

Hergebruik van thermohardende composieten

Hergebruik in de vorm van vlokken



Lectoraat Kunststoftechnologie



Colofon

Titel:	Hergebruik van thermoharde composieten - Onderzoek naar verwerking van vlokken als grondstof voor VVK-OSB
Publicatienummer:	LKT-RE-106206-1702
Datum:	Maart 2017
Auteurs:	Ir. J. Bouwmeester
Subsidieverstrekker:	SIA KIEM VANG
Met medewerking van:	Bijl Profielen Boverhoff BV
Fotografie:	Windesheim Zwolle

Met ReThink zet de kunststof- en rubberindustrie zich actief in als belangrijke (gespreks)partner binnen de Nederlandse economie en samenleving. Of dit nu gaat over kunststof en rubber in het algemeen of over daaraan gerelateerde maatschappelijke thema's en specifieke onderwerpen. Onze leden maken bijzondere en waardevolle producten en zien het als hun taak om dat op een zo duurzame en efficiënte manier te doen. Wij willen onze kennis en visie delen en onze betrokkenheid bij maatschappelijke discussie vergroten en versterken.

Dit is een uitgave van Christelijke Hogeschool Windesheim. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voorwoord

Het onderhavige rapport geeft de inhoudelijke eindrapportage van de uitgevoerde werkzaamheden binnen het KIEM-VANG project met de titel 'Hergebruik van thermoharde composieten. Onderzoek naar verwerking tot vlokken als grondstof voor VVK-OSB.' Het project is bij het Nationaal Regieorgaan Praktijkgericht Onderzoek SIA aangevraagd en toegekend met als projectnummer PROVA.CE.01.020 en kenmerk SVB/CE.01.020. De financiële eindrapportage met de verantwoording van uren en kosten wordt niet in dit document beschreven maar wordt separaat gerapporteerd.

Met de omschrijving 'hergebruik van thermoharde composieten' wordt een geheel andere, nieuwe werkwijze nagestreefd om end-of-life (afval) producten van dit materiaal te verwerken dan er in de afgelopen decennia is gedaan. Doelstelling is om met zo weinig mogelijk bewerkingen (kosten) het end-of-life product om te zetten in versterkingselementen die in nieuwe producten kunnen worden gebruikt. Op deze manier wordt een economisch interessante oplossing nagestreefd om zoveel mogelijk van de nog aanwezige hoogwaardige materiaaleigenschappen te benutten in een nieuw product. Deze werkwijze past in het principe van de circulaire economie: Van Afval Naar Grondstof (VANG).

Het huidige onderzoek is uitgevoerd onder leiding van de onderzoekers van het Lectoraat Kunststof Technologie (LKT) van de Hogeschool Windesheim. Hierbij waren ook studenten en het bedrijfsbureau van de technische studies betrokken.

De deelnemende bedrijven in het project waren Bijl Profielen, en Boverhoff, welke beiden een duidelijke rol in de keten hebben; Bijl als producent van composiet profielen en Boverhoff als een mogelijke verwerker.

De resultaten van het project zullen op uitgebreide schaal in de belangstelling worden gebracht door middel van presentaties en publicaties, waarvan een aantal in het overzicht van referenties van deze rapportage gemeld wordt.

De projectdeelnemers zien terug op een inspirerend en succesvol project en wensen u veel leesplezier toe.

ir. Jasper Bouwmeester
Onderzoeker

Zwolle, maart 2017

Inhoudsopgave

1. Inleiding in het project en projectdeelnemers	5
2. Principe van hergebruik van thermoharde composieten	7
3. Identificatie composiet restmateriaal	10
4. Ercom	11
5. OSB	13
5.1 Verschillen hout en vvk	15
6. VVK-OSB	16
6.1 Shredding	16
6.2 Sorting and blending	17
6.3 Washing and drying	17
6.4 Forming and orienting	18
6.5 Adhesive and additives	19
6.6 Pressing	19
6.7 Uitgevoerde testen	19
6.8 Kosten	22
6.9 Vervolgstappen	23
7. Conclusies en aanbevelingen	25
8. Reflectie op doelstellingen, opgebouwde kennis en vervolg	26
9. Literatuurbronnen en referenties	27

1. Inleiding in het project en projectdeelnemers

De achtergrond van het project is het hergebruiken van thermoharde composiet-producten die het eind van de gebruiksfase hebben bereikt en worden aangemerkt als 'end-of-life product' (EoL¹) of in de volksmond als 'afval'. In tegenstelling tot recycling, waar het afval wordt teruggebracht tot elementaire grondstofcomponenten (vezels, hars, vulstof), wordt bij het hergebruik het afvalproduct gemodificeerd tot componenten die als versterkende elementen ingezet kunnen worden in een nieuw te vervaardigen composietproduct. Door deze werkwijze blijven een aantal van de hoogwaardige composiet-eigenschappen (laag gewicht, hoge sterkte en stijfheid, bestendigheid tegen vocht) grotendeels behouden. Verder is belangrijk dat de kosten voor het realiseren van deze versterkende elementen uit het afval relatief laag zijn. De nieuwe methode van hergebruik past daarmee in het principe van de circulaire economie: Van Afval Naar Grondstof (VANG).

Het onderhavige project is een vierde project in een reeks van projecten die het Lectoraat Kunststof Technologie (LKT) van de Hogeschool Windesheim heeft opgesteld.

In het eerste project zijn reeds de stromen EoL thermoharde composietproducten in Nederland in kaart gebracht. Dit is gerapporteerd in het rapport LKT-RE-106027-1601 (mei 2016). Belangrijkste uitkomsten van deze studie waren:

- Kwantificeerbare stromen EoL thermoharde composietproducten betreffen polyester jachtrompen, rotorbladen, veevoersilo's en golfplaten. Deze vormen momenteel een jaarlijkse afvalstroom in Nederland van 4,5 kton per jaar. (Printplaten vormen ook een grote afvalstroom die echter niet voor het genoemde hergebruik-principe in aanmerking komen.)
- Nog niet gekwantificeerde stromen EoL thermoharde composietproducten zijn zwembaden en onderdelen daarvoor, onderdelen van vliegtuigen, treinen en auto's en sportartikelen.
- Een groot aantal thermoharde composietproducten zijn nog niet aan het einde van de levensduur of worden geëxporteerd en vormen dus op dit moment in Nederland geen significante stroom EoL producten voor het genoemde hergebruik-principe. Dit betreft composietproducten die zijn toegepast in bruggen, sluizen, industriële tanks, buizen, truck-flat panels, gevelpanelen en andere bouwdelen.

In het tweede project zijn de mogelijke producten en toepassingen in kaart gebracht die kunnen worden gerealiseerd door het hergebruiken van thermoharde composieten. Dit is gerapporteerd in het rapport LKT-RE-106029-1602 (augustus 2016). Belangrijkste uitkomst van deze studie was dat een aantal civiele toepassingen, zoals bijvoorbeeld oeverbeschoeiing kansrijk lijken voor de methode van hergebruik.

In het derde KIEM-VANG project is onderzoek gedaan naar het verkleinen van EoL composiet producten tot stroken en er is onderzocht wat de bijdrage van deze stroken is aan de sterkte en stijfheid van een nieuw product. Dit is gerapporteerd in het rapport LKT-RE-106030-1603 (januari 2017). Als uitgangspunt is een jachtromp genomen. Deze romp is met behulp van een kraan met grijper verkleind tot vlakke delen. Vervolgens zijn deze vlakke delen met een waterstraalsnijmachine verwerkt tot stroken. Waterstraalsnijden

¹ In het geval van thermoharde composieten zou in dit verband ook kunnen worden gesproken over 'end-of-use' (EoU) in plaats van 'end-of-life' (EoL). Immers, het materiaal zelf is nog niet aan het einde van de levensduur maar het product waar het in verwerkt is bevindt zich aan het einde van de gebruiksfase, dus 'end-of-use'. Echter, omdat 'end-of-life' (EoL) een veelgebruikt begrip is zal dit verder in de beschrijving van het onderzoek worden gehanteerd.

blijkt een geschikte techniek te zijn om EoL composiet delen te verwerken tot stroken. Het grootste nadeel van deze techniek zijn de hoge kosten.

Bij toenemen van de lengte van de stroken is een toenemende buigsterkte te zien. De lengte van de stroken heeft weinig invloed op de buigstijfheid. De gemeten stijfheid is wat lager dan die van naaldhout. De gemeten sterkte is vergelijkbaar met die van naaldhout bij gebruik van korte stroken en vergelijkbaar met tropisch hardhout bij gebruik van lange stroken.

In dit vierde project wordt met betrokken deskundigen een onderzoek gedaan naar de verwerking van EoL thermoharde composietproducten tot vlokken en hoe deze hergebruikt kunnen worden om een nieuw product te maken in de vorm van zogenaamd VVK-OSB.

Het lectoraat (LKT) heeft de projectleiding, het onderzoek en de rapportage verzorgd. De projectdeelnemers uit het bedrijfsleven zijn geselecteerd en benaderd om de volgende expertise en/of inbreng in het projectteam te verkrijgen:

- A. Ervaring met het ontwerpen en vervaardigen van composietproducten
- B. Ervaring met verwerken van afvalproducten tot vlokken

Het complete projectteam is als volgt samengesteld, waarbij tussen haakjes wordt aangegeven welke specifieke expertise en/of inbreng daarmee beschikbaar komt:

Bijl Profielen (Heijningen) (A)

Bedrijf gespecialiseerd productie van composietprofielen en toepassing ervan.

Contactpersonen: P. Bijl (Directeur), A. van der Ree Doolaard en J. van der Burg

Boverhoff (Heerde) (B)

Sloopbedrijf met ervaring in het vershredderen van afvalproducten.

Contactpersoon: R. Boverhoff (Directeur)

Hogeschool Windesheim, Lectoraat Kunststof Technologie (Zwolle) (A)

Projectleiding, projectadministratie, onderzoek en rapportage

Projectleider: Dr. Ir. A. ten Busschen

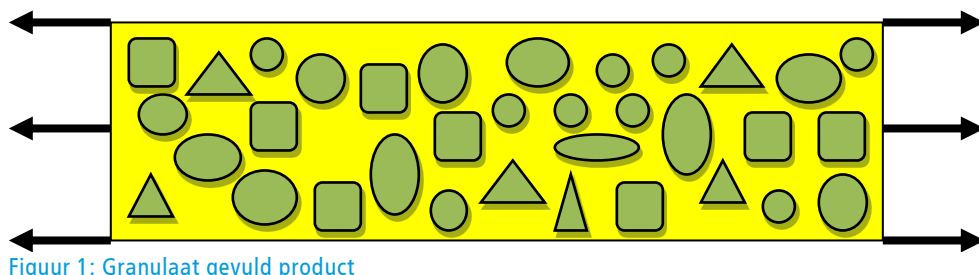
Onderzoekers: Ir. J. Bouwmeester

Junior onderzoeker: Ing. P. Schreuder

Administratie: BEc. D.W.M. van Schooten-Delnaay

2. Principe van hergebruik van thermoharde composieten

Het principe van hergebruik van thermoharde composieten is gebaseerd op het gebruik van grote, langgevormde elementen die verkregen worden uit het EoL product en die worden ingebed in een nieuw materiaal. Doordat de elementen relatief groot zijn is het te verlijmen oppervlak van de elementen relatief klein. Daardoor is er relatief weinig inbeddingsmateriaal (hars) nodig om de elementen te verbinden. Doordat de elementen langgevormd zijn is er een versterkende werking mogelijk. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van de volgende twee composietmaterialen. De ene samenstelling wordt opgebouwd door gebruik van granulaat-vormige hergebruikte onderdelen (bijvoorbeeld korrels of poeder). De andere samenstelling wordt opgebouwd door gebruik van langgevormde elementen (bijvoorbeeld staven of stroken). De belastingsrichting van het samengestelde materiaal wordt aangegeven met de pijlen, die bijvoorbeeld een trekkracht voorstellen. De componenten worden aangegeven met respectievelijk 'h' voor het hergebruikte materiaal en 'm' voor het inbeddingsmateriaal, de matrix.



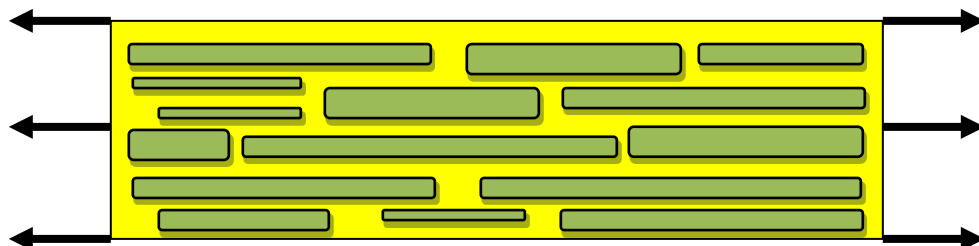
Figuur 1: Granulaat gevuld product

Effectieve elasticiteitsmodulus:
(op basis van serieschakelmodel)

$$E_c \approx (E_h \cdot E_m) / (v_h \cdot E_m + v_m \cdot E_h) \quad (1)$$

Effectieve treksterkte:

$$\sigma_c \triangleleft \sigma_m \quad (2)$$



Figuur 2: Product met langgevormde elementen

Effectieve elasticiteitsmodulus:
(op basis van parallelschakelmodel)

$$E_c \approx v_h \cdot E_h + v_m \cdot E_m \quad (3)$$

Effectieve treksterkte:

$$\sigma_c \approx v_h \cdot \sigma_h \quad (4)$$

In beide gevallen wordt een composiet gevormd door hergebruikte ('h') onderdelen uit EoL thermoharde composieten (groen gekleurd) in te bedden in een matrix (aangeduid met 'm', geel gekleurd, wordt gevormd door gebruik van nieuw, 'virgin' materiaal). Het inbeddingsmateriaal (matrix) zorgt voor de verbinding van de verkregen hergebruikte onderdelen. De subscripts 'm' en 'h' geven respectievelijk de matrix-fractie en de hergebruik-fractie weer. De volumefractie van het hergebruikte materiaal wordt aangegeven met 'vh'. De ontwikkeling van de methode van hergebruik richt zich op een zo hoog mogelijke volume-fractie van het hergebruikte materiaal, zodat zo weinig mogelijk nieuw materiaal nodig is om als matrix (inbeddingsmateriaal) te fungeren.

De modellen voor het opstellen van de formules 1 t/m 4 zijn algemeen gebruikte micromechanische modellen voor het beschrijven van elastische eigenschappen en sterkte van composieten (zie bijvoorbeeld het boek van Nijhof: Vezelversterkte Kunststoffen – Mechanica en Ontwerp). Deze modellen geven een theoretische voorspelling wat mogelijk haalbare eigenschappen zijn op basis van de componenteigenschappen en hun volumeverhouding in het composiet.

Het volgende getallenvoorbeeld weergegeven in Tabel 1 laat zien dat het gebruik van langgevormde elementen theoretisch een hogere effectieve elasticiteitsmodulus geeft en een veel hogere effectieve treksterkte. De volgende gegevens worden gebruikt:

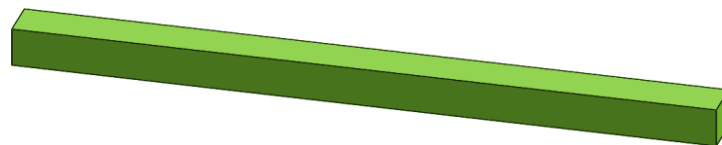
$E_m = 3 \text{ GPa}$ $\sigma_m = 50 \text{ MPa}$ (bijvoorbeeld onversterkt polyester)
 $E_h = 20 \text{ GPa}$ $\sigma_h = 300 \text{ MPa}$ (bijvoorbeeld glasweefselversterkt polyester)
 $v_h = 0,5 = 50 \%$ (dus volume voor de helft gevuld met hergebruikt composiet)

Vulling	E_c (GPa)	σ_c (MPa)	Gedrag
Granulaat	5,2	10 (*)	Bros
Langgevormd	11,5	150	Taai

Tabel 1: Theoretisch voorspelde composieteigenschappen

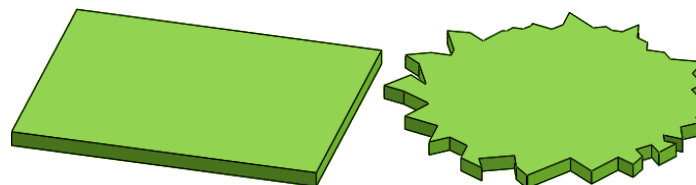
*) Schatting op basis van optredende spanningsconcentraties.

De voorwaarde om de elementen langgevormd te kunnen noemen is dat deze een zogenaamde L/D-verhouding is die duidelijk vele malen groter is dan 1. Hierbij is 'L' de grootste afmeting van het element en 'D' de kleinste. Hieraan voldoen staven of strippen, waarbij de lengte minstens 10x de dikte of breedte is, zie bijvoorbeeld Figuur 3.



Figuur 3: Staaf met een L/D-verhouding groter dan 10

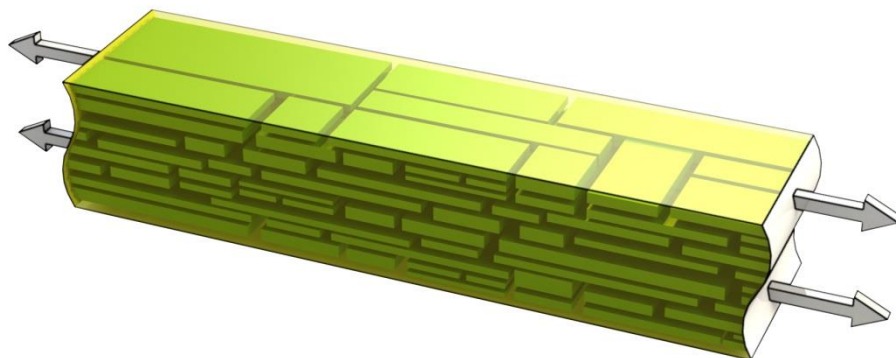
Maar ook meer plaatvormige structuren zoals vlokken kunnen aan deze eis voldoen. Voorbeelden zijn platen, schijven of onregelmatig gevormde vlokken waarbij de diktemaat minstens 10x kleiner is dan de grootste afmeting in het vlak van deze structuur. Figuur 4 toont plaatvormige structuren met een diktemaat die minstens tienmaal kleiner is dan de grootste afmeting in het vlak.



Figuur 4: Plaatvormige structuren met een L/D-verhouding groter dan 10.

Door deze langgevormde elementen overlappend te positioneren en samen te binden met het matrixmateriaal kan een nieuw composietproduct gevormd worden. Hierin vormen de langgevormde elementen de hergebruikte fractie van het product die door de vorm ook versterkend werkt. Op deze manier kan bijvoorbeeld een plankprofiel worden vervaardigd die toegepast kan worden als bijvoorbeeld beschoeiingsplank of als brugdek-element. Een doorsnede van een dergelijk plankprofiel kan er uitzien als in

Figuur 5. De zwarte U-vormige profielen kunnen bijvoorbeeld gepultrudeerde hulpprofielen zijn om het plankprofiel goed-gedefinieerde randen te geven.



Figuur 5: Doorsnede van een plankprofiel met hergebruikte elementen

3. Identificatie composiet restmateriaal

Ten eerste is het van belang om in kaart te brengen welk materiaal precies in aanmerking komt voor het verstevigende effect zoals hierboven beschreven en hoe dat gemaakt kan worden. In de andere project onderdelen is gekeken naar het gebruik van complete onderdelen en het produceren van planken uit grote stukken. Dit onderzoek richt zich op de kleine fractie, met andere woorden het materiaal dat uit de shredder komt.



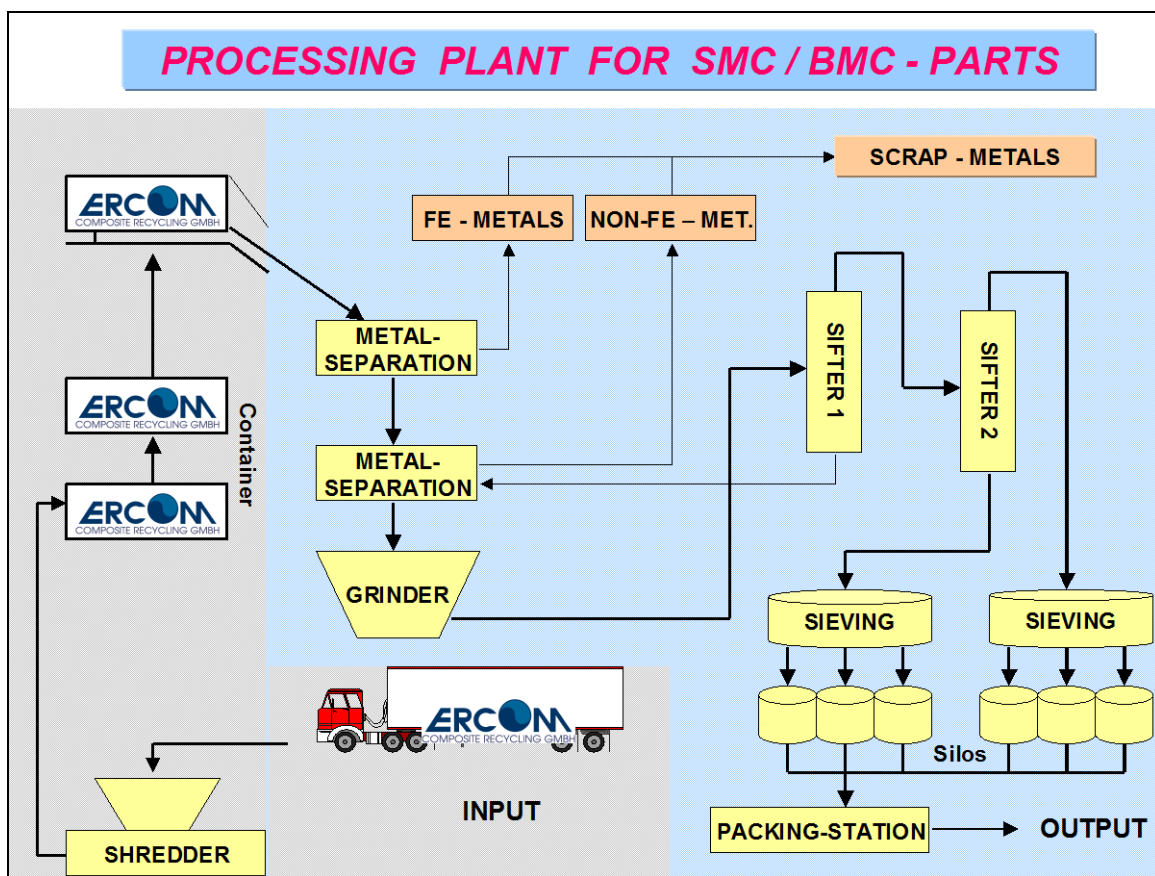
Figuur 6: Fracties uit EOL composiet afval

Om dit verhaal te structureren is in Hoofdstuk 4 eerst gekeken naar een proces dat in het verleden ontwikkeld en gebruikt is, te weten Ercom. Daarna zal in Hoofdstuk 5 besproken worden hoe hout tot OSB verwerkt wordt en wat dit ons leert voor VVK-OSB. Daarna zal in Hoofdstuk 6 ingegaan worden op VVK-OSB, de eerste testresultaten, de kosten en overige overwegingen. Ten slotte zal aangegeven worden welke verdere ontwikkeling nodig is om tot een succesvol product te komen.

4. Ercom

In het begin van de jaren '90 werd er voornamelijk vanuit de automobiellindustrie druk gezet op leveranciers om gerecycled materiaal te gebruiken en de geleverde producten recyclebaar te maken. Vooral producenten van SMC (Sheet Moulding Compound – een thermohardend composiet halffabricaat) zagen dit als een grote bedreiging, aangezien thermohardende composieten als niet recyclebaar werden gezien. Een aantal leveranciers, waaronder DSM, Dow, Owens Corning en Vetrotex, heeft op dat moment de handen ineengeslagen om ERCOM te vormen, met het doel thermohardend composiet te recyclen.

Het ERCOM proces werkte met verschillende shredder stappen. Ten eerste werd het product bij het afhalen geshredderd tot ongeveer 50 x 50mm om ruimte tijdens het vervoer te besparen. In de fabriek werden vervolgens de metalen eruit gehaald en wordt het materiaal verder verkleind en gescheiden in de verschillende fracties. Figuur 7 geeft dit proces schematisch weer.



Figuur 7: Ercom Proces (Ercom 2000)

De fabriek was gebouwd in Duitsland en haalde een doorvoer van 1,5 ton per uur. Het proces bracht zoals genoemd meerdere fracties materiaal voort. Deze werden gekarakteriseerd op vezel lengte en hoeveelheid glas. Afhankelijk van de fractie kan deze toegepast worden als pure vulstof, danwel een vulstof met een licht-versterkende waarde. Tabel 2 laat de verschillende producten zien.

Product information ERCOM – Hybrid glass fibres

Fraction	RC 10	RC 31	RM 31	RG 10	RG 11	RG 36	RG 36
Properties							
Density	1,75 g/cm ³	1,85 g/cm ³	2,05 g/cm ³	2,50 g/cm ³	2,50 g/cm ³	2,50 g/cm ³	2,50 g/cm ³
Apparent Density	0,65 g/cm ³	0,43 g/cm ³	0,45 g/cm ³	0,60 g/cm ³	0,65 g/cm ³	0,60 g/cm ³	0,50 g/cm ³
Fibre length	< 0,5 mm	3 – 20 mm	4 – 25 mm	4 – 12 mm	4 – 12 mm	~ 180 µm	~ 280 µm
Metal content	< 0,20 %	< 0,20 %	< 0,15 %	< 0,10 %	< 0,10 %	< 0,15 %	< 0,15 %
Moisture content	< 0,30 %	< 0,40 %	< 0,25 %	< 0,20 %	< 0,20 %	< 0,20 %	< 0,20 %
Glass content	25 % ± 5	40 % ± 5	65 % ± 5	98 % ± 0,5	98 % ± 0,5	98 % ± 0,5	98 % ± 0,5

Tabel 2: Ercom product data (Ercom 2000)

Uiteindelijk is aangetoond dat het technisch mogelijk is om het gerecyclede materiaal te hergebruiken in de automobiel industrie, maar de gekozen route leidde tot een relatief duur vulmiddel met weinig toegevoegde eigenschappen. Calciumcarbonaat, een vergelijkbaar alternatief kost ongeveer 200 euro/ton en hier kon het ERCOM materiaal simpelweg niet tegen concurreren. Hierdoor is er een sterk en blijvend commitment nodig van de eindgebruikers om dit toch toe te passen. ERCOM is na ongeveer 10 jaar gestopt omdat het financieel niet meer uit kon.

De lering die getrokken kan worden uit het ERCOM-project is dat het geproduceerde materiaal een duidelijk toegevoegde waarde moet hebben in het eindproduct, en dat de keuze van de toepassing dus ook cruciaal is. Hierbij is het wellicht minder van belang dat de toepassing voor het gerecyclede materiaal gelijk is aan die van het oorspronkelijke product. Daarnaast moet goed gekeken worden naar de hoeveelheden materiaal en dit moet tevens afgestemd worden op de gekozen toepassing.

5. OSB

Terug naar het huidige onderzoek. Vanuit het materiaal dat de shredder opleverde is gekeken naar mogelijke toepassingen. Vanwege de structuur die de eerste vlokken hadden is meteen gedacht aan OSB-plaat analoog aan hout. OSB staat voor Oriented Strand Board en is een wereldwijd veel toegepast constructiemiddel (wereldwijde jaarproductie van ongeveer 3 miljoen m³). Zie Figuur 8 voor een toepassing in houtskeletbouw waarbij OSB plaat internationaal veel toegepast wordt.



Figuur 8: OSB Plaat en een toepassing in houtskeletbouw

Deze hout OSB platen worden al sinds lange tijd geproduceerd en hiervoor zijn de materialen en processen sterk geoptimaliseerd. OSB heeft echter een groot nadeel en dat is dat het niet vochtbestendig is; onder invloed van water zwelt het hout op en verliest het zijn sterkte. Daarnaast geeft een hoog vochtgehalte aanleiding tot schimmelvorming wat weer leidt tot allerlei gezondheidsrisico's en beperkte levensduur. VVK-OSB heeft in theorie geen gevoeligheid voor vocht en kan in principe onder water gebruikt worden. Hier is dus mogelijkwerwijs een toepassing waar het gerecyclede VVK toch duidelijke voordelen biedt boven bijvoorbeeld hout-OSB.

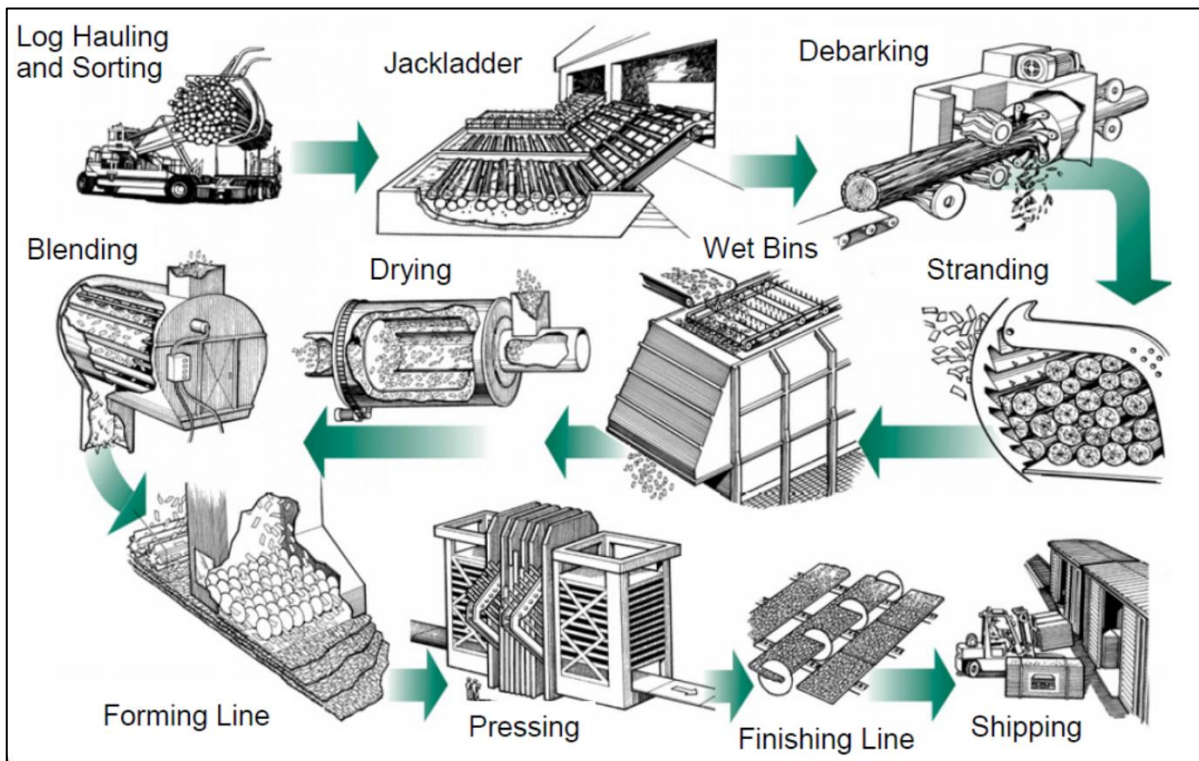
Hout-OSB is in veel landen een geaccepteerd constructiemateriaal en is ook genormeerd (EN 300). In 4 verschillende kwaliteiten – OSB 1 t/m 4 - is de minimale stijfheid en sterkte gegeven en hier moet het materiaal aan voldoen wanneer het geleverd wordt. Hieronder een tabel met de minimale waarden waar de verschillende OSB-klassen aan moeten voldoen. OSB 3 en 4 moeten een bepaalde mate van vochtbestendigheid halen, wat aangetoond kan worden door een buigsterkte na volledige verzadiging; de sterkte die dan behaald moet worden is echter zeer laag (0,15 MPa). MOR staat in dit geval voor Modulus of resistance, oftewel de sterkte en MOE staat voor Modulus of elasticity, de E-modulus.

EN300 (t = 18mm)			OSB/1	OSB/2	OSB/3	OSB/4
MOR (Sterkte)	Major	MPa	16	18	20	28
	Minor	MPa	8	9	10	15
MOE (Stijfheid)	Major	GPa	2,5	3,5	3,5	4,8
	Minor	GPa	1,2	1,4	1,4	1,9
Swelling (EN317)	%	-	25	20	15	12

Tabel 3: eigenschappen van OSB plaat

Het huidige proces voor productie van hout OSB lijkt een logisch vertrekpunt voor het maken van VVK-OSB en is daarom hier verder uitgelicht.

Productie Hout OSB



Figuur 9: Productie van OSB plaat (SBA 2004)

De eerste drie stappen zijn specifiek voor hout en niet relevant in de analogie. Wel is het interessant om op te merken dat OSB-plaat van nieuwe stammen gemaakt wordt en dat het dus geen materiaal is dat vervaardigd wordt uit resthout of afvalhout is zoals veel mensen vaak denken. Door de stammen te versnipperen kan een veel groter deel gebruikt worden en zijn minder grote bomen nodig; hierdoor is het nog steeds een efficiënt gebruik van grondstoffen.

In de stranding stap worden splinters gevormd van ongeveer $L \times B \times D = 150 \times 25 \times 0.6$ mm, ook hier hebben de splinters een grote L/D verhouding om maximaal effect te oogsten. Vervolgens worden de snippers in verschillende stappen gewassen en gedroogd.

In de blending bin worden de snippers vermengd met een bindmiddel. Dit is een polyurethaan (MDI) of phenolformaldehyde gebaseerd systeem. De gebruikte percentages bindmiddel zijn laag; 2-2,75 gewichts %. Daarnaast wordt nog een wax toegevoegd om de watervastheid iets te verbeteren, dit is ook in de orde grootte 1,5 gewichts %.

De stap van de forming line is een belangrijke. Hier worden verschillende lagen chips neergelegd welke als hoofd oriëntatie vaak 0/90/0 graden hebben. Deze oriëntatie zorgt er ook voor dat de OSB platen niet isotroop zijn en een verlopende oriëntatie hebben over de dikte van de plaat.

Als laatste worden de platen geperst onder hoge druk (50 bar) en temperatuur (200°C). Dit laatste zorgt ervoor dat het bindmiddel gaat reageren en de plaat verlijmd raakt.

5.1 Verschillen hout en vvk

Naast de overeenkomsten zijn er natuurlijk zo mogelijk nog meer verschillen tussen hout en VVK voor gebruik in OSB-plaat. Hieronder een opsomming van een aantal duidelijke verschillen:

Afmetingen van de chips:

De hout chips worden allemaal uit een stam gehaald en vallen, mede door de uitontwikkelde machinerie, binnen een vrij nauwe bandbreedte. VVK wordt geshredderd en zeker met de shredders die in de eerste testen gebruikt zijn lijkt dit een grotere variatie in chips op te leveren. Een gevolg hiervan kan zijn dat een ideale stapeling moeilijker te vinden is. Dit is ook wat binnen dit project in het lab waargenomen werd; een mix van splinters en plaatjes is moeilijker in een vorm te persen dan wanneer er een grotere gelijkheid is tussen de deeltjes onderling.

Stijfheid van de chips:

Houten chips conformeren makkelijker dan VVK chips. Dit leidt ertoe dat wanneer hout onder hoge druk geperst wordt, de chips relatief makkelijk vervormen en daardoor nauw aanliggen. De VVK chips zijn stijver en zullen minder makkelijk vervormen. Houten laten zich minder makkelijk wegpersen en zullen opgevuld moeten worden, bijvoorbeeld door meer bindmiddel (duur!) of het zal nodig zijn om met hoge druk te persen, te zorgen voor een goede controle over vorm en richting van de neergelegde materialen en de juiste lijm om alles permanent aan elkaar te zetten.

Vocht:

Hout kan vocht opnemen, terwijl VVK dit niet doet. Hierdoor zitten er een aantal droogstappen in het hout OSB proces die voor VVK minder kritisch zijn. Het is overigens ook voor processing van VVK-OSB van belang dat het vochtgehalte laag genoeg is.

Vervuiling:

De VVK komt uit een gerecyclede bron. Dit kan allerlei aanhangend vuil, coatings en biologische aangroei bevatten. Het lijkt zeer aannemelijk dat het geshredderde materiaal eerst goed gereinigd moet worden voordat het verlijmd kan worden en/of mechanisch opruwen.

Mechanische eigenschappen:

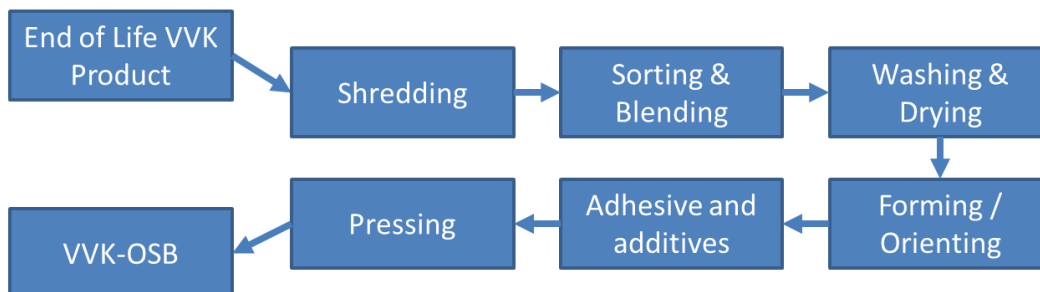
De mechanische eigenschappen van de houtsplinters variëren van boom tot boom, maar vallen na voldoende menging wel binnen een vrij nauw te voorspellen bandbreedte. VVK is sterk afhankelijk van de herkomst en kan variëren van gespoten polyester met lage sterkte en stijfheid tot gepultrudeerde koolstof profielen met zeer hoge sterkte en stijfheid en alles hier tussenin. Het is de vraag of bij grotere volumes ook een soort gemiddelde sterkte en stijfheid van een chip ontstaat, waardoor de plaaieigenschappen goed te voorspellen zijn.

Hechting bindmiddel:

Het type bindmiddel is van belang omdat het goed moet hechten aan de chips. In het geval van hout is deze hechting goed te bereiken door de molecuul structuur van hout (veel -OH groepen). In het geval van uitgehard composiet is dit moeilijker en zal wellicht met een soort primer gewerkt moeten worden.

6. VVK-OSB

Gelet op de overwegingen uit het vorige hoofdstuk ziet een concept productielijn van VVK-OSB er als volgt uit:



Figuur 10: Productieconcept

6.1 Shredding

Binnen het project is op verschillende plekken materiaal geshredderd.

Methode 1

In eerste instantie is een oude bootromp gebruikt en deze is op een labshredder in stukken gemaakt. De kenmerken van deze shredder is dat het zeer kleine stukken oplevert, waarbij de bulk van het materiaal kleiner is dan 4 mm en een significante hoeveelheid verpoederd raakt. Het nadeel hiervan is dat de kritische lengte zoals uitgelegd in Hoofdstuk 2 niet gehaald wordt en dat zodoende het materiaal geen versterkende werking meer heeft. In de testresultaten in Hoofdstuk 6.7 is dit effect ook waar te nemen.

Methode 2

In een tweede stap zijn pultrusie profielen geshredderd door zowel Boverhoff als Demacq. Dit is op grotere industriële apparatuur gebeurd en de resulterende stroom heeft een beduidend groter deel grote splinters en vlokken. Nog steeds bevat het mengsel wel een groot deel verpoederd materiaal.

Methode 3

De laatste stap betreft het gebruik van een nog grotere shredder door het bedrijf Certion in Lelystad, welke in staat is om grote delen windmolenwiek in een stap te verwerken. Hier kwamen tamelijk grote, langwerpige vlokken / strips uit voort zoals in de volgende foto's te zien is.



Figuur 11: materiaal verkregen uit methode 3

Dit alles samen betekent dat door de juiste keuze van de shredder een strip grootte te verkrijgen is tot 400 x 50 x 4 mm en alles daaronder.

Het ingangsmateriaal heeft een grote invloed op de vorm van het product dat de shredder verlaat. Een pultrusieprofiel, waar veel vezels in een bepaalde richting liggen, heeft de neiging om te versplinteren en vormt dan ook lange, dunne splinters. Plaatmateriaal waar vezels in meerdere richtingen ligt heeft juist een sterke neiging om te verbrokkelen in dezelfde shredder. Dit vormt dus meer plaatvormig materiaal.



Figuur 12: splinters en vlokken verkregen met methode 2

Een van de observaties is dat zowel splinters als vlokken afzonderlijk vrij dicht te pakken zijn, maar dat een mix van de twee eerder tot een kluwen materiaal leidt.

6.2 Sorting and blending

Zoals ook in de voorgaande afbeeldingen te zien is, is er veel winst te halen uit het sorteren van de verspillende typen chips; bijvoorbeeld in lange splinters, platen en overig stof en fijn gemalen vvk. De laatste groep kan als vulstof gebruikt worden, maar levert geen nut m.b.t. mechanische eigenschappen en zal hier ook niet verder besproken worden.

Het sorteren van de verschillende chips is in dit geval uitgevoerd met de hand. In een productieproces zou dit uiteraard geautomatiseerd moeten plaatsvinden. Hier is nu nog niet naar gekeken, maar aanknopingspunten zouden kunnen zijn:

1. Windsiften: de plaatjes worden eerder uitgeblazen dan de splinters
2. Trommelzeven, waarbij de splinters door een gat kunnen waar de plaatjes niet doorheen kunnen.

Zodra de splinters en plaatjes gescheiden zijn, kunnen deze nog verder op lengte gesorteerd worden indien wenselijk.

Blending kan gebruikt worden om gemiddelde eigenschappen te verkrijgen. Hierbij moet gedacht worden aan het opslaan van wat grotere hoeveelheden materiaal van één kwaliteit en deze dan pas verwerken als er meerdere batches ingevoerd zijn.

6.3 Washing and drying

Het wassen heeft tot doel om het aanhangend vuil, aangroei en loszittende coatings te verwijderen. Dit kan naar verwachting op gematigde temperatuur plaatsvinden.

Drogen is van belang met het oog op het bindmiddel dat gebruikt gaat worden. In veel gevallen zal vocht een nadelig effect hebben op de uitharding en daarmee op de product eigenschappen. Het vochtgehalte zou echter ook gebruikt kunnen worden om een bepaalde schuimreactie te veroorzaken (polyurethaan / urea), wat wellicht positieve invloed kan hebben op de gebruik eigenschappen van de uiteindelijke plaat.



Figuur 13: probleem van aanhangend vuil

6.4 Forming and orienting

Het oriënteren van de chips heeft op twee zaken effect: ten eerste is de hoeveelheid materiaal die in de plaat te persen is hoger naarmate een ideale stapeling bereikt wordt. Met andere woorden, als alle stijve vezels kris-kras over elkaar liggen, zal veel loze ruimte ontstaan. Indien ze netjes gerangschikt naast elkaar liggen, is een veel dichtere stapeling mogelijk.

Het tweede effect zijn de bereikte mechanische eigenschappen. Het uitgangsmateriaal, de VVK snippers, zijn van zichzelf orthotrope materialen; de eigenschappen zijn richtingsafhankelijk en symmetrisch ten opzichte van twee vlakken. Als je deze materialen oriënteert krijg je opnieuw een bepaalde richtingsafhankelijkheid. Hierbij is het vanzelfsprekend dat een verschil ontstaat tussen de richtingen in het plaatvlak ten opzichte van de richting door de dikte van de plaat, maar ook binnen het plaatvlak is een bepaalde richtingsafhankelijkheid te verwachten. Deze zal overigens vele malen groter zijn wanneer gewerkt wordt met splinters dan met plaatjes.

Om te zorgen voor een plaat die gebruikt kan worden in vergelijkbare toepassingen als OSB, lijkt het een goed startpunt om hetzelfde te doen; een 0/90/90/0 opbouw kiezen. Dit betekent effectief dat voor een 20mm dikke plaat de opbouw er als volgt uit ziet: 5mm materiaal in lengte richting georiënteerd, 10 mm in breedte richting en wederom 5mm in lengte richting. Nogmaals, dit is relevanter naarmate het uitgangsmateriaal meer richting uni-directionele splinters toe gaat.

6.5 Adhesive and additives

De uiteindelijke plaaieigenschappen worden voor een groot deel bepaald door de hechting tussen de plaatjes en/of splinters. Het gekozen bindmiddel is dus van belang voor het eindresultaat. Hierbij zijn twee principes te onderscheiden:

1. "Coaten" van de vlokken en deze op elkaar persen
2. Ingieten van de vlokken.

In het eerste geval wordt de minimale hoeveelheid bindmiddel toegepast om verlijming van de verstevigende elementen te bereiken. Het bindmiddel wordt bijvoorbeeld in een grote schudtrommel verdeeld over de vlokken. De benodigde hoeveelheid ligt hierbij rond de 2 – 5 gewichts% - zoals ook bij hout OSB toegepast wordt. Op plekken waar verschillende vlokken elkaar raken, hardt het bindmiddel uit en vormt een structurele verbinding. Maar op plekken waar geen materiaal zit, zal een lucht insluiting ontstaan.

Bij het ingieten wordt gestreefd om een volledig lucht vrije plaat te realiseren. Dit betekent dus effectief dat de hoeveelheid hars die nodig is, groter is dan in het eerste geval. Uit eerste testen lijkt dit richting 30% te gaan.

Daarnaast is ook het type bindmiddel van belang. Een aantal mogelijkheden zijn bekeken:

1. Polyester (goedkoop, snelle verwerking, goede benatting oppervlakte)
2. Polyester / Acrylaat (goedkoop, inwerking op oppervlakte)
3. Epoxy (potentieel goede hechting op vlokken, goede mechanische eigenschappen)
4. Polyurethaan (/urea) (potentieel goede hechting op vlokken, mogelijkheid tot schuimen)

Daarnaast zijn er nog andere systemen die gebruikt kunnen worden, maar waar in dit stadium nog niet naar gekeken is. Een belangrijke afweging bij de keuze van een hars is de kostprijs. Aangezien er een grote hoeveelheid ingaat (10-30%), heeft het bindmiddel een groot effect op de totale kostprijs van de plaat.

6.6 Pressing

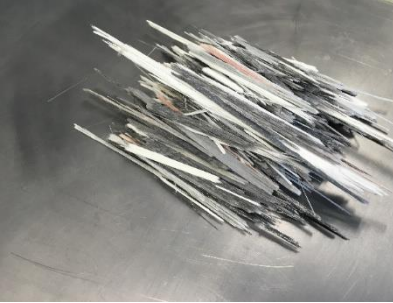
In de eerste testen is gewerkt met vacuüm om de platen te creëren, het voordeel hiervan is dat het de lucht uit het laminaat verwijdert, maar tegelijkertijd is de geleverde druk beperkt (tot maximaal ca. 0,9 bar). Zeker als vergeleken wordt met de druk van 50 bar die in de fabricage van hout OSB gebruikt wordt.

Een goede pers met hoge persdruk zal zorgen voor een betere oppervlaktekwaliteit en vlakke platen. Dit zou een van de eerstvolgende stappen in het onderzoeksproces moeten zijn.

6.7 Uitgevoerde testen

6.7.1 Vezelvolumen

Van het geshredderde materiaal is bepaald wat het harsvolumen is. Hierbij is gebruik gemaakt van het feit dat vezels en vaste vulmiddelen bij een veel hogere temperatuur verbranden dan de hars. Een kleine hoeveelheid materiaal wordt op de microgram nauwkeurig afgewogen en in een keramisch bakje met bekend gewicht gestopt. Vervolgens wordt het bakje met inhoud op 450°C gebracht, waarbij de hars verbrandt maar de vulstoffen niet. Na afkoelen wordt het residu opnieuw gewogen. Hieruit kan het gewicht van het verdwenen materiaal berekend worden. Als we er nu vanuit gaan dat alle verdwenen materiaal hars was en dat alle hars voor 100% verdwenen is, dan is een hars massagehalte te berekenen. Het resterende volume is dan vezel en vulstof volume. Deze zijn alleen doormiddel van andere technieken verder uit elkaar te halen en dat is buiten de scope van dit onderzoek. Testen zijn in duplo uitgevoerd.

		
Kleine fractie	Splinters	Plaatjes
$M_{\text{resin}} \approx 40\%$	$M_{\text{resin}} = 25\%$	$M_{\text{resin}} = 49\%$

Figuur 14: hars massapercentages

Uit deze metingen zijn meteen een aantal interessante observaties te maken. Ten eerste valt het op dat de plaatjes een veel hoger hars volume hebben dan de splinters. Dit komt voort uit het oorspronkelijke productieproces van het product waar ze uitkomen. De splinters zijn van gepultrudeerd materiaal (hoge vezel oriëntatie en vezel volume), de plaatjes zijn waarschijnlijk van gespoten of hand gelamineerd materiaal en bestaat voornamelijk uit random georiënteerde kortere vezels.

Het gevolg hiervan is dat de splinters, mits goed georiënteerd, een hogere sterkte en stijfheid kunnen bewerkstelligen dan de plaatjes.

Op het moment dat het geshredderde materiaal als input gebruikt wordt en hier wordt nog eens 30% hars aan toegevoegd, dan daalt het vezel percentage zeer snel:

	Hars% ingangsmateriaal	Benodigde extra hars ²	Hars% VVK-OSB
Splinters	25	30	42
Plaatjes	49	30	60
Kleine fractie	40	40	58

Tabel 4: berekende hars massapercentages VVK-OSB bij 30% extra hars

De resulterende 40-60% vezelgewichtsfractie is relatief laag wanneer het vergeleken wordt met nieuw composiet materiaal, maar het kan nog steeds een interessant materiaal vormen, wat qua eigenschappen in een andere categorie zit dan nieuw composiet.

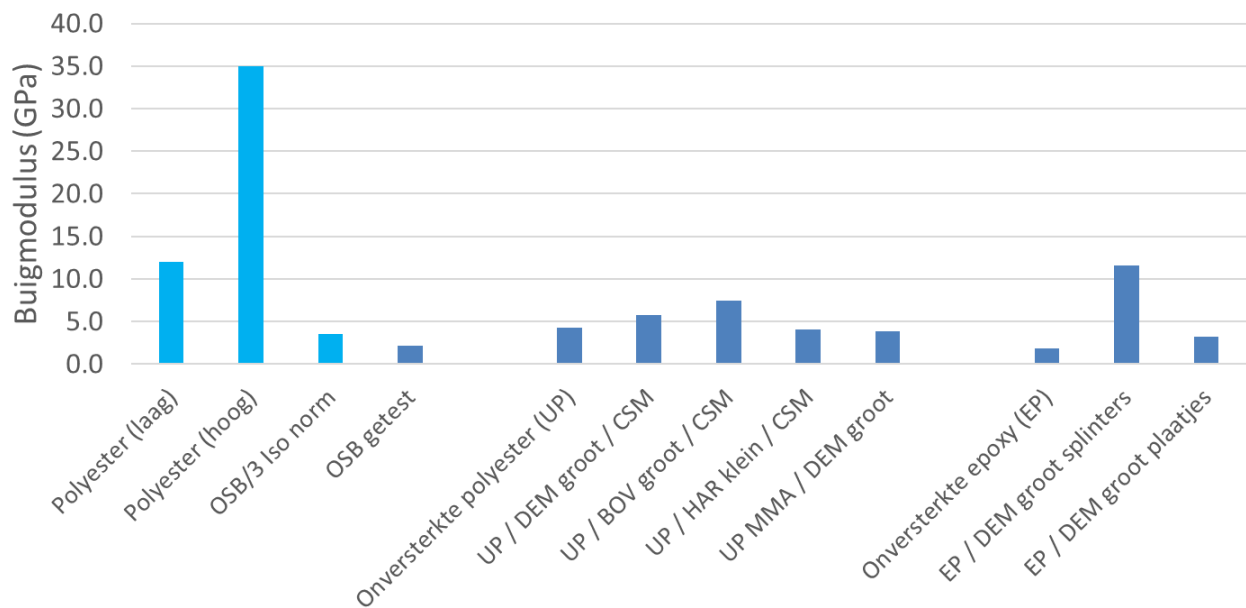
6.7.2 Mechanische testen

Aangezien het hier een eerste verkennend onderzoek betreft is het aantal variabelen beperkt gehouden. De volgende variaties zijn toegepast:

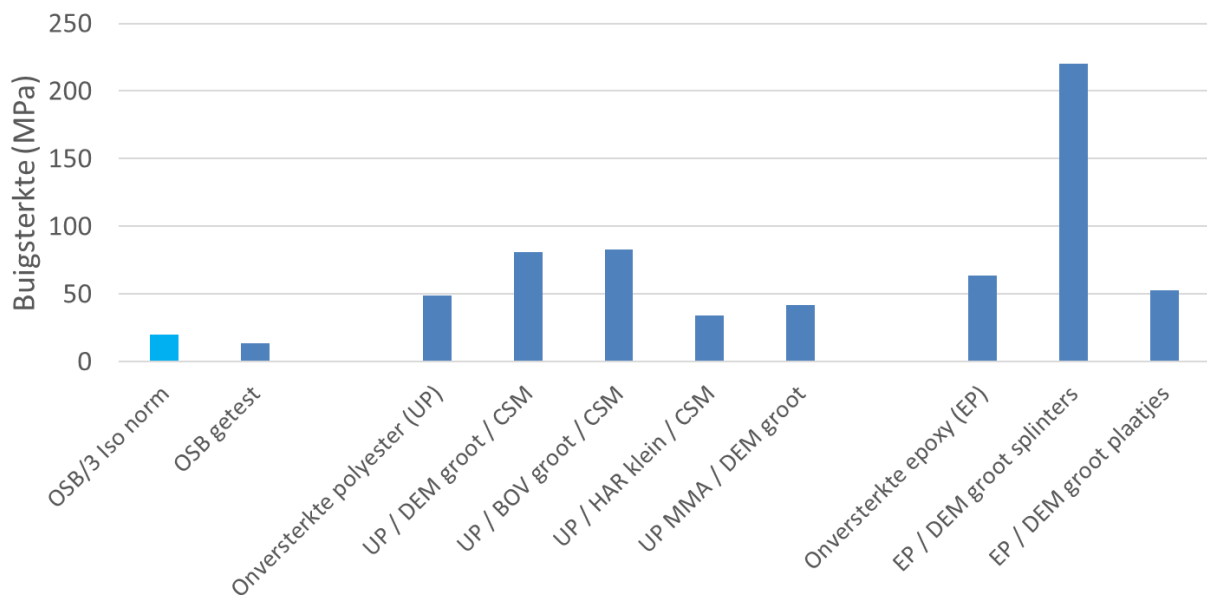
- Hars: Polyester (UP), Epoxy (EP). Tevens zijn verkennende testen uitgevoerd met polyurethaan, maar geen meetbare samples gecreëerd.
- Versterking: wel / geen chopped strand mat (CSM) aan de buitenlaag.
- Vorbewerking: wel / geen vorbewerking met MMA hars.
- Versterking: Geshredderd materiaal methode 2 geleverd door Demacq (DEM), Boverhoff (BOV) of geshredderd via methode 1 van het Harpje (HAR, geshredderd op Polymer Science Park).

² Bij volledig lucht vrije plaat. Indien voids geaccepteerd worden, is dit percentage veel kleiner.

Daarnaast is als referentie Hout OSB en versterkte polyester mee genomen. Dit geeft de volgende resultaten:



Grafiek 1: Buigmodulus van de verschillende VVK-OSB platen



Grafiek 2: Buigsterkte van de verschillende VVK-OSB platen

Hierbij is duidelijk te zien dat de georiënteerde splinters ver boven de rest uitstijgt in modulus en sterkte. Een andere opvallende waarneming is dat de meeste platen, zelfs in dit experimentele stadium, al beter presteren dan OSB. Dit schept vertrouwen dat het mogelijk moet zijn om een product te maken dat in deze toepassing ingezet kan worden.

6.7.3 Harsverbruik

Van de geproduceerde platen is gemeten wat het harsverbruik is. Dit is in Tabel 5 samengevat. Het percentage onder doel is een schatting wat haalbaar zou zijn in geval van een optimaal proces. Hierbij is gekeken naar volledige benutting en geen voids in de plaat. Het moet nog onderzocht worden of met een lager percentage ook goede platen geproduceerd kunnen worden.

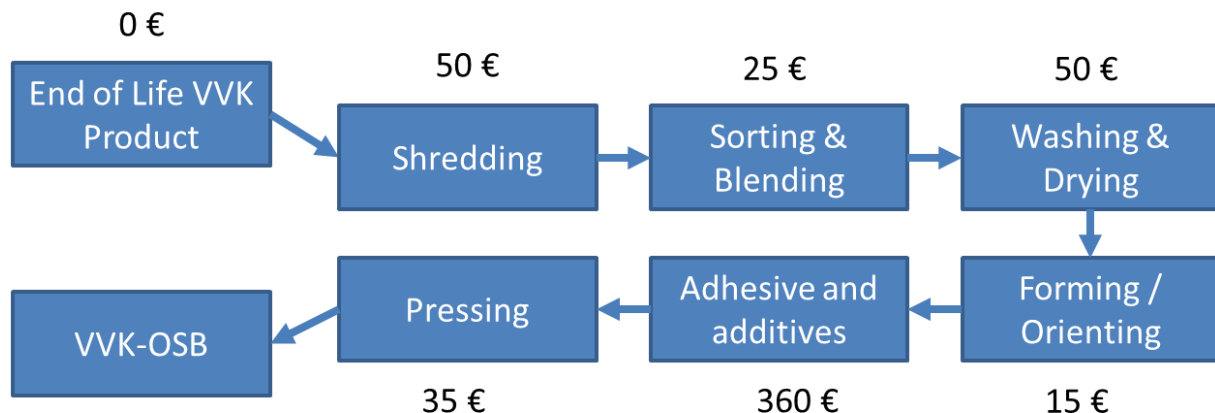
	nu	doel
Kleine fractie	50%	40%
Random	49%	40%
Splinters	36%	20%
Vlokken	38%	20%

Tabel 5: beoogde hars massapercentages

6.8 Kosten

Een volledige kostenraming is op dit moment nog niet mogelijk, maar op basis van vergelijkbare processen is een eerste schatting gemaakt. Hierbij is uitgegaan van een volledige benutting en geen lucht in de plaat, waardoor vooral de kosten van de hars zwaar meewegen.

Daarnaast is ervan uitgegaan dat het vezelversterkte materiaal gratis ter beschikking staat, zonder dat hier logistieke diensten voor geleverd moeten worden. Dit betekent concreet dat het vervoer van de afvalstroom voor rekening komt van de partij met het afval.



Een mogelijke manier om de prijs te verlagen is het gebruik van minder hars en te accepteren dat er voids in de plaat komen te zitten.

6.9 Vervolgstappen

De volgende hoofdstukken beschrijven de vervolgstappen en onderzoeksthema's die hierbij aan bod dienen te komen.

6.9.1 Binders

Zoals aangegeven heeft de gebruikte hars een grote invloed op de kosten, produceerbaarheid en vermoedelijk ook op de eigenschappen van de uiteindelijke platen. Hier moet dus in een vervolgstap goed naar gekeken worden. Hierbij is het ook van belang om te kijken naar de productiemethode, waarbij met name de verwerkingstemperatuur en druk een grote invloed zullen hebben.

6.9.2 Constante eigenschappen / kwaliteit

Een belangrijke succesfactor is het kunnen garanderen van een set minimum eigenschappen. In analogie met de OSB platen zou de VVK-OSB plaat een minimale buigsterkte moeten hebben. Dit is natuurlijk een lastig probleem indien het ingangsmateriaal niet bekend is. Hiervoor zijn een aantal strategieën te bedenken:

Minimale eigenschappen gebruiken

Als gegarandeerde waarde kunnen hele lage eigenschappen gekozen worden waarmee gerekend kan worden. Hierbij moet dan bijvoorbeeld gedacht worden aan de sterkte die de hars van zichzelf al bereikt. Dit heeft echter als nadeel dat constructies als gevolg daarvan overgedimensioneerd worden en dat er dus teveel materiaal toegepast wordt.

Evaluatie ingangsmateriaal

Het ingangsmateriaal kan getest worden. Zeker wanneer dit afkomstig is van herleidbare bronnen (een windmolen wiek, een opslagtank, een boot, etc.) dan is het mogelijk om eigenschappen af te schatten. Anders kan bijvoorbeeld op relatief eenvoudige manier het vezelvolumen bepaald worden, wat op zichzelf weer een maat voor de te verwachten eigenschappen is. In het procedé zou dan een mengstap opgenomen moeten worden die bijvoorbeeld een vezelvolumen en richtingsvariatie garandeert, waardoor ook eigenschappen te sturen zijn.

Evaluatie uitgangsmateriaal

Er zou per plaat gekeken kunnen worden naar bijvoorbeeld het gewicht van de plaat, of met nauwkeuriger analysetechnieken naar de hoeveelheid voids op een bepaalde locatie. Dit kan ook een duidelijk beeld geven van de eigenschappen. Dit heeft echter als nadeel dat de extra testen extra kosten met zich meebrengen.

6.9.3 Veiligheid

Veiligheid is een belangrijk aspect bij het introduceren van een nieuw product. Ondanks dat nog weinig bekend is, alvast een aantal overwegingen:

Productie

Het shredderen van het composietmateriaal is een stoffige bedoening. Dit moet plaatsvinden onder goede en deugdelijke afzuiging. Daarnaast is er sprake van chemische bindmiddelen die op de juiste manier opgeslagen en verwerkt dienen te worden.

Installatie

Tijdens installatie is het van belang te realiseren dat de platen een groter gewicht zullen hebben dan OSB, dit scheelt waarschijnlijk 50-75%. Daarnaast kan het verzagen of verwerken ook stof genereren dat afgezogen dient te worden. De meeste moderne zagen zijn hierop voorbereid.

6.9.4 Verwerkbaarheid

Om het materiaal als VVK-OSB te kunnen gebruiken is het van belang dat de verwerking in het veld vergelijkbaar is aan de huidige norm. Dit betekent bijvoorbeeld:

Zagen

Het materiaal moet te zagen zijn op site. Het is gebleken dat dit goed mogelijk is met een cirkelzaag met diamantblad (steenzaag).

Boren

Ook boren en aanbrengen van boutverbindingen kan gewoon met OSB-VVK. Wel moet rekening gehouden worden dat gewone staal- of houtboren sneller zullen slijten op dit materiaal.



Figuur 15: voorbeeld van geschroefde verbinding

Schroeven

Dit moet nog goed onderzocht worden, maar het materiaal zou goed te schroeven moeten zijn, zoals ook te zien is in Figuur 15. Zeker als een gat voorgeboord wordt. Wel kan het lokale verschil tussen stijve en minder stijve regio's het schroefgedrag beïnvloeden.

Spijkeren

Dit is een duidelijk onderzoeksgebied. De verwachting is dat indien gebruik wordt gemaakt van licht schuimend bindmiddel, timmeren makkelijker zal gaan. Het blijft echter een feit dat het materiaal harder is dan hout en dat een spijker dus niet de meest logische verbinder is.

7. Conclusies en aanbevelingen

Dit rapport laat zien dat VVK-OSB een mogelijk interessante toepassing is voor het gerecyclede composiet; hout-OSB wordt veel toegepast en is een constructiemateriaal met duidelijke eisen. Het is echter ook een materiaal dat veel problemen kent in vochtige omgevingen en daar zou VVK-OSB een goede oplossing voor bieden.

	OSB/3 (Hout)	VVK-OSB
Buigsterkte	+	++
Buigstijfheid	+	++
Verwerking	+	+
Watervastheid	-	+++
Kosten	+	-

Tabel 6: hout en vvk osb vergeleken.

Het totaal toegepaste volume hout-OSB is groot en hierdoor is het ook een interessante toepassing voor gerecycled VVK; de markt is waarschijnlijk groot genoeg om al het ingangsmateriaal te kunnen verwerken. Daarnaast is het een type product waar een proces omheen gebouwd kan worden, dit maakt het een efficiënte manier van recycling.

De eerste testen laten duidelijk zien dat indien het materiaal goed voorbereid wordt (oriënteren met name), het goed mogelijk is om de eigenschappen van hout-OSB te halen en te overtreffen. De eigenschappen van hout-OSB zijn waarschijnlijk ook met laagwaardig gerecycled VVK te halen.

Er is echter nog veel onderzoek nodig. Hierbij is het bindmateriaal de logische eerste stap; dit is de grootste kostenpost en tevens van belang voor de mechanische eigenschappen die gehaald kunnen worden.

Daarnaast zal een productieproces vanaf het begin ontworpen moeten worden, analoog aan de huidige OSB-productielijnen.

Al met al lijkt VVK-OSB een zeer interessante weg om verder te ontwikkelen.

8. Reflectie op doelstellingen, opgebouwde kennis en vervolg

In het projectvoorstel voor het KIEM-VANG-project is als praktijkvraag geformuleerd:

Op welke wijze kunnen end-of-life thermoharde composietproducten worden verwerkt tot versterkingselementen in de vorm van vlokken die voor het vervaardigen van nieuwe composietproducten in de vorm van VVK-OSB kunnen worden gebruikt?

Deze doelstelling heeft geleid tot een verdere uitwerking door de praktijkvraag te vertalen in de volgende onderzoeksvraag:

Op welke wijze kunnen end-of-life thermoharde composietproducten worden vershredderd tot relatief kleine onderdelen, die een vrij grote L/D-verhouding hebben (vlokken), waarbij de methoden van vershredderen ook praktisch uitvoerbaar en economisch interessant te maken is? Verder moeten de ontstane vlokken geschikt zijn als versterkende grondstof in een nieuw te vervaardigen VVK-OSB product.

In de netwerkvorming zijn partijen betrokken die jarenlange ervaring met verwerking en toepassing van thermoharde kunststofcomposietproducten hebben en die ervaring hebben met het vershredderen van afvalproducten. Bijl Profielen heeft hierbij materialen en kennis ter beschikking gesteld over typische producten die verwacht kunnen worden in de afvalstroom en Boverhoff heeft deze materialen vershredderd tot vlokken. In de loop van het onderzoek is aangetoond dat de materiaalgrote goed beïnvloed kan worden door de keuze van de shredder.

Reflecterend op het verloop van het project kan gesteld worden dat de doelstelling is behaald en zich vertaald heeft in opgebouwde kennis over VVK-OSB.

Als concrete aanbevelingen om nader uit te werken zijn het onderzoeken van het bindersysteem dat gebruikt kan worden in VVK-OSB en de verschillende processtappen die nodig zijn om tot een optimaal eindproduct te komen.

9. Literatuurbronnen en referenties

Bouwmeester, J. (2016, oktober 5). *Hergebruik in de vorm van vlokken OSB-VVK*. Symposium Zwolle

Busschen, ten A. (2016, maart 16). *Hergebruik van thermoharde composietproducten*. Bijeenkomst werkgroep Duurzaamheid CompositesNL. Zwolle

Busschen, ten A. (2016, September 15). *Structural Re-Use of Thermoset Composites*. Sampe Congres 16 , Luik

Halliwel, S. (2006). *End of life options for composite waste: Recycle, Reuse or Dispose*. NetComposites

Kelderman, H. (2000, oktober 11). *Ercom proces*. Birmingham

Materials today (2016). Opgehaald van <http://www.materialstoday.com/carbon-fiber/features/recycling-glass-fibre-reinforced-composites/>

Nijhof, A.H.J. (2004). *Vezelversterkte Kunststoffen – Mechanica en Ontwerp*. VSSD

OSB (2016). Opgehaald van <http://www.osb-info.org/technical.html>

Structural Board Association (2004). *OSB Design Manual: Construction Sheathing and Design Rated Oriented Strand Board* (US Version). Ontario.

Sylladys (2016). Opgehaald van <http://sylladys.com/en/pages/324268>

Thelandersson, S & Larsen, H.J. (2003). *Timber Engineering*. Wiley

Wikipedia (2016). Opgehaald van https://en.wikipedia.org/wiki/Oriented_strand_board

Contactgegevens

Lectoraat Kunststoftechnologie

Campus 2-6

8000 GB Zwolle

T: 088 – 469 9700

E: kunststoftechnologie@windesheim.nl

I: www.windesheim.nl/kunststoftechnologie

Contactpersonen

M.D.C. Topp

Lector

T: 088 – 469 7203

E: m.topp@windesheim.nl

A. ten Busschen

Associate lector

T: 088 – 469 8541

E: a.ten.busschen@windesheim.nl

Lectoraat Kunststoftechnologie

Het lectoraat Kunststoftechnologie stimuleert innovatie op het gebied van kunststofverwerking en -producten in het midden- en kleinbedrijf. Vanuit de onderzoeksprojecten, uitgevoerd door docenten van de technische opleidingen bij de Hogeschool Windesheim in samenwerking met bedrijven, vloeien nieuwe kennis en inzichten naar het Hoger Onderwijs én het bedrijfsleven.

Dit rapport beschrijft het onderzoek naar het hergebruiken van thermoharde composieten in de vorm van vlokken. Met de vlokken is nieuw composiet plaatmateriaal vervaardigd dat kan worden aangeduid als 'OSB-VVK'. Uit mechanische beproevingen is gebleken dat goede producteigenschappen te behalen zijn.

