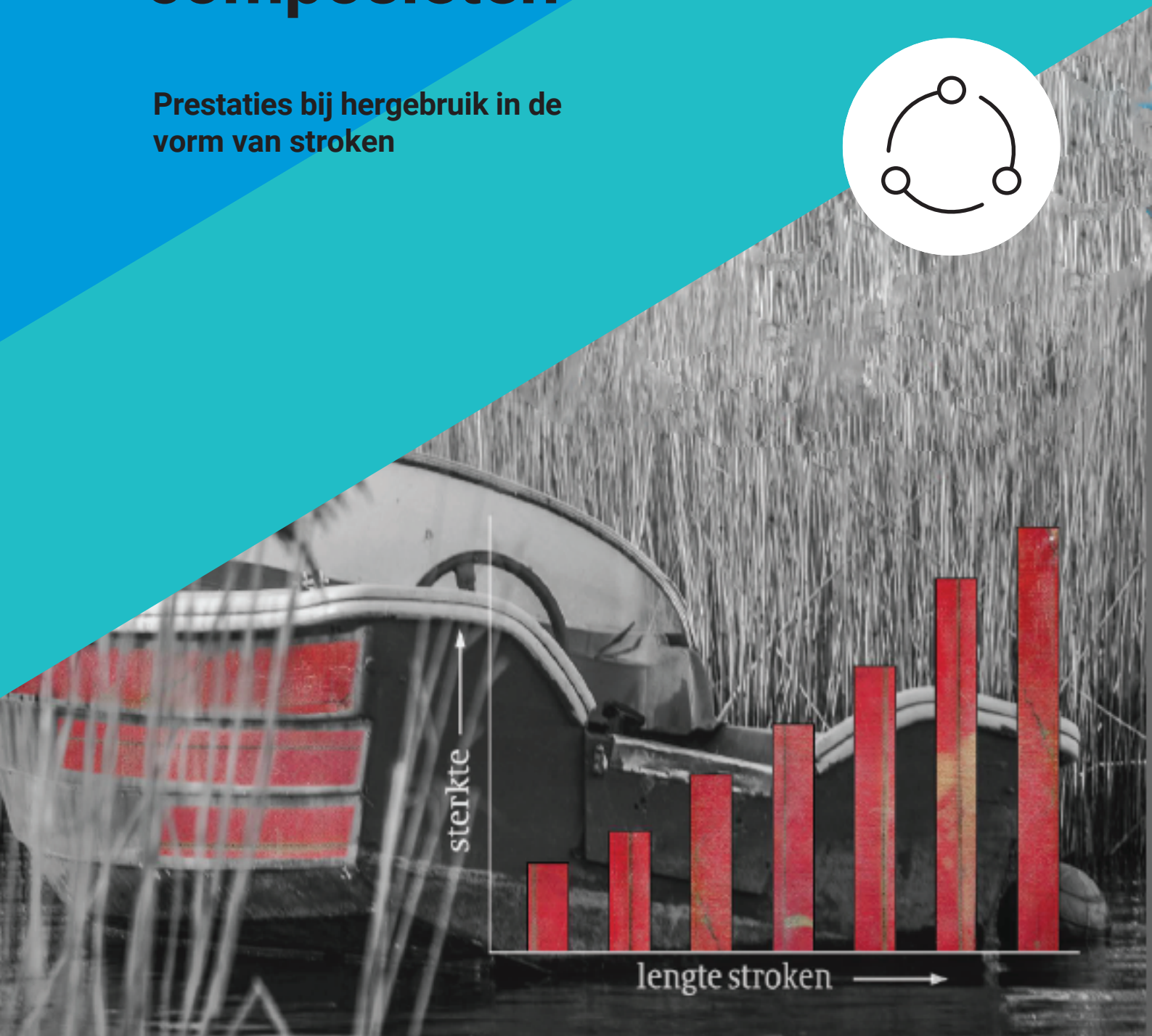


Lectoraat Kunststoftechnologie

Hergebruik van thermohardende composieten

Prestaties bij hergebruik in de vorm van stroken



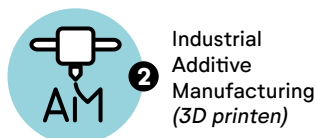
Colofon

Titel:	Hergebruik van thermoharde composieten – Prestaties bij hergebruik in de vorm van stroken
Subtitel:	Proeftuin Recycling - Future Proof Polymers, project 395
Publicatie nummer:	LKT-RE-106030-1701
Publicatie datum:	Januari 2017
Auteurs:	Ing. P. Schreuder, Ing. K.W. Hermans, Dr. Ir. A. ten Busschen
Subsidieverstrekker:	SIA KIEM-VANG
In samenwerking met:	Bootjesloperij 'Het Harpje', NJI, IWE
Fotografie:	Windesheim

Onderzoekslijnen:



1 Circulaire economie



2 Industrial Additive Manufacturing (3D printen)



3 Hybride ontwerp



4 Duurzaam produceren

Deze publicatie van Windesheim valt onder een Creative Commons Naamsvermelding 4.0 Internationaal-licentie. Dit betekent dat de kennis uit deze publicatie hergebruikt mag worden als basis voor de ontwikkeling van nieuwe kennis mits de naam van de auteur en/of Windesheim hierbij vermeld wordt.

Deze publicatie wordt uitgebracht door het Lectoraat Kunststoftechnologie, een praktijkgerichte onderzoeksgroep op Hogeschool Windesheim die zijn basis heeft in Engineering & Design. Zoals passend bij lectoraten in combinatie met de gebruikte subsidieregeling, is het onderzoek uitgewerkt tot een TRL niveau van maximaal 7: demonstratie systeemprototype in operationele omgeving. Het werk is zo opgeschreven dat het na-werkbaar is, maar bedrijfsspecifieke data is soms weggelaten.



Voorwoord

Het onderhavige rapport is de inhoudelijke eindrapportage van een KIEM-VANG project met de titel 'Hergebruik van thermoharde composieten – Onderzoek naar verwerking van end-of-life producten tot versterkingselementen'. Het project is bij het Nationaal Regieorgaan Praktijkgericht Onderzoek(SIA) aangevraagd en toegekend met als projectnummer PROVA.CE.01.010 en kenmerk 2016-117. 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 thermoharde composiet materiaal te verwerken dan er in de afgelopen decennia is gedaan. De 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.

Dit onderzoek volgt op twee reeds uitgevoerde onderzoeken in het kader van hergebruik van thermoharde composieten. Het eerste onderzoek, '*Onderzoek van afvalproductsoorten*' heeft zich gericht op het in kaart brengen van de composiet afvalstromen in Nederland. In het tweede onderzoek, '*Onderzoek naar mogelijke producten en toepassingen*' is onderzocht welke producten en toepassingen het meest geschikt zijn voor hergebruik van thermoharde composieten. Het onderhavige onderzoek richt zich op het verkrijgen van versterkingselementen uit grote composiet afvalproducten en de invloed die deze versterkingselementen kunnen hebben op de sterkte en stijfheid van een nieuw product.

Het huidige onderzoek is uitgevoerd onder leiding van de onderzoekers van het Lectoraat Kunststof Technologie (LKT) van de Hogeschool Windesheim, in samenwerking met studenten en het bedrijfsbureau van de technische studies.

De deelnemende bedrijven in het project waren: bootjessloperij 'het Harpje', leverancier van waterstraalsnijmachines IWE en branchevereniging Nederlandse Jachtbouw Industrie (NJI). Door de deelname van deze partijen is kennis, materiaal en materieel beschikbaar gesteld om dit onderzoek succesvol uit te voeren.

De resultaten van het project zullen onder de belangstelling worden gebracht door middel van presentaties en publicaties. In deze rapportage worden er aan aantal vermeld in het overzicht van referenties.

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

Ing. P. Schreuder, junior onderzoeker
Zwolle, januari 2017

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Inhoudsopgave	4
1. Inleiding in het project en projectdeelnemers	5
2 Principe van hergebruik van thermoharde composieten	7
3. Onderzoek naar afvalproductsoorten	9
4 Onderzoek naar mogelijke producten en toepassingen	10
5. Proces van product naar stroken.....	11
6. Toegevoegde waarde van stroken in een nieuw product.....	17
7. Conclusie	26
8 Reflectie op doelstellingen, opgebouwde kennis en vervolg	27
Bijlagen.....	28

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 'afval'. Hergebruik is in deze context het modificeren van een afvalproduct tot componenten die als versterkende elementen ingezet kunnen worden in een nieuw te vervaardigen composietproduct, in tegenstelling tot recycling waar het afval wordt teruggebracht tot elementaire grondstofcomponenten (vezels, hars, vulstof). Door het hergebruik blijven een aantal van de hoogwaardige composiet-eigenschappen (laag gewicht, hoge sterkte en stijfheid, bestendigheid tegen vocht) grotendeels behouden. Daarnaast is het van belang dat de kosten voor het realiseren van deze versterkende elementen uit het afval laag zijn.

Het onderhavige project is het derde project in een reeks van projecten die het Lectoraat Kunststof Technologie (LKT) van Hogeschool Windesheim heeft uitgevoerd voor het onderzoeken van hergebruik van thermoharde composieten.

In het eerste project is met betrokken deskundigen onderzoek gedaan naar de verschillende soorten afvalproducten en de afvalstromen die daarbij te kwantificeren zijn. Een samenvatting van dit project staat beschreven in Hoofdstuk 3, Onderzoek naar afvalproductsoorten.

In het tweede project is met betrokken partijen een onderzoek gedaan naar mogelijke producten en toepassingen waarbij hergebruikt composiet afval toegepast kan worden. Een samenvatting van dit project staat in Hoofdstuk 4, Onderzoek naar mogelijke producten en toepassingen.

Dit derde project richt zich op het onderzoeken van de mogelijkheid om thermoharde end-of-life (EoL) composietproducten te verwerken tot versterkingselementen voor nieuwe composietproducten. Als end-of-life composietproduct is gekozen voor een jachtromp. De reden hiervoor is dat dit type end-of-life product een groeiende afvalstroom in Nederland vormt. In het eerste deel van het onderzoek worden de processtappen bestudeerd die nodig zijn om een jachtromp te verkleinen tot versterkingselementen voor een nieuw te vervaardigen product.

In het tweede deel van het onderzoek wordt onderzocht in welke mate de versterkingselementen een bijdrage leveren aan de mechanische eigenschappen in een nieuw te vervaardigen product. Dit wordt gedaan door middel van een vergelijkend onderzoek waarbij het soort en de afmetingen van versterkingselementen gevarieerd zal worden.

Het lectoraat (LKT) heeft de projectleiding, het onderzoek en de rapportage verzorgd. Het complete projectteam is als volgt samengesteld:

Ansdr r knodq i ds G` qid BAnudnj ` q odK

Demontagebedrijf voor jachten

Contactpersoon: B. van der Pijl

HV D' Mdt v dq dq `` mcd H r r dK

Leverancier van waterstraalsnijmachines

Contactpersoon: R. Romein en R. van der Hoek

MdcddK mcr d l ` bgsant v Hrcr r sdK M H' Mdt v df dlm

Branchevereniging voor de Nederlandse jachtbouwindustrie

Contactpersoon: G.W. Klok

GefdrbgnnkV hndr gdlh +Kdbsnq` sJt m r sne Sdbgmknf ld' Yv nkd(
Projectleiding, projectadministratie, onderzoek en rapportage

Projectleider: Dr. Ir. A. ten Busschen
Junior onderzoeker: Ing. K.W. Hermans
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. Wanneer de elementen een gelijke vorm hebben is er minder hars nodig om tussenruimtes op te vullen, zie Figuur 1 en Figuur 2. 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.



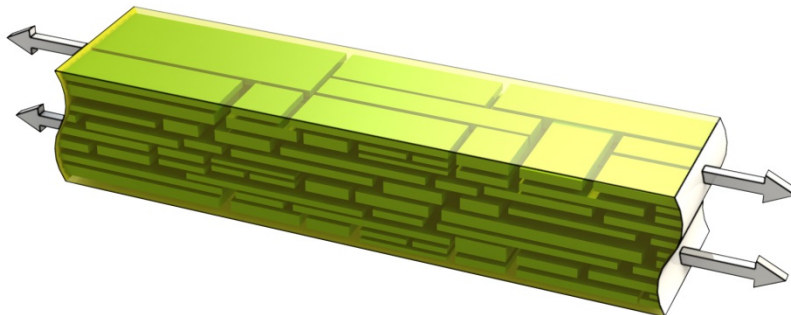
FIGUUR 1, GRANULAAT-GEVULD PRODUCT

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 (STROKEN)

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 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 methode van hergebruik richt zich op een zo hoog mogelijke volumefractie van het hergebruikte materiaal, zodat er zo min 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 glasweefsel versterkt polyester)

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

TABEL 1, THEORETISCH VOORSPELDE COMPOSITIEIGENSCHAPPEN

Uitkomst	Deel F O (	σ_c (MPa)	Fdcq f
Granulaat	5,2	10 (*)	Bros
Langgevormd	11,5	150	Taai

*) Schatting op basis van optredende spanningsconcentraties.

3. Onderzoek naar afvalproductsoorten

In het eerste KIEM-VANG project is onderzoek gedaan naar de afvalstromen in Nederland van EoL thermoharde composietproducten.

Uit dit onderzoek komen een aantal gekwantificeerde en niet gekwantificeerde afvalstromen. Gekwantificeerde stromen EoL thermoharde composietproducten betreffen polyester jachtrompen, rotorbladen van windturbines, veevoersilo's en golfplaten. Deze vormen momenteel een jaarlijkse afvalstroom in Nederland van 4,5 kton per jaar. Printplaten vormen ook een grote afvalstroom ($\pm 3,5$ kton). Deze afvalstroom komt echter niet voor het hergebruik principe in aanmerking. Printplaten worden altijd vermalen en verbrand in verband met de terugwinning van aanwezige waardevolle metalen.

Nog niet gekwantificeerde stromen EoL thermoharde composietproducten zijn zwembaden en daarbij behorende onderdelen, onderdelen van vliegtuigen, treinen en auto's en sportartikelen.

Overige thermoharde composietproducten zijn nog niet aan het einde van de levensduur of worden geëxporteerd. Dit betreft composietproducten die zijn toegepast in bruggen, sluizen, industriële tanks, buizen, truck-flat panels en gevelpanelen.

4. Onderzoek naar mogelijke producten en toepassingen

In het tweede KIEM-VANG project is onderzoek gedaan naar mogelijke producten en toepassingen die in aanmerking komen voor het hergebruik principe.

Als uitgangspunt is gekozen om thermoharde EoL composietproducten te verzagen tot bruikbare strips of profielen. Vervolgens kan een nieuw product worden opgebouwd met behulp van deze profielen.

Uit brainstormsessies met diverse partijen zijn een aantal mogelijke toepassingen naar voren gekomen, die gegroepeerd zijn per marktsegment. Een aantal civiele toepassingen lijken hierbij het meest kansrijk, zoals bijvoorbeeld oeverbeschoeiing van hergebruikt composiet ter vervanging van de huidige hardhouten oeverbeschoeiing.

5. Proces van product naar stroken

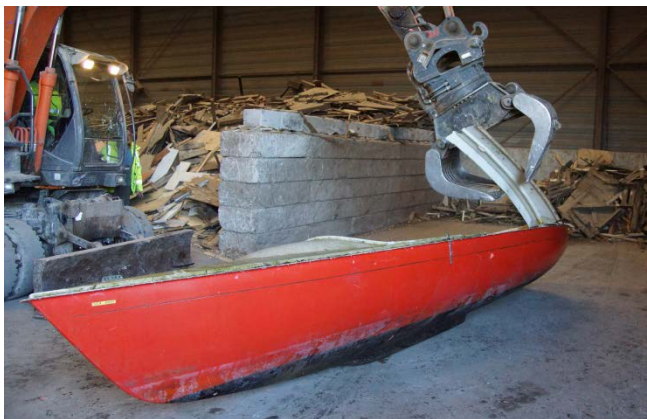
In dit derde KIEM-VANG project is onderzocht wat er nodig is om een EoL composiet jachtromp te verwerken tot stroken en er is onderzocht wat deze stroken in een nieuw product bijdragen aan de sterkte en stijfheid.

In dit hoofdstuk wordt beschreven welke processtappen er nodig zijn om een composiet jachtromp te verwerken tot stroken. Bootjesloperij 'Het Harpje' heeft hiervoor een jachtromp van 6 meter lengte beschikbaar gesteld.

DEMONTEREN JACHT

Een EoL jacht wat binnenkomt op de werf wordt eerst volledig ontmanteld, zie Figuur 3. Alle herbruikbare, waardevolle en recyclebare onderdelen worden verwijderd, voorbeelden hiervan zijn onder andere masten, aandrijving, verlichting, RVS, aluminium en andere metalen onderdelen. Herbruikbare onderdelen kunnen verkocht worden aan jachteigenaren die op zoek zijn naar specifieke onderdelen. Alle recyclebare onderdelen worden verkocht aan recyclebedrijven.

Nadat alle waardevolle onderdelen verwijderd zijn blijft er een composiet romp over. De composiet romp die beschikbaar gesteld is voor dit project, bestond niet volledig uit composiet. Moeilijk verwijderbare onderdelen, onderdelen die verwerkt waren in het dek of de romp, waren niet gedemonteerd. De verzwaarde kiel was ook niet gedemonteerd. Deze bestond onder andere uit stalen ponsdoppen en beton.



FIGUUR 3, POLYESTER BOOTROMP

Leeggewicht van de romp was 490 kg. Met behulp van een graafmachine met knijper is de boot in een half uur verkleind tot delen. Het resultaat was een drietal fracties:

- grote delen ($> 0,25 \text{ m}^2$) 335 kg
- kleine delen ($< 0,25 \text{ m}^2$) 15 kg
- restafval 140 kg

Het hoge gewicht van het restafval komt voornamelijk door de ponsdoppen en het beton in de kiel. Verder bestond het restafval uit hout en stukken schuim.

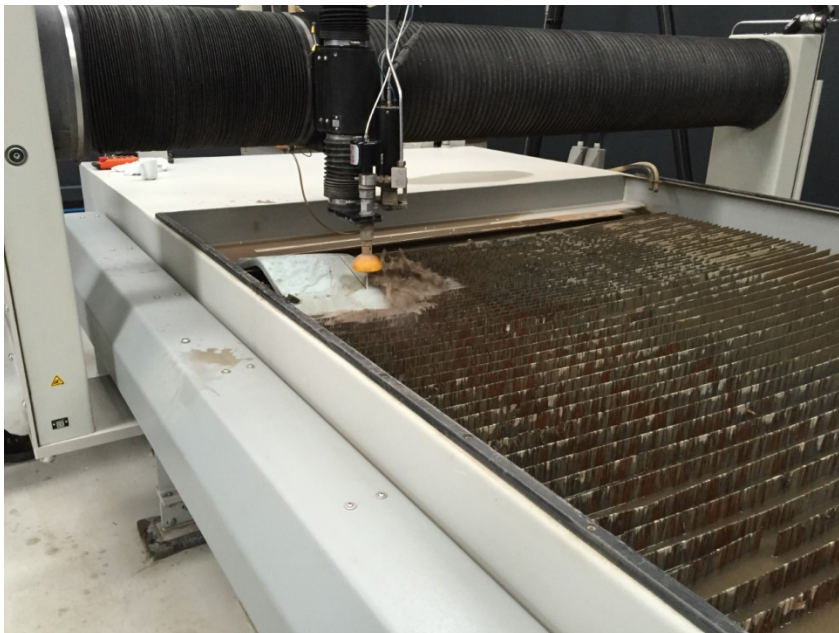
VERWERKEN TOT STROKEN

De delen van de boot moesten verkleind worden tot bruikbare stroken. Aangezien de stukken romp niet uit zuiver composiet bestaan, moest een techniek gevonden worden die tegelijkertijd meerdere soorten materiaal kan verwerken. Een techniek waarmee diverse materialen gesneden kunnen worden is waterstraalsnijden. Bij deze techniek wordt water, al dan niet in combinatie met een abrasief middel, onder extreem hoge druk (± 4000 bar) door een opening gepompt. Hierdoor ontstaat een krachtige straal die vrijwel elk materiaal kan snijden, zie

Figuur 4. Voordelen van waterstraalsnijden zijn een constante hoge kwaliteit snede zonder bramen en geen warmte inbreng. Het ontbreken van warmte inbreng voorkomt vervorming of verkleuring tijdens het snijproces. Materialen die niet bestand zijn tegen kortstondig contact met water, zoals papier, karton en zacht hout, zijn niet geschikt om te snijden. Materialen die reageren met water en gehard glas kunnen ook niet gesneden worden. Ten opzichte andere bewerkingen, zoals lasersnijden, plasmasnijden, verspanen en stansen, kan waterstraalsnijden een bredere range materialen en veel grotere diktes materiaal snijden.

In samenwerking met IWE is onderzocht of deze techniek voor de beoogde toepassing gebruikt kan worden. Uit de verkleinde stukken boot zijn exemplaren gezocht die moeilijkheden zouden kunnen geven bij het snijden. Dit waren stukken met opstaande randen en metalen delen. De test is uitgevoerd met een OMAX watersnijmachine. Er worden drie moeilijkheden knelpunten verwacht.

1. Snijden van materiaalcombinaties (composiet en metaal).
2. Snijden van meerdere lagen composiet.
3. Snijden zonder abrasief middel.



FIGUUR 4, WATERSTRAALSNIJMACHINE

SNIJDEN VAN MATERIAALCOMBINATIES

In het geval van de composiet bootramp is de snijsnelheid afhankelijk van het hardste deel in het te snijden onderdeel. De snijsnelheid is geen aanpasbare parameter in de software. De software bepaalt zelf de snijsnelheid op basis van materiaal, dikte van het materiaal en de vereiste nauwkeurigheid. Snijsnelheden hoger dan 4,5 m/min zijn mogelijk, maar daarvoor is een extra pakket maatregelen voor de machineveiligheid vereist. In Figuur 5 is een RVS-strip van 1 mm dik bevestigd op de composiet bootramp. Dit deel is lastig te verwijderen en dus achtergebleven op de bootramp.



FIGUUR 5, COMPOSIT DEEL MET RVS-DEEL



FIGUUR 6, COMPOSIT DEEL MET RVS-DEEL

De rechtersnede uit 5 is gesneden met 4,5 m/min. Te zien is dat de randen wat rafelig zijn en de RVS-strip is gekerfd. De linkersnede is gesneden met 2,5 m/min. De randen van het composiet zijn netter en de RVS-strip is ook geheel doorgesneden.

Bij opstaande randen komt het probleem naar voren dat de waterstraal afbuigt op de rand. Een RVS U-profiel van 15 mm hoog is gesneden met een snijsnelheid van 0,25 m/min. Het resultaat is te zien in Figuur 6. Het profiel is tot de helft van de hoogte gesneden waarna de waterstraal omhoog van de buitenzijde naar de binnenzijde van het profiel. Om dit profiel toch te kunnen snijden zou de snijsnelheid nog lager moeten.

SNIJDEN VAN MEERDERE LAGEN

Gezien het feit dat composiet relatief eenvoudig te snijden is, is gekeken of er meerdere lagen van de composiet bootramp, zonder metalen onderdelen, in één keer te snijden zijn. Er zijn een aantal delen willekeurig op elkaar gelegd, zoals te zien in Figuur 7.



FIGUUR 7, SNIJDEN VAN MEERDERE DELEN

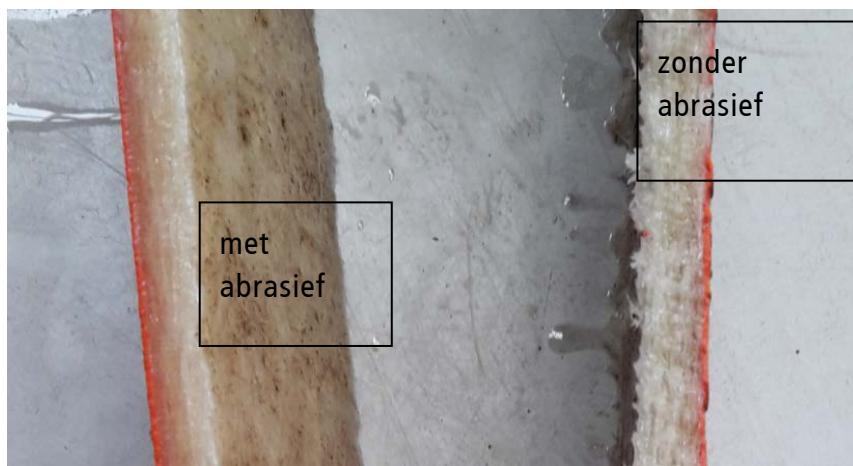
Het bleek mogelijk om meerdere lagen materiaal in één keer te snijden. Echter wanneer er ruimte is tussen de afzonderlijke lagen verliest de waterstraal snijkracht. In lucht gaat de waterstraal divergeren en na het snijden van één laag kan de straal ook van richting veranderen. Het veranderen van richting en afnemen van snijkracht is te zien in Figuur 8. Het verloop van de snijlijn is grillig en op sommige plaatsen is het materiaal niet volledig gesneden.



FIGUUR 8, SNIJDEN VAN MEERDERE LAGEN COMPOSIT

SNIJDEN ZONDER ABRASIEF

Waterstraalsnijden kan ook zonder abrasief middel. Hiermee verliest de waterstraal een groot deel van de snijdende werking, maar dit maakt het proces wel goedkoper. Tot ongeveer 10 mm composiet kan zonder abrasief middel gesneden worden. Het verschil in snijden met abrasief middel is dat de snijlijn rafelig wordt. Het verschil is te zien in Figuur 9.



FIGUUR 9, SNIJLIJNEN VAN COMPOSITET DAT GESNEDEN IS MET EN ZONDER ABRASIEF MIDDEL

Voor de verwerking van de stroken in de nieuwe producten is de ruwe snijlijn waarschijnlijk een voordeel. Hierdoor kan mogelijk een betere hechting verkregen worden tussen de composiet delen en de hars.

KOSTENANALYSE

Voor het verkleinen van de jachtromp in delen die waterstraalgesneden kunnen worden is gebruikt gemaakt van een mobiele kraan met een knipper. Bij de hiervoor beschreven test is een bootromp van 490 kg verkleind in 30 minuten. Dit leverde uiteindelijk 350 kg bruikbaar polyester op. De verwachting is dat bij grootschaliger uitvoeren 1000 kg bruikbaar polyester per uur opgeleverd kan worden. Dit zijn 2 á 3 bootjes per uur.

Uitgaande van een uurtarief van € 60,- (excl. BTW) kost het verkleinen € 0,06/kg. Eventuele kosten voor het afvoeren van het niet bruikbare deel van de polyester jachten zou gedekt kunnen worden door het hanteren van een storttarief. Het bleek dat ongeveer 25% van het gewicht van een polyester jacht bestaat uit niet bruikbaar polyester. Het storten van dit restafval kost ongeveer € 200/ton. Stortkosten voor polyester jachten zouden in elk geval de stortkosten voor het restafval moeten dekken, en uitgaande van 25% restafval liggen deze stortkosten rond de € 50/ton.

Huidige prijzen voor het storten van polyester afval varieert van plaats tot plaats. De bedragen liggen tussen de € 100 en € 150 per ton.

Bij meerdere polyester jachten met een lengte tot 6 meter is de dikte gemeten. Het gemiddelde hiervan was 6 mm. Bij een soortelijk gewicht van 1600 kg/m³ en een dikte van 6 mm geeft dit 10 m² bootromp per 100 kg.

Uitgaande van stroken van 40 mm breed die in dit onderzoek gebruikt zijn, moet voor elke vierkante meter 25 m gesneden worden.

Met een snijsnelheid van 4,5 m/min kan er in een uur 270 m gesneden worden.

Dit komt neer op ongeveer 10 m² per uur. Uit de hiervoor beschreven test bleek dat het mogelijk is meerdere lagen in één keer te snijden. Uitgaande van 2 lagen per keer kan er dus 20 m² per uur tot stroken van 40 mm breed gesneden worden. Dit komt overeen met 200 kg bootromp.

Commerciële uurtarieven voor het gebruik van een watersnijder met operator variëren tussen € 120,- en € 200,- (excl. BTW) per uur. Voor de analyse wordt een uurtarief van €120,- gehanteerd omdat dit tarief vaak wordt tegengekomen.

De kosten voor het snijden van stroken van 40 mm breed, gebruik makend van hierboven genoemde getallen zijn dus $\text{€ } 120,- / 200 \text{ kg} = \text{€ } 0,60/\text{kg}$.

De totale kosten voor het verkleinen en het versnijden tot stroken zijn €0,66/kg.

6. Toegevoegde waarde van stroken in een nieuw product

In dit hoofdstuk wordt beschreven in welke mate stroken bijdragen aan sterkte en stijfheid in een nieuw product. Eerst wordt beschreven wat voor proefstukken gemaakt zijn en hoe deze vervaardigd zijn. Daarna worden de testen en de testresultaten beschreven.

STROKEN IN PROEFSTUKKEN

Wanneer bootjes tot stroken gezaagd worden zijn deze stroken niet uniform van vorm. Tevens zal de afwerking en staat van de vermalen en gesneden booten invloed hebben op de sterkte en stijfheid van een nieuw product. Om deze invloeden uit te sluiten en voornamelijk de invloed van stroken te meten is ervoor gekozen om handmatig stroken te vervaardigen ten behoeve van de proefstukken. Deze stroken hebben uniforme afmetingen en oppervlaktekwaliteit. De stroken zijn gebruikt als kernmateriaal van de proefstukken. De proefstukken zijn gezaagd uit planken van 1000x300x23 mm.

OPBOUW PLANKEN

Voor het maken van proefstukken zijn planken gemaakt met behulp van een luchtdicht gelaste stalen mal. In deze mal zijn planken gemaakt door middel van vacuüminjectie. De planken zijn opgebouwd als een sandwich met huiden van ± 2 mm en een kern van 20 mm. De huid van alle planken bestaat uit Polymat 450/450. Dit is een mat die bestaat uit 2 lagen Chopped Strand Mat (CSM) van 450 gr/m² die aan elkaar gestikt zijn op een naald gebonden polypropyleen kern. De gebruikte hars is een orthophtaalzuur polyester voor injectie. De kern is de variabele in alle planken. Technical Data Sheets (TDS) van gebruikte materialen staan in de bijlage. Er planken gemaakt met kernen van PET-, PU-schuim en hout als referentie. De overige kernen zijn gemaakt met stroken. De stroken zijn gezaagd uit een gelamineerde plaat (hand lay-up), bestaande uit 6 lagen CSM van 450 gr/m² met aan beide zijden van het laminaat peel-ply voor een uniforme ruwheid.

Een Polymat is op maat geknipt en in de mal gelegd, waarna een kern is aangebracht. Vervolgens is de kern toegedekt met Polymat.

Nadat de randen voorzien zijn van tacky-tape, zijn de aanvoerslang voor de hars en de afvoerslang voor het vacuüm aangebracht. Daarna is de mal toedekt met vacuümfolie en is gecontroleerd of het deze luchtdicht afsloot.

Na de injectie heeft de hars minimaal 16 uur kunnen uitharden en is de plank vervolgens gelost uit de mal.



FIGUUR 10, STROKEN GESTAPELD IN MAL(1), AANBRENGEN VACUÛMFOLIE(2), INJECTIE(3)

PLANKEN MET STROKEN

In theorie leveren langere stroken een hogere bijdrage aan de sterkte en stijfheid.

Om te bepalen wat de invloed is van de lengte van de stroken op de sterkte en stijfheid van een nieuw product zijn de stroken in vier verschillende lengtes gezaagd. De lengte van de stroken is 40, 80, 200 en 1000 mm. Alle stroken hebben een breedte van 20 mm en een dikte van 5 mm. De opbouw van de kern met deze stroken is 4 lagen dik (totale dikte 20 mm). De stroken zijn in de lengterichting van de plank in halfsteensverband op elkaar gestapeld. Van de stroken 40 mm is een variant gemaakt waarbij geen peel-ply is toegepast om het effect hiervan op de hechting te bezien.

Tevens is er een variant gemaakt waarbij de stroken ook in de lengte richting liggen maar 90° gedraaid zijn om hun lengteas. Deze kern bestaat uit 1 laag van 20 mm dik waarbij de stroken in halfsteensverband gelegd zijn. De lengte van de stroken is 200 mm. Hierbij is ook een variant gemaakt waarbij geen peel-ply is toegepast om het effect op de hechting te bezien.

De buitenzijde van polyester jachten hebben een glad oppervlak. Het is niet vanzelfsprekend dat er een goede hechting verkregen wordt tussen gladde delen en de hars. Vanuit een financieel oogpunt is interessant om zo min mogelijk behandelingsstappen toe te passen om tot een nieuw product te komen. Vandaar dat er varianten zonder peel-ply, en dus een glad oppervlak, zijn gemaakt om te praktijk te simuleren.

Hieronder volgt een opsomming van alle verschillende soorten vullingen van de kern:

- PET-schuim van 75 kg/m², ter referentie
- PU-schuim van 40 kg/m², ter referentie
- Beuken multiplex, ter referentie
- Stroken 40x20x5 mm glad
- Stroken 40x20x5 mm ruw
- Stroken 80x20x5 mm ruw
- Stroken 200x20x5 mm ruw
- Stroken 995x20x5 mm ruw
- Stroken van polyester jacht
- Stroken 200x20x5 mm rechtop ruw
- Stroken 200x20x5 mm rechtop glad

De proefstukken zijn uit de planken gezaagd volgens Figuur 11. De nummers één tot en met vijf zijn gebruikt voor de buigproeven. De afmetingen van de proefstukken 1 tot en met 5 zijn gemiddeld (lxbxh) 450x50x23 mm.

Proefstukken 11 tot en met 16 hadden een gemiddelde afmeting van 230x50x23 mm deze zijn gebruikt voor het bepalen van de Inter Laminar Shear Strength (ILSS). Het middendeel van de plank is niet gebruikt vanwege een dikkere huid door overlap van de Polymat.

1	15	16
2	13	14
3	12	11
4	5	

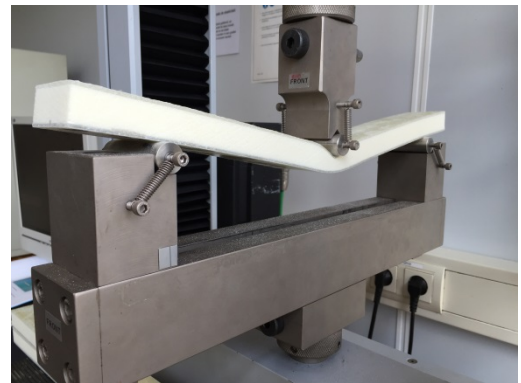
FIGUUR 11, GENUMMERDE PROEFSTUKKEN, DE AFGEBEEDE PLANK HEEFT EEN AFMETING VAN 1000X300 MM

BESCHRIJVING TESTEN

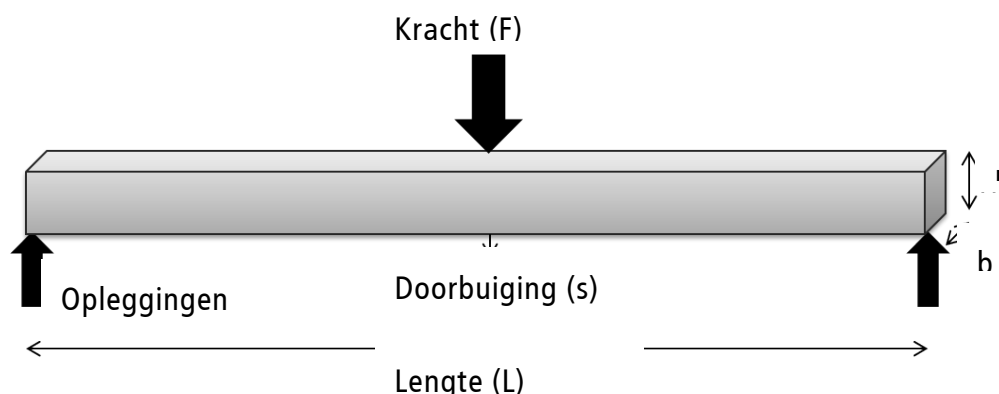
At If opde

Met behulp van een Testometric M500-100 zijn er buigproeven uitgevoerd met de proefstukken 1 tot en met 4 (zie Figuur 12 en Figuur 13). Volgens ISO 178 wordt een overspanning (L) voorgeschreven van $L = (16 \pm 1)h$ dit resulteert bij een proefstuk met een hoogte (h) van 23 mm in een overspanning van 360 mm. Deze afstand is aangehouden voor alle uitgevoerde buigproeven.

De proefstukken zijn minimaal 24 uur geconditioneerd in een ruimte bij een temperatuur van 23°C en een relatieve luchtvochtigheid van 50%.



FIGUUR 12, DRIEPUNTSBUIGPROEF VAN EEN PU SANDWICH



FIGUUR 13, SCHEMATISCH MODEL VAN DE DRIEPUNTSBUIGPROEF

De buigmodulus is bepaald tussen 0,05% en 0,25% rek. De testsnelheid voor de bepaling van de buigmodulus is bepaald volgens Vergelijking 1 uit ISO 178. De testsnelheid zal het proefstuk met ongeveer 1% per minuut rekken (r).

$$v = \frac{rL^2}{600h}$$

VERGELIJKING 1

Een lengte van 360 mm en een hoogte van 23 mm resulteert in een snelheid (v) van 9,4 mm/min wat een aanbevolen testsnelheid oplevert van 10 mm/min. Vervolgens is de test met dezelfde snelheid voortgezet volgens methode A (ISO 178) voor de bepaling van de buigsterkte en de rek bij piek.

Per proefstuk zijn de hoogte (h) en breedte (b) in het midden opgemeten. Deze afmetingen zijn ingevoerd voor de berekening van de buigsterkte (σ) volgens Vergelijking 2 waarbij M het maximaal optredende moment is en W het weerstandsmoment.

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

$$M = \frac{1}{2}FL$$

$$W = \frac{1}{6}bh^2$$

VERGELIJKING 2, 3 EN 4

De rek (ε) is bepaald aan de hand van de verticaal gemeten doorbuiging aan de hand van Vergelijking 3 waarbij ' s ' de verticale doorbuiging is.

$$\varepsilon_f = \frac{6sh}{L^2}$$

VERGELIJKING 5

ILSS

Een deel van de proefstukken zijn opgebouwd uit strookjes die in meerdere lagen op elkaar gestapeld zijn. Om de hechting tussen deze lagen te meten is de interlaminar shear strength (ILSS) of afschuifsterkte bepaald. De test komt overeen met Figuur 13 (driepuntsbuigproef).

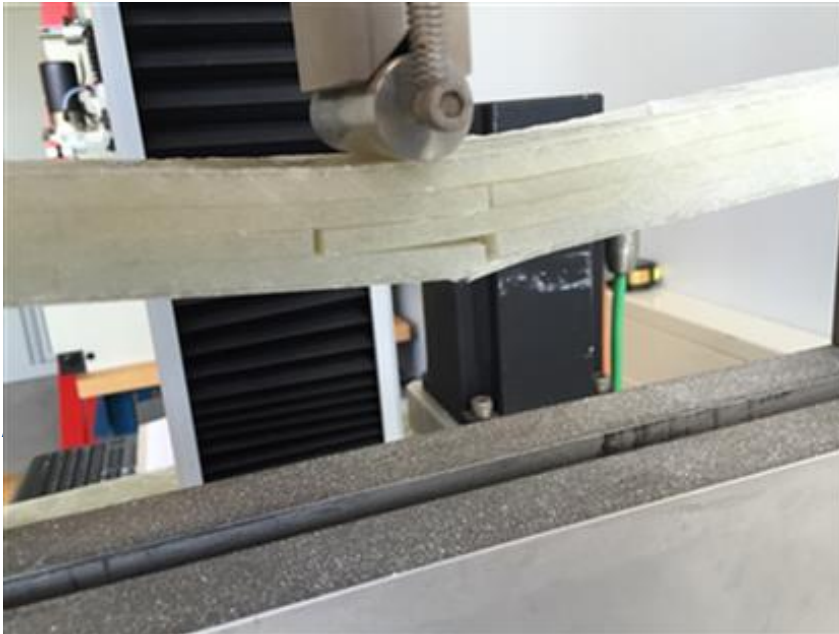


FIGUUR 14, SCHEMATISCH ZIJ-AANZICHT VAN EEN PROEFSTUK DAT DOOR AFSCHUIVING BEZWIJKT

Echter door een de kortere lengte van de overspanning bezwijken de meeste proefstukken onder afschuiving in plaats van breuk (zie Figuur 14 en Figuur 15). De test is uitgevoerd met de proefstukken 11 tot en met 16 van Figuur 11 met een Testometric M500-100. De breedte en hoogte van de proefstukken is in het midden bepaald. De proefstukken zijn minimaal 24 uur geconditioneerd in een ruimte bij een temperatuur van 23°C en een relatieve luchtvochtigheid van 50%. De overspanning (L) is 150 mm en de testsnelheid was 1 mm/min bij afwezigheid van een aanbevolen snelheid voor dit materiaal. De afschuifsterkte is bepaald volgens Vergelijking 6.

$$T = \frac{3}{4} \times \frac{F}{BH}$$

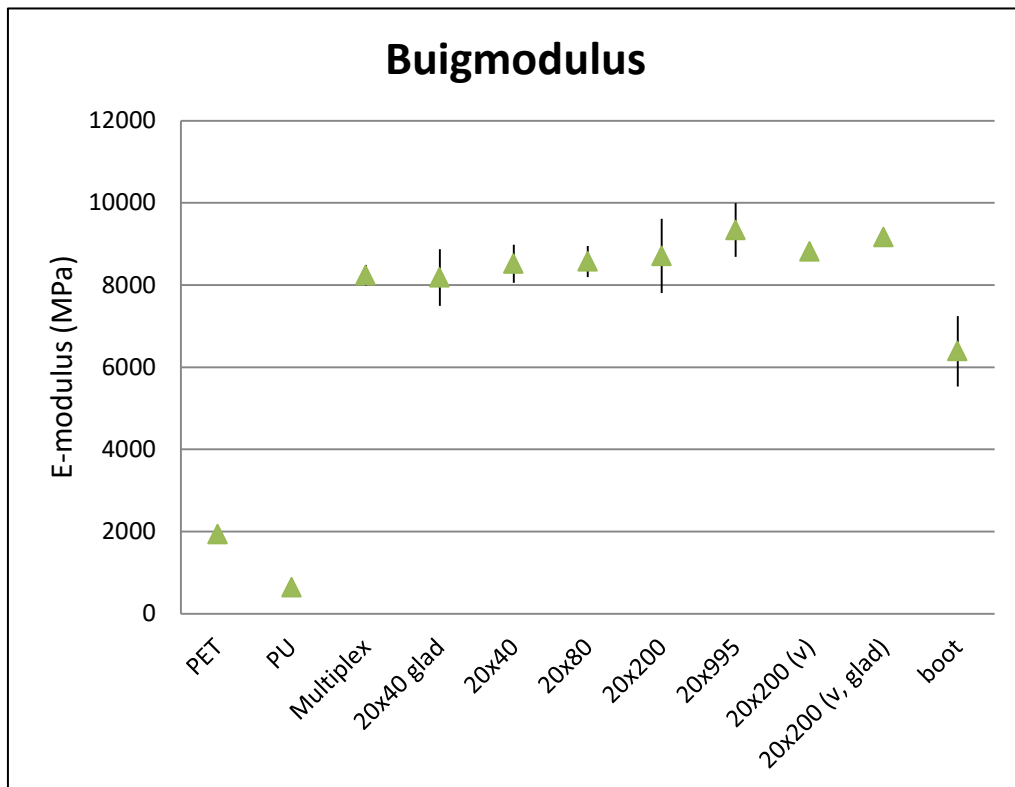
VERGELIJKING 6



FIGUUR 15, ILSS PROEFSTUK BEZWIJKT ONDER AFSCHUIVING

Buigproef

In Figuur 16 tot en met Figuur 19 zijn de resultaten van de buigproeven te zien. De resultaten zijn steeds het gemiddelde van vijf metingen.

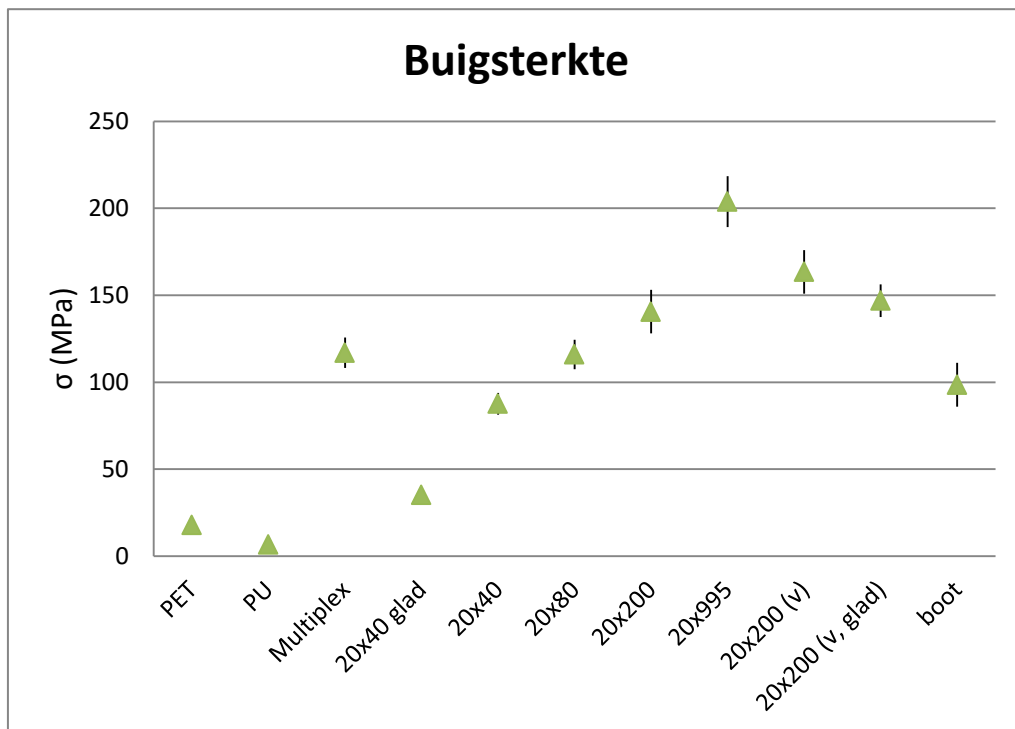


FIGUUR 16, RESULTATEN VAN DE BUIGMODULUS, DE LIJNEN GEVEN EENMAAL DE STANDAARDAFWIJKING WEER.

De sandwich constructies met PET en PU schuim zijn beduidend slapper dan de overige gemeten proefstukken. De proefstukken van de boot hebben een gemiddelde buigmodulus van 6.388 MPa. De overige proefstukken hebben een vergelijkbare stijfheid als de multiplex plaat, tussen 8.185 en 9.340 MPa met overlappende standaardafwijkingen. Om een vergelijking te maken wordt de E-modulus van hout genoemd, bij naaldhout (vuren) is deze 10.800 MPa, bij hardhout (Azobé) is deze bijvoorbeeld 18.600 MPa¹.

De lengte van de stroken lijkt weinig invloed te hebben op de buigstijfheid van de proefstukken. Dit is wel het geval wanneer de buigsterkte vergeleken wordt (Figuur 17). De sterkte neemt duidelijk toe bij grotere stroken. De proefstukken die bestaan uit stroken van 20x995 hebben de hoogste buigsterkte (204 MPa). Dit is beduidend hoger dan de 141 MPa voor 20x200. De proefstukken 'boot' hebben een sterkte (99 MPa) die binnen de standaardafwijkingen valt van 20x40 en 20x80.

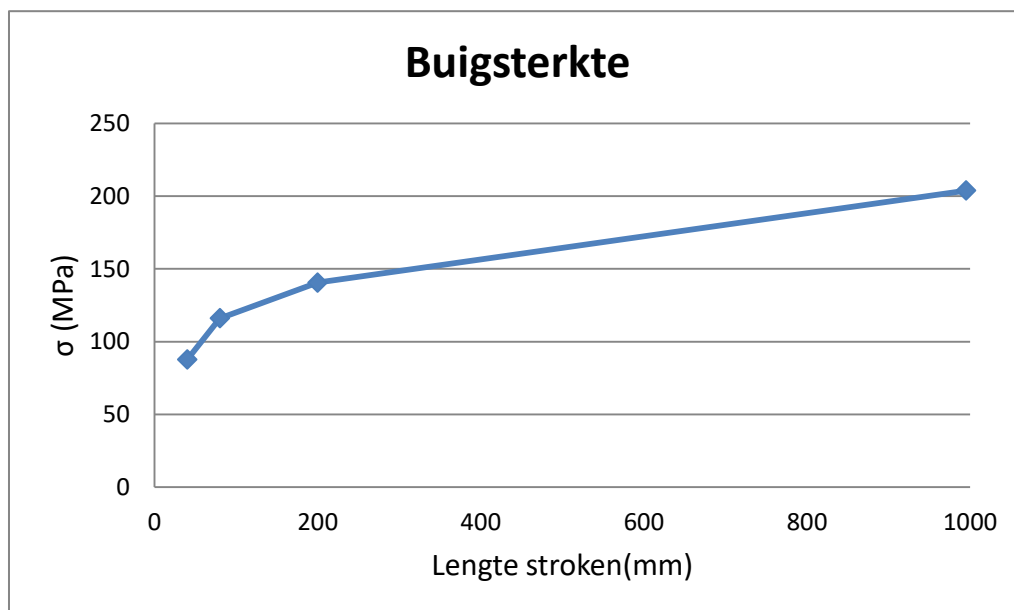
¹ Houtvademecum (Editie 2005)



FIGUUR 17, RESULTATEN VAN DE BUIGSTERKTE, DE LIJNEN GEVEN EENMAAL DE STANDAARDAFWIJKING WEER.

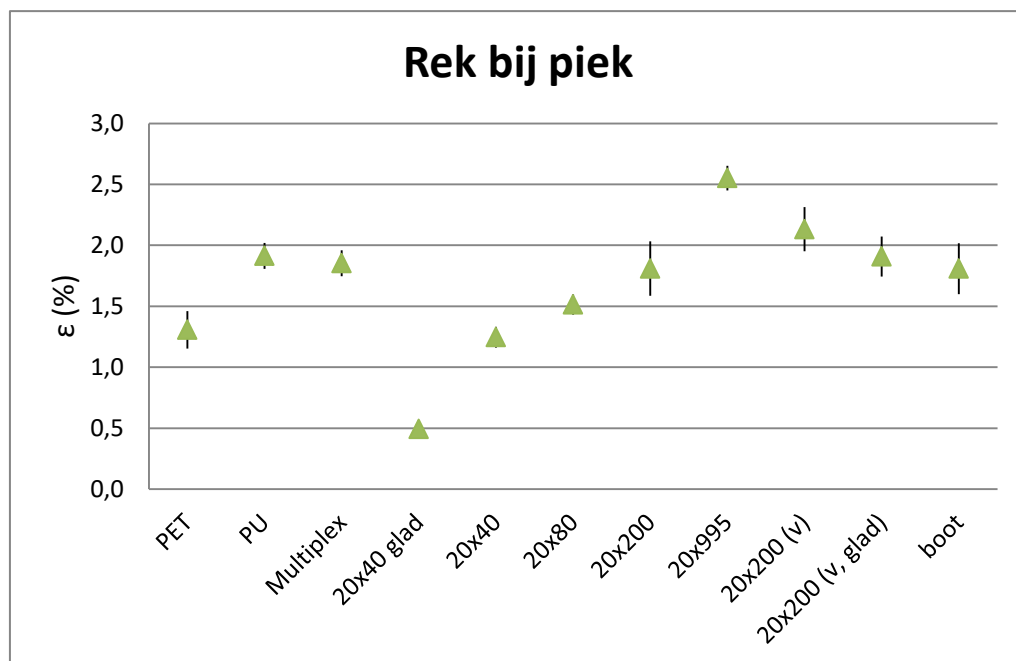
De buigsterkte van naaldhout is bijvoorbeeld 77 MPa (vuren) of 97 MPa (eiken). Bij loofhout (hardhout) ligt deze tussen de 97 MPa (Andira) en 157 MPa (Azobé)². Het blijkt dat de gemeten niet-gladde stroken de sterkte van vuren overtroffen. De buigsterkte van de proefstukken 20x200 en 20x995 zijn vergelijkbaar met, en hoger dan, het genoemde hardhout. In Figuur 18 zijn de buigsterktes van de stroken vergeleken met de lengtes. Het blijkt dat het verschil in buigsterkte groter is tussen 40 en 80 mm dan tussen 80 en 200 mm. De proefstukken die bestaan uit verticaal geplaatste stroken 20x200 (v) hebben een hogere gemiddelde sterkte van de horizontale geplaatste stroken, 163 MPa ten opzichte van 141 MPa.

² Houtvademecum (Editie 2005)



FIGUUR 18, DE BUIGSTERKTE VAN DE PROEFSTUKKEN BESTAANDE UIT STROKEN VAN VERSCHILLENDE LENGTE

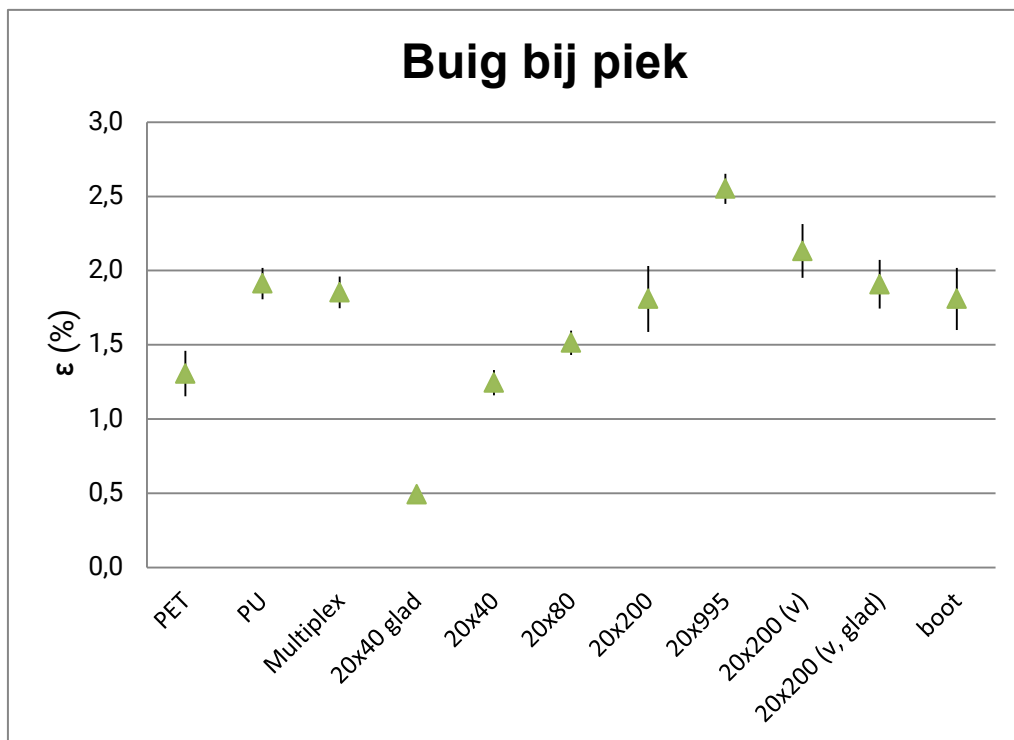
De rek bij piek wordt weergegeven in Figuur 19. De proefstukken die met stroken gevuld zijn geven een vergelijkbare verdeling als de buigsterkte. De proefstukken met langere stroken geven een hogere rek bij piek. Ook valt bij de resultaten op te merken dat bij de proefstukken met een glad oppervlak een lagere buigsterkte en rek bij piek wordt gemeten.



FIGUUR 19, RESULTATEN VAN DE BUIGSTERKTE, DE LIJNEN GEVEN EENMAAL DE STANDAARDAFWIJKING WEER.

ILSS

De resultaten van de ILSS testen staan in Figuur 20. De metingen van de schuim gevulde proefstukken en de verticaal geplaatste stroken zijn niet meegenomen omdat deze niet onder delaminatie bezweken. In die gevallen heeft een ILSS geen betekenis. De 20x995 proefstukken behalen een duidelijk hogere afschuifsterkte. De proefstukken 'boot' behalen een lagere afschuifsterkte. Dit zou verklaard kunnen worden door het gladde oppervlak van de stroken. De 20x40 gladde proefstukken geven nog een lagere afschuifsterkte deze hebben behalve een glad oppervlak ook een kortere lengte.



FIGUUR 20, RESULTATEN VAN DE BUIGSTERKTE, DE LIJNEN GEVEN EENMAAL DE STANDAARDAFWIJKING WEER.

7. Conclusie

In dit onderzoek is een bootramp verkleind tot delen en vervolgens tot stroken. Met deze stroken zijn proefstukken gemaakt waarvan de sterkte, stijfheid en afschuifsterkte bepaald is. Tevens zijn er proefstukken gemaakt met verschillende vullingen en handgelamineerde stroken van verschillende lengtes. Ook hiervan zijn de sterkte, stijfheid en afschuifsterkte bepaald om de invloed van de lengte daarop te kunnen vaststellen.

Waterstraalsnijden blijkt een geschikte techniek te zijn voor het verwerken van composiet bootrompen tot stroken. In Tabel 2 worden de kosten voor het verkleinen van een bootramp tot stroken weergegeven. Het waterstraalsnijden bepaald voor een groot deel de kosten van het verkleinen van de bootrompen.

Processtap	Kosten in €/kg
Verkleinen bootramp m.b.t. graafmachine met knipper	0,06
Waterstraalsnijden tot stroken	0,60
Totaal	0,66

TABEL 2, KOSTEN VOOR HET VERKLEINEN VAN EEN BOOTRAMP

Momenteel kan de vastgestelde besparing in de kosten voor het storten ($\pm$ €0,10/kg) de kosten voor het verwerken tot stroken (€0,66/kg) nog niet dekken.

In het tweede deel van dit onderzoek zijn proefstukken met verschillende vullingen met elkaar vergeleken. De proefstukken met stroken van 20x80 mm en langer leveren vergelijkbare waarden als de multiplex proefstukken wat betreft buigstijfheid, -sterkte, rek bij piek en ILSS. Wanneer de stroken minstens net zo lang zijn als de proefstukken (20x995) blijken er hogere sterktes en rekken te behalen te zijn. De stijfheid van de proefstukken is wat lager dan die van naaldhout, de 20x995 mm proefstukken hebben bijvoorbeeld een stijfheid van 9.340 MPa ten opzichte van 10.800 MPa voor vuren hout. De buigsterkte is echter hoger dan, of analoog met naaldhout. De proefstukken 20x200 mm en 20x995 mm geven vergelijkbare en hogere sterktes als hardhout. Door het verticaal plaatsen van de stroken kan een hogere sterkte en rek behaald worden. De proefstukken met een glad oppervlak geven een lagere buig-, afschuifsterkte en rek bij piek.

Het blijkt mogelijk om met behulp van stroken proefstukken te maken die een hogere buigsterkte hebben dan naald- en loofhout.

8. Reflectie op doelstellingen, opgebouwde kennis en vervolg

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

‘Op welke wijze kunnen end-of-life composiet jachtrampen worden verwerkt tot versterkingselementen die voor het vervaardigen van nieuwe composietproducten kunnen worden gebruikt?’

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

‘Op welke wijze kunnen end-of-life composiet jachtrampen, die altijd naast composiet ook andere materialen bevatten, op een praktisch uitvoerbare en economisch verantwoorde wijze worden verwerkt tot versterkingselementen die geschikt zijn voor hergebruik door deze in te zetten als versterkingselementen voor het vervaardigen van nieuwe composietproducten?’

In de netwerkvorming zijn partijen betrokken die een zinvolle bijdrage kunnen leveren aan dit project door hun kennis en ervaring op het gebied van EoL jachten en verwerkingsmethoden om composietmaterialen te verkleinen. Door jachtontmantelingsbedrijf het Harpje en IWE bij het project te betrekken kon in kaart gebracht worden welke stappen er nodig zijn om een composiet jachtromp te verkleinen tot stroken. Door branchevereniging NJI als projectdeelnemer in dit project is er kennis beschikbaar over het totale probleem in Nederland van de end-of-life composiet jachtrampen.

Reflecterend op het verloop van het project kan gesteld worden dat de doelstelling is behaald en zich vertaald heeft in opgebouwde kennis over het verwerken van composiet jachtrampen tot stroken en in welke mate deze stroken bijdragen aan de sterkte en stijfheid in een nieuw product.

Als aanbeveling wordt gedaan om in een vervolgonderzoek het toepassen van vernalen materiaal verder te onderzoeken, omdat de verwachting is dat dit een financieel aantrekkelijker alternatief is.

Bijlagen

- A) Verslag van projectbijeenkomst
- B) TDS Injectiehars en Polymat
- C) Meetgegevens buig- en ILSS-testen
- D) Literatuurbronnen en referenties

A) **VERSLAG PROJECTBIJEEENKOMST**

Betreft: Startbijeenkomst; Hergebruik van thermohardende composieten:
Onderzoek van de verwerking van end-of-life producten tot
versterkingselementen

Datum: Woensdag 20 januari 2016, 14.30 – 15.30

Locatie: IWE, Weststringdijk 24 A, Nieuwerkerk aan de IJssel

Van: Albert ten Busschen (Windesheim)

Aan: Bram van der Pijll (Bootjessloperij 'Het Harpje')
Gerwin Klok (Nederlandse Jachtbouw Industrie)
Remco van der Hoek (IWE)

14.30 uur Welkom

Korte voorstelronde projectdeelnemers
Uitleg werkwijze KIEM-VANG-projecten
Uitleg rolverdeling deelnemers in dit KIEM-VANG-project

14.45 uur Uitleg principe hergebruik van thermoharde composieten

Demo opbouw profiel
Belang van een andere aanpak voor end-of-life composietproducten

15.00 uur Planning van werkzaamheden voor de komende tijd

Selectie van geschikte end-of-life composietjacht voor het onderzoek
Verkleining van de composietromp tot handzame plaatdelen

15.30 uur Einde



B) TECHNICAL DATA SHEETS INJECTIEHARS EN POLYMAT

Technical data sheet

DISTITRON® 3501 LS1

First emission Erste Ausgabe	05/07/2010
Resin type Harztype	Orthophthalic Orthophthalsäure
Special features Besondere Eigenheiten	Preaccelerated Vorbeschleunigt
Processing Verfahren	Casting Giessen
Note Anmerkung	

Delivery specification of the liquid resin Distitron® 3501LS1 Lieferspezifikationen des flüssigen Harzes Distitron® 3501LS1			
Properties Eigenschaften	Test method Testmethode	Unit Einheit	Value Wert
Viscosity RVF at 25°C, s 2 rpm 20 Viskosität RVF bei 25°C, s 2 rpm 20	GM025	mPa.s	140 - 200
Monomer content Monomergehalt	RS06C	%	38 - 43
Curing at 20°C with Reaktivität bei 20°C mit	2% MEKP		
Gel time Gelzeit	RS08G	min.sec	52.00 - 63.00
Curing time Härtungszeit	RS08G	min.sec	67.00 - 87.00
Maximum temperature Maximale Temperatur	RS08G	°C	125 - 155
Properties of the liquid resin Distitron® 3501LS1 Eigenschaften des flüssigen Harzes Distitron® 3501LS1			
Appearance - colour Aussehen - Farbzahl	RS13F	-----	Light violet Hellviolett
Stability at 20°C in the dark Stabilität bei 20°C im Dunkeln	RS07G	months Monate	4



Properties of cured unreinforced resin Distitron® 3501LS1 Eigenschaften des gehärteten nicht verstärkten Harzes Distitron® 3501LS1			
Casting preparation: Gießvorbereitung: Hardner type and amount: Härtertyp u. Menge: 1.5% MEKP Promotor type and amount: Beschleunigertyp u. Menge: Curing cycle: Härtungszyklus: 24h at 23°C + 2h at 100°C + 1h at 100°C 24h bei 23°C + 2h bei 100°C + 1h bei 100°C			
Properties Eigenschaften	Test method Testmethode	Unit Einheit	Typical value Typischer Wert
Tensile strength Zugfestigkeit	ISO 527-1993	MPa	65
Tensile modulus Zugmodul	ISO 527-1993	MPa	4100
Elongation at break Bruchdehnung	ISO 527-1993	%	2.0
Flexural strength Biegefestigkeit	ISO 178-2001	MPa	120
Flexural modulus Biegemodul	ISO 178-2001	MPa	4200
Heat deflection temperature Wärmeverformungstemperatur	ISO 75 - 2:2004 Method A	°C	56
Barcol hardness at 25°C Barcol Härte bei 25°C	ASTM D 2583-01	Unit Einheit	45

The information contained in this brochure is correct and accurate and is based on our technical and scientific knowledge at the date of going to press.

Such information relates only to use of the products in the pure state and for the purposes stated herein.

Nothing stated here may be taken or construed as implying a breach of any existing patents.

Nor is any warranty, whether expressed or implicit, given with regard to the results to be obtained through the use of the aforesaid information.

Die in dieser Broschüre enthaltene Information ist korrekt und genau und basiert auf unserer technischen und wissenschaftlichen Kenntnis zum Zeitpunkt des Drucks.

Solche Information bezieht sich nur auf den Gebrauch des Produkts in reinen Zustand und für die hierin angegebenen Zwecke. Nichts von dem hier angegebenen darf genommen oder ausgelegt werden als Bithaltung einen Bruchs jeglicher bestehender Patente. Noch wird jegliche Garantie, ob ausdrücklich oder impliziert, in Hinsicht auf die durch Verwendung der zuvor gesagten. Information zu erhaltenden Ergebnisse gegeben.

POLYMAT HI-FLOW – M03P CORE

Product Description

A mechanically stitch bonded 3-dimensional reinforcement fabric consisting of a deformable, engineered thermoplastic core sandwiched between two layers of chopped strand E-glass fibre.

This product is designed for close moulding processes such as RTM, RTML, SRIM & Vacuum Infusion.

1.1.1.1 Product Features

- Specifically designed for parts requiring a high cosmetic finish
- Designed to offer fast resin flow over a range of resin viscosities and quick wetting out capacity.
- Suitable for filled and high viscosity resins.
- Core type is tailored to cavities of 2-4mm range.
- E-glass with a sizing compatible with Polyester, Vinyl ester and epoxy resin systems.
- Good conformability, even for complex or high drape parts
- Reduced back-pressure during resin injection typically allows for a 10% resin saving to be made.

1.1.1.2 Product List

Product Description	CSM (1) g/m ²	Core g/m ²	CSM (2) g/m ²	Total glass g/m ²
PM/300/M03P/300	300	140	300	600
PM/450/M03P/450	450		450	900
PM/600/M03P/600	600		600	1200
PM/750/M03P/750	750		750	1500
PM/900/M03P/900	900		900	1800

- The product CSM weights can be tailored to customer's exact requirements.
- Fabric widths range from 500 – 3000mm.
- Area weight of CSM is measured against BS ISO 3374:2000

1.1.1.3 Packaging

Each roll is individually wrapped in polythene, is wound on a 77mm (3") internal diameter cardboard tube, and individually labelled for identification.

Rolls are typically palletised with 6 rolls per pallet.

Products should be stored in cool and dry conditions.

C) MEETGEGEVENS BUIGEN ILSS-TESTEN

Resultaten buigproeven																							
Proefstuk nr.	Buigmodulus @ 0,05 - 0,25%	Buigsterkte	Rek bij piek	Breedte	Dikte	Proefstuk nr.	Buigmodulus @	Buigsterkte	Rek bij piek	Breedte	Dikte	Proefstuk nr.	Buigmodulus @	Buigsterkte	Rek bij piek	Breedte	Dikte	Proefstuk nr.	Buigmodulus @	Buigsterkte	Rek bij piek	Breedte	Dikte
	MPa	MPa	%	mm	mm		MPa	MPa	%	mm	mm		MPa	MPa	%	mm	mm		MPa	MPa	%	mm	mm
1101	1902	17,3	1,26	48,8	23,3	5101	8607	116,8	1,52	50,4	22,6	9101	9000	189,7	2,46	49,0	22,8						
1102	301	9,2	3,42	50,6	23,3	5102	8304	102,1	1,43	51,6	22,5	9102	8751	187,8	2,52	49,5	22,3						
1103	1843	16,7	1,19	49,3	23,3	5103	8404	117,0	1,54	49,9	22,6	9103	9553	212,9	2,63	48,9	21,5						
1104	2031	19,7	1,53	49,6	23,5	5104	9213	119,6	1,45	51,0	22,6	9104	10382	221,0	2,46	48,9	21,5						
1105	1958	18,2	1,25	49,3	23,1	5105	8334	124,8	1,63	50,7	22,3	9105	9014	207,7	2,69	49,0	22,2						
2101	653	6,9	1,73	50,7	23,6	6101	8544	92,8	1,28	50,7	24,4	10101	8649	144,2	1,87	50,3	24,3						
2102	638	7,2	2,22	50,4	23,9	6102	7913	77,8	1,19	49,7	25,2	10102	8727	173,8	2,32	50,3	24,0						
2103	641	6,4	1,63	50,0	23,4	6103	8634	85,4	1,20	51,7	24,2	10103	8933	159,9	2,07	50,1	24,5						
2104	652	6,6	1,94	51,0	23,5	6104	8322	92,5	1,38	50,7	23,1	10104	9022	164,5	2,12	50,4	24,3						
2105	618	6,7	2,04	50,5	23,6	6105	9181	89,7	1,18	50,5	23,5	10105	8757	174,8	2,29	50,0	24,7						
3101	7940	122,6	1,97	51,2	23,3	7101	9896	134,3	1,50	48,4	20,7	13101	9374	145,4	1,81	50	24,1						
3102	8621	116,5	1,86	51,5	23,2	7102	9289	146,1	1,75	48,6	20,4	13102	9189	154,5	2,02	50,1	24,8						
3103	8109	109,1	1,82	50,3	23,4	7103	8398	131,9	1,84	48,5	21,0	13103	9035	133,3	1,73	50,6	24,6						
3104	8256	128,4	1,93	49,0	23,3	7104	7560	160,1	2,12	49,4	20,4	13104	9279	144,5	1,85	49,5	24,6						
3105	8267	108,0	1,70	51,2	23,3	7105	8389	130,5	1,84	49,0	21,3	13105	8935	156,9	2,13	50	24,7						
4101	6978	33,5	0,57	50,9	23,8	8101	7229	104,7	1,65	48,8	27,7												
4102	8506	37,8	0,51	50,7	23,0	8102	6873	95,6	1,53	48,1	28,6												
4103	8610	34,2	0,45	51,0	22,1	8103	6569	94,4	1,75	49,0	29,9												
4104	8589	33,0	0,43	50,9	22,0	8104	6274	115,8	2,09	48,5	30,9												
4105	8241	37,6	0,50	50,8	22,6	8105	4996	82,0	1,77	48,9	29,0												

Resultaten ILSS																			
Proefstuk nr.	ILSS	Kracht	Breedte	Dikte	Proefstuk nr.	ILSS	Kracht	Breedte	Dikte	Proefstuk nr.	ILSS	Kracht	Breedte	Dikte	Proefstuk nr.	ILSS	Kracht	Breedte	Dikte
	MPa	N	mm	mm		MPa	N	mm	mm		MPa	N	mm	mm		MPa	N	mm	mm
3201	7,94	12910	51,4	23,8	7201	8,71	12400	50,9	21,0	9201	15,00	22750	51,0	22,3	9201	15,00	22750	51,0	22,3
3202	9,01	13630	48,4	23,5	7202	8,97	11760	46,8	21,0	9202	15,39	21840	49,5	21,5	9202	15,39	21840	49,5	21,5
3203	8,26	13220	51,0	23,6	7203	9,31	12920	49,8	20,9	9203	15,95	24180	50,3	22,6	9203	15,95	24180	50,3	22,6
3204	8,89	14030	48,9	24,2	7204	7,90	10420	47,7	20,8	9204	11,84	18050	50,8	22,5	9204	11,84	18050	50,8	22,5
3205	7,56	11910	50,7	23,3	7205	7,43	9703	48,7	20,1	9205	16,05	23740	49,3	22,5	9205	16,05	23740	49,3	22,5
4201	2,44	3763	51,3	22,6	8201	4,08	6959	48,3	26,5										
4202	2,24	3308	50,3	22,0	8202	3,66	6522	50,0	26,7										
4203	2,74	4168	50,3	22,7	8203	3,70	6528	49,0	27,0										
4204	2,23	3422	50,9	22,6	8204	3,87	6849	48,5	27,4										
4205	2,32	3658	52,3	22,6	8205	6,50	11540	49,7	26,8										
5201	8,44	13310	51,2	23,1															
5202	6,75	10420	51,0	22,7															
5203	8,57	13050	49,9	22,9															
5204	8,11	12400	50,6	22,7															
5205	8,68	13610	51,6	22,8															
6201	4,55	7538	50,8	24,5															
6202	6,15	9959	51,0	23,8															
6203	7,47	12340	50,6	24,5															
6204	7,51	12150	50,6	24,0															
6205	6,53	10360	50,6	23,5															

D) LITERATUURBRONNEN EN REFERENTIES

ISO 178:2010 | Determination of flexural properties

NEN-EN-ISO 14130:1997 | Determination of apparent interlaminar shear strength by short beam methode.

Dr. Ir. A. ten Busschen, *Structural Re-Use of End-of-Life Thermoset Composites*,
Powerpoint presentatie SAMPE Liege

Ing. P. Schreuder, *Composietprestatie bij hergebruik in de vorm van stroken*, Powerpoint
presentatie symposium 'Hergebruik van thermohardende composieten'

Houtvademecum (Editie 2005) ISBN 90-12-10815-2

SAMPE Europe Conference 2016, Liege, september 2016

Symposium '*Hergebruik van thermoharde composieten*', Zwolle, oktober 2016

Contactgegevens

Lectoraat Kunststoftechnologie

Campus 2-6

8000 GB Zwolle

T: 088 – 469 9700

E: kunststoftechnologie@windesheim.nl

I: www.windesheim.nl/kunststoftechnologie

Contactpersonen

Margie Topp

Lector

T: 088 – 469 7203

E: m.topp@windesheim.nl

Albert ten Busschen

Associate lector

T: 088 – 469 8541

E: a.ten.busschen@windesheim.nl

In samenwerking met



Lectoraat Kunststoftechnologie

Hergebruik van thermohardende composieten

Prestaties bij hergebruik in de vorm van stroken

Over het lectoraat Kunststoftechnologie

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