassa als grondstof. Het streven is om biomassa (landbouwgewassen) te gebruiken voor onder andere inhoudsstoffen, chemicaliën en bouwmaterialen, zodat het gebruik van fossiele grondstoffen beperkt kan worden. Verschillende lokaal beschikbare agro-reststromen, naast de geteelde landbouwgewassen waaronder vlas, hennep en Miscanthus, zijn als lignine- en/of cellulosebron uitermate geschikt als duurzame grondstof voor verschillende types office- en verpakkingsmateriaal, op basis van papier en karton. Tevens kunnen deze ontwikkelde papieren worden ingezet als halffabricaten voor bouw toepassingen. Hierbij kan worden gedacht aan papier verwerkt in onder meer gipsplaten, sandwich panelen, decoratief behang en zelfs als basis voor het vervaardigen van een kozijnprofiel.

Dit rapport beschrijft het onderzoek dat is uitgevoerd naar de inzet van natuurvezels in papier en karton en de mogelijk daarbij horende toepassing van het verkregen papier richting high-end office en high-tech bouw applicaties. Hierbij is gekeken of hoogwaardige relatief dure vezelgewassen, zoals vlas, hennep en Miscanthus, kunnen worden gecombineerd met meer laagwaardige goedkope agrorestmaterialen, die veelal in eerste instantie worden gezien als afval maar mogelijk kunnen fungeren als een grondstof.

Voordeel van deze natuurvezels is dat deze jaarlijks worden verkregen ten opzichte van de veel tragere groei van houtpulp, waarbij de groei ook nog eens sterk afhankelijk is van het seizoen. Door de toename van extremere weeromstandigheden (droogte en stormen) zijn de bossen in o.a. Scandinavië meer kwetsbaar, met als direct gevolg een mogelijke schaarste van hout voor de pulp- en papierindustrie. Bijkomend voordeel van inzet van lokale gewassen is de meer gunstige Life Cycle Analysis (LCA), oftewel beperking van onder meer transport. Daarnaast is de laatste jaren veel oud papier verscheept naar China, waardoor er een groeiende vraag is naar alternatieve vezelgrondstoffen. Door deze schaarste gaat de kostprijs van de papierpulp steeds verder omhoog (zie Figuur 1). Indien vezelgewassen / agroreststromen een extra bijdrage kunnen leveren qua sterkte in het papier, zou dit kunnen leiden tot papieren met een lager gewicht. Dit is weer gunstig voor de inzet van papierpulp.

Het project 'Growing a Green Future' is gefinancierd binnen het Interreg V-programma Vlaanderen-Nederland, het grensoverschrijdend samenwerkingsprogramma met financiële steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling. Meer info: [www.grensregio.eu](http://www.grensregio.eu)



Figuur 1 Houtpulp prijs ontwikkeling van de afgelopen 10 jaar

Tot slot, door bouwmaterialen te maken van het nieuw te ontwikkelen papier vanuit deze vezelgewassen / agrorestmaterialen, krijgen deze een betere CO<sub>2</sub>-footprint door langdurige opslag van CO<sub>2</sub> in de bouwmaterialen. Tevens hebben natuurvezels van nature vochtregulerende eigenschappen, welke mogelijk voordelen heeft in de high-tech bouwmaterialen.

Doordat de prijs van groenten veelal wordt bepaald door de veiling en retailers, blijft er vaak weinig over voor de boeren. Door de achtergebleven plantvezels ook te verwaarden, draagt dit mogelijk bij aan een gezondere marge voor de boeren.

In eerste instantie is een selectie gemaakt van agroreststromen vanuit de verrichte benchmark (*Bron: Growing a Green Future Benchmark Rapport 2018*), waarna gekeken is naar combinaties met diverse vezelgewassen. Aan de hand van deze resultaten heeft een opschaling plaatsgevonden van het meest optimale pulprecept en is geïnventariseerd of een semi-works productie kan worden gerealiseerd. Aan de hand van deze laatste stappen is een eerste doorzicht gegeven naar een mogelijke businessplan van oogst naar verwerking van een mogelijk kansrijk prototype eindproduct.

In Hoofdstuk 2 zal een korte inleiding worden gegeven over de papierproductie en het opwerken van vezelgewassen / agroreststromen zodat deze kunnen worden verwerkt tot papierproducten. Aan de hand van een pakket van eisen voor zowel het high end office papier als voor het high-tech papier voor bouwtoepassingen zijn de experimentele werkzaamheden weergegeven. In Hoofdstuk 3 zijn de verkregen resultaten van het onderzoek weergegeven. Tot slot zijn in Hoofdstuk 4 de conclusies en aanbevelingen samengevat.

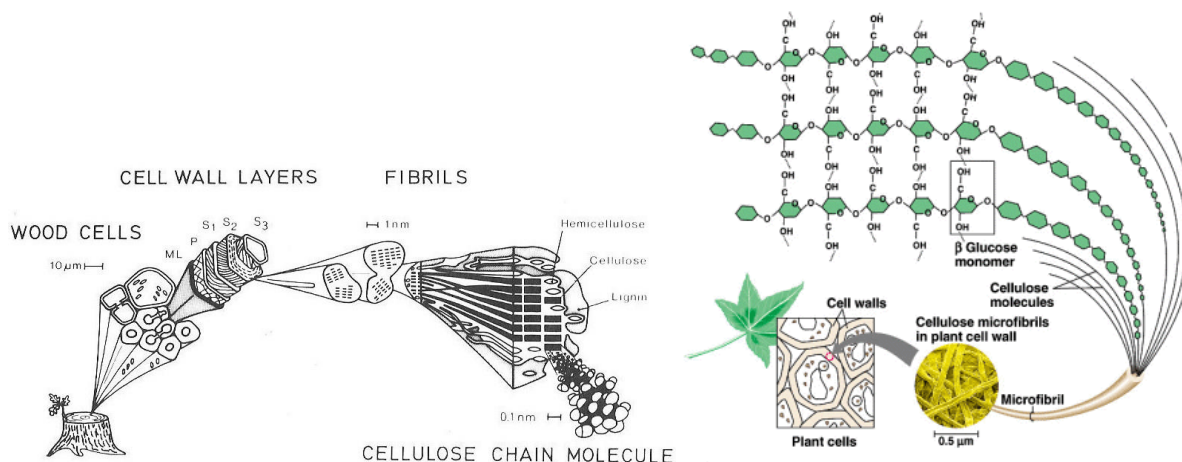
## 2 Experimenteel / Aanpak

### 2.1. Inleiding papierproductie

Het maken van papier bestaat grofweg uit drie te nemen processtappen. In eerste instantie moet de grondstof worden verwerkt tot papierpulp, waarna deze kan worden verwerkt tot een papierbaan op rol. Om hieruit een prototype eindproduct te maken, moet de papierbaan worden versneden tot gewenste kleinere stroken of stukken. Dit wordt converteren genoemd.

#### 2.1.1. Pulpen

Een boom of plant bestaat veelal uit verschillende bestanddelen, te weten cellulose, hemicellulose, lignine en overige bestanddelen zoals o.a. eiwitten en mineralen. Tijdens het pulpproces, mechanisch en/of chemisch, worden deze bestanddelen van elkaar losgemaakt en waar nodig van elkaar gescheiden (zie Figuur 2). Dit proces heet ontsluiten. In Tabel 1 zijn enkele ontsluitingstechnieken samengevat.



Figuur 2 Cellulosevezel uit planten tot papiervezels

Het project 'Growing a Green Future' is gefinancierd binnen het Interreg V-programma Vlaanderen-Nederland, het grensoverschrijdend samenwerkingsprogramma met financiële steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling. Meer info: [www.grensregio.eu](http://www.grensregio.eu)



Tabel 1 Overzicht voor- en nadelen verschillende ontsluitingsmethoden

	Houtvezelontsluiting	Voordeel	Nadeel
<b>Mechanische Ontsluiting</b>	RMP (refiner mechanische pulp)	Hoge opbrengst(85%-95%)	Lage kwaliteit, hoog energie verbruik
	TMP (thermisch mechanische pulp)	Hoge opbrengst, lager energie verbruik dan RMP	Lage kwaliteit
<b>Chemische Ontsluiting</b>	CTMP (Chemo thermo mechanische pulp)	Lagere energie kosten, hogere kwaliteit	Lagere opbrengst
	Sulfaat / sulfiet / Kraft proces	Hoge kwaliteit vezel	Lagere opbrengst (40%-50%), hoog chemicaliën gebruik  Integraal gebruik van reststromen fabriek is noodzakelijk

Bron: papierboek

Zoals te zien in bovenstaande tabel heeft iedere techniek zijn voor- en nadelen. Bij enkel een mechanische ontsluiting wordt een hoge opbrengst verkregen, echter is de kwaliteit van de pulp lager. De meeste componenten blijven dan in de pulp aanwezig (lignine en hemicellulose). Bij een chemische ontsluiting worden niet gewenste componenten opgelost en verwijderd. Hierdoor wordt een lagere opbrengst verkregen, echter is de pulp kwalitatief hoogwaardiger.

Voor biomassa/agroreststromen met een laag cellulose gehalte in vergelijking met hout, lijkt een mechanisch ontsluitingsproces de beste optie. Voor biomassa/agroreststromen/vezelgewassen met een hoog cellulose gehalte zal per grondstof moeten worden bekeken of een chemisch, mild-chemisch of enzymatisch proces betere pulp kwaliteit geeft dan enkel het mechanisch proces.

Om aansluitend meer sterkte in het papier te verkrijgen uit de cellulose van de plantvezels worden deze verder mechanisch ontwikkeld. Dit gebeurt door middel van een refiner, waarmee op de vezels fibrillen worden verkregen. Deze fibrillen zorgen voor een betere vernetting en binding tussen de vezels in de papierbaan.

Binnen Millvision wordt biomassa/agroreststromen gepulpt volgens het volgende procedé nadat deze zijn geogost:

- 1) Homogeniseren/verkleinen/opschonen met behulp van een hakselaar/wasser/pers

Het project 'Growing a Green Future' is gefinancierd binnen het Interreg V-programma Vlaanderen-Nederland, het grensoverschrijdend samenwerkingsprogramma met financiële steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling. Meer info: [www.grensregio.eu](http://www.grensregio.eu)





- 2) Mechanische ontsluiten/ontwikkelen middels een refiner-stap, met behulp van een Hollander- of een PFI-molen (zie Figuur 3), met of zonder mild-chemische voorbehandeling
- 3) Sortering. Verwijdering van ongewenste componenten met behulp van een pers of zeef.

## 2.1.2. Papier productie

Indien de pulp is verkregen, wordt deze aansluitend verwerkt tot een handsheet (eerste screening, middels een niet georiënteerde papiervezelsheet ("vierkant papier") of een papierbaan (georiënteerde papiervezelbaan). In Figuur 3 is de gebruikte pilot papiermachine weergegeven.



*Figuur 3 Hollandermolen(links), PFI-molen(midden) en pilot-papiermachine(rechts)*

De verkregen pulp om papier mee te maken wordt in warm water uitgedund tot een zogenaamde dunstof (bijvoorbeeld een consistentie van ca. 0,6%). Aansluitend wordt deze dunstof op de zeefpartij van de papiermachine gepompt, waarbij vezels worden georiënteerd door onder meer de snelheid van de zeef. Door onderdruk van het achterste deel van de zeefpartij wordt water weggezogen waardoor er een natte papierbaan ontstaat met een droge stof gehalte van ca. 20%. Door middel van een perspartij, welke uit meerdere walsen en een persvilt bestaat, wordt extra water uit de natte papierbaan geperst. Na de persstap is het droge stof gehalte ca. 45-50%. Vervolgens wordt de natte papierbaan gedroogd in de droogpartij tot ca. 90-95% droge stof. De verkregen droge papierbaan wordt tot slot opgerold op een kartonnen koker. Hierbij is het van belang dat de papierbaan kreukvrij stevig op de rol zit zodat mogelijke krimp tijdens het conditioneren goed wordt opgevangen.



## **2.2. Pakket van eisen high-end papier**

Kijkend naar het high-end office papier zal er een vergelijk worden gemaakt richting een A4-kopieerpapier, welke veelal voor communicatie doeleinden wordt ingezet. Daarnaast kan tevens worden gedacht aan toepassingen zoals visitekaartjes, foldermateriaal en andere communicatiemiddelen zoals rapporten, magazines, jaarverslagen e.d..

Dit A4-kopieerpapier voldoet aan de volgende eisen:

- Goede bedrukbaarheid, waarbij "dusting" en "missing dots" niet optreedt.
- Het papier moet een goede dimensiestabiliteit hebben. Tijdens het bedrukken mag de papierbaan niet kromtrekken door vochtname uit water gedragen inkt.
- De aangebrachte tekst moet goed leesbaar zijn en egaal van kleur.
- Een basismassa tussen 80 en 115 gr/m<sup>2</sup>.
- De papierbaan moet een opdikkendheid hebben van ca. 1,1cm<sup>3</sup>/gr zodat de papierbaan niet te slap of te stijf is.
- Een breek Lengte van ca. 4km bij vezel georiënteerd papier en ca.3 km bij 'niet georiënteerd' papier (handsheets).

Bij de diverse communicatie middelen kan de basismassa van het eindproduct variëren. Visitekaartjes hebben veelal een basismassa tussen 250 en 350 gr/m<sup>2</sup>, terwijl magazines, jaarverslagen, rapporten veelal een binnenwerk hebben met een basismassa tussen 80 en 115 gr/m<sup>2</sup> met een kافت van ca. 300 tot 400 gr/m<sup>2</sup>.

## **2.3. Pakket van eisen high-tech papier**

Kijkend naar het high-tech papier voor bouwapplicatie zal sterk moeten worden gekeken waarvoor het papier zal worden ingezet. Dit kan per toepassing variëren. Hierbij kan onder meer worden gedacht aan de inzet van papier in gipsplaten, huidplaten voor sandwichpanelen, damp remmende folie, papier als halffabricaat voor een kozijn en behangpapier.

In geval van een gipsplaat, zorgt het papier ervoor dat het gips bij elkaar wordt gehouden en voor stevigheid in de plaat. Daarnaast voldoet dit papier aan de volgende eisen:

- Sterkte van minimaal 4-8 km breek Lengte
- Basismassa van ca 160-300gr/m<sup>2</sup>.
- Wateropname van maximaal 15-30 gr/m<sup>2</sup>.
- Eenvoudig recyclebaar.

Het project 'Growing a Green Future' is gefinancierd binnen het Interreg V-programma Vlaanderen-Nederland, het grensoverschrijdend samenwerkingsprogramma met financiële steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling. Meer info: [www.grensregio.eu](http://www.grensregio.eu)



- Goede hechtingseigenschappen voor onder meer stucwerk en schilderwerk.
- Opdikkendheid van 1,4cm<sup>3</sup>/gr.

In geval van huidplaten (thermoplastische matrix) voor sandwich panelen kan worden gedacht aan een toepassing voor binnenwanden in tijdelijke huisvesting zoals de mobiele vakantiewoning. Deze panelen moeten makkelijk demonteerbaar zijn in geval van onderhoud en renovatie. De binnenwand is opgebouwd uit 2 buitenlagen van geïmpregneerd papier met een schuim kern element met gewenste dikte. De huidplaten zorgen hier net zoals bij gipsplaten voor de stevigheid van de binnenwand. Daarnaast moeten deze panelen aan de volgende eisen voldoen:

- Goed beschilderbaar
- Water afneembaar i.v.m. schoonmaak.
- Sterkte van 2-3 km breek Lengte.
- Afmetingen die gebruikelijk zijn in de bouw.
- Basismassa van ca 200gr/m<sup>2</sup>.

Binnen de bouw is een trend gaande dat er meer en meer functioneel gebouwd wordt. Waar vroeger voor de buitenmuren dikke bakstenen gebruikt werden, die ook het gewicht van het dak konden dragen, wordt tegenwoordig efficiëntere constructies ingezet van houtskeletbouwdelen en dragende vloeren. Hierbij moeten wanden en daken bijdragen aan het binnenklimaat; isoleren, maar belangrijker is klimaatregulatie. Dit reguleren gebeurt onder meer door damp remmende folie. Deze folie wordt bijvoorbeeld gebruikt tussen de isolatielaag en dakpannen. Water en regen worden tegengehouden, maar de openheid zorgt er wel voor dat "verse" buitenlucht de isolatie droog houdt.

Deze folie moet aan de volgende eisen voldoen (**te veeleisend voor dit project, en zal niet worden onderzocht**):

- Lucht poreus, maar water en damp remmend.
- Afmetingen die gebruikelijk zijn in de bouw.
- Moet te knippen of snijden en te nieten voor verwerking
- Antibacterieel en schimmelwerend.
- Natsterk of watervast.

In geval van papier voor composiet kozijnprofielen (thermoset matrix) is het profiel opgebouwd uit papierbanen die na impregnatie met een vloeibare hars worden samengeperst en uitgehard bij verhoogde temperatuur. Op deze wijze kunnen



sterke, relatief lichte profielen worden gemaakt met specifieke ontwerpeisen. Hierbij moet het papier aan de volgende eisen voldoen:

- Papier moet gemakkelijk impregneerbaar zijn, hogere porositeit.
- Sterkte van minimaal ca. 4km breek Lengte bij vezel georiënteerd papier en 2800-3000 m bij vierkant papier.
- Lichte oriëntatie van de vezels in lengte richting van het papier t.b.v. efficiënter construeren.
- Basismassa van ca. 100 gr/m<sup>2</sup>.
- Laag asgehalte.
- Geen oppervlakte behandeling of lijming voor watervastheid.

In geval van behangpapier moet het papier aan de volgende eisen voldoen:

- Het papier moet decoratief zijn.
- Verlijmbaar op multiplex, OSB-vezelplaat, gipsplaat of gipsbetonplaat (natsterk).
- Afneembaar met een vochtige doek.
- Dimensiestabiel (niet vervormen tijdens het verlijmen).
- Gelijmd zijn i.v.m. doorslag/opname van lijningsmiddel.

Wat naar voren komt als wordt gekeken naar de kwaliteitseisen van de verschillende papierapplicaties dan kan worden geconcludeerd dat de sterkte van het papier het meest van belang is, wanneer de sterkte niet hoog genoeg is kan er verder ook niets met het papier gedaan worden. Daarom ligt de grootste focus ook tijdens het papieronderzoek op de sterkte(breek Lengte) van het papier.



## 3 Resultaten

Aan de hand van een inventarisatie van beschikbaarheid van agroreststromen (*bron*: Output 6.1 Benchmark rapportage) is gebleken dat met name paprika- en tomatenloof uit de glasbouw, spruitkoolstronken en wortelloof en -toppen uit de landbouw mogelijkheden biedt voor papier- en kartontoepassingen. Vandaar dat deze reststromen plus vlas, hennep en Miscanthus als zijnde de vezelgewassen en combinaties hiervan in eerste instantie zijn gescreend, middels lab papier handsheets, waarbij vezels mechanisch en mild chemisch zijn behandeld (paragraaf 3.1 en 3.2). In paragraaf 3.23 is een verdiepingsslag gemaakt met betrekking tot verschillende vezelvoorbewerkingen van het spruitkoolgewas en welke behandeling het meeste sterkte geeft. Aansluitend zijn veel belovende combinaties van natuurvezels met papierpulp getest op pilotschaal (paragraaf 3.34). De verkregen resultaten hebben geleid naar een inventarisatie semi-works papier productie van het prototype papier en een eerste aanzet business case high-end office papier (paragraaf 3.46). Daarnaast zijn diverse prototypes producten gemaakt van zowel het high-end office papier en het high-tech bouw papier. Deze staan beschreven in paragraaf 3.5.

### **3.1. Lab screening agroreststromen en vezel gewassen**

Naar aanleiding van de uitgevoerde benchmark zijn 4 agroreststromen en 3 vezelgewassen geselecteerd om te onderzoeken op toepasbaarheid in papier. Om de agroreststromen en de vezelgewassen te kunnen inzetten in papier moeten deze eerst nog worden verkleind, gemalen en ontwikkeld. Deze stappen zorgen ervoor dat de natuurvezels beter tussen de papiervezels passen. Als eerst is er gekeken naar een mechanische opwerking. Hierbij zijn de agroreststromen en vezelgewassen in eerste instantie gedroogd en verkleind op een shredder met een zeefdek van ca. 1mm. Waarna deze verder zijn ontwikkeld/aangemalen in een PFI-molen. De spruitkool is naast de shredder ook voor behandeld met een persstap.

#### **Persstap**

In deze processingstap is overtollig vocht verwijderd bij de agro-vezelgrondstof.

#### **PFI**

De PFI-methode is een intensieve maling in de PFI-molen waarbij met 10% droge stof de vezels verder worden aangemalen/ontsloten. Dit proces geeft vezels die na pulpen inzetbaar zijn in handsheets.

Het project 'Growing a Green Future' is gefinancierd binnen het Interreg V-programma Vlaanderen-Nederland, het grensoverschrijdend samenwerkingsprogramma met financiële steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling. Meer info: [www.grensregio.eu](http://www.grensregio.eu)



## Shredder

De shredder is een kleine molen waarin 3 messen ronddraaien over een zeefdek met gaten van ca. 1mm groot. Hierdoor worden de gedroogde vezels vermalen en verkleind.

## Bladvormer

Op de bladvormer worden de handsheets gemaakt. De pulpen met verschillende concentratie celstof, agrovezel en vezelgewas worden van te voren in de juiste verhouding gemengd alvorens deze worden verwerkt tot handsheet op de bladvormen.

### 3.2. Productie handsheets natuurvezels

In eerste instantie zijn lab handsheets gemaakt van agrostestromen en vezelgewassen, welke mechanisch en mild chemisch zijn opgewerkt. Hierbij is een vergelijk gemaakt waarbij 100% virgin celstof is vergeleken met 100% alternatieve en de handsheets zijn vergeleken met 100% virgin celstof. Deze resultaten zijn samengevat in Tabel 2.

Tabel 2 Overzicht eigenschappen papier vezel- en agrogewassen

	<b>Vezel/agrogewas</b>	<b>Maal intensiteit</b>	<b>Breek lengte [m]</b>	<b>Percentuele verandering t.o.v. referent</b>
	100% virgin celstof	Geen	2700-3600	
	100% gerecycled papier	Geen	1600-1800	
<b>Mechanisch</b>	Hennep scheven	Hoog	600	-67%*
	Hennep bast	Middel	3600	+29%
	Miscanthus	Hoog	700	-74%
	Vlas	Middel	3600	0%
	Spruitkool	Middel	3600	0%
	Wortelloof	Middel	2800	-20%
	Tomaten stengel	Middel	2500	-17%
<b>Mild Chemisch [verhoogde pH]</b>	Hennep scheven	Laag	4100	+47%
	Miscanthus	Middel	3600	+29%
	Vlas	Middel	4200	+30%

\* Ter vergelijking met gerecycled papier vezel

Het project 'Growing a Green Future' is gefinancierd binnen het Interreg V-programma Vlaanderen-Nederland, het grensoverschrijdend samenwerkingsprogramma met financiële steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling. Meer info: [www.grensregio.eu](http://www.grensregio.eu)



Deze tabel laat zien dat de agroreststromen of een gelijkblijvende sterkte geeft vergeleken met celstof of dat deze gaat afnemen, indien deze vezels mechanisch worden behandeld. De spruitkool en tomatenstengel hebben de grootste potentie om ingezet te kunnen worden in een papierapplicatie. Mechanisch behandelde vezelgewassen hebben ook een trend in sterkte afname, behalve dan de bastvezel van de hennep. Deze bastvezel laat zich echter niet eenvoudig verkleinen. Indien de vezelgewassen mild chemisch worden behandeld, wordt in alle gevallen een sterkte toename waargenomen. Dit is ook het geval bij spruitkoolstengelvezels. Omdat in veel gevallen de sterkte van mechanisch opgewerkte agroreststromen afneemt of maximaal gelijk blijft en pulpeigenschappen sterk achterblijven ten opzichte van celstof en/of gerecycled papier, zijn er combinaties met verschillende vezelgewassen gemaakt.

### 3.2.1. Combinaties

Er zijn handsheets gemaakt van verschillende vezelgewas/agroreststroom combinaties. Deze handsheets zijn getest op mechanische eigenschappen waarbij er is gekeken naar of het combineren van vezelgewassen met agroreststromen resulteert in een synergetisch effect. De vezelgewassen zijn hierbij mild chemisch voorbehandeld, gewassen tot een neutrale pH en vervolgens opgewerkt bij middelmatige intensiteit. De agrorestvezels van spuitkoolstronken zijn mechanisch verkleind en ontwikkeld. Van de verschillende geteste combinaties liet de combinatie van spruitkool met vezelgewassen de beste mechanische eigenschappen zien (zie Tabel 3 en Tabel 4).

Van handsheets bestaande uit 100% spruitkool-, vlas- en Miscanthusvezel zijn de sterktes vastgesteld. Deze waarden zijn aansluitend gebruikt om theoretische papiersterktes van combinaties te berekenen en dus een doorzicht te geven welke sterktes zouden moeten worden verkregen.



Tabel 3 Breeklengte van de vlas/spruitkool/celstof handsheets

Vezel			Breeklengte[m]	
% vlas lemen	% spruitkool	% celstof	berekend	gemeten
0	0	100	-	2792 ± 117
0	100	0	-	1947 ± 98
100	0	0	-	1960 ± 37
12,5	12,5	75	2583	2707 ± 261
25	25	50	2373	2498 ± 59
37,5	37,5	25	2163	2700 ± 181
50	50	0	1953	2440 ± 139
0	50	50	2370	2115 ± 74
50	0	50	2376	2119 ± 141
<b>10</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>1975</b>	<b>2821 ± 211</b>
25	75	0	1950	2289 ± 132

Tabel 3 laat zien dat voor alle combinaties vlas/spruitkool/celstof de breeklengte niet boven de 3 km uitkomt. Met deze mechanische eigenschappen is deze combinatie dus mogelijk niet bruikbaar zijn voor toepassing in een high-end of high-tech papier.

Tabel 4 Breeklengte van de Miscanthus/spruitkool/celstof handsheets

Vezel			Breeklengte [m]	
% Miscanthus	% Spruitkool	% Celstof	berekend	gemeten
0	0	100	-	2986 ± 252
0	100	0	-	2408 ± 24
100	0	0	-	4877 ± 262
12,5	12,5	75	3150	3111 ± 75
25	25	50	3314	3644 ± 50
37,5	37,5	25	3478	3667 ± 299
50	50	0	3643	3913 ± 136
0	50	50	2697	3095 ± 151
<b>10</b>	<b>40</b>	<b>50</b>	<b>2944</b>	<b>3833 ± 186</b>

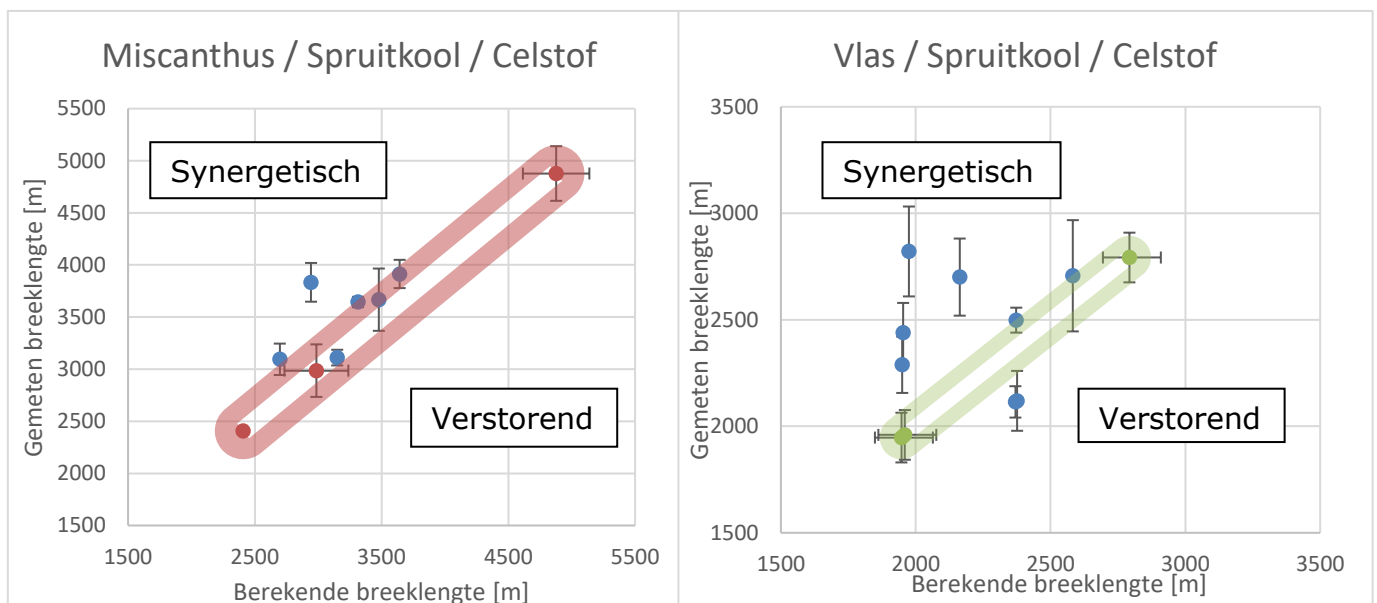
Bij de combinaties gemaakt met Miscanthus, zie Tabel 4, wordt daarentegen wel een breeklengte verkregen boven de 3 km en is mogelijk beter toepasbaar voor een toepassing in een high-end of high-tech papierapplicatie. Wat opvalt is dat bij





beide combinaties de combinatie van 10% vezelgewas met 40% spruitkool en 50% celstof de hoogste synergie vertonen.

In Figuur 4 is dit nader inzichtelijk gemaakt door de berekende breeklengthe en de gemeten breeklengthe tegen elkaar uitgezet om zo te kijken of er mogelijk sprake is van een synergetisch effect. Om te bepalen of de combinatie een storend of een versterkend effect vertoont, is er een lijn getrokken met de formule  $y=x$  en met de standaardafwijking van de referentvezels (aangegeven met de gekleurde ellips in de grafiek).



Figuur 4 Overzicht synergetische/verstorende combinaties van vlas en miscanthus met spruitkool

### 3.3. Focus op spruitkoolstronk pulpen – lab schaal

De lab screening heeft aangetoond dat de spruitkoolstronk als zeer waardevolle agreststroom kan worden gezien. Vandaar dat in deze paragraaf nader bekeken is hoe de spruitkoolvezels het beste opgewerkt zou kunnen worden voor papierapplicaties. Omdat de kwaliteit van de vezel nauw samenhangt met de logistiek ervan is het belangrijk om de gevolgen van bepaalde handelingen zoals drogen, kuilen of persen te achterhalen. Daarnaast is er gekeken of met een mild chemische voorbehandeling meer sterkte uit het papier gehaald kan worden.

#### 3.3.1. Huidige logistiek spruitkoolstengels

Vanaf het najaar tot in de lente komt er bij een boer ca. 20-30 ton spruiten per hectare van het land per jaar. Het restproduct daarvan, de spruitkoolstengels, blijft

Het project 'Growing a Green Future' is gefinancierd binnen het Interreg V-programma Vlaanderen-Nederland, het grensoverschrijdend samenwerkingsprogramma met financiële steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling. Meer info: [www.grensregio.eu](http://www.grensregio.eu)



achter op het land. In Nederland wordt deze stroom ingezet als grondverbetering of kan het direct worden ingezet voor het voeren van (rund)vee. Echter in België is gebleken dat deze reststromen moeten worden afgevoerd naar de compostering. In de huidige omstandigheden is er geen opslag en bewaring van de grondstof georganiseerd. Voor papiergrondstoffen is dit echter wel noodzakelijk omdat dan altijd aanspraak gemaakt kan worden op de vezels. Om dit te bewerkstelligen moet er een opslagmethode komen die niet ten koste gaat van de papierkwaliteit, maar er wel voor zorgt dat de grondstof het gehele jaar beschikbaar is.

Er zijn meerdere behandelingen/opslagmogelijkheden onderzocht. Er zijn testen gedaan met gedroogd materiaal. Door deze droogstap zijn de vezels donkerbruin van kleur geworden zoals te zien in Figuur 5. Door het drogen van deze vezels worden iets lagere mechanische eigenschappen verkregen.



*Figuur 5 Verkleurde gedroogde vezels(rechts) t.o.v. niet verkleurde geperste vezels(links)*

Tevens zijn er testen gedaan met vers uitgeperst materiaal, maar dan moet er voor een relatief korte periode een grote pers beschikbaar zijn. Dit gaat gepaard met een grote investering, welke niet te verantwoorden is. Beter zou het zijn om een semi continu proces te hebben, waardoor de stengels over een langere periode weer beschikbaar komen. Dit kan worden gerealiseerd middels kuilen.

Vandaar dat kuilexperimenten zijn opgestart, waarbij is gebleken dat de spuitkoolvezels na een paar dagen stabiel bewaart kunnen worden. Tijdens het kuilen wordt de spuitkool luchtdicht opgeslagen. Bacteriën zorgen er vervolgens voor dat de suikers worden omgezet in melkzuur en azijnzuur waardoor de spuitkool niet gaat rotten. Het voordeel ten opzichte van de droogstap is dat dit minder energie kost en dat er geen kleurverandering optreedt. Zo kan het materiaal gedurende het hele jaar worden gebruikt. Tevens is gebleken dat het gekuilde

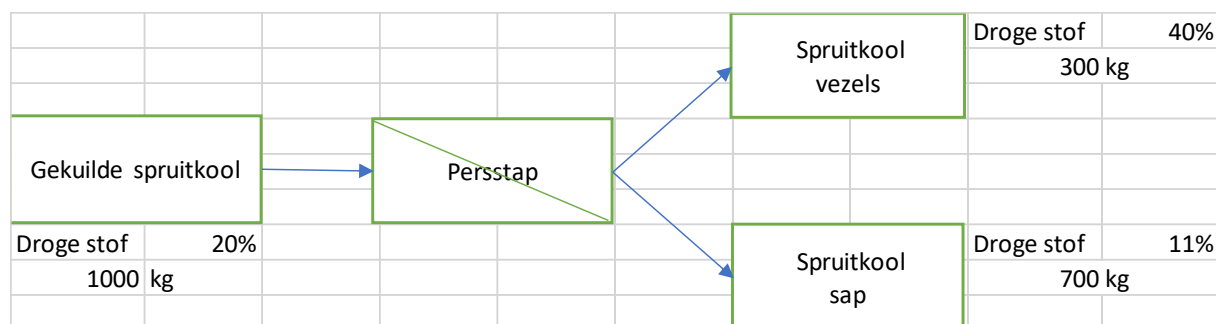


materiaal makkelijker te verwerken is in een pers doordat deze heeft kunnen 'weken' in de kuil.

### 3.3.2. Met of zonder persstap - sapfractie

Gedurende het project is in eerste instantie enkel gekeken naar een mechanische opwerking van de vezel. Door middel van een voorbehandeling stap kan de vezel beter worden opgewerkt, wat resulteert in een toename van de sterkte.

Naast dat is gebleken dat de spuitkoolvezel goed kunnen worden opgeslagen middels een kuil, is tevens gekeken of de sapfractie welke nog in de vezels aanwezig is, kan worden verward door middel van een persstap. Een persexperiment is uitgevoerd met 60 kg gekuild spuitkoolvezels en de uitkomsten van deze massabalans zijn doorgerekend naar 1ton materiaal (zie Figuur 6).



Figuur 6 Massabalans persstap spuitkool

Hieruit blijkt dat als 1 ton gekuilde spuitkoolstronken wordt geperst, er ca. 700 kg sap vrijkomt met een gemiddeld droge stof gehalte van 11%. Deze sapfractie is aansluitend onderzocht op waardevolle nutriënten, welke mogelijk kunnen worden gebruikt als bio kunstmest en mogelijke zwavelhoudende antibacteriële componenten.

Uit de analyses is naar voren gekomen dat het sap fosfaat en stikstof bevat. Mogelijk kunnen deze nutriënten door middel van een bio raffinage stap worden gescheiden en teruggewonnen voor de inzet als meststof. Verder zijn hoge concentraties azijnzuur waargenomen, welke mogelijk in gematigde hoeveelheden kunnen worden toegepast in vergistings-installaties of gebruikt kunnen worden voor andere doeleinde in de chemische industrie.



### 3.3.3. Effect spuitkool voorbehandelingen op de mechanische eigenschappen

Aansluitend is op lab-schaal gekeken naar de invloed van verschillende voorbehandelingsstappen op de mechanische eigenschappen van het papier. Hierbij zijn verse en gekuilde spuitkoolvezels gebruikt, welke vervolgens zijn gedroogd, geperst of direct opgewerkt. Hierbij zijn de spuitkoolvezels aangemalen met lage, middelmatige en hoge maalgraad in de PFI-molen. Vervolgens zijn er reeksen gemaakt met 0%, 25%, 50%, 75% en in sommige gevallen 100% spuitkoolvezels (zie Figuur 7). Om de resultaten goed met elkaar te kunnen vergelijken is van iedere reeks de handsheet gemaakt van 50% spuitkoolvezel en 50% celstof beoordeeld. De resultaten zijn samengevat in Tabel .



Figuur 7 Handsheetreeks gemaakt van hoog aangemalen, gekuilde spuitkoolvezels

Tabel 5 Breeklengthe van de 50% spuitkool-celstof handsheets, waarbij de spuitkoolvezels verschillend zijn voorbehandeld

Vers of gekuild	Voorbehandeling	PFI aangemalen	Breeklengthe [m]	Percentuele verandering
Vers	Geen	laag	3300 → 2500	-24%
Vers	Geen	middelmatig	3300 → 3200	-3%
Vers	Geen	hoog	3300 → 3600	+9%
Vers	Drogen	laag	3500 → 2800	-20%
Vers	Drogen	middelmatig	3500 → 3000	-14%
Vers	Drogen	hoog	3500 → 3700	+6%
Vers	Persen	laag	3500 → 2700	-23%
Vers	Persen	middelmatig	3500 → 3300	-6%
Vers	Persen	hoog	3500 → 3700	+6%
Gekuild	Geen	laag	3000 → 2100	-30%
Gekuild	Geen	middelmatig	3000 → 2400	-20%
Gekuild	Geen	hoog	3000 → 2700	-10%
Gekuild	Drogen	laag	3200 → 2500	-22%
Gekuild	Drogen	middelmatig	3200 → 2700	-16%
Gekuild	Drogen	hoog	3200 → 3100	-3%
Gekuild	Persen	laag	2900 → 2700	-7%
Gekuild	Persen	middelmatig	2900 → 2900	0%
<b>Gekuild</b>	<b>Persen</b>	<b>hoog</b>	<b>2900 → 3200</b>	<b>+10%</b>

Het project 'Growing a Green Future' is gefinancierd binnen het Interreg V-programma Vlaanderen-Nederland, het grensoverschrijdend samenwerkingsprogramma met financiële steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling. Meer info: [www.grensregio.eu](http://www.grensregio.eu)



De resultaten in Tabel 5 laten zien dat een combinatie van gekulde spuitkool reststroom met een persstap en hoge aanmaling van de alternatieve vezels resulteert in handsheets met verbeterde sterkte. Deze toename wordt ook verkregen vanuit de verse spuitkool reststroom met hoge aanmaling en verschillende voorbehandelingen, echter is vanuit deze verse vezel niet het gehele jaar te werken.

Een duurproef van vezelopslag (gekuild materiaal) heeft aangetoond dat indien na 3 maanden nogmaals handsheets worden gemaakt van geperste en gekulde spuitkool reststromen, de vezelkwaliteit niet is veranderd. De verkregen pulp geeft handsheets met vergelijkbare mechanische eigenschappen zoals verkregen in eerdere experimenten.

### ***3.4. Experimenten op pilotschaal met georiënteerd papier***

Aan de hand van de beste resultaten uit de lab screeningsfase, is papier met vezel oriëntatie gemaakt met spuitkoolvezels op de pilot papiermachine van Millvision.

#### **3.4.1. Pilot-fase**

Via deze pilot run is onderzocht of de inzet van spuitkoolpulp effecten heeft op papierproductie onder meer "industriële" condities met een pilot papiermachine waarbij vezel oriëntatie, ontwatering van de papierbaan, en afzetting van natuurvezel fines op de droogpartij mogelijke gevolgen kunnen hebben voor de verkregen papierproductie en kwaliteit.

In de lab fase is er een synergetisch effect waargenomen bij de vlas- en Miscanthusvezels in combinatie met spuitkoolvezels. Bij deze experimenten is gebruik gemaakt van gekulde/geperste spuitkoolvezels. Deze spuitkoolvezels zijn verder opgewerkt tot pulp met behulp van de Hollander-molen. Als vezelgewas is gekozen voor een combinatie met commercieel verkrijgbare celstof-vlas grondstof. Deze celstof-vlas grondstof is eerst verwerkt tot pulp in een pilot pulper. Aansluitend is ook deze pulp aangemalen in de Hollander-molen gedurende 1 uur.

Gedurende de pilot-run zijn er verschillende papierrecepten gemaakt met een samenstelling van respectievelijk 10%, 25% en 50% spuitkoolvezels aangevuld met celstof. Daarbij is ook een combinatie van 10% vlasvezel en 25% spuitkoolvezel gemaakt aangevuld met celstof. De gemeten sterktes van het verkregen papier in machine richting (MD) en dwarsrichting (CD) en maalgraad waarden (maat voor ontwatering) van deze pilot-run zijn samengevat in Tabel . In Figuur 8 zijn de geproduceerde papierbanen weergegeven.

Het project 'Growing a Green Future' is gefinancierd binnen het Interreg V-programma Vlaanderen-Nederland, het grensoverschrijdend samenwerkingsprogramma met financiële steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling. Meer info: [www.grensregio.eu](http://www.grensregio.eu)



Tabel 6 Overzicht papier- en pulpeigenschappen van de pilot-run

Percentage spruitkool	Breeklenkte [m]		Maalgraad [°SR]
	MD	CD	
0%	3380	1985	24
10%	4194	3366	30
25%	4383	2787	33
50%	4988	2835	54
25% + 10% vlas	4982	3099	37

Alle geproduceerde papiervezel combinaties waren goed te verwerken op de pilot papiermachine en er is geen afzet van fines op de droogpartij waargenomen. Tabel laat duidelijk zien dat de gewenste specificaties van 4 km breeklenkte zijn overtroffen en dat maximaal breeklenktes van 5 km worden verkregen (toename van ca. 50% in vergelijking met 100% celstof). Het is dus te verwachten dat dit papier geschikt zal zijn voor zowel een high-end als een high-tech applicatie.

Ook is te zien dat een toenemende concentratie spruitkoolvezels in de pulp zorgt voor een toename in maalgraad wat mogelijk kan duiden op een slechtere ontwatering. Dit kan mogelijk resulteren in een lagere productie per uur van de papiermachine. Toevoeging van spruitkoolvezels met een concentratie van 25%, zal waarschijnlijk nog geen grote invloed hebben op de papierproductie volume per tijdseenheid. Bij een spruitkoolvezel concentratie van 50% is de maalgraad dusdanig verhoogd dat dit mogelijk wel gevolgen zou kunnen hebben voor de productievolume per tijdseenheid.

De mechanische eigenschappen van het papier met 50% spruitkoolvezel gecombineerd met celstof zijn gelijkwaardig aan die van de geteste 10% vlasvezel/25% spruitkoolvezel combinatie met celstof. De maalgraad van de vlasvezel/spruitkoolvezel/celstof combinatie is echter beduidend lager en zal mogelijk geen effect hebben op de productie volume per tijdseenheid.

Het inzetten van 25% spruitkool in papier in de high-end en high-tech applicaties is daarom het meest interessant. Dit papier heeft de gewenste 4km breeklenkte terwijl de maalgraad slechts licht toeneemt, wat geen grote desastreuze gevolgen zal hebben voor de productiesnelheid.



Daarnaast heeft het spruitkoolvezel gebaseerde papier het voordeel ten opzichte van andere agreststroomvezel gebaseerde papieren dat deze een mooie homogene beige / off-white kleur heeft. Bij veel agreststroomvezel gebaseerde papieren zit de natuurvezel duidelijk zichtbaar in het papier door zijn karakteristieke kleur.



*Figuur 8 Pilotpapierrollen met v.l.n.r. 10%, 25%  
50% spruitkool en 10% vlas+25% spruitkool*

### **3.5. Ontwikkeling high-end en high-tech prototype producten**

Met het gemaakte spruitkoolpapier op pilotschaal zijn vervolgens verschillende eerste high-end en high-tech prototype producten gemaakt.

#### 3.5.1. High-end papierproducten

Met het verkregen 25% spruitkoolvezel / celstof papier zijn in eerste instantie A4-papieren gemaakt en deze zijn getest op print mogelijkheden in een inktjet printer print mogelijkheden in een inktjet printer (zie Figuur 9).



*Figuur 9 Bedrukt A4 van 25% spruitkoolpapier A4 gemaakt van spruitkoolpapier(links) in vergelijking met 'normaal'A4 papier(rechts)*

In Figuur 9 is te zien dat het gemaakte spruitkoolvezel papier goed bedrukbaar is. Tevens is te zien dat het papier off-white gekleurd is in vergelijking met A4 kopieerpapier. Van dit laatstgenoemde papier is echter bekend dat zogenaamde Optical brighteners worden toegevoegd welke het papier meer wit maken.

Het project 'Growing a Green Future' is gefinancierd binnen het Interreg V-programma Vlaanderen-Nederland, het grensoverschrijdend samenwerkingsprogramma met financiële steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling. Meer info: [www.grensregio.eu](http://www.grensregio.eu)



Vervolgens is van het verkregen spruitkool papier ter illustratie een mogelijk prototype zakje gemaakt als een mogelijk verpakkingsmateriaal (zie Figuur 10).

### 3.5.2. High-tech prototype papierproducten

Vervolgens is het spruitkoolvezel papier verwerkt en getest voor toepassing in diverse bouwapplicaties. Hierbij is het papier verder getest of het geschikt zou zijn om er behangpapier van te maken ter decoratie in de mobiele vakantiewoning. Tevens is gekeken of het papier te verwerken is als huidplaten voor toepassing in sandwich panelen en of het papier zou kunnen worden ingezet als halffabricaat in een eerste prototype papierkozijn.

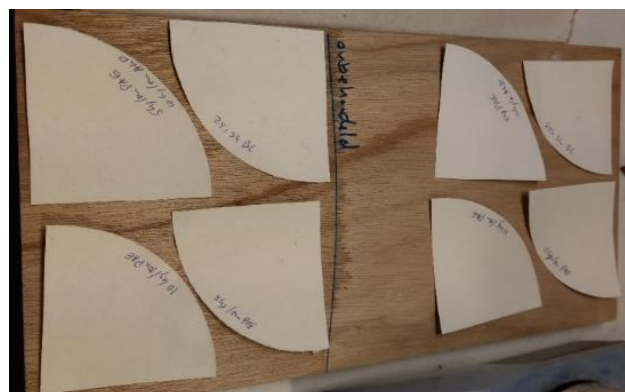


*Figuur 10 Zakje gemaakt van 25% spruitkoolpapier*

#### 3.5.2.1. Behangpapier

Om het papier te kunnen inzetten als zijnde behangpapier, moet deze kunnen worden verwerkt onder natte conditie (behanglijm), zonder dat de dimensies van het papier veranderen. Tevens is gevarieerd met een waterafstotend en natsterkte middel om een mogelijk scheuren van het spruitkoolvezel papier te voorkomen indien deze wordt ingesmeerd met behangplaksel. Tevens zijn diverse ondergronden getest waarmee de binnenwanden van de mobiele vakantiewoning zou kunnen worden gebouwd. Hierbij heeft Agrodome aangegeven dat de binnenwanden hoogstwaarschijnlijk zullen worden opgetrokken met multiplex of gipsplaat.

Om het mogelijk zuigend effect van deze wandpanelen te voorkomen is een deel van deze panelen behandeld met een voorstrijk. Aansluitend, zijn de verschillende spruitkool-vezel papiersamples gelijmd en gedroogd op de verschillende ondergronden (zie Figuur 11).



*Figuur 11 Behangpapier testen*

Het project 'Growing a Green Future' is gefinancierd binnen het Interreg V-programma Vlaanderen-Nederland, het grensoverschrijdend samenwerkingsprogramma met financiële steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling. Meer info: [www.grensregio.eu](http://www.grensregio.eu)





Na deze plaktesten zijn de volgende punten beoordeeld: lijmkracht, nat maken / schoon maken, opdrogen na schoonmaken/stabiliteit en zicht tijdens lijming / doorslag van lijm. De beoordeling staat in Tabel 7 weergegeven.

*Tabel 7 Scoretabel behandelde spuitkool handsheets behangpapier testen*

25% spuitkool 75% celstof Gelijmd met behanglijm (1,67%)		0 (blanco)	1 (5kg/ton natsterkte)	2 (5kg/ton natsterkte + 10kg/ton waterafstotendheid)	3 (10kg/ton natsterkte)
Lijmkracht	Gips zonder	+	-	-	-
	Gips met	+	-	-	-
	Multiplex zonder	0	-	-	-
	Multiplex met	0	-	-	-
Nat maken / schoon maken	Gips zonder	--	-	+	0
	Gips met	--	-	+	0
	Multiplex zonder	--	-	+	0
	Multiplex met	--	-	+	0
Opdrogen na schoonmaken - stabiliteit (deels los)	Gips zonder	+	+	+	+
	Gips met	+	+	+	+
	Multiplex zonder	-	-	+	-
	Multiplex met	+	-	+	-
Zicht tijdens lijming - doorslag van lijm	Gips zonder	-	-	+	-
	Gips met	-	-	+	-
	Multiplex zonder	-	-	+	-
	Multiplex met	-	-	+	-

Zoals te zien in Tabel 7 laat het spuitkoolpapier met een combinatie van natsterkte en waterafstotend middel zich het best verwerken tot behangpapier. Aansluitend is van deze combinatie een rol spuitkoolbehangpapier vervaardigd.

### *3.5.2.2. Mock-up huidplaten voor Sandwich paneel*

Als high-tech applicatie is het spuitkoolpapier ook gebruikt om huidplaten voor sandwich panelen van te maken. Als eerste stap is geprobeerd het spuitkoolpapier van de pilotpapiermachine tezamen met een PLA folie te persen tot een homogene huidplaat. Hierbij zijn verschillende drukken, temperaturen en koeltijden toegepast.

In Figuur 12 zijn de huidplaten van deze testen weergegeven. Eerdere ervaringen van het vervaardigen van huidplaten met papier hebben geleerd dat poreus papier zich het best laat verwerken tot een composiet zoals een huidplaat met PLA. Hierbij is de sterkte van het papier minder van belang, maar draagt wel bij aan de totale sterkte. Sterker papier resulteert ook in een sterkere/stijvere huidplaat. Omdat de porositeit van papieren met spuitkoolvezels laag is, is de papierbaan moeilijk



impregneerbaar met het PLA (zie Figuur 12). De mogelijkheid om hiervan sandwichpanelen te maken is daarom niet verder onderzocht.



*Figuur 12 Testen huidplaten van 25% spruitkoolpapier met PLA*

### *3.5.2.3. Mock-up Papierkozijn:*

Tot slot is er geprobeerd om van het spruitkoolpapier een prototype kozijnprofiel te maken. Hierbij zijn stroken spruitkoolpapier geweekt in een harsoplossing en middels een hand lay-up techniek aangebracht in een mal. Vervolgens is het kozijnprofiel verkregen middels vacuümvormen.



*Figuur 13 Papierkozijn*

In Figuur 13 is een demo spruitkool papierkozijn weergegeven. Dit laat duidelijk zien dat dit papier kan worden ingezet als halffabricaat voor deze bouwtoepassing. De techniek om dit op grotere schaal te gaan maken zal verder moeten worden ontwikkeld.

Het project 'Growing a Green Future' is gefinancierd binnen het Interreg V-programma Vlaanderen-Nederland, het grensoverschrijdend samenwerkingsprogramma met financiële steun van het Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling. Meer info: [www.grensregio.eu](http://www.grensregio.eu)



### ***3.6. Inventarisatie eerste aanzet businesscase high-end office papier***

In eerste instantie is geïnventariseerd welke partijen interesse kunnen hebben in een dergelijk natuurvezel gebaseerde pulp en/of papierproducten hiervan gemaakt. Hierbij kan ten eerste worden gedacht aan papierfabrieken die op zoek zijn naar alternatieve vezels om te kunnen compenseren bij schaarste van gerecyclede papiervezel grondstof. Daarnaast kan worden gedacht aan de verpakkingindustrie, papiergroothandels, drukkerijen, (lokale) overheden en projectpartners.

Vervolgens is er een eerste ruwe inschatting gemaakt van de kosten van 1 ton spruitkool als grondstof voor de papierindustrie, omdat juiste kentallen niet zijn verkregen. Geschat wordt dat 1 ton spruitkoolpulp zal kunnen concurreren met een virgin celstof (kosten ca. €800/ton). Mogelijk is het dus aantrekkelijk voor papierfabrieken om spruitkoolpulp te gebruiken als goedkoper alternatief. Indien dit het geval is zal dit nader moeten worden bekeken in samenwerking met een geïnteresseerde partij.

Momenteel is er echter minder druk op krapte op de gerecyclede papierpulpmarkt, waardoor de vraag naar een alternatieve natuurvezel momenteel minder speelt. De papierindustrie reageert dus conservatief, maar is wel geïnteresseerd.

Verdere inventarisatie, o.a. binnen het projectteam en de verpakkingindustrie, heeft helaas niet geleid tot een semi-works vervolgstap van spruitkoolpapier voor een office-applicatie (high-end office papier). De afname wensen zijn te klein om een dergelijke stap te kunnen verantwoorden. Daarnaast moet het papier concurreren tegen gerecyclede papiervezel of agropapieren gemaakt vanuit suikerriet. De schaal waarop dit papier wordt gemaakt is vele malen groter dan de schaal waarop het spruitkoolpapier eventueel gemaakt zou worden. Dit zorgt er voor dat de prijs van het spruitkoolpapier hoger is dan die van het suikerriet papier. Hierbij dient wel te worden vermeld dat dit laatstgenoemde papier in ver gelegen lage loonlanden wordt geproduceerd, dus vanuit LCA oogpunt dus meer belastend is voor het milieu. Echter de papierwereld is volumeproductie en dit zal eerst moeten worden doorbroken.



## 4 Conclusies en aanbevelingen

Het project heeft aangetoond dat er een high-end office papier en high-tech bouw papier kan worden gemaakt met gewenste specificaties gemaakt uit een combinatie van agroreststromen en vezelgewassen. Het meest geschikt agroreststroom gewas is spruitkoolstronken gebleken. Het blijkt dat tot ca. 25% spruitkoolvezels kunnen worden bijgemengd, waarbij papier is wordt verkregen met gewenste specificaties – breek Lengte van 4 tot zelfs bijna 5 km en goed te produceren. Voordeel van deze vezel is dat deze een homogene off-white kleur geeft aan het papier, waarbij de vezel nauwelijks zichtbaar is qua kleur, terwijl andere agroreststromen duidelijk zichtbaar zijn.

In combinatie met vlas wordt een duidelijk synergetisch effect qua sterkte van het papier waargenomen. Het papier is goed te produceren met een pilot papiermachine, welke dus een goede reële doorzicht geeft richting industriële productie mogelijkheden van dit papier.

Wanneer er wordt gekeken naar prototype papierproducten, blijkt dat het papier als high-end office- of verpakkingspapier kan worden ingezet. Het papier is goed bedrukbaar en is te converteren tot verpakkingsmaterialen, waaronder papieren zakjes. Een eerste globale schatting van kosten van de spruitkoolvezels leert dat deze mogelijk kan concurreren met prijzen van een celstof.

Kijkend naar high-end bouwtoepassingen blijkt dat het papier mogelijk ingezet zou kunnen worden als behangpapier of dienen als halffabricaat richting een kozijnprofiel. Hoe deze profielen op grotere schaal te kunnen produceren moet nog wel nader worden onderzocht. Eerste testen om het papier in te zetten voor het maken van huidplaten bleek minder succesvol en de mogelijkheid om hiervan sandwichpanelen te maken is daarom niet verder onderzocht.

Door middel van kuilen is er een mogelijkheid gevonden om de spruitkoolstronken dusdanig te bewaren zodat deze het gehele jaar beschikbaar zou zijn voor papierproductie. Indien het gekuilde materiaal voor gebruik wordt geperst, blijkt er een grote sapfractie vrij te komen welke mogelijke diverse interessante inhoudsstoffen blijkt te bevatten. Deze sapstroom kan mogelijk worden ingezet voor de productie van biogas om zo verder te kunnen bijdragen aan vierkantsverwaarding. Dit zal echter nader moeten worden onderzocht.