

# HERGEBRUIK VAN THERMOHARDE COMPOSITIETEN

Onderzoek van afvalproductsoorten



Mei 2016

LKT-RE-106027-1601

## COLOFON

**Titel:** Hergebruik van thermoharde composieten – Onderzoek van afvalproductsoorten

**Publicatienummer:** LKT-RE-106027-1601

**Datum:** Mei 2016

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

**Subsidieverstrekker:** SIA KIEM VANG

**Met medewerking van:**

CTC

Biinc

Holland Composites

Future Pipe Industries

**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 afvalproductsoorten en inzameling van onderzoeksafvalproducten.' Het project is bij het Nationaal Regieorgaan Praktijkgericht Onderzoek SIA aangevraagd en toegekend met als projectnummer PROVA.CE.01.005 en kenmerk 2015-764. 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.

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 BiinC, CTC, Future Pipe Industries en Holland Composites. Met de deelname van BiinC is de verbinding gelegd met de branchevereniging VKCN en kwamen reeds bekende studies en overzichten beschikbaar. Met de deelname van CTC, Future Pipe Industries en Holland Composites kwam een jarenlange kennis beschikbaar van thermoharde composietproducten, marktgegevens en ook fysiek beschikbare end-of-life producten ten behoeve van vervolgonderzoek.

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, 9 mei 2016

## Inhoudsopgave

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| Voorwoord .....                                                     | 2  |
| Inhoudsopgave .....                                                 | 3  |
| 1. Inleiding in het project en projectdeelnemers .....              | 4  |
| 2. Eerdere studies EoL producten en recycling.....                  | 6  |
| 3. Principe van hergebruik van thermoharde composieten .....        | 7  |
| 4. Overzicht van stromen EoL thermoharde composietproducten.....    | 10 |
| 5. Verzameling van end-of-life producten voor vervolgonderzoek..... | 19 |
| 6. Reflectie op doelstellingen, opgebouwde kennis en vervolg .....  | 20 |
| 7. Bijlagen.....                                                    | 22 |

# 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).

Het onderhavige project is een eerste project in een reeks van projecten die het Lectoraat Kunststof Technologie (LKT) van de Hogeschool Windesheim heeft opgesteld. In dit eerste project wordt met betrokken deskundigen een onderzoek gedaan naar de soorten afvalproducten en welke stromen daarbij te kwantificeren zijn. Deze studie wordt beperkt tot de Nederlandse markt en hierbij worden bestaande studies gebruikt die worden geactualiseerd met recente marktgegevens en de context van de beschreven nieuwe hergebruik-methodiek. De verschillen in laminaatopbouw van de verschillende afvalstromen worden bestudeerd met betrekking tot de herbruikbaarheid als versterkend element in nieuw te vervaardigen composietproducten.

Onderdeel van het onderzoek is dat wordt aangegeven hoe een soort afvalproduct kan worden gekarakteriseerd in relevante eigenschappen voor het hergebruik. Tevens zullen daadwerkelijk een aantal representatieve thermoharde afvalcomposietproducten worden ingebracht door de deelnemende bedrijven en onderzocht. Een deel van deze producten zullen als basis dienen voor het onderzoeken van hergebruik in nieuwe composietproducten in de volgende projecten.

\*) 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 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 Verbinding met de branchevereniging en relevante voorstudies.

B Uitgebreide kennis van en ervaring met thermoharde composieten.

C Beschikbaar stellen van producten voor onderzoek.

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

## **BiinC (Zwolle)**

Adviesbureau innovatie en duurzaamheid met composieten (A + B)

Contactpersoon: Ir. B. Drogt (Directeur)

***Composite Technology Centre : CTC (Hengelo)***

Ingenieursbureau en ontwikkelbedrijf voor composietproducten (B + C)

Contactpersonen: Ir. R. Geersen (constructeur) en Ir. J. ter Laak (Directeur)

***Future Pipe Industries (Hardenberg)***

Producent van vezelversterkte kunststof buissystemen (B + C)

Contactpersoon: Mark Kiers (Operational Manager)

***Holland Composites (Lelystad)***

Ontwikkelaar en producten van composietproducten (B + C)

Contactpersoon: Ir. P. Dwarshuis (Managing Partner)

Hogeschool Windesheim, Lectoraat Kunststof Technologie (Zwolle)

Projectleiding, projectadministratie, onderzoek en rapportage (B)

|                     |                                  |
|---------------------|----------------------------------|
| Projectleider:      | Dr. Ir. A. ten Busschen          |
| Onderzoeker:        | Ir. J. Bouwmeester               |
| Junior onderzoeker: | Ing. P. Schreuder                |
| Administratie:      | BEC. D.W.M. van Schooten-Delnaay |

## 2. Eerdere studies EoL producten en recycling

In de periode 1995–2005 is vanuit de automobiellindustrie gewerkt aan recyclen van EoL thermoharde composieten. De aandacht ging daarbij uit naar composiet auto-onderdelen die werden toegepast in carrosseriedelen van auto's (motorkappen, daken, spoilers en achterkleppen) en werden gemaakt met behulp van Sheet Moulding Compound (SMC) of Bulk Moulding Compound (BMC). In Duitsland werd dit gedaan vanuit het ERCOM-initiatief (samenwerking van o.a. DSM-Resins, Vetrotex, Owens Corning, BASF, Dow en Cray Valley). In Frankrijk gebeurde dit vanuit het PSA-initiatief genaamd VALCOR. Beide initiatieven zijn gestopt omdat het niet mogelijk bleek om op economische wijze goede grondstoffen (glasvezels, polyesterhars en vulstof) terug te winnen uit het EoL materiaal.

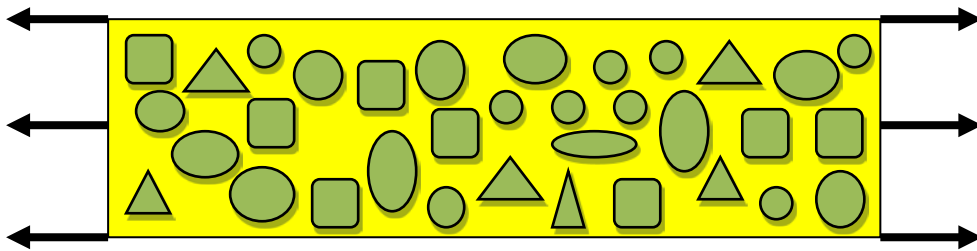
Er zijn diverse studies gedaan naar het recyclen van EoL thermoharde composieten die in dit rapport niet zullen worden beschreven. Een recent overzicht van de verschillende methoden is gegeven door de ACMA, 7 maart 2016. Ook zijn er overzichten gemaakt van de stromen EoL thermoharde composieten. Voor de Europese markt is in 2010 een goed overzicht gemaakt door de Duitse branchevereniging AVK. Daarbij springen rotorbladen voor windmolens in het oog door de sterke toename van geïnstalleerde windmolens. Dit vormt daarmee ook op termijn het potentieel voor een grote hoeveelheid EoL thermoharde composieten.

Inspeland hierop is er een rond 2010 een samenwerking ontstaan tussen Fiberline Composites (producent van pultrusieprofielen), DSM Composite Resins A.G. (harsleverancier), Holcim Group support Ltd. (cementproducent) en Zajons Zerkleinerung GmbH (afvalverwerker). Hierbij was de gedachte om EoL thermoharde composietproducten, zoals pultrusieprofielen en rotorbladen, in te zamelen en te vershredderen en te gebruiken in de cementfabricage. Hierbij werd de verbrandingsenergie uit het composiet gebruikt om de ovens bij te stoken en kon het gesmolten glas van de glasvezels als nuttige fractie worden toegevoegd aan het cement. Deze route heeft de afgelopen jaren model gestaan voor een succesvolle route voor het verwerken van EoL thermoharde composieten en dit is om die reden vertaald in een informatie-brochure van de EUCIA (Europese composietvereniging) in 2012 genaamd 'Composite Recycling made Easier'. Deze methode staat bekend onder de naam 'Cement Kiln Route' en heeft een Europese erkenning als recyclingmethode voor composieten (zie bron in het literatuuroverzicht).

Voor de Nederlandse markt is er geen detailoverzicht over de stromen EoL composietproducten. Het beste overzicht tot nu toe wordt gegeven in het KEMA-rapport van B.A.F. in 't Groen in 2010 'MJA Composiet Recycling'. In dit rapport worden wel de verschillende composiettoepassingen benoemd en de soorten afval die daaruit voortkomen. Echter voor de kwantificering wordt alleen het totaalgetal gegeven dat voor 2015 is geprognostiseerd op 36 tot 60 kton EoL thermoharde composietproduct voor de Nederlandse markt. Dat er tot op heden voor de Nederlandse markt geen nadere kwantificering is gekomen bewijst het rapport van Berenschot van november 2015 'Opzet monitoringssystematiek composietstromen.'

### 3. 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.



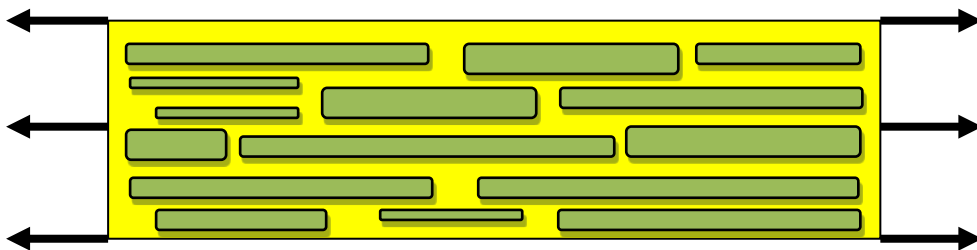
FIGUUR 1 GRANULAAT-GEVULD PRODUCT

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:

$$\sigma_c \quad (\text{veel lager dan matrixsterkte } \sigma_m) \quad (2)$$



FIGUUR 2 PRODUCT MET LANGGEVORMDE ELEMENTEN

Effectieve elasticiteitsmodulus:  $E_c \approx v_h \cdot E_h + v_m \cdot E_m$  (3)  
(op basis van parallelschakelmodel)

Effectieve treksterkte:  $\sigma_c \approx v_h \cdot \sigma_h$  (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 subscript 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)

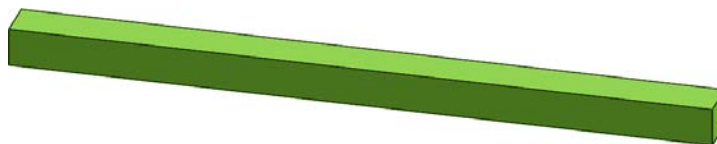
$v_h = 0,5 = 50 \%$  (dus volume voor de helft gevuld met hergebruikt composiet)

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

TABEL 1 THEORETISCH VOORSPELDE COMPOSITIEIGENSCHAPPEN

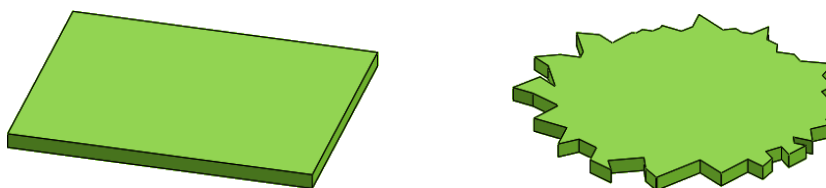
\*) Schatting op basis van optredende spanningsconcentraties.

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.



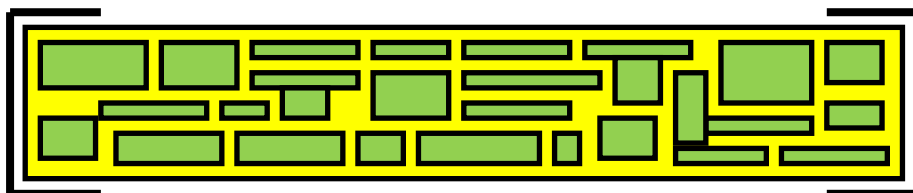
FIGUUR 3 STAAF MET EEN L/D-VERHOUDING GROTER DAN 10

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 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

## 4. Overzicht van stromen EoL thermoharde composietproducten

In dit hoofdstuk worden de stromen van de verschillende EoL thermoharde composietenproducten in kaart gebracht. Dit wordt gedaan per soort product of productgroep. De gegevens zijn verkregen vanuit de deelnemers aan het project, uit openbare presentaties en publicaties en uit gesprekken met contactpersonen vanuit de industrie. Vanwege bedrijfsvertrouwelijkheid was het niet altijd mogelijk de gewenste informatie te verkrijgen.

Verder is het belangrijk aan te geven dat bepaalde thermoharde composietproducten niet geschikt zijn voor de toepassing in nieuwe producten met de hier beschreven hergebruikmethode. Dit betreft in eerste plaats de producten met een vrij lage sterkte, zoals producten vervaardigd uit SMC en BMC. In het overzicht worden ze volledigheidshalve nog wel genoemd maar worden niet gekwantificeerd. Ten overvloede vermelden we dat composieten op thermoplastische basis (Reinforced ThermoPlastics: RTP) uiteraard ook niet worden meegenomen in dit onderzoek. Dit betreft vooral onderdelen onder de motorkap, zoals kortvezelversterkte spuitgietproducten en montagedelen van GlasMatversterkte Thermoplast (GMT).

Een bijzondere productgroep zijn de printplaten. Dit betreft een grote hoeveelheid EoL thermoharde composietproducten die echter niet bruikbaar zijn voor de methode van hergebruik. De productgroep zal wel worden beschreven en het zal worden uitgelegd waarom deze niet voor de hergebruikmethode geschikt. Deze productgroep zal dus niet in het totaaloverzicht worden gekwantificeerd.

### *Polyester jachtrampen*

De grootste en duidelijkste stroom van thermoharde afvalcomposietproducten wordt momenteel gevormd door de polyester jachtrampen. Een recent uitgevoerde studie gepubliceerd door Waterrecreatie Advies BV geeft hiervan een duidelijk overzicht. In de onderstaande tabel zijn de hoeveelheden vrijkomend afvalcomposiet in de vorm van polyesterbootrompen gegeven in drie tijdvakken.

| Tijdvak     | Vrijkomend EoL composiet | EoL composiet per jaar |
|-------------|--------------------------|------------------------|
| 2015 – 2020 | 7,2 kton                 | 1,4 kton per jaar      |
| 2020 – 2025 | 14,0 kton                | 2,8 kton per jaar      |
| 2025 – 2030 | 19,9 kton                | 4,0 kton per jaar      |

TABEL 2 VRIJKOMENDE EOL POLYESTERBOOTROMPEN PER TIJDVAK

Bron: Aantal 'end of life' boten in Nederland en potentiële afvalstromen.

Vooruitlopend op de hierna volgende kwantificeringen van andere stromen EoL thermoharde composietproducten is dit de grootste stroom in kton per jaar die bruikbaar is voor hergebruik en die tevens ook in Nederland blijft als afval.

### Printplaten

De huidige printplaten voor de montage van elektronische onderdelen (printed circuit boards) zijn vervaardigd van glasvezelversterkte epoxy. De hoeveelheden die in Nederland jaarlijks vrijkomen als EoL product zijn niet precies bekend maar het is de verwachting dat deze hoeveelheden de hiervoor genoemde hoeveelheden polyester jachtrompen overtreffen. Dit is gebaseerd op de grote hoeveelheid WEEE (Wastes from Electric and Electronic Equipment): rond de 20 kg per Nederlander per jaar (zie publicaties van Retour en Vrom). Een klein deel hiervan wordt gevormd door de printplaten, maar is dit slechts 1% dan betreft dit nog 3,4 kton per jaar.

Echter, de printplaten kunnen niet als een werkelijke EoL thermoharde composiet beschouwd worden. Immers, door de aanwezige kostbare metalen op de printplaten worden alle printplaten in verbrandingsovens verwerkt. Hierbij dient de epoxy gedeeltelijk als brandstof voor de oven en wordt van de gesmolten glasvezels een soort synthetisch basalt gemaakt. Er is geen andere route dan de genoemde verbrandingsroute om de waardevolle metalen op een economische manier van de printplaten te scheiden (bron: Niels Wagemaker van The Circular Company).

### Rotorbladen windmolens

Ook een grote en duidelijke stroom thermoharde afvalcomposietproducten zijn de rotorbladen (of: turbinebladen) van windmolens. De website [www.windstats.nl](http://www.windstats.nl) geeft een overzicht van alle windturbines in Nederland. In dit overzicht zijn de windturbines opgedeeld in bouwjaren en is vervolgens een verwachte termijn van end-of-life aangegeven. Om te schatten om hoeveel kg EoL composiet het gaat worden de volgende veronderstellingen gemaakt:

- Een windturbine heeft gemiddeld 3 rotorbladen (wieken),
- Een rotorblad bestaat praktisch geheel uit glasvezelversterkte thermoharder.

Door CTC zijn de gegevens aangeleverd van het gemiddeld vermogen van een turbine in een bepaald tijdvak van bouwen en het gemiddelde gewicht per rotorblad, zie onderstaande tabel.

| Bouwjaar  | Gemiddeld vermogen per turbine<br>(in MW) | Gemiddeld gewicht per rotorblad<br>(in ton) |
|-----------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1990-2000 | 0,5                                       | 2                                           |
| 2001-2005 | 1,5                                       | 6                                           |
| 2006-2010 | 2,3                                       | 9                                           |
| 2010-2015 | 1,6                                       | 6                                           |

TABEL 3 GEMIDDELD VERMOGEN EN GEMIDDELD ROTORBLADGEWICHT PER TIJDVAK

In deze analyse wordt een vertaalslag gebruikt dat 1 MW geïnstalleerd vermogen ongeveer 4 ton composiet vertegenwoordigt. (In andere analyses wordt soms een factor van 3 tot 3,5 ton composiet per geïnstalleerde MW gehanteerd.) Met de gegevens uit de website en de bovengenoemde veronderstellingen zijn de volgende hoeveelheden EoL thermoharde composietproduct te berekenen.

| Bouwjaar  | Aantal (molens) | End-of-life termijn (schatting) | Bladen (ton) | EoL composiet (kton per jaar) |
|-----------|-----------------|---------------------------------|--------------|-------------------------------|
| 1990-2000 | 370             | 2005-2020                       | 2220         | 0,2                           |
| 2001-2005 | 525             | 2016-2025                       | 9450         | 1,3                           |
| 2006-2010 | 518             | 2021-2030                       | 13986        | 2,8                           |
| 2010-2015 | 747             | 2031-2040                       | 13446        | 2,7                           |

TABEL 4 HOEVEELHEDEN EOL COMPOSITET UIT ROTORBLADEN

Op dit moment blijft de stroom EoL composiet van rotorbladen echter maar voor een klein en onbekend deel in Nederland. De meeste rotoren gaan naar Oost-Europa of Afrika voor hergebruik, als reserve-onderdeel of als land-fill (storten in open lucht). Desalniettemin zal er rekening moeten worden gehouden dat deze stroom EoL toch mogelijk binnenkort in Nederland zelf zal moeten worden verwerkt.

### *Bruggen en sluisdeuren*

Sinds 2010 is het gebruik van bruggen van composiet in zwang geraakt en maakt sindsdien een grote opmars. Met name voor de kleinere bruggen is het grote voordeel van composieten in deze toepassing onderkend (lange levensduur, laag onderhoud, laag gewicht). Maar ook zwaarbelaste verkeersbruggen worden meer en meer in composiet toegepast, met name voor de bewegende dekdelen. De laatste jaren worden sluisdeuren in Nederland ook in composiet uitgevoerd. Inmiddels zijn er een aantal Nederlandse composietbedrijven die bruggen en sluizen produceren van thermoharde composiet, waarvan Fibercore uit Rotterdam de bekendste is. Andere bedrijven die is toeleggen op composiet bruggen en sluizen zijn Composite Structures (Meerkerk), Bijl Profielen (Heijningen), Delft Infra i.s.m. Takke (Breukelen), Machine Fabriek Emmen i.s.m. CTC (Hengelo), Schaa Ship Care (Lelystad) en MOCS – FWD Bridge (Delft). De jaarlijkse hoeveelheid verwerkte composiet in Nederland in dit marktsegment is niet precies bekend maar zal op dit moment mogelijk 1000 ton per jaar bedragen. Echter vanwege de hoge levensduur van deze producten (50 tot 100 jaar) is hieruit voorlopig geen EoL thermoharde composietafvalstroom te verwachten en wordt daarom niet verder beschouwd.

### *Veevoersilo's*

Deze silo's zijn allemaal gemaakt van glasvezelversterkt polyester. De opbouw van de cilinder is gemaakt door een combinatie van wikkelen en glas-hars-sputten (spray-up). De kap aan de bovenkant en het uitstroomgedeelte aan de onderkant zijn meestal gemaakt door middel van handlamineren en/of glas-hars-sputten. In de jaren 80 was er een grote productie van veevoersilo's tot wel 125 silo's per week. De belangrijkste producenten in Nederland waren jarenlang De Hollandsche IJssel (Stolwijk) en Polem (Lemmer). In de decennia erna is er ook een grote tweedehands markt voor veevoersilo's ontstaan. Op dit moment is de Nederlandse productie van veevoersilo's (alleen nog door Polem en grotendeels voor de binnenlandse markt) in evenwicht met de vrijkomende EoL producten. Op basis van de gegevens verkregen van Polem bedraagt de productie van veevoersilo's 700 stuks per jaar. Met een gemiddeld gewicht aan composiet van 1200 kg betekent dit 840 ton EoL thermoharde composiet per jaar.

### *Truck flat panels*

Voor zijwanden van koel- en vriestailers, paardentrailers, caravans en campers worden sandwichpanelen gebruikt. Deze worden aangeduid met de benaming truck flat panels. Deze bestaan uit twee huiden glasvezelversterkt polyester met daartussen schuim (EPS, XPS, PU), eventueel met extra lagen triplex. Deze sandwichpanelen worden meestal vervaardigd door het op elkaar lijmen van de lagen met een polyurethaanlijm op een vacuümtafel. Bedrijven die dit doen zijn carrosseriebouwers of gespecialiseerde panelenbouwers (bijvoorbeeld PAS-Panelen in Stolwijk).

De glasvezelversterkte polyester huiden worden meestal op rol ingekocht van een producent die deze lagen vervaardigt met een continu-lamineerproces. Op deze manier vervaardigde composiet-sandwichpanelen zijn aanmerkelijk goedkoper dan sandwichpanelen die vervaardigd zijn door middel van bijvoorbeeld handlamineren of vacuüm-injectietechniek. De hoeveelheden truck flat panels zijn niet goed te achterhalen. Er is hier ook niet veel meer moeite voor gedaan in dit onderzoek toen bekend werd dat het overgrote deel van de genoemde voertuigen waar deze panelen worden toegepast worden geëxporteerd naar Oost-Europa en Afrika als deze in Nederland het einde van de levensduur hebben bereikt. Deze informatie is verkregen door gesprekken met de bedrijven Scania en Polycar.

### *Gewikkelde buizen*

Projectdeelnemer Future Pipe Industries (FPI) produceert gewikkelde buizen voor met name industriële toepassing. Ondanks dat de hoeveelheid composiet-bedrijfsafval substantieel is (190 ton in 2015) is de inschatting dat de hoeveelheid van deze EoL composietproducten die in Nederland jaarlijks vrijkomen nihil is. Dit komt omdat de levensduur van de buizen erg hoog is. Bovendien worden buizen die bijvoorbeeld ondergronds zijn toegepast aan het einde van de levensduur niet meer opgegraven en verwijderd. Dit is onnodig kostbaar. Het betekent dus dat er in Nederland op dit moment hoegenaamd geen EoL gewikkelde buizen als afvalstroom beschikbaar komen.

### *Centrifugaal gegoten buizen*

Centrifugaal gegoten buizen worden in het buitenland vervaardigd door bedrijven als Hobas en Eternit en dus geïmporteerd voor gebruik in Nederland. Deze buizen worden toegepast voor drinkwaterleidingen en rioleringsystemen en worden praktisch altijd ondergronds toegepast. Om die reden is de wandopbouw geoptimaliseerd voor gronddruk en wordt tussen twee glasvezelversterkte polyesterlagen in de wand een kernvulling van zandgevuld polyester toegepast. De hoeveelheid die per jaar in Nederland wordt verwerkt is niet bekend. Maar ook voor deze toepassing geldt dat vanwege de hoge levensduur (ontworpen voor minimaal 50 jaar levensduur) er op dit moment geen sprake is van een significante EoL productenstroom.

### *Tanks en afdekkingen*

Composiet tanks worden toegepast in de chemische industrie. De tanks worden in principe op dezelfde manier vervaardigd als de veevoersilo's maar dan vaak met grotere wanddikten, gebruik van vinylesterhars in plaats van polyesterhars voor een hogere corrosiebestandheid en soms met gebruik van een thermoplastische binnenliner (PVC of fluoropolymer). De markt voor composiet tanks is een wereldmarkt. De twee grote producenten in Nederland, Plasticon (Oldenzaal) en Polem (Lemmer) exporteren de meeste van de door hun vervaardigde tanks. In Nederland worden tanks toegepast afkomstig van de genoemde Nederlandse bedrijven maar ook van Duitse leveranciers (bijvoorbeeld Christen & Laudon in Bitburg) of het Belgische Martens (MPI). KIWA Nederland verzorgt in Nederland

de toelating van GVK-tanks en geeft aan dat er jaarlijks gemiddeld 25 GVK-tanks in Nederland worden geïnstalleerd, waarvan de helft wordt toegepast voor vloeistofvolumes van 10 tot 50 m<sup>3</sup>. Van alle GVK-tanks wordt 90% onder KIWA-certificaat geproduceerd; de overige worden in gebruik genomen na een afname-keuring door KIWA. Met een gemiddeld composietgewicht van een tank van 2 ton betekent het dat er jaarlijks 50 ton aan composiet tanks in Nederland worden geïnstalleerd.

De tanks zijn ontworpen voor een levensduur van 20 jaar maar worden veel langer gebruikt. Ze worden vaak in het bedrijf na lange tijd dienst te hebben gedaan voor corrosieve media ingezet voor andere toepassingen, zoals de opslag van afvalwater. KIWA bevestigt deze bevindingen vanuit de inspectiepraktijk. Er is op dit moment dus nog geen sprake van een significante EoL stroom van deze producten.

Voor composietafdekkingen (bijvoorbeeld voor bassins van rioolwaterzuiveringen) geldt hetzelfde als voor de tanks. Er wordt jaarlijks in Nederland ca. 30 ton aan composiet-afdekkingen geïnstalleerd (volgens gegevens van HKP Europe) maar ook deze producten zijn op dit moment nog niet aan het einde van de levensduur. Ook is uit diverse inspecties bekend dat afdekkingen die zijn beschadigd of aangetast doorgaans worden gerepareerd en meestal niet worden vervangen.

### *Gevelpanelen*

Gevelpanelen van composiet betreffen vooral bijzondere, eenmalige projecten in de utiliteitsbouw. Hierbij wordt composiet vooral ingezet vanwege de vormgevingsvrijheid. Enkele sprekende voorbeelden zijn de composietgevels van de volgende gebouwen:

|                            |                                   |
|----------------------------|-----------------------------------|
| The Rock                   | (rotsgevel Mahler, Amsterdam)     |
| Stedelijk Museum Amsterdam | (grote, naadloze gevel)           |
| Gebouw X                   | (campusgebouw Windesheim, Zwolle) |
| Stadskantoor Utrecht       | (diversiteit in raamsparingen)    |

Van dergelijke gevels worden er sinds 2005 jaarlijks enkele in Nederland gerealiseerd. Het zijn unieke gevels met elk hun eigen opbouw, vormgeving en uitstraling. Vanwege de hoge levensduur (ontworpen voor 50 jaar) is er op dit moment geen sprake van dergelijke vrijkomende EoL producten.

### *Dakkapellen, dakgoten, voordeurluifels, bergingsdaken*

Al decennia lang worden glasvezelversterkte producten gebruikt in de bouw, vooral in de woningbouw. Bekende toepassingen zijn dakkapellen, dakgoten, luifels voor voordeuren en daken van bergingen. Ook kleinere onderdelen worden van composiet gemaakt zoals windveren, boeiborden, dakopstanden voor dakkoepels en afwerkstrips. Zonder uitzondering worden deze onderdelen gemaakt van glasvezelversterkt polyester middels handlamineren of glas-hars-spuiten.

Het is een markt waarbij het prijstechnisch moeilijk is om met de composietproducten te concurreren tegen producten gemaakt van traditionele bouwmaterialen, zoals hout en steen in combinatie met steenwol of schuimplaten. Om die reden verdwijnen sommige composietproducten ook weer uit die markt.

Een bekend voorbeeld van dit verschijnsel zijn de daken voor bergingen die een periode vaak van glasvezelversterkt polyester werden gemaakt maar die tegenwoordig uitsluitend worden gemaakt van hout in combinatie met EPS-schuim en EPDM-dakbedekking.

Het is van sloopbedrijven en afvalverwerkers bekend dat zij bij sloop van woningen soms composietdelen tegenkomen. Echter dit is een erg kleine afvalstroom (zie ook het verslag van het bedrijfsbezoek aan Van Gansewinkel). Dit is logisch vanwege het feit dat de toepassing van composiet in de woningbouw op gang is gekomen vanaf de jaren 70. Deze woningen en de daarin verwerkte composietproducten zijn, op uitzonderingen na nog niet aan het einde van de levensduur. We stellen daarom deze afvalstroom in Nederland op dit moment daarom als zijnde niet significant.

### *Zwembaden en zwembad-speeltoestellen*

Zwembaden worden vaak uitgevoerd in glasvezelversterkt polyester vanwege de bestendigheid tegen permanent watercontact. Dit betreft zwembaden voor particulieren. De hoeveelheden en soorten van deze zwembaden die in Nederland zijn geïnstalleerd en hoeveel er jaarlijks als EoL product zijn binnen dit project niet boven water gekomen.

De grotere, openbare zwembaden of zwembaden voor campings en vakantieparken zijn vanwege de afmetingen niet van glasvezelversterkt polyester maar vervaardigd uit een betonnen bassin dat betegeld is. Echter deze grote zwembaden hebben wel voorzieningen die zijn vervaardigd van glasvezelversterkt polyester:

- Beweegbare vloer (bij overdekte zwembaden),
- Springplanken,
- Fonteinen, bankjes, speeltoestellen,
- Glijbanen (vooral bij subtropische zwembaden).

Dat dit een substantiële hoeveelheid aanwezige composietproducten moet zijn blijkt uit het feit dat er in Nederland maar liefst 1593 openbare zwembaden zijn (Zwemmonitor 2012). Echter, de hoeveelheden EoL thermoharde composietproducten die hieruit voortkomen zijn in dit project niet bekend geworden.

### *Polyester golfplaten*

Polyester golfplaten worden veel gebruikt als lichtdoorlatende dakafdekking voor bijvoorbeeld fietsenstallingen en schuren/loodsen. Het zijn relatief lichte platen (ca. 2 kg/m<sup>2</sup>). Ondanks dat het thermoharde composiet goed bestand is tegen weersinvloeden (vocht en UV-licht) is de gebruiksduur van dergelijke panelen relatief kort: tussen 20 en 40 jaar. Dit komt doordat de panelen esthetisch onaantrekkelijk en minder lichtdoorlatend worden door vervuiling (stof en alg) en door verwerking (bloot komen te liggen van glasvezels door erosie van de hars aan het oppervlak). Van Boven in Gorinchem is een bedrijf in dakkoepels en daklichten dat ook als enige in Nederland polyester golfplaten produceert met een continu-lamineerproces.

Geschat wordt dat de Nederlandse jaarproductie 1000 ton van dergelijke composietplaat bedraagt. Het is niet bekend hoe groot de productie was van de producten die nu als EoL product vrijkomen maar deze zal hoogstwaarschijnlijk gelijk of minder zijn dan de huidige productie. De huidige productie zal worden aangehouden als maat voor de huidige stroom van de EoL producten, alhoewel dit mogelijk een overschatting is.

### *Riool-relining*

Het gebruik van thermoharde composiet voor riool-relining (reparatie) groeit gestaag. In het tijdvak 1995 – 2000 werd in Nederland 50 km riool op deze manier gerepareerd, momenteel is dit inmiddels 250 km per jaar. De linerdikte is afhankelijk van het type riool 3 tot 16 mm dik. Ca. 80% van alle relinings wordt uitgevoerd op rioolbuizen van 300 mm diameter met een linerdikte van ca. 3 mm,

ofwel ca. 5 kg composiet per vierkante meter reliningsoppervlak. Omgerekend betekent dit dat er momenteel ca. 1250 ton composiet als relining per jaar in Nederland in rioolbuizen wordt verwerkt. Omdat een dergelijke reparatie een levensduur heeft van minstens 50 jaar (bron: IKT-Nederland) is dit voor de komende jaren nog niet te zien als een significante bron van EoL thermoharde composiet. Opgemerkt moet worden dat de riool-relining niet altijd wordt uitgevoerd met een glasvezelversterking maar ook met een versterking door non-wovens van PET-vezels. Dergelijke relining zal minder geschikt zijn voor hergebruik omdat de versterkende en verstijvende waarde minder zal zijn dan bij een glasvezelversterkte relining.

### *Vliegtuigonderdelen*

Composieten worden in sterk toenemende mate gebruikt in vliegtuigen. Voor de kleinere constructie-onderdelen wordt de laatste jaren veel gebruik gemaakt van warmgeperste koolstofvezelversterkte thermoplasten. Onder andere het bedrijf DTC in Almere heeft zich hierop toegelegd en produceert voor nieuw te bouwen vliegtuigen (van bijvoorbeeld Boeing of Airbus) vele duizenden onderdelen per maand. Afgezien van het feit dat deze producten nog lang niet het EoL stadium hebben bereikt zal deze categorie ook niet verder beschouwd worden omdat deze gemaakt van op basis van thermoplastische kunststoffen, zoals PEI, PEEK en PPS.

Verreweg het grootste aandeel van composieten in vliegtuigen bestaat uit koolstofvezelversterkte epoxy onderdelen. De Airbus A350 en de Boeing 787 zijn vliegtuigen waar een grote hoeveelheid van dergelijke composietmaterialen in verwerkt is. Hiervan is dus een duidelijke stroom EoL producten te verwachten of inmiddels al aanwezig. Het is in dit project niet duidelijk geworden hoe groot deze stroom in Nederland is of in de toekomst zal worden.

Voor grotere constructieve delen van vliegtuigen, zoals rompdelen wordt ook gebruik gemaakt van glasvezelversterkt aluminium-composiet, genaamd Glare. Deze op de TU-Delft ontwikkelde vermoeiingsbestendige composiet wordt in toenemende mate toegepast in vliegtuigen en wordt bijvoorbeeld verwerkt door Stork-Fokker in Papendrecht. Deze materialen zullen niet verder in dit onderzoek beschouwd worden omdat dit niet de thermoharde composietproducten betreft die gebaseerd zijn op vezels en een thermoharde matrix maar een hybride zijn van metaal en thermoharde composietlagen.

### *Onderdelen van auto's en trucks*

Diverse onderdelen van auto's en trucks zijn vervaardigd van composiet. Al decennia lang worden carrosseriedelen vervaardigd van composiet. Voorbeelden hiervan zijn spoilers, bumpers, motorkappen en achterkleppen. Hiervan zullen EoL producten in Nederland vrijkomen. Echter in dit project zijn hiervan de hoeveelheden niet bekend geworden. Bovendien is onbekend welk aandeel bestaat uit composiet dat is bruikbaar voor hergebruik (bijvoorbeeld gemaakt met vacuüm-injectie) en welk aandeel niet bruikbaar is in verband met de relatief lage sterkte (bijvoorbeeld gemaakt met SMC of BMC).

Sinds enige jaren worden ook dragende delen van auto's (chassis) gemaakt van thermoharde composiet. Bekende voortrekker hiervan is BMW die het chassis van personenauto's maakt van koolstofvezelversterkte composiet middels RTM-techniek. Op dit moment zal hieruit in Nederland nog geen significante EoL stroom van deze onderdelen zijn maar dat zal de komende jaren wel groeien.

Composietdelen die toegepast worden in het interieur en het motorgedeelte van auto's en trucks worden niet verder beschouwd. Interieurdelen van composiet betreffen dashboard-beplatingen en hoedenplanken met een lage sterkte (vaak natuurvezelversterkt). Motordelen van composiet betreffen afdekkingen met een relatief lage sterkte (SMC of BMC) of afdekkingen en reservoirs van kortvezelversterkte thermoplasten.

### *Trein-onderdelen*

In treinen worden al decennia thermoharde composietdelen toegepast, zowel voor interieurdelen als voor exterieurdelen (carrosserie). Het totale overzicht aan composietproducten, de kwaliteiten van de producten en hoeveel EoL product dit jaarlijks in Nederland oplevert is in het project niet duidelijk geworden.

### *Sportartikelen*

Thermoharde composieten worden al decennia toegepast in sportartikelen. Bekende voorbeelden zijn polsstokken, ski's, snowboards, surfplanken, tennisrackets en frames van sportfietsen. Dit betekent dat het zeker op dit moment in Nederland een EoL productenstroom oplevert. Echter in het project is niet duidelijk geworden wat de hoeveelheden zijn en uit welke kwaliteiten dit is opgebouwd.

### *Elektrotechnische kasten*

Dergelijke kasten worden ook vaak van een thermoharde composiet gemaakt. Belangrijke voordelen van composieten voor deze toepassingen zijn elektrische isolatie en bestandheid tegen invloeden van buiten (bijvoorbeeld corrosieve inwerking of weersinvloeden). De kasten zijn echter meestal vervaardigd uit warmgeperste compounds (SMC of BMC). Deze composieten hebben een relatief korte vezellengte en een relatief lage sterkte en zullen daarom geen grote versterkende bijdrage kunnen leveren als deze worden toegepast in een nieuw product. De EoL producten uit deze toepassing zullen daarom niet verder worden beschouwd.

De beschreven inventarisaties kunnen worden samengevat worden samengevat in de volgende tabel die weergeeft wat de belangrijkste stromen van EoL (end-of-life) thermoharde composietproducten in Nederland zijn en hoe groot deze op dit moment zijn in kton (1000 ton) per jaar.

| Type product          | Materiaalopbouw         | EoL (kton/jaar) | Opmerkingen    |
|-----------------------|-------------------------|-----------------|----------------|
| Polyester jachtrompen | GF-UP (Ran, Mult)       | 1,4             | -              |
| Printplaten           | GF-EP (Mult)            | NVT             | Wordt verbrand |
| Rotorbladen           | GF-UP/EP (Mult, UD)     | 1,3             | Export         |
| Bruggen, sluizen      | GF-UP (Mult)            | NVT             | Levensduur     |
| Veevoersilo's         | GF-UP (Ran, Mult)       | 0,8             | -              |
| Truck-flat-panels     | GF-UP (Ran,sandwich)    | NVT             | Export         |
| Gewikkelde buizen     | GF-EP (Mult)            | NVT             | Blijft zitten  |
| Centrifugaalbuizen    | GF-UP (Ran,zandvulling) | NVT             | Levensduur     |
| Tanks                 | GF-VE/EP (Ran, Mult)    | NVT             | Levensduur     |
| Gevelpanelen          | GF-UP/VE (Ran, Mult)    | NVT             | Levensduur     |
| Dakkapellen, etc.     | GF-UP (Ran, Mult)       | NVT             | Levensduur     |
| Zwembaden, etc.       | GF-UP (Ran, Mult)       | Onbekend        | (*)            |
| Golfplaten            | GF-UP (Ran)             | 1,0             | Overschatting  |
| Rioolrelining         | GF-UP (Mult)            | NVT             | Levensduur     |
| Vliegtuigonderdelen   | GF-EP- AL (Mult, UD)    | Onbekend        | (*)            |
| Onderdelen auto's     | GF-UP/EP (Ran, Mult)    | Onbekend        | (*)            |
| Onderdelen treinen    | GF-UP (Ran, Mult)       | Onbekend        | (*)            |
| Sportartikelen        | GF-EP / CF-EP(Mult, UD) | Onbekend        | (*)            |
| Elektro-kasten        | GF-UP (Ran)             | NVT             | Lage sterkte   |

TABEL 5 SAMENVATTING VAN INVENTARISATIES VAN EOL THERMOHARDE COMPOSITEN

GF = Glasvezel , CF = Koolstofvezel , AL = Aluminium-laminaat

UP = Polyester , VE = Vinylester , EP = Epoxy

Ran = Random versterking, Mult = Multiaxiaal-versterking, UD = UD-versterking

\*) Deze stromen behoeven nadere aandacht, zie hoofdstuk 6.

## 5. Verzameling van end-of-life producten voor vervolgonderzoek

Voor het vervolgonderzoek naar de methode van hergebruik zijn de volgende end-of-life producten verkregen:

- Gedeelte van een rotorblad van 12 meter lengte (verkregen van CTC),
- Stukken gewikkelde buis en flensdelen (verkregen van Future Pipe).

Van Holland Composites was een dome beschikbaar om te onderzoeken. Deze dome wordt verder niet gebruikt voor vervolgonderzoek omdat deze niet representatief is voor een substantiële EoL stroom producten in Nederland.

In de bijlagen worden nadere specificaties en foto's van deze producten gegeven.

## 6. Reflectie op doelstellingen, opgebouwde kennis en vervolg

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

*‘Doel van dit project is vergaren van nieuwe, praktisch bruikbare kennis over de eigenschappen en kenmerken van diverse soorten thermoharde composiet afvalproducten en –stromen en de mogelijkheden deze te hergebruiken.’*

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

*‘Welke composietproducten zijn er en welke stromen aan afval zijn er te verwachten aan het einde van de levensduur van deze verschillende producten? Welke composietproducten zijn vervolgens op basis hiervan aan het einde van hun levensduur economisch geschikt om te verwerken tot onderdelen die vervolgens hergebruikt kunnen worden tot nieuwe composietproducten? (Het onderzoek zal zich in eerste instantie tot de Nederlandse markt beperken.)’*

In de netwerkvorming zijn partijen betrokken die alle goede technische kennis hebben van thermoharde composietproducten en de composietmarkt in Nederland goed kennen. Door het betrekken van BiinC als een van de deelnemers in het project is geborgd dat er reeds bestaande kennis over het EoL vraagstuk van thermoharde composieten wordt ingebracht en bovendien de koppeling met de branchevereniging (VKCN) gegarandeerd is. De andere deelnemers kunnen verder daadwerkelijk EoL producten aanleveren, hetgeen gebruikt kan worden voor vervolgonderzoek.

Reflecterend op het verloop van het project kan gesteld worden dat de doelstelling is behaald en zich vertaald heeft in opgebouwde kennis over EoL thermoharde composieten in Nederland. Bovendien zijn bruikbare producten verkregen die geschikt zijn voor een vervolgonderzoek naar het nieuwe hergebruikprincipe.

In een nog verdere synthese kan uit Tabel 5 worden geconcludeerd dat polyester jachtrompen, rotorbladen, veevoersilo's en golfplaten op dit moment de EoL thermoharde composietstromen zijn waarop de nieuwe methode van hergebruik van EoL thermoharde composieten zich in eerste instantie moet richten. Op dit moment vertegenwoordigen deze productgroepen een jaarlijkse EoL stroom in Nederland van ca. 4,5 kton per jaar.

De grote stroom printplaten (in Nederland 3,4 kton per jaar of meer) is niet bruikbaar voor de hier voorgestelde methode van hergebruik omdat deze altijd worden vershredderd en verbrand in verband met de economische terugwinning van de diverse waardevolle metalen die aanwezig zijn in de componenten en de bedrading (koper).

De onbekende stroom EoL truck-flat-panels wordt geacht geen verdere aandacht te behoeven omdat deze producten in de voertuigen in het buitenland terechtkomen.

De onbekende stromen EoL thermoharde composietproducten in zwembaden, auto's, trucks, treinen, vliegtuigen en sportartikelen (zie \* in tabel 5) hebben wel nadere aandacht nodig. De reden hiervoor is dat deze stromen mogelijk wel in Nederland beschikbaar komen en mogelijk significant van grootte en kwaliteit (sterkte) zijn. In het huidige project zijn de gegevens hiervoor niet boven water gekomen. Binnen het projectteam waren noch de kennis noch de contacten aanwezig om deze gegevens te verkrijgen. Daarom wordt geadviseerd om in samenwerking met de branchevereniging (VKCN) een plan te maken voor een nieuw project om deze stromen nader in kaart te brengen en te karakteriseren wat betreft hoeveelheden en kwaliteiten.

## 7. Bijlagen

### *Verslag van projectbijeenkomst*

#### Startbijeenkomst bij Windesheim in Zwolle

##### **Aanwezig**

Robin Geersen (CTC), Pieterjan Dwarshuis (Holland Composites), Mark Kiers (Future Pipe)  
Margie Topp, Pieter Schreuder, Jasper Bouwmeester, Wendy van Schooten, Dirk ten Hoopen,  
Jeroen Bril, Albert ten Busschen (Windesheim)

##### **Afwezig m.k.**

Jos ter Laak (CTC), Ben Drogts (BiinC) maar komt 's middags, zie verslag.

**09.30 uur**      **Inloop, koffie, thee**

**10.00 uur**      **Welkom**

#### *Voorstelronde projectdeelnemer*

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

Jeroen Bril en Dirk ten Hoopen zijn minor studenten die ondersteunen in het onderzoeksproject. Pieter Schreuder is junior onderzoeker bij het lectoraat en civiel ingenieur.

Mark Kiers is operationeel directeur bij Future Pipe, dit internationale bedrijf is gespecialiseerd in glasvezelversterkte leidingssystemen.

Pieterjan Dwarshuis is technisch directeur bij Holland Composites, zij produceren grotere, op maat gemaakte composietproducten.

Margie Topp is lector van het lectoraat Kunststoftechnologie en is hiervoor werkzaam geweest bij DSM.

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.

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.

Robin Geersen vervangt vandaag Jos ter Laak. Hij is sinds 1996 werkzaam in de composieten, en is nu partner binnen CTC en dit bedrijf doet vooral productie-opstart en engineering van rotorbladen.

#### Contactgegevens projectdeelnemers

|                     |                    |                                                                                    |             |
|---------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Mark Kiers          | Future Pipe        | <a href="mailto:m.kiers@futurepipe.com">m.kiers@futurepipe.com</a>                 | 06-43363262 |
| Pieterjan Dwarshuis | Holland Composites | <a href="mailto:pieterjan@hollandcomposites.nl">pieterjan@hollandcomposites.nl</a> | 06-53294107 |
| Ben Drogts          | Biinc              | <a href="mailto:info@biinc.nl">info@biinc.nl</a>                                   | 06-12892562 |
| Robin Geersen       | CTC                | <a href="mailto:r.geersen@ctcgroup.nl">r.geersen@ctcgroup.nl</a>                   | 074-7600100 |
| Jos ter Laak        | CTC                | <a href="mailto:j.terlaak@ctcgroup.nl">j.terlaak@ctcgroup.nl</a>                   | 06-51272619 |
| Albert ten Busschen | Windesheim         | <a href="mailto:a.ten.busschen@windesheim.nl">a.ten.busschen@windesheim.nl</a>     | 06-51916870 |
| Margie Topp         | Windesheim         | <a href="mailto:m.topp@windesheim.nl">m.topp@windesheim.nl</a>                     | 06-40502961 |
| Pieter Schreuder    | Windesheim         | <a href="mailto:p.schreuder@windesheim.nl">p.schreuder@windesheim.nl</a>           | 088-4699504 |
| Jasper Bouwmeester  | Windesheim         | <a href="mailto:j.bouwmeester@windesheim.nl">j.bouwmeester@windesheim.nl</a>       | 088-4699753 |
| Wendy van Schooten  | Windesheim         | <a href="mailto:dwm.van.schooten@windesheim.nl">dwm.van.schooten@windesheim.nl</a> | 088-4696118 |

#### *Uitleg werkwijze KIEM-VANG-project en rolverdeling deelnemers*

Het project maakt deel uit van een serie van 6 projecten, gericht op hergebruik van end-of-life (afval) thermoharde composietproducten.

Het lectoraat Kunststoftechnologie (LKT) bestaat uit 15 fte, waarvan 1 lector, 2 associate lectoren, 12 docent onderzoekers en een promovendus.

#### **10.15 uur Uitleg principe hergebruik van thermoharde composieten**

##### *Demo opbouw profiel*

End-of-life thermoharde composietproducten worden niet teruggebracht tot elementaire grondstoffen maar tot versterkingselementen (repen), waardoor de waardevolle eigenschappen zo veel mogelijk behouden blijven. Civiele én industriële toepassingen kunnen onderzocht worden. Voor de projecten 3 t/m 6 wordt nog naar samenwerkingspartners gezocht. De doorlooptijd (t/m project 6) is tot medio 2017. Wellicht is de serie projecten een opstap naar een groter project met meer financiering, die deels voor de bedrijven gebruikt kan worden. Robin Geersen vult aan dat over 5 tot 10 jaar er veel windmolens afgeschreven zijn. De molens worden ontmanteld omdat de subsidiestroom stopt en er zijn issues wat betreft veiligheid en verouderde technologie. Er komen dus veel end-of-life rotorbladen beschikbaar.

#### **10.30 uur Inventarisatie van afvalproductsoorten: afbakening aandachtsgebied**

##### *Planning van verzamelen en rubriceren van informatie*

Tevens de hoeveelheid materiaal onderzoeken die kan presteren en hergebruikt kan worden. En tevens de voorgeschiedenis en de conditie van het materiaal bepalen.

**11.00 uur      Afvalproducten nader bespreken:**

- Dome bij Holland Composites 4000 kilo. Deze dome is een grote uitdaging om uit elkaar te halen waarbij de eis is dat de producteigenschappen moeten blijven werken. Wellicht waterstraalsnijden.
- Buizen bij Future Pipe. Qua vorm redelijk eenvoudig, wel (u-)bochten en t-stukken met flenzen eraan. De afvalstromen lopen nu via EES. Zij vermalen nu de afvalproducten. Om de cirkel rond te krijgen zou het afval weer bruikbaar moeten worden voor Future Pipe. Glasvezel afvalproducten kosten geld om af te voeren, voor carbon wordt wel betaald. Oliemaatschappijen zijn conservatief op materialengebruik. Het levert wel veel op als blijkt dat een buis weer 5 jaar langer mee kan.

Pieterjan zal informeren naar studies uit het verleden om te kijken of dit mee genomen kan worden in het huidige onderzoek. Dit onderzoek richt zich vooral op industriële toepassingen (geen modegevoelige zaken). Daarnaast wil Jasper graag onderzoeken hoeveel composiet producten worden aangeboden bij afvalverwerkers en hoeveel er bruikbaar terug komt.

- Rotor bij CTC Group: De klanten hebben zelf de afvalproducten liggen. Ongeveer 12 meter van een rotor, 1/3 van een wiek wordt beschikbaar gesteld. Een wiek moet eerst gecertificeerd zijn. Dus alles wat in de wiek zit is bekend tot in detail.

*Planning van opstellen van karakteriseringsmethode*

De minorstudenten komen in totaal 2 keer bij de bedrijven langs. In februari t/m april worden de gegevens verwerkt. Margie wijst de projectdeelnemers op eigen verantwoordelijkheid op het bewaken van IP (intellectual property) met het oog op het publiceren van artikelen. Dit is geen probleem, mits het voor besproken wordt met het desbetreffende bedrijf. Future Pipe geeft de voorkeur aan een Engels artikel, zodat zij dit ook internationaal kunnen verspreiden.

*Planning van bezoek ter plaatse en karakterisering afvalproduct***11.45 uur      Vastleggen van gemaakte afspraken en planning**

Er worden direct bedrijfsbezoeken gepland. Wendy stuurt een vergaderverzoek aan de betrokkenen. Betreft de administratie is het belangrijk om de uren te verantwoorden richting de subsidieverstrekker. Wendy zal t.z.t. de urenverantwoordingsformulieren toesturen.

Margie geeft aan dat er vanuit Windesheim met een 20 weken periode wordt gewerkt. In september en februari beginnen de studenten.

Indien er materiaalkosten zijn, moet verklaard worden dat het product deze waarde heeft.

Albert, Pieter en Jasper zijn inhoudelijke aanspreekpunten, Wendy voor de administratieve zaken.

**12.00 uur      Afsluitende lunch***Gesprek met Ben Drogts*

Albert spreekt 's middags nog uitgebreid met Ben Drogts van BiinC. Waardevolle input, ook voor de vervolgprojecten. Belangrijke groep composieten die hij noemt zijn wanden van trailers. Deze zijn gemaakt van composiet-sandwichplaten. Productiebedrijven: Brouwer (Nijkerk), Pecocar (Albergen), Baer (Waalwijk) en PAS Panelen (Stolwijk). De schuimkern bestaat vaak uit XPS (soort 'piepschuim').

## *Verslagen van bedrijfsbezoeken*

### **Holland Composites te Lelystad**

Datum bezoek: 14 oktober 2015

Vanuit Windesheim: Pieter Schreuder, Jeroen Bril, Thijs Besten en Steven van Eek

Gesproken met: Pieterjan Dwarshuis (managing partner)

Holland Composites is gevestigd in Lelystad en heeft 25 medewerkers.

Het bedrijf produceert momenteel catamarans en turbine-bladen voor getijde-turbines die gemaakt worden van koolstofvezel versterkt epoxy (met behulp van prepregs). Ook heeft het bedrijf een project gekregen voor het maken van composiet-gevels 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 vacuüm-injectie onder folie (vacuum-infusion) en prepregs. Voor de vacuüm-injectietechniek is een grote glastafel aanwezig; voor de prepreg verwerking 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 van Polem)                                     |
| Rotorbladen voor windmolens |                                                       |
| Jachten                     | (in jaren 70 en 80 veel gebouwd; worden nu afgedankt) |

Verder zegt Pieterjan dat de meeste polyesterhars gebruikt wordt voor:

In-situ forming van liners voor rioolreparatie,

Gietcompounds zoals voor onderdorpels, aanrechtbladen (zoals Holonite die maakt)

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).

### **Composite Technology Center (CTC) te Hengelo**

Datum bezoek: 28 oktober 2015

Vanuit Windesheim: Jasper Bouwmeester, Pieter Schreuder, Dirk ten Hoopen en Jeroen Bril

Gesproken met: Robin Geersen (constructeur) en Jos ter Laak (directeur)

Composite Technology Centre (CTC) is sinds 2001 actief als ontwerper van composietproducten. Met een stevig fundament in de windenergie, heeft CTC haar werkterrein de afgelopen jaren sterk verbreed met de ontwikkeling van composiet-toepassingen in de bouw, civiele techniek en de transportsector. In het verleden heeft CTC onder andere rotorbladen voor windturbines ontworpen en heeft daardoor de nodige kennis van deze wereld.

Sinds de jaren 70 worden er windturbines gebouwd om stroom op te wekken. Deze windturbines zijn voor een groot deel uit composieten opgebouwd. Dit geldt voor de rotorbladen en de turbine behuizing. Het feit is dat een groot aantal windturbines binnen nu en tien jaar aan het eind van hun levensduur komen. Dit is voornamelijk omdat ze economisch niet meer interessant zullen zijn. Een reden hiervoor is dat de eerste turbines op de plekken met de meeste wind zijn geplaatst en het straks interessanter is om daar nieuwe, veel efficiëntere turbines te plaatsen.

Productie rotorbladen

Alle rotorbladen zijn in grote lijnen hetzelfde opgebouwd. 25 tot 30 % van de rotorbladen die gemaakt worden zijn van polyester met glasvezel en de rest is epoxy met glasvezels. Het skelet van het blad bestaat uit een I-profiel dat is opgevuld met PVC schuim. Alle rotorbladen die in gebruik worden genomen moeten voldoen aan bepaalde certificeringen. Dit brengt met zich mee dat er dus productiedocumentatie bestaat die mogelijk op te vragen is. Als er rotorbladen beschikbaar komen kan er dus worden achterhaald hoe ze zijn opgebouwd.

Composiet afval

Bij de productie van rotorbladen wordt er vrijwel geen composiet afval geproduceerd. Het enige afval dat bekend is, zijn de rotorbladen die getest moeten worden om vast te stellen of ze voldoen aan de certificering. Van elke serie rotorbladen moet er één helemaal getest worden. Dit rotorblad is hierna afgeschreven. Dit betekent niet dat het geteste rotorblad ook beschikbaar komt voor externe partijen. Het gaat hier altijd om een nieuw blad, met de nieuwste technieken. In de praktijk zullen de producenten niet zomaar hun nieuwste product af willen staan. Daarnaast komt het natuurlijk wel voor dat er schade is aan de turbines als gevolg van bliksem, erosie. Maar deze schades zijn eigenlijk altijd wel te repareren.

End of life windturbines

Een groot deel van de 'end of life' windturbines in Nederland worden verscheept naar Oost Europese landen en Afrika. Daarnaast wordt ook een deel gebruikt als reserve onderdelen. Dit betekent dat het dus niet beschikbaar komt als afval.

### **Future Pipe Industries (FPI) te Hengelo**

Datum bezoek: 28 oktober 2015

Vanuit Windesheim: Jasper Bouwmeester, Pieter Schreuder, Dirk ten Hoopen en Jeroen Bril

Gesproken met: Mark Kiers (operationeel manager)

Future Pipe Industries (FPI) is de wereldleider in het ontwerpen en vervaardigen van composiet grote diameter glasvezel (ECR glas) leidingsysteem. FPI biedt op maat gemaakte leidingen systeemoplossingen voor water en industriële sectoren. Voor de productie wordt gebruik gemaakt van zowel polyester, vinylester als epoxy. In Hardenberg worden buizen tot een diameter van 1.6 meter geproduceerd.

#### **Productie afval FPI**

Dit jaar heeft FPI in totaal 190 ton aan productie afval af laten voeren. Dit gaat naar een afval verwerkingsbedrijf en kost FPI geld. Het afval bestaat voornamelijk uit de uiteinden van de buizen die eraf worden gezaagd en test producten. FPI moet regelmatig druk testen uitvoeren op producten om te voldoen aan de eisen van de klant. Deze teststukken zijn van hoogwaardige kwaliteit.

#### **End of life producten**

FPI kan moeilijk antwoord geven op de vraag hoeveel end of life producten er vrij komen. Dit komt omdat ze alleen leveren en daarna niet meer verantwoordelijk zijn voor wat er met het product gebeurt. Daarnaast blijkt dat een groot gedeelte van de buizen in de grond belanden en daar na gebruik vaak gewoon blijven liggen. Alles uit de grond halen zou veel te duur worden.

Wie is dan wel verantwoordelijk voor verwerking? In principe is het bedrijf dat de buizen koopt er ook verantwoordelijk voor. Daarom zouden er grote afnemers benaderd kunnen worden om te onderzoeken wat ze doen met composiet afval. Grote partijen zijn onder andere de BAM en de NAM.

### **Van Gansewinkel te Hoogeveen**

Datum bezoek: 28 november 2015

Vanuit Windesheim: Jasper Bouwmeester, Pieter Schreuder

Gesproken met: Reinder Bosch (Material Support Officer)

Van Gansewinkel is een grote afvalverwerker. Zo'n 20 keer per jaar krijgen ze aanvragen voor VVK(Vezel Versterkte Kunststof) -afval, in totaal zo'n 50 ton. Een groot deel hiervan zijn tanks, maar ook bootjes en andere producten. VG wil dit afval alleen innemen als het in stukken gemaakt is. Hiervoor geven ze contacten voor sloopbedrijven door. VG brengt dit vervolgens naar een verbrandingsoven. In sommige gevallen wordt het door ander afval gemengd om de calorische waarde te verlagen. VVK heeft een calorische waarde van 25 kJ/kg en normaal afval 8 tot 10 kJ/kg. De as uit de verbrandingsoven wordt gezuiverd en dan in beton verwerkt. Direct aan de cementindustrie verkopen doet VG niet want deze zijn te specifiek. Afval naar de verbrandingsoven kost ongeveer € 90,- per ton; de klant betaalt hier nog een marge bovenop. Sorteren kost € 73,- per ton maar daar is een vergunning voor nodig en deze is moeilijk te krijgen.

Tanks moeten vrij zijn van chemicaliën (anders chemisch afval). Afval is sowieso vuil, bijvoorbeeld de kokkels op de bootjes en modder, etc. VG is niet bekend met EES of andere composiet recycling initiatieven. Een andere stroom VVK zijn dakgoten, badkuipen, etc. Deze zitten in bouw- en sloopafval of grof industrieel afval. Dat gaat naar het sorteercentrum. Daar worden metalen, hout, puin en zand eruit gehaald. VVK zit dan in het 'residu'. Het residu gaat de verbrandingsoven in. VG geeft aan dat het relatief makkelijk is om VVK eruit te sorteren als er andere opties voor zouden zijn.

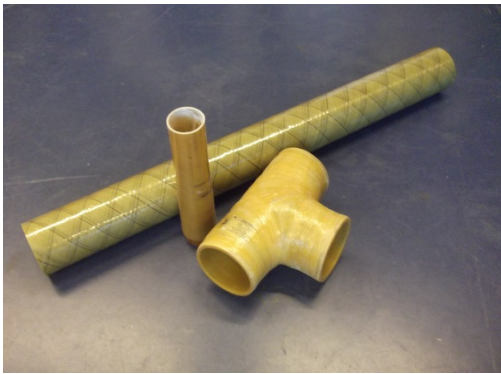
### *Rotorbladdeel verkregen van CTC*

Dit betreft een deel van een rotorblad van 12 meter lengte. Het is een demonstratiestuk dat CTC ter beschikking stelt voor het onderzoek. Door de transparante (niet-gecoate) uitvoering is van buitenaf de opbouw goed zichtbaar. Onderstaande foto's tonen ontvangst en de opbouw van de doorsnede van de rotor.



### *Buizen en buisdelen verkregen van Future Pipe Industries*

Future Pipe Industries heeft een aantal test-buisstukken en buizen ter beschikking gesteld voor het onderzoek. Hieronder staat een aantal foto's, waarbij een aantal buizen al reeds door de onderzoekers was verzaagd tot buisringen en buisstroken.

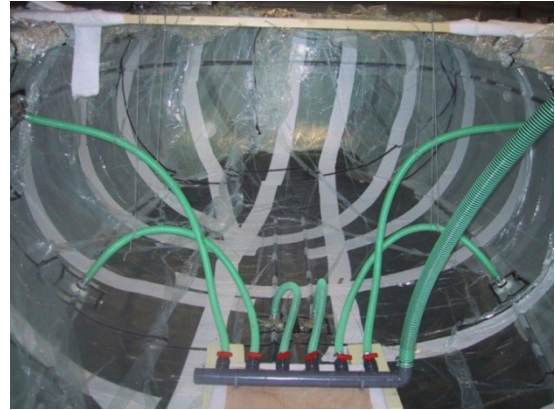


### *Dome beoordeling bij Holland Composites*

Holland Composites maakt projectmatig zogenaamde sonar domes voor radarapparatuur van marineschepen. De dome bevindt zich aan de onderzijde van de boeg van een schip en vormt een holte waarin de radarapparatuur zich bevindt en die doorlaatbaar is voor de elektromagnetische straling. Op de foto is de sonar dome aan de onderzijde van de boeg van het schip te zien.



De dome is opgebouwd uit een glasvezelversterkte vinylesterhars (DION VE 1057). De wandopbouw is gerealiseerd middels een combinatie van 1200 grams 0/90-glaslegsels in combinatie met 1200 grams +/- 45 glaslegsels. Het geheel is gemaakt middels vacuüminjectie onder folie waarmee een glasgewichtsgehalte van 70% is gerealiseerd. De foto toont het proces.



Het bodemdeel (ca. 2 x 6 meter) is een massief laminaat van 60 mm dikte. Het zogenaamde vensterslaminaat is ca. 1,6 m hoog en is 20 mm dik. De flens aan de bovenzijde is 100 mm dik en heeft een opgegoten laag PU-giethars waarin ook de bussen voor de boutverbindingen zijn verwerkt. De stringers zijn opgebouwd met een 10 mm laminaat met daarin een 100 mm dikke PVC-60 schuimkern. Onderstaande foto's tonen respectievelijk zij aanzicht en bovenaanzicht van het eindproduct.



De dome weegt ca. 6 ton en is destijds afgekeurd omdat er twijfels waren omtrent een gebruikt bindmiddel in de versterkingslagen. De dome geeft een goed beeld van de grootte en de robuustheid die bij composietproducten kunnen optreden. Echter, de dome is een incidenteel vervaardigd product die niet model staat voor een significante stroom EoL producten en zal derhalve in het vervolgonderzoek niet verder worden meegenomen.

### *Inleiding in thermoharde composieten*

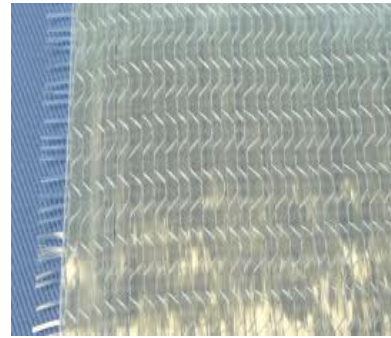
Een composiet is een combinatie van twee of meer materialen. In het algemeen, en ook binnen dit project wordt met composiet bedoeld: vezelversterkte kunststof (VVK). Bij de productie van een composietproduct wordt het materiaal en het product tegelijkertijd gemaakt. Dit betekent dat de materialen waar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



Een composiet wordt over het algemeen gezien als een high-tech 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<br>Laag gewicht<br>Hoge sterkte<br>Goede vermoeiingsbestandheid<br>Vocht- en corrosiebestandheid<br>Lange levensduur, weinig onderhoud<br>Isolerend voor warmte en elektriciteit<br>Mogelijkheden voor integratie functies<br>(Optioneel: radiotransparantie)<br>(Optioneel: translucentie) | Hoge materiaal- en arbeidskosten<br>Relatieve onbekendheid bij ontwerpers<br>Lage stijfheid ten opzichte van metalen<br>Specialistische ontwerp- en rekenregels<br>Niet voor gebruik bij hoge temperaturen<br>Recycling nog niet economisch te doen |

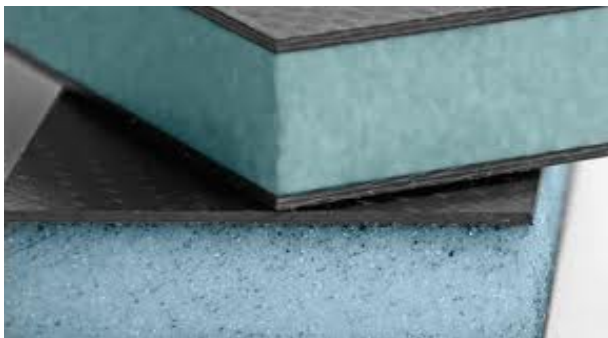
Een composiet bestaat uit versterkingsvezels, die omsloten zijn door een polymeer-matrix. De vezels hebben een versterkende en verstijvende functie. Echter zonder de inbedding in de matrix zouden de vezels geen drukspanningen of afschuifspanningen kunnen overbrengen. De meest gebruikte vezels zijn glasvezels 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  $\mu\text{m}$ ) 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 sandwich-opbouw kunnen zeer lichte, stijve en warmte-isolerende constructies worden gerealiseerd.

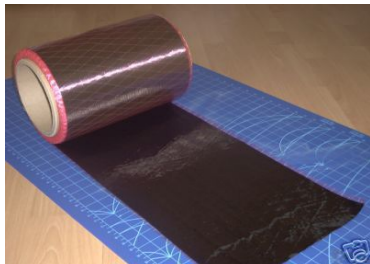


Voor het vervaardigen van composietproducten bestaan diverse methoden. Uitgangspunt is de vorm van het product dat geproduceerd moet worden. Deze vorm wordt meestal gerealiseerd vanuit een mal, maar kan ook bijvoorbeeld direct op een gevormde kern worden aangebracht (verloren kernmethode). Het verwerken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



Voorbeelden van gesloten-mal technieken zijn injectietechnieken, zoals vacuum-injectie 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 montage-stappen 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*

*Sustainability of Fibre-Reinforced Plastics. An Assesment Based on Selected Examples of Application.*  
AVK-publicatie, November 2010

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

*MJA Composieten Recycling*  
KEMA-rapport door B.A.F. in 't Groen, 7 december 2010

*European Recognition for Composites Recycling*  
Guidance on the interpretation of key provisions. Directive 2008/98/EC on waste. European Commission, June 2012

*Composites Recycling Made Easier*  
EUCIA-publicatie, 2012

*Retour*  
Uitgave van NVWP, 2012

*Zwemmonitor 2012*  
Rapport Mulier Instituut, 12 juli 2012

*Recycling elektrische en elektrotechnisch apparaten*  
Uitgave Vrom, 6 januari 2010

*Aantal 'end of life' boten in Nederland en potentiële afvalstromen.*  
Waterrecreatie Advies BV, Lelystad, Januari 2015.

*Opzet monitoringssystematiek composietstromen*  
Rapport Berenschot door Joost Krebbekx en Niki Lintmeijer, 25 november 2015

*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

*Update on Recycling*  
ACMA Global Composites Recycling Workshop  
Parijs, 7 maart 2016

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

# Lectoraat Kunststoftechnologie

