

HERGEBRUIK VAN THERMOHARDENDE COMPOSieten

Onderzoek naar producten en toepassingen



Augustus 2016

LKT-RE-106029-1602

COLOFON

Titel: Hergebruik van thermoharde composieten -Onderzoek van mogelijke producten en toepassingen

Publicatienummer: LKT-RE-106029-1602

Datum: september 2016

Auteurs: Dr. Ir. A. ten Busschen, Ir. J. Bouwmeester, Ir. P. Bosman, Ing. P. Schreuder

Subsidieverstrekker: SIA KIEM VANG

Met medewerking van:

Bijl Profielen

Poly Products

Jansen Venneboer

MR Consult B.V.

Royal Haskoning DHV

Fotografie: Windesheim Zwolle

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 van mogelijke producten en toepassingen.' Het project is bij het Nationaal Regieorgaan Praktijkgericht Onderzoek SIA aangevraagd en toegekend met als projectnummer PROVA.CE.01.006 en kenmerk 2015-765. 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 Poly Products, Bijl Profielen, Jansen Venneboer, Royal Haskoning DHV en MRCONSULT. De bedrijven Poly Products en Bijl Profielen vertegenwoordigen een lange ervaring in het ontwerpen en vervaardigen van composietproducten. Met Jansen Venneboer, Royal Haskoning DHV en MRCONSULT is er in het project veel kennis gekomen van infrastructurele toepassingen. Bovendien hebben deze bedrijven ook al ervaring met het toepassen van composietproducten.

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.

Dr. Ir. Albert ten Busschen
Projectleider

Zwolle, 31 augustus 2016





Inhoudsopgave

Voorwoord	1
Inhoudsopgave	3
1. Inleiding in het project en projectdeelnemers	5
2. Principe van hergebruik van thermoharde composieten.....	7
3. Kansrichtingen en beperkingen	11
4. Bouwsteen-principe	13
5. Voorbeelden van conceptkeuzes	19
6. Virtueel bouwen van prototypes	27
7. Materieel prototype oeverbeschoeiingsprofiel	31
8. Reflectie op doelstellingen, opgebouwde kennis en vervolg.....	35
9. Bijlagen	37





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' (EoL *) 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).

*) 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.

Het onderhavige project is een tweede project in een reeks van projecten die het Lectoraat Kunststof Technologie (LKT) van 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 dit tweede project wordt met betrokken deskundigen een onderzoek gedaan naar de mogelijke composietproducten en toepassingen die mogelijk zijn op basis van hergebruikte EoL thermoharde composietproducten.

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 infrastructurele projecten en de toepassing van composieten daarbij.



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

Poly Products (Werkendam)

Bedrijf gespecialiseerd in ontwerpen en vervaardigen van composietproducten. (A)
Contactpersoon: Ing. J. Schrama (Directeur)

Bijl Profielen (Heijningen)

Bedrijf gespecialiseerd productie van composietprofielen en toepassing ervan. (A)
Contactpersoon: P. Bijl (Directeur)

Royal Haskoning DHV (Rotterdam)

Ingenieursbureau met specialisaties in composieten in infratoepassingen. (B)
Contactpersoon: Ir. L. Tromp (composietspecialist)

Jansen Venneboer (Wijhe)

Ingenieursbureau met ervaring met composieten in infra-projecten. (B)
Contactpersoon: J. Flier (constructeur)

MRCONSULT (Voorschoten)

Adviesbureau met ervaring in infra-toepassingen van composieten. (B)
Contactpersoon: D. Ros (directeur)

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

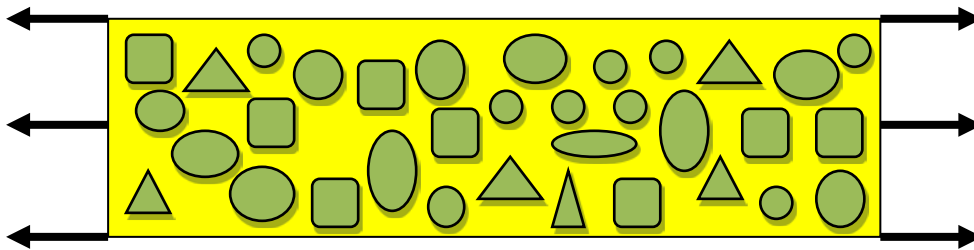
Projectleiding, projectadministratie, onderzoek en rapportage.

Projectleider: Dr. Ir. A. ten Busschen
Onderzoekers: Ir. J. Bouwmeester, Ir. P. Bosman
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.



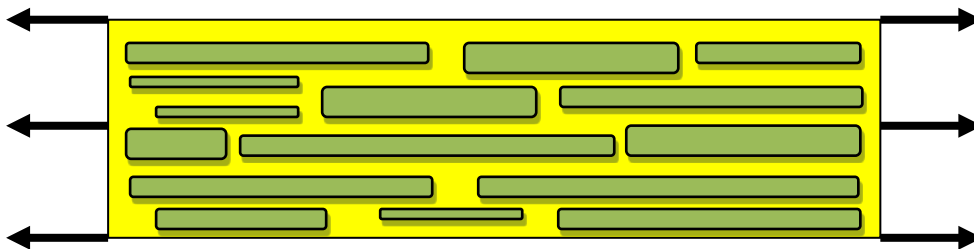
FIGUUR 1 GRANULAAT-GEVULD PRODUCT

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:

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



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 subscripten m en h geven respectievelijk de matrix-fractie en de hergebruik-fractie weer. De volumefractie van het hergebruikte materiaal wordt aangegeven met V_h . 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)

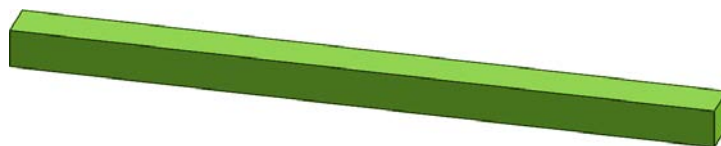
$V_h = 0,5 = 50 \%$ (dus volume voor de helft gevuld met hergebruikt composiet)

Vulling	$E_c \text{ (GPa)}$	$\sigma_c \text{ (MPa)}$	Gedrag
Granulaat	5,2	10 (*)	Bros
Langgevormd	11,5	150	Taai

TABEL 1 THEORETISCH VOORSPELDE COMPOSITIEIGENSCHAPPEN

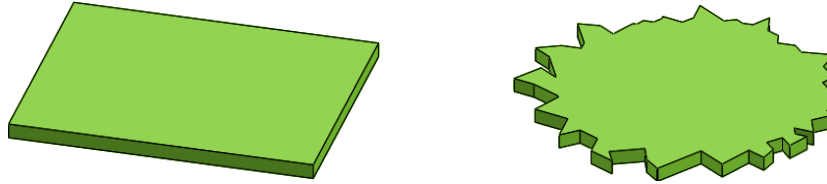
*) Schatting op basis van optredende spanningsconcentraties.

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, D de kleinste. Hieraan voldoen staven of strippen, waarbij de lengte minstens 10x de dikte of breedte is, zie bijvoorbeeld figuur 3.



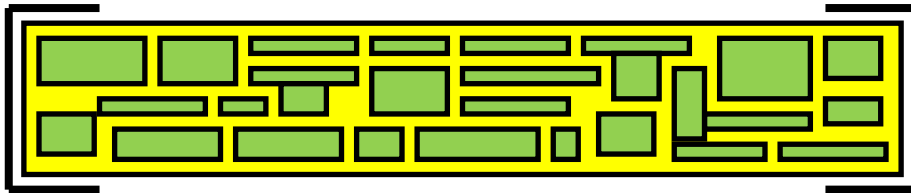
FIGUUR 3 STAAF MET EEN L/D-VERHOUDING GROTER DAN 10

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 bijvoorbeeld als beschoeiingsplank of als brugdekelement. 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. Kansrichtingen en beperkingen

Composieten worden momenteel gebruikt in veel verschillende marktgebieden. Het voordeel van het gebruik van composietmaterialen is dat producten ontworpen kunnen worden met specifieke gunstige materiaaleigenschappen. In de bijlagen van dit rapport Inleiding thermoharde composieten zijn deze eigenschappen beschreven. Hiermee hebben composieten hun toepassing gevonden in diverse marktsectoren.

Bekende sectoren waarin composieten worden gebruikt zijn:

- Transport (automotive, treinen),
- Lucht- en ruimtevaart,
- (Chemische) industrie,
- Maritieme toepassingen,
- Civiel en infrastructuur,
- Bouw (woningbouw en utiliteitsbouw),
- Machinebouw,
- Sport en recreatie.

Binnen deze sectoren is er met de projectdeelnemers een inventarisatie gemaakt van producten die er al op de markt zijn. Dit is gedaan door de IPO-studenten Thijs Besten en Steven van Eek in de vorm van een powerpointpresentatie. Dit werd gebruikt als inspiratie voor de brainstormsessies en voor het selecteren van kansrichtingen. Bij elke projectdeelnemer is een dergelijke brainstormsessie gehouden door de onderzoekers van het lectoraat en de genoemde studenten. In de bijlagen van dit rapport staan de verslagen van deze bezoeken met de uitkomsten.

In principe zouden alle bestaande toepassingen van composieten kansrichtingen zijn voor composieten die geproduceerd zijn op basis van hergebruikte composietelementen. In de brainstormsessies zijn de bestaande toepassingen van composieten beoordeeld als kansrichting. Bovendien zijn mogelijke andere toepassingen in deze sessies naar voren gekomen als kansrichtingen.

Echter de voorgestelde methode van hergebruik leidt tot de volgende beperkingen:

Beperking in vormgevingsvrijheid

Door de relatief grote afmetingen van de hergebruikte elementen zijn deze vrij stug en onbuigzaam. Dit betekent dat ze niet zoals versterkingsvezels kunnen worden gevormd in een mal. Hierdoor zullen alleen profielvormige of plaatvormige producten mogelijk zijn.

Beperking in realiseren van lichtgewicht constructies

Doordat de hergebruikte elementen moeten worden ingebed in een matrixmateriaal zal het niet mogelijk zijn om dunwandige constructies te maken. Zeer lichte constructies zullen dus niet mogelijk zijn.



Anderzijds blijven de volgende voordelen bij het hergebruiken van EoL thermoharde composietproducten behouden:

- Hoge mechanische sterkte,
- Bestandheid tegen vochtinwerking en corrosie.

Een extra kansrichting ontstaat voor toepassingen waar een hoge drukvastheid vereist is. Juist door de noodzaak om de hergebruikte elementen in te bedden in een matrix kunnen massieve producten worden gemaakt die niet alleen een hoge globale sterkte hebben maar die ook bestand zijn tegen lokale belastingen zoals puntlasten of impact.

Een duidelijke kansrichting is dus:

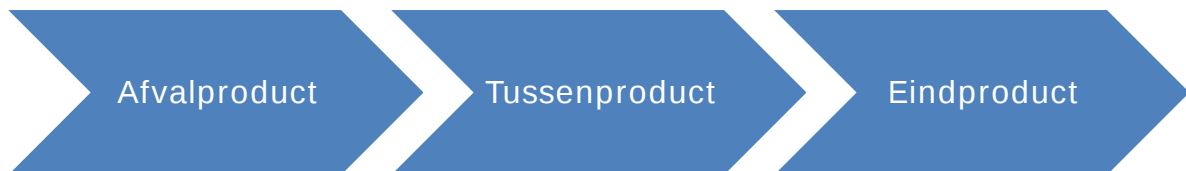
Massieve producten met een hoge drukvastheid.

In de bijlage zijn inventarisatieoverzichten van kansrichtingen gegeven die op basis van de brainstorms tijdens de bedrijfsbezoeken zijn gemaakt. Dit is gepresenteerd per toepassingsgroep en tonen een veelheid van mogelijke producten die tijdens de brainstorms ter sprake zijn gekomen.



4. Bouwsteen-principe

Uit de vrijkomende afvalproducten kunnen tussenproducten worden gemaakt die dienen als componenten voor nieuwe producten, zie figuur 6. Deze componenten worden beschouwd als bouwstenen voor het eindproduct. Het herkennen van deze bouwstenen kan gebruikt worden bij het bedenken van mogelijke nieuwe composiettoepassingen. Dit hoofdstuk geeft een beschrijving van mogelijke bouwstenen.



FIGUUR 6 VAN AFVALPRODUCT NAAR EINDPRODUCT

Als voorbeeld wordt een blad van een windturbine gebruikt. Wanneer het blad wordt afgedankt kan het afvalproduct worden verzaagd tot een soort I-profiel, het tussenproduct. Het profiel kan vervolgens gebruikt worden als ligger voor een brug. Het I-profiel is in dit geval een bouwsteen voor het eindproduct. In het parallel-lopende KIEM-VANG-project is een gedeelte van een rotorblad van een windturbine verkregen van CTC. Het verzagen van dit blad tot bouwstenen en de resulterende I-liggers zijn te zien in figuur 7.



FIGUUR 7 VERZAGEN VAN ROTORBLAD EN RESULTERENDE I-LIGGERS

Het verwerken van een windturbineblad tot tussenproduct is één voorbeeld van een bouwsteen. Per afvalproduct zijn er meerdere bouwstenen mogelijk. Grofweg zijn er uit de meest voorkomende afvalstromen wel vijf belangrijkste soorten bouwstenen te herkennen.



Dit zijn:

- Volledige afvalproducten hergebruiken,
- Strips,
- Constructieprofielen,
- Sandwich constructies,
- Dubbelgekromde vormen.

Volledige afvalproducten hergebruiken

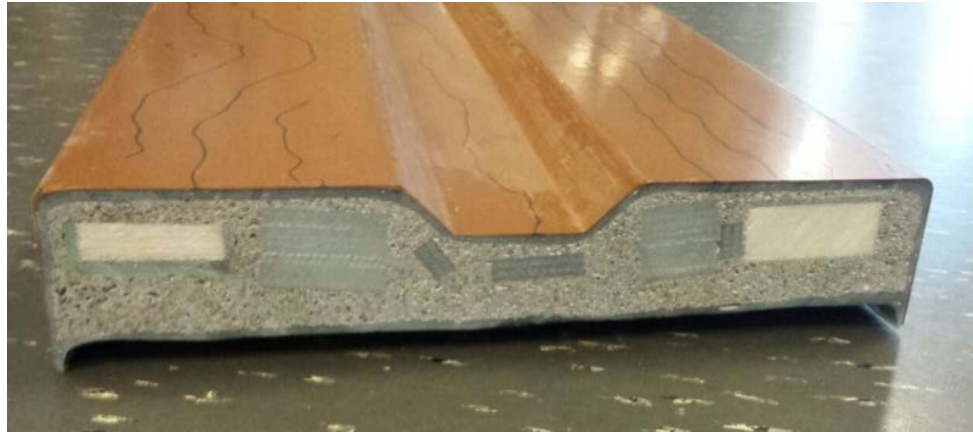
Met het volledig hergebruiken van afvalproducten wordt bedoeld dat er zo min mogelijk verwerkingsstappen worden toegevoegd om tot een nieuw eindproduct te komen. Vanuit het oogpunt van duurzaamheid is de beste manier om het materiaal te hergebruiken er zo min mogelijk extra energie aan toe te voegen. Ook economisch zal dit het eindproduct ten goede komen. Als voorbeeld kan weer een windturbineblad worden genomen. Wanneer het blad minimaal wordt verzaagd en afgebraamd kan het bijna volledig worden gebruikt in een speeltoestel. Dit is eerder gedaan in Speeltuin Wikado in Rotterdam, zie figuur 8.



FIGUUR 8 SPEELTUIN WIKADO IN ROTTERDAM

Strips

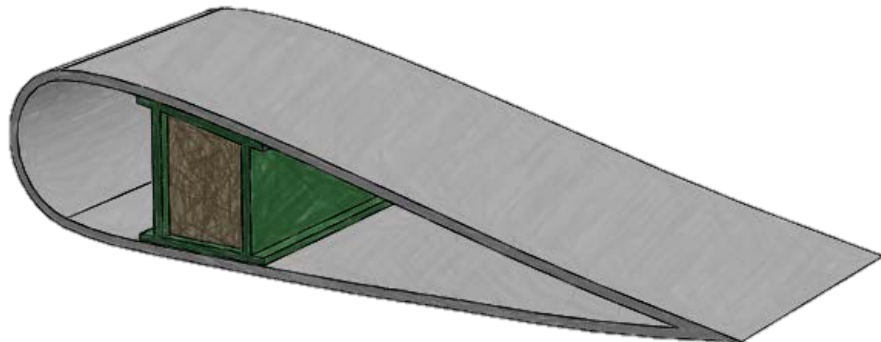
Bij het volledig hergebruiken van afvalproducten blijft er gebondenheid aan de meestal complexe vormen van het afvalproduct. Dit kan voor nieuwe toepassing niet wenselijk zijn. Het verzagen tot rechte, gekromde of gevormde strips kan in dat geval een oplossing zijn. Een principe is om de afvalproducten door middel van zagen of waterstraalsnijden te verwerken tot relatief lange rechte stroken die vervolgens met nieuw vezel- en matrixmateriaal weer aan elkaar worden verbonden. De vorm waarin de strips worden gelegd is bepalend voor het soort bouwsteen dat wordt gemaakt. Dit kunnen bijvoorbeeld profielen, plaatmateriaal of complete producten zijn. Een voorbeeld van dit principe met rechte strips wordt getoond in de doorsnede van een profiel waarin composietstrips in zijn opgenomen, zie figuur 9. De productie van het prototype profiel waarvan deze doorsnede is getoond wordt verderop in dit rapport beschreven.



FIGUUR 9 PROFIELOPBOUW MET HERGEBRUIKTE STRIPS IN PROTOTYPE PROFIEL

Constructieprofielen

Behalve om de strips te verwerken tot profielen is het ook mogelijk om hele constructieprofielen uit afvalproducten te halen. In een windmolenblad bevindt zich bijvoorbeeld een soort koker of I-profiel die de dwarskrachten opvangt. Deze kan worden uitgezaagd en in zijn geheel worden gebruikt als bouwsteen. Een tekening van een dwarsdoorsnede van een windmolenblad met kokerprofiel is weergegeven in figuur 10.



FIGUUR 10 DOORSNEDE VAN WINDMOLENBLAD MET DAARIN EEN KOKERPROFIEL

Een buis is al een constructieprofiel op zich, maar kan ook in de lengte- en/of dwarsrichting worden doorgesneden, waardoor ringen, gekromde strips of gekromde panelen worden gevormd. Zo is het mogelijk uit deze en andere afvalproducten I, U, L, H of andere constructieprofielen te halen en te vormen tot bouwstenen, zie figuur 11.

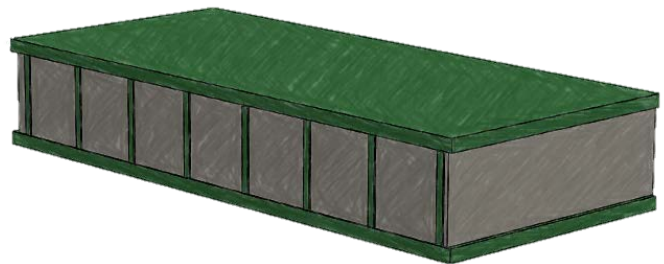




FIGUUR 11 BUIZEN EN MANIEREN OM EEN BUIS TE VERZAGEN

Plaatmateriaal

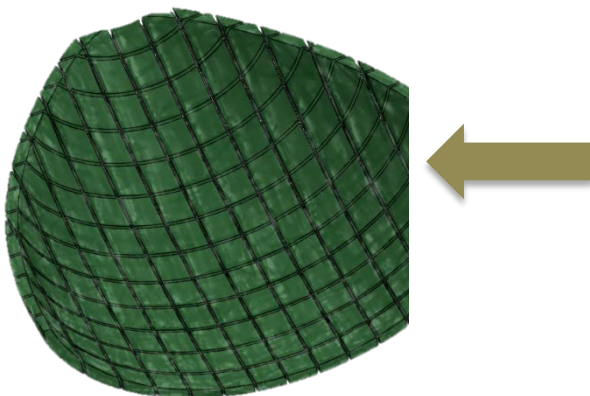
Plaatmateriaal is een bouwsteen dat verkregen kan worden uit het samenstellen van strips en uit volledige afvalproducten. Truck flat panels met sandwichconstructie kunnen bijvoorbeeld één op één hergebruikt worden in andere toepassingen, zie figuur 12.



FIGUUR 12 KOELWAGEN MET PANELENWAND EN PRINCIPE VAN EEN SANDWICH

Dubbelgekromde vormen

Dubbelgekromde vormen zijn bouwstenen die bijvoorbeeld uit afgedankte boten afkomstig kunnen zijn. Uit de verzaagde boten kunnen grote dubbelgekromde platen en kleinere dubbelgekromde vormen gehaald worden, zie figuur 13.



FIGUUR 13 DUBBELGEKROMDE VORM MOGELIJK AFKOMSTIG UIT EEN BOOTROMP

Om met de bouwstenen nieuwe producten te kunnen samenstellen moeten deze worden gekarakteriseerd. Vooral de maatvoering en de eventuele vezelversterkingsrichting zijn van belang voor toepassing in een nieuw product van het hergebruikte materiaal. Om die reden zijn de afvalcomposietdelen die in het vorige KIEM-VANG-project zijn verkregen van Future Pipes Industries (buizen en buisdelen) en van CTC (windmolen rotorblad) geïnventariseerd en ingemeten. Hiervan is een lijst gemaakt van alle onderdelen en hun bijbehorende maatvoering. In de bijlage worden een aantal overzichtsfoto's van deze onderdelen gegeven. Een aantal complexe doorsneden zijn ook in 3D nagetekend, zie twee voorbeelden figuur 14.



FIGUUR 14 3D-TEKENINGEN VAN INGEMETEN ONDERDELEN

Er is ook met de 3D-scanner van Windesheim (bij de opleiding IPO) geprobeerd de complexe vormen in te scannen en dan over te zetten naar een 3D-model. Alhoewel het scannen zelf vrij snel gaat, is er vervolgens vrij veel tijd nodig om de scan te fatsoeneren tot een goed 3D-model. Uiteindelijk blijkt het scannen alles bij elkaar toch een vrij tijdrovende manier om de complex-gevormde bouwstenen om te zetten naar een bruikbaar 3D-model waarmee nieuwe producten kunnen worden ontworpen.





5. Voorbeelden van conceptkeuzes

In dit hoofdstuk wordt gekeken welk van de mogelijk nieuwe toepassingen het meest geschikt is tot verdere verwerking tot concept, hierbij zal door te convergeren eerst een relatief brede selectie maken uit alle mogelijke ideeën om deze vervolgens weer met elkaar te vergelijken en verder onder de loep te nemen. Uit deze selectie zullen de meest belovende concepten naar voren komen, deze concepten zullen op zijn minst bestaan uit een beton, hout en staalequivalent om de brede variëteit aan mogelijkheden van het hergebruikte composiet product te kunnen aantonen.

De mogelijk nieuwe toepassingen van het hergebruikte composiet zullen moeten voldoen aan een aantal criteria om in aanmerking te komen voor verdere verwerking tot concept, bij het beoordelen hiervan wordt rekening gehouden met de volgende punten:

- Bewerkingskosten,
- Volume/aantallen composiet product,
- Materiaaleigenschappen,
- Economische kosten/baten,
- Voor- en nadelen t.o.v. huidig product,
- Maakt gebruik van de voordelen van composiet,
- Marktaandeel.

De conceptkeuzes die er gemaakt gaan worden hangen af van een aantal belangrijke factoren, deze factoren dienen er voor te zorgen dat het uiteindelijke concept een grote kans van slagen heeft om als toepassing gebruikt te gaan worden. Naast deze factoren wordt er ook onderscheid gemaakt met welk materiaal de huidige toepassing vervangen wordt en de hoogwaardigheid van het product. In het volgende staan deze keuzefactoren verder beschreven.

Materiaal

Om de vele mogelijkheden van het principe te kunnen aantonen worden er concepten gekozen die verschillen in het materiaalgebruik van de huidige toepassing. Er moet worden aangetoond dat het hergebruikte composiet in de nieuwe toepassing minstens zo goed is als de huidige toepassing uitgevoerd in bijvoorbeeld beton, staal of hout.

Hoogwaardigheid

Het aspect hoogwaardigheid van het te maken product moet aantonen dat het principe zowel in laagwaardige, middelwaardige en hoogwaardige producten toegepast kan worden, dit vergroot eveneens de variëteit aan bouwstenen en de totale hoeveelheid afvalproduct dat er in deze producten verwerkt kan worden.

Afvalstromen

De afvalstromen zijn een kritiek punt in het kiezen van het concept, zo zal de zekerheid in het vrijkomen van bijvoorbeeld boten, rotorbladen, silo's een aantal concepten kunnen maken of breken.

Bouwsteen

Zoals in het vorige hoofdstuk is besproken is een bouwsteen een onderdeel waaruit het nieuw te maken product is opgebouwd. De bouwsteen die het concept nodig heeft is ook van belang voor de keuze, wanneer het veel tijd en energie kost om de bouwsteen te verkrijgen is dit natuurlijk een nadeel ten opzichte van een bouwsteen welke in zijn geheel met minimale nabewerking toegepast kan worden.



Markt

Als eenmaal het concept op elk gebied goed scoort, maar er geen goede afzetmarkt is dan is het niet zinvol op om dit concept verder uit te werken. Wanneer het puur bedoeld is om de werking van het principe aan te tonen dan staat dit natuurlijk los van de markt.

Materiaaleigenschappen

De materiaaleigenschappen hangen sterk af van de bouwsteen die er gebruikt wordt en het materiaal dat vervangen dient te worden, een hoogwaardig product dat vervangen wordt met een bouwsteen die alleen laagwaardige materiaaleigenschappen kan geven is geen goede combinatie.

Levensduur

Composiet heeft een hoge levensduur en dit is een groot voordeel, maar het kan ook zijn dat de lange levensduur van het composiet geen of weinig voordeel heeft ten opzichte van het huidige product.

Gewicht

Het lichtere gewicht van het composiet heeft voor- en nadelen, hierbij wordt rekening gehouden met verschillende eisen en ergonomische aspecten die het product dient te voldoen. Zoals al aangegeven zal met het hergebruik-principe het niet mogelijk zijn om zeer lichte producten te maken.

Bestendigheid

De nieuwe toepassing zal bestendig moeten zijn tegen invloeden van buitenaf, dit heeft betrekking tot vandalisme, ongedierte, weer, wind, UV straling etc. Wanneer het concept niet voldoet aan deze eisen is het een no-go.

Kostprijs

De kostprijs van het huidige product alsmede de kostprijs voor het maken van de nieuwe toepassing worden tegen elkaar afgewogen. Uiteindelijk zal het economisch aspect bepalend zijn voor een succesvolle marktintroductie.

Duurzaamheid

De duurzaamheid van het product is ook een belangrijk punt waarbij het hergebruiken van het composiet product een voordeel heeft.

Esthetische waarde

De esthetische waarde is in sommige gevallen van groot belang en het vervangen van het huidige materiaal met composiet kan het uiterlijk van het product verslechteren.

Gebruik

Hoe verhoudt zich de nieuwe toepassing in het gebruik tegenover de huidige toepassing? Bijvoorbeeld is het bijwerken en het doen van kleine aanpassingen bij hout vele malen makkelijker dan bij composiet, hier zal ook naar gekeken worden.



In de brainstormen zijn meerdere ideeën vaker naar voren gekomen. Dit kan enerzijds betekenen dat ze voor de hand liggen, maar anderzijds ook dat het de betere ideeën zijn. Hieronder staan meerdere mogelijke concepten welke veelbelovend naar voren zijn gekomen uit alle mogelijke nieuwe toepassingen welke in het vorige hoofdstuk werden benoemd. Het is de synthese uit de brainstormsessies en de in de bijlage weergegeven kansrichting.

De volgende mogelijk nieuwe toepassingen zijn naar voren gekomen:

- Gestandaardiseerde balken,
- Afmeerpalen,
- Verkeersborden,
- Constructieplaten,
- Spoorbielen,
- Straatmeubilair,
- Springbalken,
- Stalroosters,
- Pallets,
- Keerwanden (beschoeiing) en
- Geluidswanden.

Voor het kiezen van de concepten is gebruik gemaakt van het Harris-Profiel. Deze methode bestaat uit het geven van een punt per eis als een concept voldoet. Het totaal aantal punten geeft een beeld hoe goed een concept scoort. Door de puntentotalen van de verschillende concepten naast elkaar te zetten wordt een duidelijk overzicht verkregen op welke factoren de concepten goed scoorden en op welke ze minder goed scoorden. De methodiek van het opstellen van een Harris-Profiel wordt gebruikt door industrieel ontwerpers. De resultaten van het Harris Profiel staan in tabel 2 weergegeven.

Concept		Puntentotaal	Hoogwaardigheid	Materiaal
1. Draagbalk		12	Middel	Hout
2. Afmeerpalen		12	Middel	Hout
3. Verkeersbord		8	Hoog	Staal
4. Constructieplaat		4	Laag	Hout
5. Spoorbiels	★	11	Middel	Beton
6. Straatmeubilair	★	13	Hoog	Staal
7. Springbalk		11	Middel	Hout
8. Stalrooster		9	Middel	Beton
9. Pallet	★	13	Middel	Hout
10. Keerwand		10 (*)	Middel	Beton
11. Geluidscherm		9	Hoog	Beton

TABEL 2 RESULTATEN VAN HET HARRIS PROFIEL



Uit deze resultaten blijkt dat de draagbalk, afmeerpalen, spoorbiels, het straatmeubilair, springbalk en de pallet in deze analyse het beste uit de bus komen (score 11 tot 13). Voor elk van de drie te vervangen materialen beton, staal en hout wordt een product uit deze hoog-scorende producten gekozen. Gekozen zijn de spoorbiels, het straatmeubilair en de pallet. De hoogwaardigheid van deze producten vallen in de middel en de hoge categorie, de constructieplaat dat wordt gezien als laagwaardig product wordt door onder de maat bevonden om mee verder te gaan als concept.

Het idee om overgebleven snippers uit een verwerkingsproces in een nieuw plaatvormig product te stoppen is goed maar voor deze toepassing heeft het voornamelijk een nadelig effect t.o.v. het gebruik. Daarnaast scoort het ook slecht op de kostprijs, duurzaamheid en het gewicht in vergelijking met het huidige product.

Ondanks dat in het Harris Profiel het product Keerwand wat minder hoog scoort (zie * in de tabel) is toch bij een aantal deelnemers aan het project het gevoel dat dit toch een kansrijke toepassing is. Daarom is besloten deze toepassing verder te onderzoeken en hiervoor een eerste prototype-product te vervaardigen.

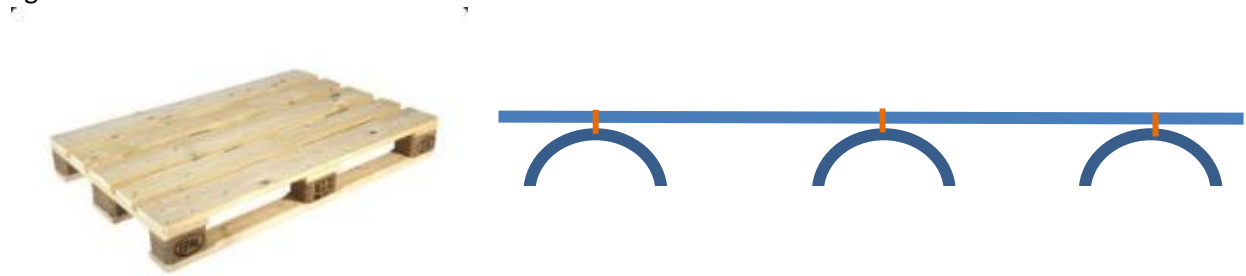
In de volgende paragrafen worden de volgende drie concepten die hoog scoren in het Harris profiel en die mogelijk als vervanging van hout, beton en staal kunnen worden toegepast verder uitgewerkt.

Conceptkeuze 1: Pallet

De pallet kan gebruikt worden als transportmiddel waarop goederen verplaatst en vervoer kunnen worden. Dit kan gedaan worden met zowel een vorkheftruck als met een pallet pompwagen. De pallet van composiet wordt een vervanger van de huidige houten pallets.

Bouwstenen

De componenten waaruit de pallet zal bestaan zijn strips en stroken gehaald uit gezaagde composieten afvalproducten. Onderstaand voorbeeld laat een mogelijke opbouw van de pallet zien waarbij maanvorige stroken uit buizen worden gebruikt als ondersteuning voor de dekplanken, zie figuur 15.



FIGUUR 15 CONVENTIONELE HOUTEN PALLET EN OPBOUW-PRINCIPE MET HERGEBRUIK

Andere mogelijke componenten kunnen gehaald worden uit bedrijfsafval dat vrijkomt bij pultrusie en uit lengtestroken van windmolenbladen.

Gewicht

Het gewicht is een belangrijke, zo niet de belangrijkste factor voor een pallet. Het product is alleen een hulpmiddel voor producten waar het daadwerkelijk om draait en het gewicht en vervoer brengt alleen maar kosten met zich mee, want hoe lager het gewicht, hoe minder brandstofkosten. Het gewicht van huidige Europallets is zo'n 25 kg. Als eis die gesteld kan worden voor een verdere uitwerking van het concept, moet zo'n pallet niet meer dan 25kg worden.

Kosten

De bewerkingskosten zullen voor het grootste gedeelte de kostprijs van een composieten pallet bepalen. De benodigde stroken kunnen worden verkregen door te zagen of te waterstraalsnijden. Bij waterstraalsnijden moet ook een droogtijd in ogenschouw worden genomen. De materiaalkosten zijn te verwaarlozen, omdat het afvalmateriaal is. De kosten van het verbinden moeten wel worden meegenomen. Pallets hebben verder een statiegeldsysteem, wat betekent dat er meerdere malen verdiend kan worden aan het product. Het is belangrijk dat de pallet dus zo lang mogelijk meegaat.

Bestendigheid

Op de bestendigheid tegen invloeden van vocht en temperatuur scoort deze pallet beter dan een houten pallet. Ook zal de pallet goed schoon te houden zijn en kan dit voordelen opleveren bij internationale handel waarbij een behandeling tegen organismen vereist is.

Programma van eisen

De eisen waaraan de pallet van hergebruikt thermoharde composiet moet voldoen zijn gebaseerd op die van Europallets waarmee het moet concurreren.

Deze eisen zijn:

- Op de pallet moeten goederen verplaatst en vervoerd kunnen worden;
- De pallet moet met een pompwagen of heftruck te verplaatsen zijn;
- De massa van de pallet mag niet groter zijn dan 25 kg;
- De pallet moet dynamische belast kunnen worden met minimaal 1500 kg;
- De pallet moet statisch belast kunnen worden met minimaal 6000 kg;
- De afmetingen van de pallet zijn maximaal 1200 x 800 x 144 mm;
- De insteekhoogte moet minimaal 90 mm zijn;
- De insteekbreedte moet minimaal 227,5 mm zijn;
- De pallet moet stapelbaar zijn;
- De pallet moet herbruikbaar zijn;
- De pallet moet behandeld kunnen worden tegen organismen.

Conceptkeuze 2: Spoorbiels

Dit concept dient als vervanging voor de huidige houten en betonnen spoorbielzen. Op dit moment wordt de houten spoorbielzen al erg veel vervangen door de betonnen spoorbielzen en deze is nu al in grote hoeveelheden aanwezig in het spoorwegennetwerk. Het vervangen van deze houten spoorbielzen biedt vele voordelen welke in het conceptoverzicht terug te vinden zijn. Het totale volume van deze toepassing is erg groot en dit is waar naar gezocht wordt voor het hergebruiken van het composiet afval. Het concept is een betonvervanging en valt onder de middelwaardige categorie van de conceptkeuzes.



FIGUUR 16 BETONNEN SPOORBIELZEN



Programma van eisen

De eisen van een betonnen spoorbiels zijn belangrijk om het product mee te vergelijken, als leidraad voor een betonnen spoorbiels is de NS90 genomen:

- Product moet aslasten kunnen weerstaan van 225 kN bij een snelheid max. 200 km/u;
- Product moet aslasten kunnen weerstaan van 250 kN bij een snelheid max. 100 km/u;
- Ballastdikte van 0,10 tot 0,35 m in hoofdsporen;
- De dwarsliggers moeten 600 mm uit elkaar liggen;
- Minimale levensduur van 50 jaar;
- Spoorstaafzone van +12,1 kNm;
- Ontwerpmoment midden zone van -14,2 kNm;
- Moet voldoen aan de product specifieke eisen SPC00021 en SPC00023.

Technische specificaties vanuit NS90 staan in tabel 3.

Aspecten die niet genoemd worden in deze technische specificaties zijn geluiddemping en eigen frequentie. Mogelijk deze aspecten van belang omdat deze geheel anders kunnen uitpakken dan een uitvoering in beton. Dit zal bij verdere uitwerking onderzocht moeten worden.

Afmeting	2520 x 300 x 233 mm
Constructiehoogte	214 mm
Gewicht	280 kg
Volume	0,113 kubieke meter
Hellingshoek	1:40
Betonsterkteklasse	C50/60, EN 206-1
Voorspanwapening	NEN 3868 of EN 10138
Bevestigingssysteem	Veerbeugelsysteem
Milieuklasse	XC4, XD3, XS1, XF4
Spoorstaafbevestigingssysteem	Vossloh SKL 14/97 (46E1, S-49, 54E3 en 60E3)

TABEL 3 TECHNISCHE SPECIFICATIES VANUIT NS90

Bouwsteen

De bouwsteen voor dit concept is een met thermoharder composieten strips verstijfde balk, de strips kunnen uit veel afvalproducten gehaald worden van verschillende formaten. Dit is een groot voordeel van het gebruik van deze bouwsteen aangezien het niet afhankelijk zal zijn van een specifieke afvalstroom. Er is een prototype gemaakt met het principe van deze bouwsteen, de mechanische eigenschappen van dit prototype zijn nog niet bekend en moeten nader bepaald worden. Bij deze toepassing zullen de mechanische eigenschappen van de bouwsteen volstaan.

Kosten

Een NS90 kost € 76,60. Voor het product wat er opgeleverd moet worden is dit een erg lage prijs en hiermee concurreren zal lastig worden. Bij een massieve uitvoering in composiet zal het gewicht ca. 200 kg bedragen. Het aandeel nieuw materiaal dat toegevoegd moet worden aan de hergebruikte composietelementen moet zo laag mogelijk blijven om concurrerend te kunnen worden. Immers hierin zitten de kosten van het product. Anderzijds is de vorm van de biels eenvoudig en zullen de malkosten en de arbeidskosten beperkt blijven indien er met een geautomatiseerd productieproces wordt gewerkt. Het verdient de aanbeveling om deze toepassing nader uit te werken.

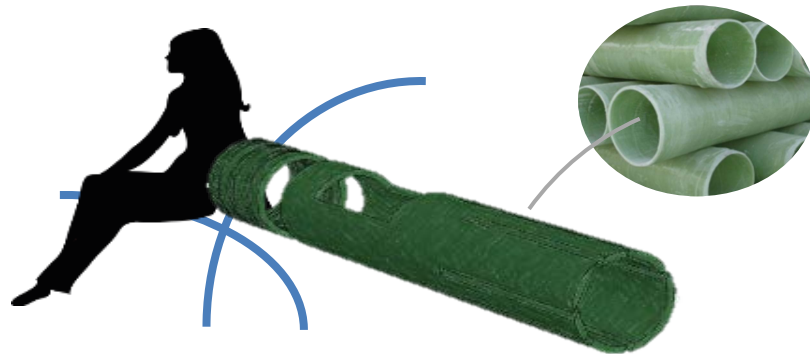


Conceptkeuze 3: Straatmeubilair

Dit concept is nog zo breed dat het eigenlijk een kansrichting is, daarom is het concept beperkt tot zitelementen.

Bouwstenen

Zitelementen kunnen worden gehaald uit allerlei verschillende afvalstromen. Mogelijke bouwstenen zijn de gekromde delen uit boten of buizen, maar ook profielen uit bedrijfsafval of strips, zie figuur 17.



FIGUUR 17 GEBRUIK VAN BUIZEN ALS BOUWSTENEN VOOR EEN ZITELEMENT

Bestendigheid

Straatmeubilair zal te maken krijgen met vandalisme en invloeden van weer en wind. Voordeel van dit materiaal is de hoge bestendigheid tegen deze invloeden. Ook is het materiaal onderhoudsvrij.

Afzetmarkt

Wie voor het product moet gaan betalen is de overheid. Gemeenten hebben bepaalde budgetten beschikbaar voor de inrichting van openbare ruimten. De afzetmarkt bestaat daarom uit alle gemeenten in Nederland.

Programma van eisen

De eisen waaraan het straatmeubilair van hergebruik thermoharder composietmateriaal moet voldoen staan beschreven in het Besluit omgevingsrecht. Gezien de eigenschappen van andere materialen (staal, hout, hout/kunststof) die al worden toegepast voor straatmeubilair zal er met hergebruikt composiet ook aan deze eisen kunnen worden voldaan.



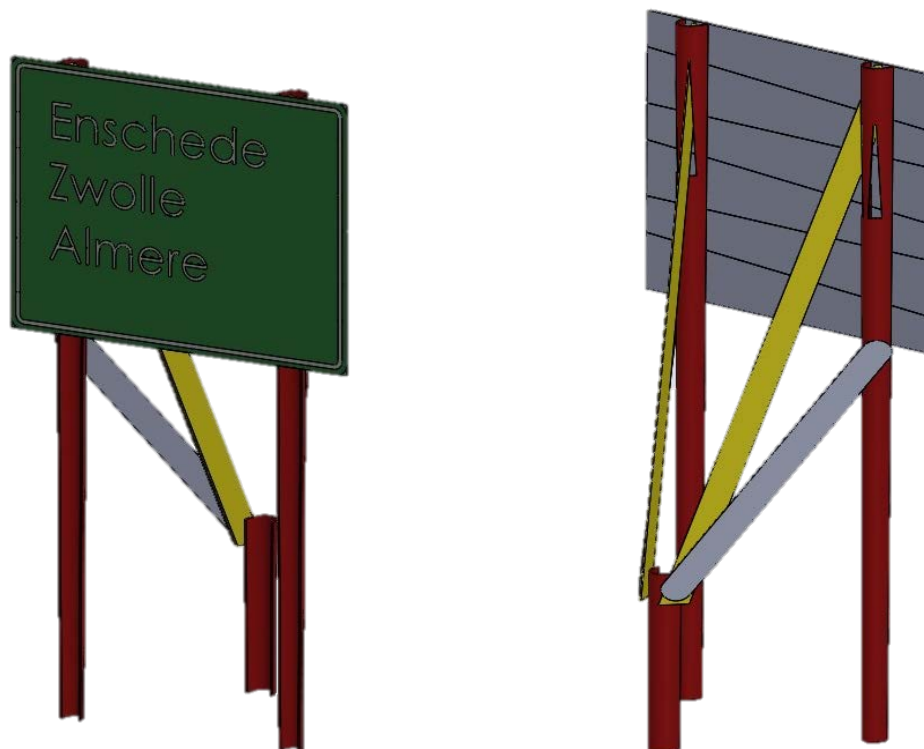


6. Virtueel bouwen van prototypes

Met de ingemeten onderdelen zal worden getoond dat hiermee in een 3D-tekenpakket virtueel een prototype van een nieuw product kan worden opgebouwd. In het volgende worden getoond een virtueel prototype van een verkeersbord, een draagligger en een zitbankje.

Virtueel gebouwd prototype verkeersbord

Hierbij worden plaatvormige bouwstenen gebruikt voor het maken van het bord en worden profielvormige bouwstenen gebruikt voor het maken van de steunconstructie van het bord. Figuur 18 toont het resultaat in vooraanzicht en achteraanzicht.

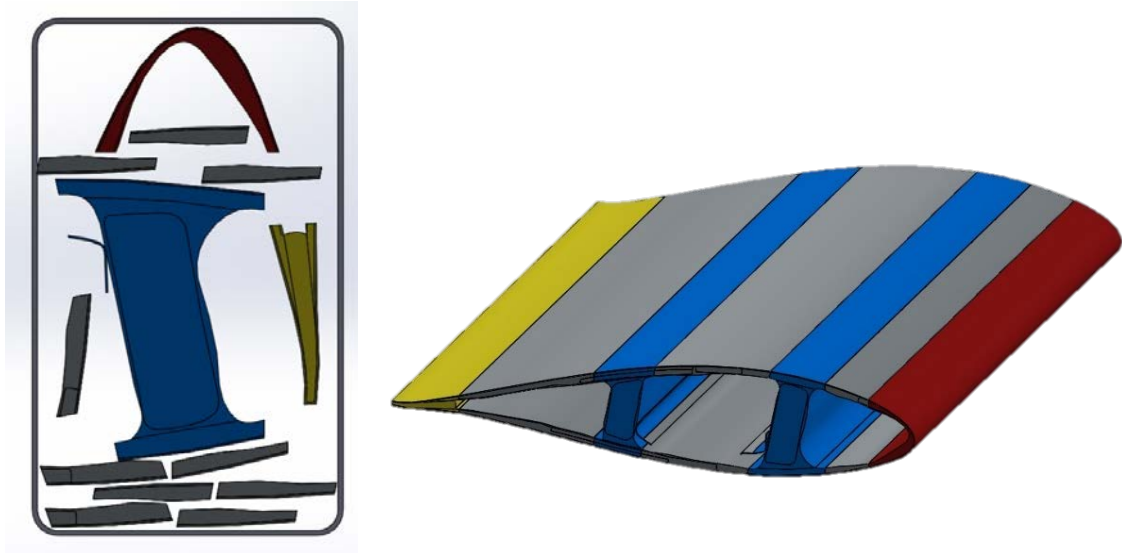


FIGUUR 18 VIRTUEEL GEBOUWD PROTOTYPE VERKEERSBORD UIT HERGEBRUIKT COMPOSIT



Virtueel gebouwd prototype draagligger

De draagligger wordt opgebouwd door een buitenhuid die te maken is van nieuw materiaal en die de omhulling vormt van profielstukken die met een inbeddingsmateriaal een geheel vormen. figuur 19 toont het resultaat als doorsnede van de ligger. Tevens is in de rechterfiguur met kleuren aangegeven uit welk gedeelte van de EoL-windmolenrotor de onderdelen afkomstig zijn.



FIGUUR 19 DOORSNEDE DRAAGLIGGER GEVULD MET HERGEBRUIKTE PROFIELSTUKKEN

Het spreekt voor zich dat in het getoonde voorbeeld de hoeveelheid inbeddingsmateriaal om de profielstukken met elkaar en met de buitenhuid te verbinden veel te groot is. In een werkelijke toepassing waarbij lange profielstukken worden verwerkt tot ligger zal de vulling moeten worden geoptimaliseerd zodat de hoeveelheid benodigd inbeddingsmateriaal zo klein mogelijk is. Immers, het inbeddingsmateriaal is nieuw materiaal en kost meer dan het hergebruikte materiaal.

Virtueel gebouwd prototype zitbankje

Voor het virtueel bouwen van een prototype zitbankje worden onderdelen van een windmolenrotorblad samengesteld. Figuur 20 toont het resultaat.



FIGUUR 20 PROTOTYPE ZITBANKJE UIT ONDERDELEN VAN EEN WINDMOLEN-ROTORBLAD

In een werkelijke toepassing zullen er nog aanpassingen gemaakt moeten worden om het bankje functioneel en esthetisch in orde te krijgen. Zo zullen de open profielstukken van de leuning en de achterste staanders moeten worden dichtgemaakt (bijvoorbeeld door aflamineren) om verwonding en opzameling van vuil te voorkomen. Verder zal het nodig zijn om de gehele bank van een coating te voorzien om het er netjes uit te laten zien.





7. Materieel prototype oeverbeschoeiingsprofiel

Om de werking en het principe van de met composieten strips verstijfde balk aan te kunnen tonen zijn de studenten Thijs Besten en Steven van Eek samen met junior onderzoeker Pieter Schreuder op 16 december 2015 afgereisd naar Poly Products in Werkendam. Doel was om die dag een prototype composietprofiel te maken. Dit proces wordt in het volgende in grote lijnen beschreven. (Een uitgebreidere beschrijving is te vinden in het onderzoeksrapport van Thijs en Steven van januari 2016.)

Voorafgaand heeft projectleider Albert ten Busschen een lamineer/giet-mal van betontriplex gemaakt. Deze mal bestond uit twee delen: een gedeelte van 300 x 1500 mm en een gedeelte van 300 x 600 mm. De mal was in elkaar geschroefd, de gezaagde zijden waren behandeld met G4-lak en het geheel was een aantal keren ingewreven met Honey-wax ten behoeve van de lossing. In de hoeken werd moduline aangebracht voor het realiseren van een afrondingsstraal. In figuur 21 wordt een foto van de mal gegeven.



FIGUUR 21 LAMINEER/GIET-MAL VOOR HET MAKEN VAN DE PROTOTYPES

Ook voorafgaand aan de genoemde dag werd al in het lange gedeelte van de mal een bruine gelcoat aangebracht met daarachter een eerste polyester laminaatlaag op basis van CSM glasmat: 1x 300 g/m² en 2x 450 g/m².

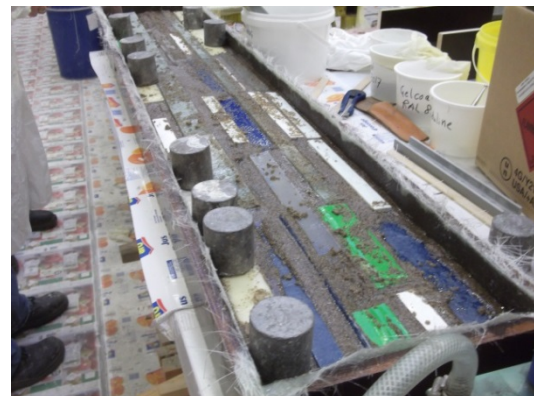


Op de genoemde dag maakten de studenten en de junior onderzoeker een mengsel van droog zand en polyesterhars aan (gewichtverhouding 4 : 1). Vervolgens werd een deel van deze gietmassa in de mal gegoten en werd de massa ontlucht middels een pneumatisch trilapparaat dat aan de mal bevestigd was, zie figuur 22.



FIGUUR 22 GIETEN VAN EEN EERSTE LAAG EN ONTLUCHTEN MET TRILAPPARAAT

In deze nog niet uitgeharde inbeddingslaag werden de strips van diverse soorten gezaagd composiet aangebracht. De openingen tussen de strips werden verder met de gietmassa aangevuld. Om opdrijven te voorkomen werden de lichte sandwichstrips verzwaaard met stukken staal, zie figuur 23.



FIGUUR 23 DIVERSE STRIPS EN INGEBED EN NAGEGOTEN

Na uitharding van de gietmassa werd een tweede hoeveelheid gietmassa aangemaakt en werd het geheel verder afgegoten en gladgestreken waarbij gelijktijdig het trilapparaat zorgde voor de ontluchting, zie figuur 24.



FIGUUR 24 TWEEDE LAAG GIETEN EN AFSTRIJKEN VAN HET GEHEEL

Nadat de tweede laag was uitgehard werd het geheel afgelamineerd met een polyesterlaminaat op basis van twee lagen CSM glasmat van 450 g/m².

Een dag later werd het product gelost en afgewerkt en werden er een aantal plakken van de doorsnede gezaagd als demonstratiemonsters. Figuur 25 toont het prototypeproduct en de doorsnede met de ingegoten strips.



FIGUUR 25 PROTOTYPE PLANK MET DE INGEGOTEN STRIPS EN DOORSNEDE

Tijdens de productie van het prototype profiel werden ook andere studies uitgevoerd in het kortere deel van de mal en in een separate mal. In de separate mal werd een voorstudie gemaakt van het maken van een houtnerfpatroon in de nog vloeibare mal; in het kortere deel van de mal werd een studie gemaakt van het ingietgedrag, zie figuur 26.





FIGUUR 26 MAKEN VAN HOUTNERFSTRUCTUUR EN STUDIE VAN INGIETGEDRAG

Geconcludeerd kan worden dat het maken van een profiel op basis van het ingieten van composietstrips in een zand/polyester-mengsel een mogelijkheid is om EoL thermoharde composietstrips te verwerken. De buitenkant van het profiel werd gerealiseerd door een handgelamineerd glas/polyester-laminaat. Door het kiezen van de geschikte kleur van de gelcoat en eventueel door het aanbrengen van decoraties kan bijvoorbeeld een houtuiterlijk worden gerealiseerd. In een industriële uitvoering zou de gelcoat gespoten kunnen worden en zou ook het glas/polyester-laminaat kunnen worden aangebracht door middel van spray-up, mogelijk zelfs gerobotiseerd.

8. Reflectie op doelstellingen, opgebouwde kennis en vervolg

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

‘Wat voor soort composietproducten zijn mogelijk te vervaardigen door onderdelen van afvalcomposietproducten her te gebruiken en wat zijn hiervoor mogelijke toepassingsgebieden?’

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

‘Welke mogelijkheden en onmogelijkheden geeft het hergebruiken van onderdelen van afvalcomposietproducten voor de soort composietproducten die mogelijk zijn te vervaardigen? Welke mogelijkheden en onmogelijkheden geeft dit vervolgens voor de mogelijke toepassingsgebieden?’

In de netwerkvorming zijn partijen betrokken die jarenlange ervaring met verwerking en toepassing van thermoharde kunststofcomposietproducten hebben, of die jarenlange ervaring hebben met toepassingen in GWW (Grond-, Weg- en Waterbouw) of Infra maar al wel in dit gebied ervaring hebben met composieten. Door Poly Products en Bijl Profielen te betrekken in het project is aanwezigheid van jarenlange ervaring met verwerking en toepassing van thermoharde composieten geborgd. Met de deelname van Jansen Venneboer, Royal Haskoning DHV en MRCONSULT is er een jarenlange expertise in de projectgroep op het gebied van infra- en GWW-projecten waarbij ook ervaring met het toepassen van composieten in dit werkveld aanwezig is.

Reflecterend op het verloop van het project kan gesteld worden dat de doelstelling is behaald en zich vertaald heeft in opgebouwde kennis over mogelijke producten en toepassing daarvan die zijn gebaseerd op het gebruik in deze producten van EoL thermoharde composieten. Bovendien zijn prototype producten gemaakt op basis van hergebruikte composiet, zowel virtueel (in een 3D-programma) als materieel door het maken van een daadwerkelijk profiel.

Als concrete aanbevelingen om nader uit te werken zijn het onderzoeken van de economische haalbaarheid van een spoorbiels en een plankprofiel als vervangers van respectievelijk een betonnen spoorbiels en een hardhouten plank. Verder kunnen concrete straatmeubilairproducten nader worden uitgewerkt op basis van hergebruikte composietbouwstenen, bijvoorbeeld toegepast in een zitbankje.





9. Bijlagen

Verslag van projectbijeenkomst

Betreft:	Startbijeenkomst; Hergebruik van thermohardende composieten: Onderzoek van mogelijke producten en toepassingen
Datum:	3 november 2015, 09.30 – 12.00 uur
Locatie:	Poly Products, Werkendam (grote showroom)
Van:	Albert ten Busschen, Wendy van Schooten (Windesheim)
Aan:	Jan Schrama (Poly Products), Peet Bijl (Bijl Profielen), Johan Fler (Jansen Venneboer), Mink Ros (MRCONSULT), Liesbeth Tromp (Royal Haskoning DHV), Margie Topp (Windesheim), Jasper Bouwmeester (Windesheim), Pieter Schreuder (Windesheim), Thijs Besten (minorstudent Windesheim), Steven van Eek (minorstudent Windesheim)
Afwezig:	Peter Bosman (Windesheim) (wordt op de hoogte gehouden van het project), Peet Bijl (Bijl profielen).

09.30 uur **Inloop, koffie, thee**

10.00 uur **Welkom**

Albert heet iedereen van harte welkom, spreekt zijn waardering uit voor het kunnen vergaderen bij Poly Products en geeft aan dat aan het eind van deze bijeenkomst een rondleiding wordt gemaakt bij het bedrijf.

Voorstelronde projectdeelnemers

Jasper Bouwmeester is docent onderzoeker voor het lectoraat Kunststoftechnologie en werkt veel vanuit het PSP. Zijn achtergrond is lucht- en ruimtevaarttechniek en hij heeft zich toegespitst op composiet materialen.

Steven van Eek, volgt de minor PPE en is IPO student en ondersteunt in het onderzoeksproject.

Thijs Besten, volgt de minor PPE en is IPO student en ondersteunt in het onderzoeksproject.

Jan Schrama is oprichter Poly Products, een bedrijf dat 46 jaar bestaat.

Mink Ros is jaren werkzaam geweest bij Rijkswaterstaat en heeft veel kennis van kunststoffen door de vele onderzoeken die bij Rijkswaterstaat hebben plaats gevonden.

Liesbeth Tromp is adviseur vezelversterkte kunststoffen bij Royal Haskoning. Dit is een internationaal bedrijf waarin veel takken vanuit de industrie zijn vertegenwoordigd, Liesbeth is werkzaam voor de tak infrastructuur.

Margie Topp is lector van het lectoraat Kunststoftechnologie en is hiervoor werkzaam geweest bij DSM. Het lectoraat richt zich vooral op praktijkgericht onderzoek. Momenteel lopen er 9 projecten met 60 deelnemende bedrijven. Het lectoraat Kunststoftechnologie (LKT) bestaat uit 15 fte, waarvan 1 lector, 2 associate lectoren, 12 docent onderzoekers en een promovendus.

Johan Fler is werkzaam bij Jansen Venneboer. Dit is een staalconstructiebedrijf dat zich voornamelijk richt op bruggen en sluizen.

Albert ten Busschen is sinds afgelopen juni associate lector en gaat zich richten op composieten. Daarnaast is hij ook 1 dag in de week werkzaam bij Poly Products.

Pieter Schreuder is junior onderzoeker bij het lectoraat en civiel ingenieur.

Wendy van Schooten is projectassistent voor het lectoraat Kunststoftechnologie en regelt alle administratieve zaken rondom de projecten.



Contactgegevens projectdeelnemers

Johan Fleer	Jansen Venneboer	j.fleer@jansen-venneboer.com	06-28872607
Jan Schrama	Poly Products	schrama@polyproducts.nl	0183-507150
Peet Bijl	Bijl Profielen	peet@bijlprofielen.nl	06-50684293
Liesbeth Tromp	Royal Haskoning	liesbeth.tromp@rhdhv.com	06-83530320
Mink Ros	MRCONSULT	minkros@mrconsult.nl	06-12109582
Albert ten Busschen	Windesheim	a.ten.busschen@windesheim.nl	06-51916870
Margie Topp	Windesheim	m.topp@windesheim.nl	06-40502961
Pieter Schreuder	Windesheim	p.schreuder@windesheim.nl	088-4699504
Jasper Bouwmeester	Windesheim	j.bouwmeester@windesheim.nl	088-4699753
Wendy van Schooten	Windesheim	Dwm.van.schooten@windesheim.nl	088-4696118

Uitleg werkwijze KIEM-VANG-project en rolverdeling deelnemers

Informeel is het project goedgekeurd, maar we zijn nog in afwachting van de formele goedkeuring van SIA. Het project maakt deel uit van een serie van 6 projecten, gericht op hergebruik van end-of-life (afval) thermoharde composietproducten.

10.15 uur Uitleg principe hergebruik van thermoharde composieten

Demo opbouw profiel

Tijdens de opbouw van het profiel wordt er gebrainstormd. Conclusie is er 2 mogelijkheden zijn:

- Uitgaan van het materiaal dat er is,
- Of sorteren/ plastificeren van het materiaal.

Liesbeth is voorstander van 'keep it simple' en de kracht van het materiaal gebruiken.

Mogelijk kan er een parallelle brainstormsessie georganiseerd worden vanwege ieders kennis en kunde. Het doel is om eind juni te weten welke toepassingsgebieden er zijn en welke methodes zich hiervoor lenen. Vanuit de bedrijven is de bijdrage in uren voor dit project erg belangrijk. Aan het eind van ieder kwartaal zullen er urenverantwoordingen worden opgevraagd door Wendy.

10.30 uur Inventarisatie van bestaande composietproducten en toepassingen

Presentatie door de minorstudenten

De presentatie wordt verzorgd door de minor studenten Steven van Eek en Thijs Besten. Doel van de presentatie is om te inspireren middels een overzicht van bestaande composiettoepassingen. Het is de bedoeling dat er wordt gezocht naar massa afvalproducten. De trendontwikkeling is belangrijk om te volgen, wat komt er nu en de komende jaren aan end-of-life thermoset composiet beschikbaar?

Het project beperkt zich tot de Nederlandse markt.

11.00 uur Werkwijze tot selectie van geschikte producten en toepassingen

Welke strategie te hanteren en zijn er al richtingen te kiezen en uit te werken?

Planning van de bedrijfsbezoeken door Windesheim voor nadere uitwerking:

- Poly Products,
- Bijl Profielen,
- Jansen Venneboer,
- MRCONSULT,
- Royal Haskoning DHV (Delft).

De communicatie omtrent composiet moet zorgvuldig zijn.

Jan Schrama zou graag willen onderzoeken hoe andere materialen zoals beton, staal en hout gebruikt worden om te bekijken of deze kunnen worden vervangen door hergebruikt composiet.



Margie kaart de 20 weken cyclus binnen de hogeschool aan. Het is nog niet bekend wanneer er een nieuwe lichting studenten ingezet kan worden. De voortgang van het onderzoek is in elk geval geborgd door de inzet van onze (junior-) onderzoekers.

De samenwerkingscontracten zijn voor alle bedrijven getekend. Indien er IP-specifieke zaken zijn, dan kan er ook een NDA getekend worden. Deelnemende bedrijven moeten daar zelf bedacht op zijn. Margie geeft aan dat kennisdisseminatie wel heel belangrijk is vanuit het oogpunt van SIA. Indien er publicaties geschreven worden, dan wordt dit altijd voorbesproken met de deelnemende bedrijven.

Albert maakt een voorzet voor een tekst die op de websites van de deelnemers geplaatst kan worden **(actie Albert, reeds gedaan)**.

11.45 uur Vastleggen van gemaakte afspraken en planning

De bedrijfsbezoeken worden na de bijeenkomst ingepland.

12.00 uur Afsluitende lunch en bedrijfsrondleiding



Verslagen van bedrijfsbezoeken

Holland Composites

Bedrijf en plaats:	Holland Composites, Lelystad
Datum en tijd:	14-10-2015, 13.00-15.00 uur
Bezoekers:	Thijs Besten, Steven van Eek, Jeroen Bril, Pieter Schreuder, Albert ten Busschen
Gesproken met:	Pieterjan Dwarshuis, technisch directeur
Doel bezoek:	Inzicht krijgen in afvalstromen voor KIEM-VANG 1

Holland Composites is gevestigd in Lelystad en heeft 25 medewerkers.

Het bedrijf produceert momenteel catamarans en turbinebladen voor getijde-turbines die gemaakt worden van koolstofvezelversterkt epoxy (met behulp van prepregs). Ook heeft het bedrijf een project gekregen voor het maken van composietgevels voor het realiseren van een aardbevingsbestendige gevel voor een gebouw in Groningen. Daarnaast wordt er regelmatig Raficlad geproduceerd: dit is een door het bedrijf ontwikkelde, half doorschijnend gevelbeplating van composiet. In het verleden heeft het bedrijf grote composietgevels gemaakt, waaronder de naadloze gevel van het Stedelijk Museum (de 'badkuip'), de gevel voor de Rijksuniversiteit van Groningen (de 'salamander') en de gevel voor Gebouw X van Windesheim in Zwolle.

Het bedrijf werkt voornamelijk met de verwerkingstechnieken vacuüminjectie onder folie (vacuüm-infusion) en koolstof-prepregs. Voor de vacuüminjectietechniek is een grote glastafel aanwezig; voor de prepregverwerking is een autoclaaf aanwezig. Verder beschikt het bedrijf over een watersnijmachine.

Voor de end-of-life composietproducten in Nederland verwijst Pieterjan naar de volgende markten:

- Koelwagen-panelen ('truc flat panels'),
- Silo's o.a. voor veevoeder (zoals Polem),
- Windturbinebladen voor windmolens,
- Jachten (in jaren 70 en 80 veel gebouwd; worden nu afgedankt, mede omdat de markt ervoor slecht is geworden).

Verder zegt Pieterjan dat de meeste polyesterhars momenteel gebruikt wordt in:

- 1) In-situ forming van liners voor rioolreparatie,
- 2) Gietcompounds zoals voor onderdorpels, aanrechtbladen (Holonite),
- 3) Tankbouwers (Polem en Plasticon).

Ook wijst hij op een grote stroom bruikbaar bedrijfsafval (geen end-of-life, maar toch misschien interessant): golfplaten productie (Van Boven in Gorinchem), platen (Pecolite) en pultrusie (Bijl Profielen).

Na de bespreking zijn we naar buiten gegaan om de dome te bekijken die Holland Composites beschikbaar stelt. Van dit grote, dikwandige object heeft Pieterjan de volgende gegevens beschikbaar gesteld (zie gegevens in eerder doorgestuurde mail). Dergelijke domes worden sporadisch gebouwd en kunnen niet duidelijk als een grote afvalstroom worden beschouwd.



Royal Haskoning DHV

Bedrijf: Royal Haskoning DHV
Plaats: Amersfoort
Datum: 09-11-2015
Aanwezig: Windesheim lectoraat (Peter Bosman, Pieter Schreuder)
Doel bezoek: Brainstorm nieuwe composiettoepassingen

Bij dit bezoek konden de studenten niet aanwezig zijn. Peter en Pieter hebben de brainstorm gevoerd. Uit deze brainstorm is naar voren gekomen dat alle afvalproducten (verwerkt of onverwerkt) als bouwstenen gezien kunnen worden. Een bouwsteen is dan een halffabrikaat van waaruit gebrainstormd kan worden.

Verder waren de betrokken positief over het plan. Ook als er mogelijk in de toekomst wel een goede manier komt om composietafval volledig te recycleren, komt een oplossing voor het probleem op het goede moment, zodat het 'afval' niet verloren gaat in verbrandingsovens.

Als laatste is er nog gezegd dat het moeilijk is om hightech toepassingen te behalen, maar de degradatie van het product niet zo groot hoeft te zijn. Van hightech naar tech. Er moet gekeken worden met welk materiaal je kunt concurreren en mogelijk de keuze te maken voor een laagwaardig, middelwaardig en hoogwaardig eindproduct.

MRCONSULT

Bedrijf: MRCONSULT
Plaats: Voorschoten
Datum: 25-11-2015
Tijd: 10.30-12.00 uur
Aanwezig: Mink Ros, consultant
Windesheim: Jasper Bouwmeester, Pieter Schreuder, Thijs Besten, Steven van Eek
Doel bezoek: Brainstorm nieuwe composiettoepassingen

Mink Ros is jarenlang onderzoeksingenieur bij Rijkswaterstaat geweest op het gebied van werktuigkundige en civiele constructies. MRCONSULT is zijn technisch adviesbureau en levert in de brainstorm een bijdrage aan dit project.

De belangrijkste aangedragen ideeën zijn:

Balk vervanger: Mogelijk als standaard product in bouwmarkten. E-modulus hout en composiet vergelijken. Kosten vergelijken.

Geluidswanden: Rijkswaterstaat stelt alleen een PvE en hebben zelf weinig kennis inzake. Onderzoek nodig naar geluidsdemping composiet(afval) en kosten geluidswanden per meter.

Mink Ros ziet in verband met dit project in zijn algemeenheid als mogelijkheden: plaatvormige waterkeringen, afmeerpalen (Seapile), langwerpige versterkingsstaven in een matrix van recycled PE als keerwand en afmeerpalen.



Bijl Profielen

Bedrijf: Bijl Profielen

Plaats: Heijningen

Datum: 25-11-2015

Tijd: 13.30-15.00 uur

Gesproken met: Peter Bijl, directeur

Windesheim: Jasper Bouwmeester, Pieter Schreuder, Thijs Besten, Steven van Eek

Doel bezoek: Brainstorm nieuwe composiettoepassingen en rondleiding langs pultrusielijnen in de productie

Peter Bijl vindt het plan goed, maar denkt dat het economisch niet rendabel is. Het komt uiteindelijk altijd neer op versnipperen, te veel variëteit in verschillende producten, bijvoorbeeld boten te groot voor watersnijder, per composietsoort een andere shredder machine, shredder machine kost tonnen, excl. onderhoud. Eenmaal met de hand bewerken te duur en transportkosten afvalproduct naar een locatie.

Zijn constructeur ziet wel mogelijkheden in een standaardprofielen creëren, omdat het anders altijd maatwerk wordt. Als voorbeeld neemt hij een dorpel en daar meerdere stroken (bouwstenen) uit te halen.

Pieter geeft als optie om de afvalproducten te scannen en op te slaan als standaardproducten in een soort van library.

Verdere belangrijke zaken die naar voren kwamen zijn:

Benutten van sterkte composiet nodig, want gewone kunststoffen recycleren is een goedkopere oplossing. Na het zagen van composiet, moet het nabewerkt worden t.v.v. vocht intrek.

Mogelijk kan er een continu proces worden gemaakt van het versnipperen en persen in plaatvorm.

Bij het bezoek kwam er nog een nieuwe grote afvalstroom naar voren: Het bedrijfsafval. Om een nieuw profiel goed geproduceerd te krijgen levert het eerst 4 à 5 km afval op dat rechtsreeks gaat naar afvalverwerker en verbrandt wordt. Totaal op jaarbasis 20.000 ton productieafval van Bijl Profielen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat ook bedrijfsafval mee moet worden genomen. Uit de rondleiding kwam naar voren: ze bezitten 6 pultrusielijnen als enige pultruder in Nederland, grote vraag, matrijzen van de klant, mogelijkheid tot gekromde brugprofielen door opbouw door 3 delen te verlijmen, wegdekken door grit met epoxy op platen te verlijmen.

Poly Products

Bedrijf: Poly Products

Plaats: Werkendam

Datum: 16-12-2015

Tijd: 09.30-15.00 uur

Gesproken met: Jan Schrama, directeur

Windesheim: Albert ten Busschen, Pieter Schreuder, Thijs Besten, Steven van Eek

Doel bezoek: Brainstorm nieuwe composiettoepassingen en lamineren demoprofiel (zie beschrijving in het rapport)

In de brainstorm benoemt Jan Schrama benoemt o.a.:

Er is vraag naar het vervangen van houten brugdekken.

Er is vraag naar het vervangen van gietijzeren putdeksels. Het is wel moeilijk om de hoge drukvastheidseisen met composiet te behalen.

Kijken naar mogelijkheid tot design for disassembly



Er moet rekening worden gehouden met vervuilingen. Er zijn verschillende afvalstromen met allemaal andere materialen. Deze kunnen andere hechtingen hebben, reacties aangaan, zware metalen bevatten. Er moet onderzocht worden of dit acceptabel is. Mogelijke toepassing stempelplaten en drag-line-schotten voor drassige grondgebieden. Er zijn al projecten geweest die onderzoek gedaan hebben naar de recycling/hergebruik van afvalmaterialen, ook anders dan composiet, maar mislukt zijn. Het is goed om hier naar te kijken en van te leren.

Verder wordt genoemd de producten van het Belgische bedrijf Repro Cover (Henri-Chapelle). Dit bedrijf maakt kabelgoten en spoorwegovergangen op basis van een polyester gietmassa met een substantieel aandeel gerecyclede thermoharde composiet. Alhoewel in deze toepassing het EoL thermoharde composiet er meer als vulstof in zit dan als versterkingselementen is dit toch een mooi voorbeeld van een toepassing waar thermoharde composieten weer opnieuw worden gebruikt.

Jansen Venneboer

Bedrijf: Jansen Venneboer

Plaats: Wijhe

Datum: 06-01-2016

Tijd: 09.00-11.00 uur

Gesproken met: Johan Flee, Hans Immerzeel, Rob Dijkstra, Jos Schoorlemmer

Windesheim: Pieter Schreuder, Peter Bosman, Thijs Besten, Steven van Eek

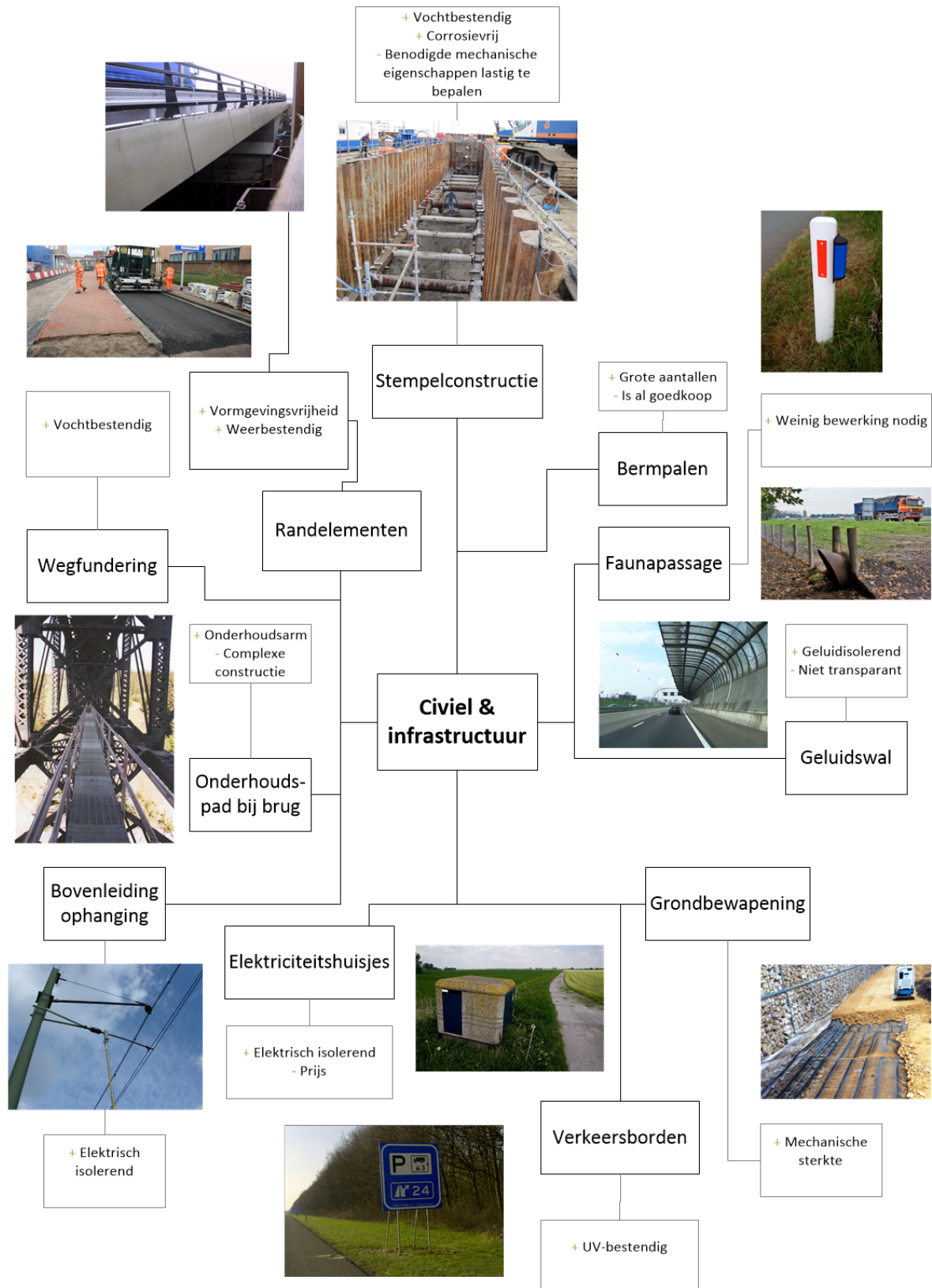
Doel bezoek: Brainstorm nieuwe composiettoepassingen

De brainstorm bij Jansen Venneboer heeft vooral veel toepassingen op civiel gebied opgeleverd. Deze zijn verwerkt in de inventarisatie van de kansrichtingen (zie bijlagen). De brainstorm is begonnen met het principe van de bouwstenen toe te lichten: bijvoorbeeld gezaagde strippen, kokers, platen, sandwiches en vlokken. Er zijn geen nieuwe bouwstenen toegevoegd. Eerst zijn toepassingen bedacht voor hele producten, bijv. ronde buizen omzetten tot drijflichamen of douchecabines. Vervolgens is gekeken naar producten die met bouwstenen gemaakt kunnen worden. Als uitgangspunt is gekozen dat we elkaars ideeën alleen van positieve kritiek mochten voorzien. Er is een groot A0-blad tijdens de brainstorm volgeschreven waarvan de ideeën in de genoemde kansrichting-inventarisatie in de bijlagen is verwerkt.

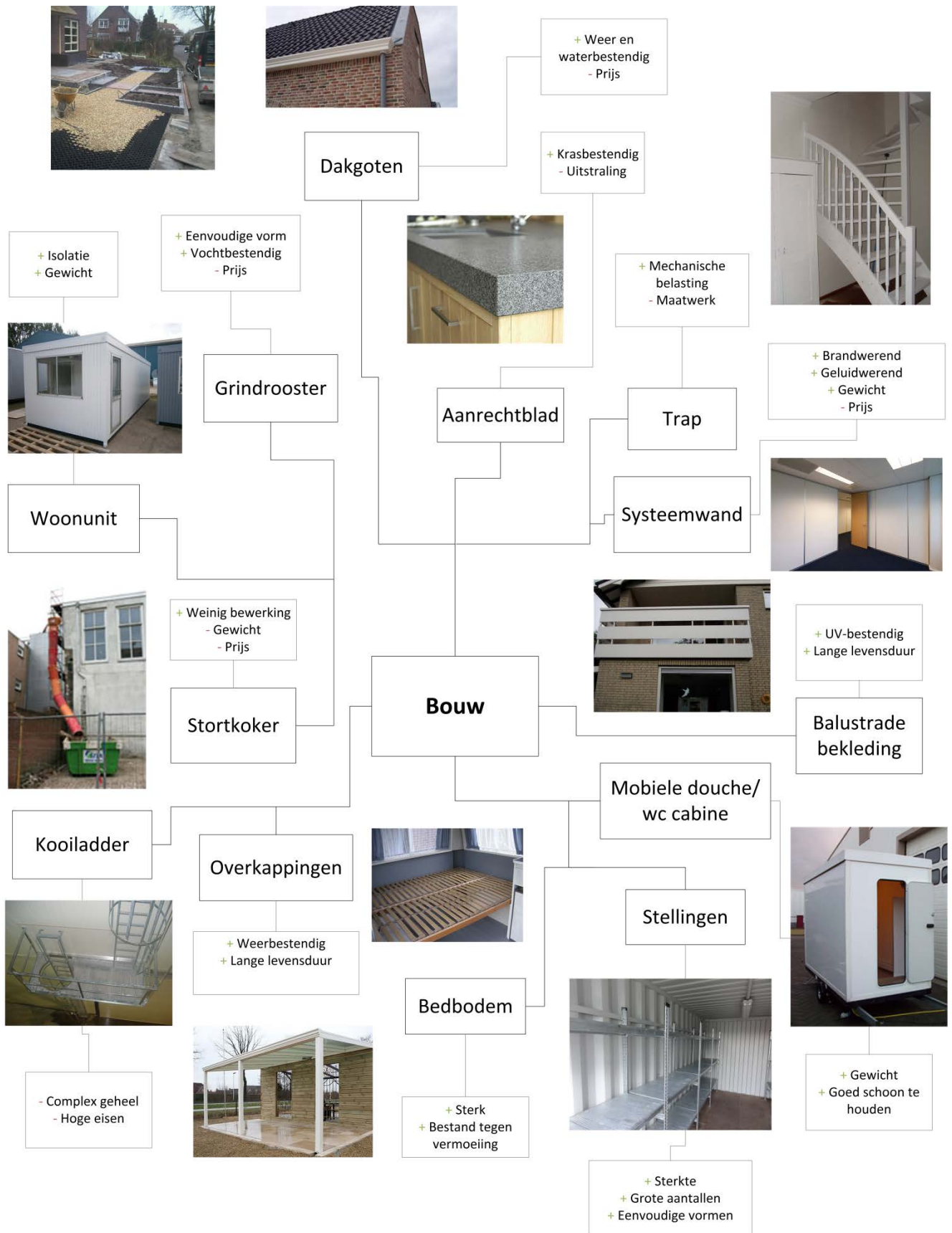
Jansen Venneboer heeft een rondleiding gegeven door de staalwerkplaats. Hier waren o.a. sluisdeuren, beweegbare bruggen, verrijdbare vangrails (VeVa) en calamiteitendoorgangen (CaDo) in productie.

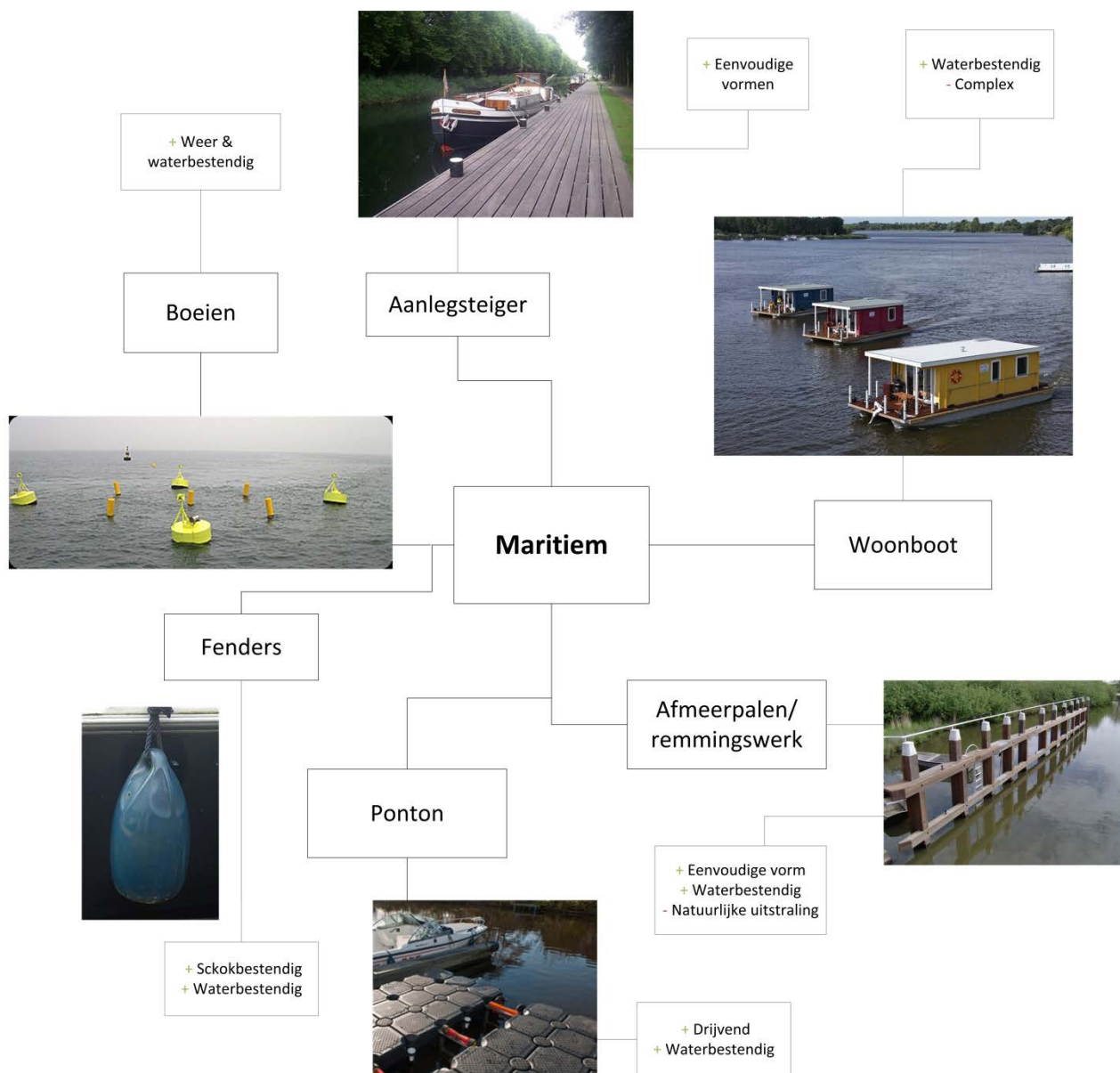


Inventarisatie-overzichten van kansrichtingen





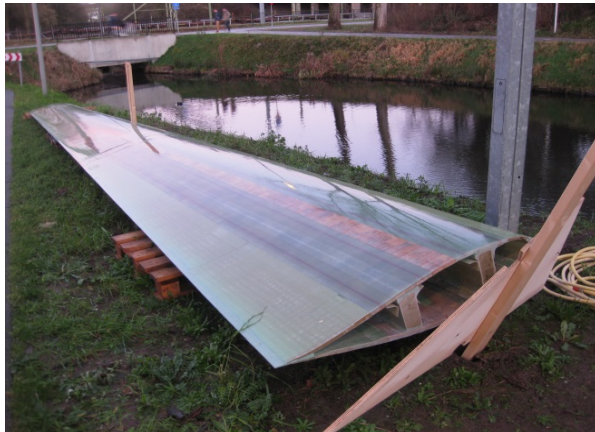








Foto's van composietbouwstenen



DEEL VAN COMPOSIT WINDMOLENROTOR VERKREGEN VAN CTC EN VERZAGEN ERVAN.



AANZICHT VAN EEN DOORSNEDE.



AFSPUITEN VAN HET ZAAGSLIPSSEL VAN DE ONDERDELEN.



PLATTE STROKEN VERKREGEN UIT HET WINDMOLEN ROTORBLAD.



DIVERSE DOORSNEDES VAN UITGEZAAGDE PROFIELSTUKKEN UIT HET ROTORBLAD.





STROKEN VAN DE VOORKANT (NEUS) EN DE ACHTERKANT VAN DE ROTOR.



RADIAAL AFGEZAAGDE BUISSTUKKEN.



AXIAAL AFGEZAAGDE BUISSTUKKEN

Inleiding in thermoharde composieten

Een composiet is een combinatie van twee of meer materialen. In het algemeen, en ook binnen dit project wordt met composiet bedoeld: vezelversterkte kunststof (VVK). Bij de productie van een composietproduct wordt het materiaal en het product tegelijkertijd gemaakt. Dit betekent dat de materialen waar het composiet uit gaat bestaan direct worden samengevoegd in de gewenste vorm van het eindproduct.

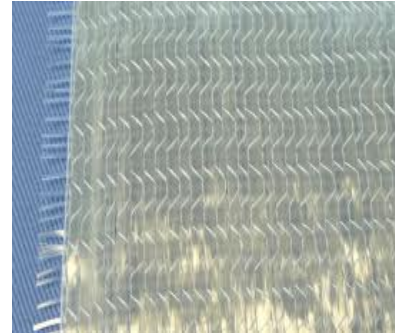


Een composiet wordt over het algemeen gezien als een hightech materiaal en wordt dus ook vaak toegepast bij high-end producten. Het gebruik van composieten heeft voor bepaalde doelen voordelen, maar uiteraard zijn er ook nadelen te noemen. Hieronder een overzicht van de voor- en nadelen van composieten.

Voordelen	Nadelen
Vormgevingsvrijheid Laag gewicht Hoge sterkte Goede vermoeiingsbestandheid Vocht- en corrosiebestandheid Lange levensduur, weinig onderhoud Isolerend voor warmte en elektriciteit Mogelijkheden voor integratie functies (Optioneel: radiotransparantie) (Optioneel: translucentie)	Hoge materiaal- en arbeidskosten Relatieve onbekendheid bij ontwerpers Lage stijfheid ten opzichte van metalen Specialistische ontwerp- en rekenregels Niet voor gebruik bij hoge temperaturen Recycling niet economisch te doen

Een composiet bestaat uit versterkingsvezels, die omsloten zijn door een polymeer-matrix. De vezels hebben een versterkende en verstijvende functie. Echter zonder de inbedding in de matrix zouden de vezels geen drukspanningen of afschuifspanningen kunnen overbrengen. De meest gebruikte vezels zijn glasvezels en koolstofvezels. De vezels kunnen de spanningen het beste opvangen in de lengterichting, daarom wordt per toepassing bepaald in welke richting de vezels komen te liggen. Van de vezels worden garens gevormd die verder verwerkt kunnen worden tot grote bundels (rovings), matten, weefsels, legsels, etc. Door de geringe vezeldiameter (meestal tussen 10 en 20 μm) zijn de vezels gemakkelijk buigbaar en kunnen gemakkelijk de vorm en details van een mal volgens waar ze in worden gelegd.

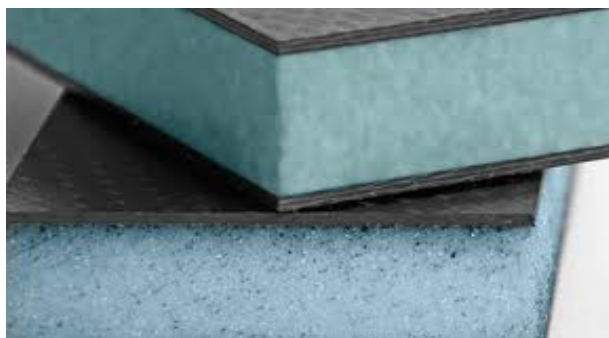




De kunststof vormt de matrix in de composiet. Simpel gezegd is de rol van de kunststof dat het als een 'lijm' optreedt en de vezels bij elkaar houdt. Door de vezels te omhullen met kunststof kunnen de vezels ook een druk- of een afschuifbelasting opnemen. Verder is de kunststof in hoge mate bepalend voor de eigenschappen met betrekking tot bestendigheid tegen vocht, chemicaliën, UV-licht en temperatuur. Onderhavig project beperkt zich tot de zogenaamde thermohardende kunststoffen. Dit zijn kunststoffen die vanuit een vloeibare fase (hars) in combinatie gebracht worden met de versterkingsvezels en daarna uitharden. Na uitharding kan de kunststof niet meer vloeibaar gemaakt worden. In tegenstelling tot thermoplastische kunststoffen kunnen thermoharde kunststoffen niet smelten bij verwarming.

Belangrijke begrippen in het werken met composieten zijn lamel en laminaat. Als gevolg van de vlakke structuren waarin de vezelversterking beschikbaar is, wordt een composiet meestal laagsgewijs opgebouwd. Een laagje geïmpregneerde vezelversterking wordt een lamel genoemd; een stapel lamellen heet een laminaat. Een laminaat kan opgebouwd zijn uit vele verschillende lamellen.

Een aparte categorie composieten zijn sandwichconstructies. Over het algemeen zijn dit twee huiden met kernmateriaal ertussen. Dit kernmateriaal kan bijvoorbeeld bestaan uit honingraatconstructies, (balsa)hout of kunststof schuimen. Met een sandwichopbouw kunnen zeer lichte, stijve en warmte-isolerende constructies worden gerealiseerd.

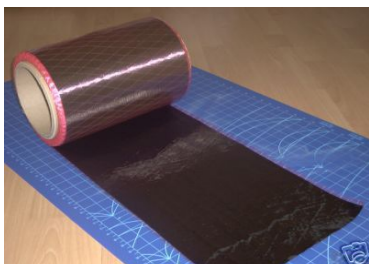


Voor het vervaardigen van composietproducten bestaan diverse methoden. Uitgangspunt is de vorm van het product dat geproduceerd moet worden. Deze vorm wordt meestal gerealiseerd vanuit een mal, maar kan ook bijvoorbeeld direct op een gevormde kern worden aangebracht (verloren kern-methode). Het verwerken van de vezels en de vloeibare kunststof kan middels zogenaamde open-mal technieken, zoals handlamineren (hand lay-up), glas/hars-spuiten (spray-up) of wikkelen (filament winding).



Voorbeelden van gesloten-mal technieken zijn injectietechnieken, zoals vacuüminjectie onder folie, Resin Transfer Moulding (RTM) of pultrusie. Hierbij treedt de uitharding van het product in een afgesloten ruimte op.

Nog een andere methode is om de vezels voor te impregneren met een thermoharder (prepreg), waarna in een tweede processtap het product wordt gevormd op een mal en vervolgens wordt uitgehard in een autoclaaf.



Na het vormen van het product kunnen verschillende verspanende nabewerkingen volgen, zoals slijpen, schuren, zagen, boren en waterstraalsnijden, zie onderstaande foto.



Na eventuele verspanende bewerkingen kan een product gecoat worden. Vaak echter wordt bij het vervaardigen van een composietproduct de coating al direct geïntegreerd met het product door in de mal een zogenaamde gelcoat aan te brengen.



Afhankelijk van het product en de toepassing kunnen er nog assemblage- en montagestappen volgen om het product met andere onderdelen te verbinden of op locatie te bevestigen aan een onderconstructie. Assemblage en montage kunnen worden uitgevoerd door mechanisch verbinden (bijvoorbeeld bouten), constructief verlijmen, aanlamineren of een combinatie van deze methoden.



Literatuurbronnen en referenties

Vezelversterkte Kunststoffen – Mechanica en Ontwerp
A.H.J. Nijhof, ISBN 90-407-2484-9, VSSD, eerste druk 2004

Kabelgoten en spoorwegovergangen
Bedrijfsbrochure Repro Cover, 2014

Hergebruik van thermoharde composietproducten
Presentatie tijdens workshop SiA-congres
Den Haag, 10 december 2015

Niet recyclebare kunststof krijgt toch een tweede leven.
Artikel Stentor, 28 januari 2016

Hergebruik van thermoharde composietproducten
Presentatie voor bijeenkomst VKCN-werkgroep duurzaamheid
Zwolle, 16 maart 2016



Lectoraat Kunststoftechnologie

BIJL PROFIELEN
COMPOSITE PROFILES



Poly Products 
Maatwerk in composieten



Jansen Venneboer



**Royal
HaskoningDHV**
Enhancing Society Together