

## Departement Industriële wetenschappen en technologie

Opleiding industrieel ingenieur elektromechanica

Optie elektromechanica (LV)

---

# Recycleerbaarheid van PP-PP composieten uit de X'Lite koffer van Samsonite

Eindwerk aangeboden tot het  
behalen van het diploma van  
industrieel ingenieur in elektromechanica (master)

door **Kim Vangilbergen**

o.l.v. Rik Hillaert, Samsonite Europe NV  
Ignaas Verpoest, K.U.Leuven  
Hilde Bonte, K.H.B.O.

Academiejaar 2006 - 2007

**talent@work**



## Departement Industriële wetenschappen en technologie

Opleiding industrieel ingenieur elektromechanica

Optie elektromechanica (LV)

---

# Recycleerbaarheid van PP-PP composieten uit de X'Lite koffer van Samsonite

Eindwerk aangeboden tot het  
behalen van het diploma van  
industrieel ingenieur in elektromechanica (master)

door **Kim Vangilbergen**

o.l.v. Rik Hillaert, Samsonite Europe NV  
Ignaas Verpoest, K.U.Leuven  
Hilde Bonte, K.H.B.O.

Academiejaar 2006 - 2007

**talent@work**

Mededeling:

“Deze eindverhandeling was een examen; de tijdens de verdediging vastgestelde fouten werden niet gecorrigeerd.

Gebruik als referentie in publicaties is toegelaten na gunstig advies van de KHBO-promotor, vermeld op het titelblad.”

---

**ONDERWERP :**

**RECYCLEERBAARHEID**

**VAN DE PP-PP COMPOSITIETEN UIT**

**DE X'LITE KOFFER VAN SAMSONITE**

---



Figuur 1: X'Lite koffers in de showroom bij de Samsonite receptie in Oudenaarde

	Naam	Klas/Afdeling	Datum
Gemaakt door :	KIM VANGILBERGEN	2BMLV	07/05/2007
Goedgekeurd door :	IR. HILDE BONTE	ELEKTROMECHANICA	

---

## Alfabetische lijst van gebruikte afkortingen en symbolen

---

ABS	Acrylonitril butadien styreen
bv.	bijvoorbeeld
CAD	Computer Aided Design
CEO	Chief Executive Officer (algemeen directeur)
CIT	Departement Chemische IngenieursTechnieken
e.a.	en andere
e.d.	en dergelijke
enz.	enzovoort
FRP	Fibre Reinforced Plastics
Gpa	gigaPascal
i.f.v.	in functie van
i.v.m.	in verband met
J	Joule
KHBO	Katholieke Hogeschool Brugge Oostende
KUL	Katholieke Universiteit Leuven
m.a.w.	met andere woorden
m.b.v.	met behulp van
MPa	megaPascal
MSDS	Material Safety Data Sheet
MTM	Departement Metaalkunde en Toegepaste Materiaalkunde
nl.	namelijk
nr.	nummer
N.V.	naamloze vennootschap
o.a.	onder andere
PE	polyethyleen
PEEK	polyetheretherketoon
PEI	Polyetherimide
PET	polyethyleentereftalaat
PMA	Departement Werktuigkunde
PP	polypropyleen
PPS	polyphenylene sulfide
PUR	polyurethaan
SEM	Scanning Electron Microscope
stdev	standaarddeviatie
t.e.m.	tot en met
t.o.v.	ten opzichte van
TPU	thermoplastisch polyurethaan
UV	ultraviolet
vnl.	voornamelijk

## **1. INHOUDSOPGAVE**

<b>1. INHOUDSOPGAVE</b>	<b>4</b>
<b>2. WOORD VOORAF</b>	<b>6</b>
<b>3. SAMENVATTING OF ABSTRACT</b>	<b>7</b>
<b>4. INLEIDING</b>	<b>9</b>
<b>4.1 Beknopte geschiedenis van de stageplaats</b>	<b>10</b>
<b>4.2 Beschrijving van het stagebedrijf</b>	<b>12</b>
<b>5. DOEL VAN HET EINDWERK</b>	<b>15</b>
<b>6. THEORETISCHE VOORBESCHOUWING</b>	<b>16</b>
<b>6.1 Kunststoffen algemeen</b>	<b>16</b>
<b>6.2 Wat zijn composieten?</b>	<b>18</b>
<b>6.3 Waarom composieten?</b>	<b>24</b>
<b>6.4 Productietechnieken</b>	<b>26</b>
<b>6.5 CURV®</b>	<b>27</b>
6.5.1 Algemeen	27
6.5.2 Productie van CURV® bij Propex	28
6.5.3 Technical data sheet CURV®	34
6.5.4 Material safety data sheet CURV®	34
<b>6.6 MOPLen EP 1661</b>	<b>34</b>
6.6.1 Technical data sheet	34
6.6.2 Material safety data sheet	34

---

<b>7. PRAKTISCHE UITWERKING</b>	<b>35</b>
7.1 Overzicht opeenvolgende stappen in het Onderzoek	35
7.2 Activiteiten tijdens de stageperiode	35
7.3 Shredderen productie-afval X'Lite koffer	37
7.4 Extrusie geshredderd materiaal	38
7.5 spuitgieten granulaat	41
7.6 Mechanische testen	45
7.6.1 Inleiding	45
7.6.2 Hardheid Shore D	46
7.6.3 Trekproef	50
7.6.4 Kerfslagproef	64
7.6.5 Impacttest	68
7.6.6 Microscopie	73
<b>8. ALGEMEEN BESLUIT</b>	<b>74</b>
<b>9. BIJLAGEN</b>	<b>78</b>
<b>10. LITERATUURLIJST</b>	<b>92</b>
10.1 Gedrukte bronnen	92
10.2 Elektronische bronnen	92



## 2. WOORD VOORAF

Voor de aanvang van mijn voorgezette studies tot Master in de Industriële Wetenschappen had ik reeds een gerichte interesse voor kunststoffen en composieten. Ik heb in het verleden voor het behalen van mijn graduaatsdiploma een eindwerk gemaakt in samenwerking met SABCA Lummen NV over de productie van composietlaminaten met een tapelayer machine. Ik was toen zeer benieuwd naar de fabricagemethoden van de composieten uit de luchtvaartsector. Ook de andere toepassingstechnieken van de composieten in de luchtvaart heb ik toen onder de loep genomen. Na 2 bijkomende opleidingsjaren is mijn interesse voor de kunststoffen en de composieten niet verminderd. Ik ben dan ook van mening dat kunststoffen zeer milieuvriendelijke grondstoffen kunnen zijn in de huidige samenleving. Ik besef goed dat in de moderne maatschappij kunststoffen en composieten meer en meer een zeer belangrijke rol spelen in de hoge levensstandaard van de mens. Zo levert dit eindwerk zijn eigen bijdrage aan de vooruitgang van de kunststof- en composietwereld op wetenschappelijke manier. Composietmaterialen zijn vanaf hun ontdekking niet enkel voorbehouden voor high-tech toepassingen in de lucht- en ruimtevaart, maar lenen zich ook uitstekend voor alledaagse gebruiksvorwerpen. Door hun unieke eigenschappen (licht, sterk en stijf) vormen ze dankbaar materiaal voor veeleisende ontwerpvragestukken. Bovendien zijn ze zowel in productie als in gebruik energie- en kostenbesparend. De bouw- en autonijverheid, voedingsindustrie en de medische wereld worden bij de grootste gebruikers gerekend van deze nieuwe materialen. Kunststoffen en de daaruit afgeleide composieten hebben in vele toepassingen de belangrijkste natuurproducten zoals metaal en hout vervangen, dikwijls sterk ten voordele van het milieu. Kunststoffen bannen uit onze samenleving zou betekenen dat het milieu op korte tijd volledig ontspoot of dat de mensheid terugkeert naar de levensstandaard van het begin van de 19de eeuw.

Ik wil bij de aanvang van dit werk de volgende personen uitdrukkelijk bedanken voor het verschaffen van alle bruikbare informatie, alsook voor de technische steun die ze mij gaven bij de verwerking van de testresultaten:

- ir. Rik Hillaert, Manager Product Development Engineering bij Samsonite Europe NV
- Ing. Wim Godefroid, Manager Plastics bij Samsonite Europe NV
- André De Keyzer, Instructor process & projects bij Samsonite Europe NV
- Johan Pareyt, Supervisor Quality Assurance bij Samsonite Europe NV
- Colette Nachtegale, Trade Marketing Manager Lacoste bij Samsonite Europe NV
- ir. Hilde Bonte (KHBO)
- Ing. Pol Coudeville (KHBO)
- Prof. dr. ir. Ignaas Verpoest (KUL)
- Ing. Kristof Vanclooster (KUL)
- Prof. dr. ir. Peter Van Puyvelde (KUL)

Hierna wil ik zeker ook de volgende personen uitdrukkelijk bedanken voor de welgekomen morele steun:

- Mijn familie (vader, moeder en broer)
- Mijn vriendin Ellen Lambrecht
- Mijn kotgenoten Nicolas Siméon en Philippe Rottiers

### 3. SAMENVATTING OF ABSTRACT

Titel van het eindwerk:

*Recycleerbaarheid van PP-PP composieten uit de X'Lite koffer van Samsonite*

- |   |                             |
|---|-----------------------------|
| - Naam van de binnenpromotor (KHBO):      | ir. Hilde Bonte             |
| - Naam van de buitenpromotor (Samsonite): | ir. Rik Hillaert            |
| buitenpromotor (KUL):                     | Prof.dr.ir. Ignaas Verpoest |

Korte beschrijving van de opdracht :

De stage en het daaruit voortvloeiende eindwerk verliep in samenwerking met de Katholieke Universiteit Leuven en Samsonite Europe NV te Oudenaarde. In het verkennend onderzoek wordt er op zoek gegaan naar de mogelijkheid om het geproduceerde afvalmateriaal van de Samsonite X'Lite koffer te recyclen.

Samsonite Europe NV produceert de Samsonite Black Label X'Lite reiskoffer in Oudenaarde. De kofferschelpen worden gemaakt uit een hoogwaardig kunststofcomposiet, bestaande uit CURV® materiaal met daarop een ultradunne hechtingslaag polyurethaan en daar bovenop polyethyleentereftalaat als een krasbestendige toplaag. Het productieafval van de kofferschelpen zou Samsonite graag willen recyclen en indien mogelijk intern in het bedrijf herbruiken.

De nadruk van dit eindwerk ligt op de controle van de mechanische eigenschappen van het ontwikkelde nieuwe materiaal om zo de herbruikbaarheid van dit gerecycleerde materiaal na te gaan. De hele verwerkings- en onderzoekscyclus werd simultaan uitgevoerd op het gerecycleerde afvalmateriaal, op het gerecycleerde basismateriaal (CURV®) en op het MOPLEN EP 1661 materiaal. Dit laatste materiaal wordt bij Samsonite gebruikt bij de productie van niet-kritische onderdelen op of in een hardschalige reiskoffer. Op basis van de mechanische testen is een vergelijkende studie mogelijk om daaruit éénduidige besluiten te kunnen formuleren. Het hoofddoel van dit onderzoek is dus nagaan of het gerecycleerde materiaal kan gebruikt worden voor de productie van bepaalde onderdelen van een Samsonite reiskoffer die momenteel in het polypropyleen copolymeer MOPLEN EP1661 worden gemaakt.

Na het onderzoek is gebleken dat het gerecycleerd afvalmateriaal van de X'Lite koffer, in vergelijking met MOPLEN EP 1661, hoger scoort bij de hardheidsmeting en de trekproef, maar lager scoort bij de de kerfslag- en impactproef.

Het gerecycleerd afvalmateriaal kan worden hergebruikt bij de productie van kofferonderdelen die geen impactbelasting moeten kunnen opnemen of die geen belangrijke esthetische rol spelen, bv. bij bevestigingslatjes aan de binnenzijde van de koffer.

Het gerecycleerd afvalmateriaal (met PET) heeft praktisch dezelfde eigenschappen als het originele gerecycleerde CURV® materiaal (zonder PET), wat dus betekent dat de koffer kan gerecycleerd worden. Deze milieuvriendelijke factor is voor Samsonite een extra verkoopargument!

Belangrijke kernwoorden, die in dit onderzoek vaak terugkeren, zijn:

Samsonite Europe NV – K.U.Leuven – KHBO – Black Label - X'Lite koffer – CURV® - Propex - polypropyleen - PP-PP composiet – blend - polyethyleentereftalaat – PET - polyurethaan – PUR – MOPLen EP 1661 - vezelversterkte kunststof – vezel – weefsel - matrix – recyclage – gerecycleerd materiaal - shredderen - extrusie – granulaat – spuitgieten – trekstaaf – kerfslagstaaf - mechanische testen – trekproef – kerfslagproef – hardheid – Shore D – mechanische eigenschappen – treksterkte – E-modulus – rek – spanning- impact



Figuur 2 : X'Lite koffer van Samsonite, gemaakt uit CURV®+PUR+PET

## 4. INLEIDING

Samsonite Europe NV produceert in haar vestiging te Oudenaarde verschillende hardschalige kunststoffen reiskoffers. Een belangrijk marktsegment van Samsonite is Samsonite Black Label. Bij Samsonite Black Label bevinden zich de unieke, modieuze en ook de hoogtechnologische reiskoffers van het hele gamma dat Samsonite aanbiedt. De X'Lite koffer is hiervan een mooi voorbeeld en het is dan ook een hedendaags vooruitstrevend en hoogtechnologisch product uit het Black Label aanbod.

Mijn motivatie voor dit eindwerk kan ik duidelijk als volgt verwoorden. Ik ben mijn hogeschoolstudies aan de KHBO begonnen met een grote interesse in de luchtvaartsector. Geleidelijk aan is mijn fascinatie voor de kunststoftechnologie alsook voor de composietwereld gegroeid. Verschillende soorten kunststoffen en ook tal van hoogwaardige composieten zijn vandaag terug te vinden in elk vliegtuig alsook in vele andere toepassingen uit het dagelijkse leven. Ik ben dan ook zeer blij dat ik mijn schoolstudies kan afsluiten met een eindwerk dat betrekking heeft op de recyclage van composietmaterialen.

Recyclage is een heel delicaat item in onze 'milieubewuste consumptiemaatschappij'. Voor elk succesvol bedrijf kan de vermindering van de afvalkosten zeer interessant zijn. Verminderen van de productie van het afval kan een mogelijke oplossing zijn, maar deze factor heb je soms niet volledig zelf in de hand. Een alternatief is het geproduceerde afval te hergebruiken en dit zou dan optimaal gebeuren in een interne productiecycclus van het betrokken bedrijf. Mijn eindwerk situeert zich in de Belgische kunststoffenindustrie en voer ik uit in samenwerking met Samsonite en de K.U.Leuven. De K.U.Leuven voerde in de geschiedenis reeds wetenschappelijke onderzoeken uit op nieuwe technologieën voor Samsonite. De KHBO zit samen met de K.U.Leuven en nog vele andere scholen in de associatie en via dit netwerk ben ik in aanraking gekomen met het onderwerp van dit onderzoek.

De nadruk van dit eindwerk ligt op de controle van de mechanische eigenschappen van het nieuw zelf-ontwikkelde recyclaatmateriaal om zo de herbruikbaarheid van het gerecycleerde materiaal na te gaan. De resultaten van de mechanische eigenschappen zullen ons een goede indicatie kunnen geven over de mogelijkheid tot het hergebruik van het materiaal. De hele verwerkings- en onderzoekscyclus wordt in dit eindwerk uitgevoerd op zowel het gerecycleerde CURV® afvalmateriaal van Samsonite als op het gerecycleerde CURV® basismateriaal van Propex, als ook op het MOPLen EP 1661 vergelijkingsmateriaal. Dit laatste materiaal wordt bij Samsonite gebruikt bij de productie van kofferschalen en niet-kritische onderdelen op of in een hardschalige reiskoffer. Na de mechanische testen is een vergelijkende studie mogelijk om daaruit éénduidige besluiten te kunnen formuleren op het vlak van de herbruikbaarheid van het recyclaat.

In dit eindwerk wordt eerst een situering en een algemene beschrijving gegeven van de stageplaats en het betrokken bedrijf. Daarna biedt deze uiteenzetting een theoretische benadering van de bestudeerde technologieën in verband met composieten. Nadien zullen de mechanische testen één voor één verduidelijkt worden. Bij de verwerking van de testresultaten worden mogelijke verbanden en bijzondere eigenschappen verklaard. Tenslotte gaan we, enkel op basis van de mechanische testresultaten, besluiten of dit materiaal wel of niet gunstig is voor recyclage in het bedrijf.

## 4.1 BEKNOPTE GESCHIEDENIS VAN DE STAGEPLAATS



**Department of Metallurgy and Materials Engineering**  
**Faculty of Engineering**

(bron: <http://www.kuleuven.be/algemeen/geschiedenis.htm>)

In de 16de eeuw kende de Leuvense universiteit een eerste grote bloei en verwierf ze haar wereldfaam dankzij de aanwezigheid van geleerden en professoren met naam, zoals Adriaan van Utrecht (Paus Adrianus VI), Erasmus, Vives, Vesalius en Mercator. De aanwezigheid van onderzoekers van wereldformaat is een traditie tot op vandaag.

In haar geschiedenis van bijna zes eeuwen kende de Leuvense universiteit perioden van bloei en tegenspoed. In de 18de eeuw stond ze onder zware druk van een toenemende staatsinmenging en in 1797 hief de Franse Republiek de oude universiteit op. In 1816 opende de Universiteit te Leuven weer haar poorten als een Rijksuniversiteit, opgericht door koning Willem I der Verenigde Nederlanden.

De Belgische bisschoppen stichtten in 1834 te Mechelen een Katholieke Universiteit. Maar al in 1835 kwam deze terug naar het vertrouwde Leuven, waar de Rijksuniversiteit was opgeheven. De realiteit van de Belgische talenkwestie, van Vlamingen en Walen, weerspiegelt zich in de latere geschiedenis van de Leuvense Alma Mater. In 1911 wordt een aanvang gemaakt met de vernederlandsing in het Leuvense universitair onderwijs. 1968 werd het jaar van de splitsing van de Katholieke Universiteit Leuven in twee onafhankelijke universiteiten. Deze verwierven in 1970 bij wet zelfstandigheid: de Nederlandstalige Katholieke Universiteit Leuven (K.U.L), die te Leuven (in het Vlaamse landsgedeelte) bleef, en de Franstalige Université Catholique de Louvain (UCL), die verhuisde naar Louvain-la-Neuve te Ottignies (in het Waalse landsgedeelte).

Sinds 11 juli 2002 is de Associatie K.U.Leuven een feit. Dertien Vlaamse instellingen (waaronder ook de KHBO) voor hoger onderwijs bundelen binnen deze associatie hun krachten samen om een sterke positie in te nemen in het nieuwe Europese onderwijslandschap.

De Associatie K.U.Leuven werd opgericht in het kader van de Europese Bolognaverklaring die in 1999 ondertekend werd door de Europese ministers van onderwijs. De bedoeling van 'Bologna' is de kwaliteit en transparantie van de opleidingen hoger onderwijs in Europa te verhogen en de uitwisseling van studenten, docenten, kennis te optimaliseren.

De K.U.Leuven cultiveert een gevarieerd en complementair wetenschapspalet van fundamenteel, toegepast, klinisch en beleidsgericht onderzoek. Kwaliteit staat ook in het onderwijs centraal. De K.U.Leuven leert haar studenten zelfstandig kennis op te bouwen en

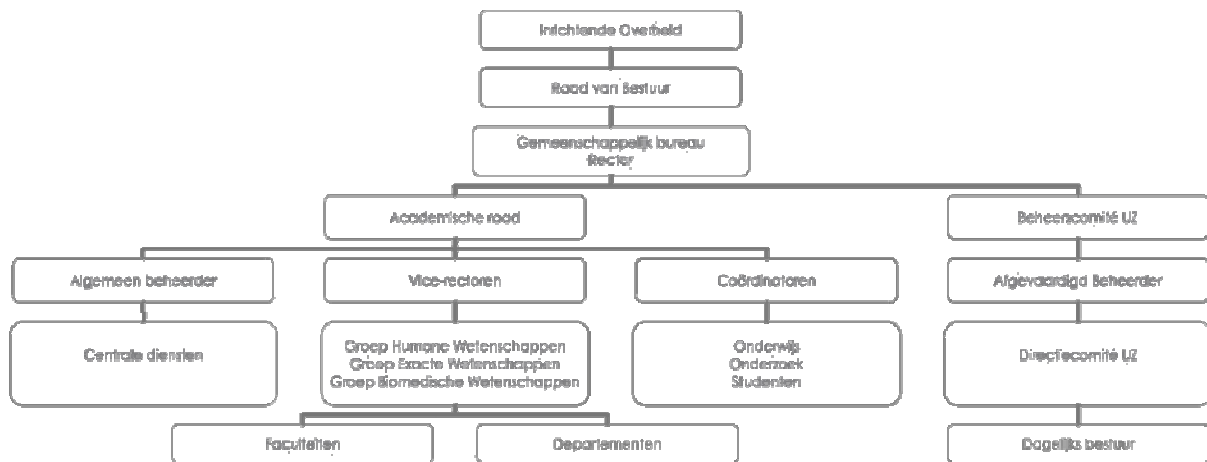
kritisch te denken. Zij leidt hen op tot deskundigen maar vormt hen evenzeer als personen met intellectuele openheid, burgerzin en culturele competentie, die verantwoordelijkheid opnemen in de samenleving.

De *Associatie K.U.Leuven* (waarbij de KHBO behoort) biedt nieuwe kansen voor integratie en *optimalisering van het hoger onderwijs*. De universiteit wil hierin met overtuiging en daadkracht haar verantwoordelijkheid opnemen.

De KUL opent een wereld van opleidingen, onderzoeksprojecten, lokale en internationale netwerken, activiteiten en diensten die vorm geven aan de identiteit en de maatschappelijke rol van haar studenten.

De universiteit is opgedeeld in groepen, faculteiten, departementen en instituten, ondersteund door administratieve en ondersteunende diensten.

De Campus in Kortrijk en de Universitaire Ziekenhuizen maken het ganse plaatje volledig.



Figuur 3: Algemeen organigram van de K.U.Leuven

## 4.2 BESCHRIJVING VAN HET STAGEBEDRIJF



Naam en adres van het bedrijf :

Samsonite Europe N.V.  
Westerring 17  
9700 Oudenaarde

Samsonite is wereldleider in het domein 'bagage'. De pijlers van deze toonaangevende positie zijn een sterk imago, een uitgebreid productaanbod en een uniek productie- en distributienetwerk. De rijke ervaring, de kwaliteit en de efficiëntie die Samsonite als onderneming kenmerken, staan borg voor aanhoudend succes. Dit betekent zeker niet dat Samsonite rust op haar lauweren uit het verleden. De onderneming richt haar blik resoluut op de toekomst om haar leiderspositie te vrijwaren.

Mobiliteit is een heel belangrijk gegeven in de huidige maatschappij. Het aantal reizigers en de frequentie van hun reizen neemt steeds toe. Vrijwel de totale wereldbevolking kan mobiel worden. Samsonite biedt een gamma van bagageproducten aan voor elk moment van de dag, voor elke plaats op aarde.

Het succesverhaal van Samsonite vangt aan in 1910, in Denver, Colorado, met de Shwayder Trunk Manufacturing Company. Jesse Shwayders doelstelling was eenvoudig: een buitengewoon hoogwaardige koffer vervaardigen die tegen de zwaarste reisbeproevingen opgewassen is. Shwayder ging van start met 10 werknemers en één enkel basisproduct. Vandaag heeft Samsonite duizenden medewerkers en produceert jaarlijks miljoenen stuks bagage. De onderneming heeft zich vanaf de jaren '60 onafgebroken ingezet om haar internationale markten uit te breiden. Naast de Verenigde Staten, is het Samsonite netwerk vertakt over Europa, het Midden-Oosten, Japan, Azië en Zuid-Amerika.

De eerste koffer, Samson gedoopt, refereerde aan de sterke figuur uit de Bijbel. De kwaliteit van die eerste koffer en de filosofie die erachter schuil ging, liggen aan de basis van alle producten die de onderneming sindsdien introduceert. Met het complete aanbod van hoogwaardige bagageproducten van internationaal bekende merken als Samsonite Black Label, Samsonite, American Tourister, Lacoste en Timberland staat Samsonite vandaag onbedreigd aan de top in de bagagesector. De X'Lite koffer die de basis is van dit onderzoek behoort tot het gamma van Samsonite Black Label.





Samsonite geniet niet alleen de hoogste merkbekendheid in de bagagesector, maar de onderneming heeft ook een uitstekende reputatie voor andere kwaliteitsproducten in de reis- en vrijetijdsector (paraplu's, schoenen, enz.). De strenge kwaliteitscontrole staat er borg voor dat klanten overal ter wereld kunnen rekenen op stijl, duurzaamheid en betrouwbaarheid.

*“Do unto others, as you would have them do unto you”*

Jesse Shwyder

### **Productie**

De naam Samsonite staat voor het ruimste aanbod van hedendaagse koffers en reisaccessoires. Samsonite bagageproducten worden vervaardigd in de eigen fabrieken of door toeleveranciers. De eigen fabrieken staan in voor de productie van koffers met harde schaal en de complexe soepele producten. Voor minder complexe producten doet de onderneming een beroep op een wereldwijd netwerk van toeleveranciers.

De productie van bagage gaat gepaard met omvangrijke investeringen in speerpunttechnologie en vakmanschap. Hardschalige koffers worden vervaardigd uit precisiegegoten kunststoffen en zijn in de eerste plaats resultaat van geavanceerde technologie.

De productie van hardschalige onderdelen vergt een aanzienlijke investering in engineering, know-how en vakkundig personeel. De harde kofferschalen worden vervaardigd door spuitgieten of vacuümvormen. Bij spuitgieten worden gesmolten polypropyleenkorrels onder hoge druk in een koude vorm geïnjecteerd. Bij vacuümvormen worden bladen van verhitte ABS kunststof onder vacuüm over koude vormen getrokken. De soepele bagageproducten worden door vaklieden geassembleerd uit onderdelen die met de computer werden versneden.

Samsonite legt zich onafgebroken toe op de ontwikkeling van nieuwe producten, waartoe ook mijn onderzoeksproject behoort. Klassieke stijlen worden voortdurend vernieuwd en aangepast en innovatieve producten worden toegevoegd, zoals de nieuwe trendy Alexander McQueen collectie.

Het productdesign begint met de creatie van het uitzicht van een nieuwe bagagelijijn. Samsonite beschikt over interne designers die ook samenwerken met ontwerpers van buiten de onderneming. Als éénmaal de modegebonden stijl vastligt, gaat het team aan het werk om de verdere specificaties en de praktische kenmerken te bepalen. Op de tekentafel hebben de ontwerpers reeds aandacht voor het productieproces. De afgewerkte tekeningen worden via CAD programma's in 3D-modellen omgezet. Op basis van die modellen worden dan de nodige matrijzen ontwikkeld.

Prototypes van bagage worden eerst grondig getest alvorens het model in productie gaat. Alle onderdelen worden onderworpen aan uitgebreide laboratoriumtests. Tijdens deze tests wordt het harde leven van de bagage gesimuleerd.

Samsonite is ervan overtuigd dat het enkel met onafgebroken ontwikkeling en de introductie van vernieuwende producten, zijn leiderspositie kan behouden.



**Visie:** de referentie zijn voor ongeëvenaarde duurzaamheid, veiligheid en betrouwbaarheid, voor functionaliteit en doordachte kenmerken, voor eigentijdse esthetiek en design.

**Missie:** een passende oplossing bieden voor de reisbehoeften van de consument, door producten te ontwikkelen die nauw aansluiten bij de vereisten van de steeds mobieler wordende samenleving.

*“Transform Samsonite into a leading lifestyle brand”*  
Marcello Bottoli, President and CEO of Samsonite

---

## 5. DOEL VAN HET EINDWERK

Het doel van dit eindwerk is na te gaan hoe goed het productieafvalmateriaal van de X'Lite koffer zich leent tot recyclage binnen het bedrijf. De kofferschelpen van de Samsonite X'Lite koffer worden gemaakt uit een hoogwaardig kunststofcomposiet. Dit composiet bestaat uit een gelaagde structuur van verschillende materialen. Het hoofdbestanddeel bestaat uit CURV® materiaal, dat vanwege zijn mindere krasbestendigheid beschermd dient te worden door een PET-laagje. Het productie-afval van de kofferschelpen zou Samsonite, met het oog op milieubewust produceren, willen recycleren en indien mogelijk intern hergebruiken. Recyclage van afvalmaterialen is een heel delicaat item in onze 'milieubewuste consumptiemaatschappij'. Voor elk succesvol bedrijf kan de vermindering van de afvalkosten zeer interessant zijn. Verminderen van de productie van het afval kan een mogelijke oplossing zijn, maar deze factor heb je soms niet volledig zelf in de hand. Een alternatief is het geproduceerde afval hergebruiken en dit zou dan optimaal gebeuren in de interne productiecyclus van het betrokken bedrijf.

Met dit eindwerk gaan we op zoek naar de mogelijkheid om het geproduceerde afvalmateriaal te hergebruiken bij de productie van bepaalde kofferonderdelen. Zo kan dit onderzoek een bepaalde meerwaarde bieden aan Samsonite.

Op persoonlijk vlak wordt mijn theoretische kennis over composietmaterialen en hun specifieke materiaaleigenschappen uitgebreid aan de hand van het mechanisch onderzoek dat zal worden verricht. Het verklaren van bepaalde theoretische fenomenen, alsook het zoeken naar mogelijke oplossingen voor een onverwachts probleem, zullen een leerrijke uitdaging vormen voor mijn kritische geest als industrieel ingenieur. Naast het kritisch denkvermogen zal ik ook mijn praktische werkervaring kunnen aanscherpen door het verrichte onderzoek. Hierdoor zal ik een meer praktijkgericht inzicht krijgen in de verschillende eigenschappen van composieten.

## 6. THEORETISCHE VOORBESCHOUWING

### 6.1 KUNSTSTOFFEN ALGEMEEN

We kunnen de kunststoffen indelen in drie grote groepen:

- thermoplasten (lineaire ketenmoleculen),
- thermoharders (driedimensionele netwerken),
- elastomeren (lineaire ketenmoleculen waarbij hier en daar brugverbindingen (cross-links) bestaan).

Er zijn ook 2 manieren van synthese of ook polymerisatie genoemd. Polymerisatie is het samenvoegen van kleine koolwaterstoffen tot een lange keten.

- Polyadditie: additieve aaneenschakeling van monomeer-moleculen door het openklappen van dubbele bindingen. En dit gebeurt onder invloed van temperatuur, druk en katalysatoren. Voorbeelden: PVC (polyvinylchloride), PP (polypropyleen), enz.
- Polycondensatie: twee verschillende monomeren splitsen ieder een fractie af ter vorming van een condensatieproduct, terwijl de overgebleven moleculen aan elkaar gekoppeld worden. Een belangrijke eigenschap van polycondensatie is dat de opeenvolging van moleculen een regelmaat vormt. Vaak worden bij deze synthesesreacties water afgesplitst.

#### Elasticiteit

De rubberelasticiteit vindt zijn oorsprong in de flexibiliteit van de hoofdketen. De hoofdketen bestaat meestal uit C-C koppelingen die onderling een hoek van  $109^\circ$  maken, maar die toch om elkaar heen kunnen roteren. We tekenen meestal een gestrekte keten, maar in werkelijkheid is het een opgerolde keten. Als er aan dit kluwen een belasting wordt gelegd, gaan de ketens zich min of meer strekken, en komt er enige orde in het systeem. Als de mechanische belasting wegvalt, zal de keten terugveren naar zijn oorspronkelijke toestand.

#### Glasovergangstemperatuur ( $T_g$ )

Niet alle kunststoffen hebben een glasovergangstemperatuur. Bijna alle thermoplasten hebben een  $T_g$ , thermoharders daarentegen hebben over het algemeen geen  $T_g$ . De ketens bij thermoharders zitten namelijk vast aan elkaar. Elastomeren hebben wel een  $T_g$  doch geen smeltpunt ( $T_m$ ).

De meeste polymeren zijn niet of niet goed in staat een regelmatige stapeling van hun moleculen in een kristalrooster te vormen. Zij blijven daarom gemakkelijk tot onder hun eigenlijke smeltpunt vloeibaar. Bij een lagere temperatuur ondergaan zij echter toch een stollingsproces, waarbij veel van de bewegingsvrijheid van de polymeerketens verloren gaat. Bij lage temperatuur verliezen de ketensegmenten de vrijheid om rotaties rondom de hoofdbindingen te maken en zo komt de thermoplast in een glastoestand terecht. Een systeem evolueert steeds naar de meest waarschijnlijke toestand (volgens de tweede hoofdwet van de thermodynamica), en gaat dus steeds naar een maximale entropie streven. Bij stijgende temperatuur gaan de ketens nog meer in elkaar kronkelen om zo de entropie maximaal te

maken. Bij een temperatuur die lager ligt dan de glasovergangstemperatuur zal het systeem steeds terugveren naar een minimale energie.

Bij  $T > T_g$  is de thermoplast in een amorfe toestand. De ketens kunnen over elkaar glijden, waardoor het polymeer gemakkelijk kan worden vervormd. Thermoharders zijn niet warmtegevoelig en kunnen dus ook niet gesmolten worden.

Bij  $T < T_g$  is het materiaal een vaste, glasachtige stof.

Bij het opwarmen bereiken we op een bepaald moment de verwekingstemperatuur, d.w.z. dat de mechanische verstrengeling van de ketens niet meer volstaat om een min of meer vast geheel te behouden. Bij de minste belasting worden de ketens dan uit elkaar getrokken (vloei).  $T_m$  is de smelttemperatuur. Het smeltpunt zal steeds boven de glasovergangstemperatuur liggen.

### Structuur

Wanneer de keten minder flexibel wordt, gaat de glasovergangstemperatuur stijgen.

Dit kan gebeuren door:

- Grotere zijgroepen: de rotatie van de keten wordt hierdoor immers verhinderd.
- Polaire zijgroepen: bijvoorbeeld chloor is verstijvend. Deze polaire ketens versterken de krachtwerkingen tussen de naburige ketens.
- Flexibiliteit van de hoofdketen is afhankelijk van het soort schakels: zuurstof is bijvoorbeeld zeer sterk verstijvend.

### Kristallisatie

Thermoharders zijn altijd amorf en hebben een gebrek aan inwendige orde in de ketenstructuur. Bij thermoplasten kunnen onder bepaalde voorwaarden verzadigde lineaire regelmatige ketens zich opvouwen, zodat de verschillende monomeereenheden plaats nemen in een driedimensionaal kristalrooster. De kristalliniteit van een stof is zelden hoger dan 80%. Door de aanwezigheid van kristalvlakken wordt het licht inwendig verstrooid en verliest het polymeer zijn glashelderheid. Volledig amorfe polymeren hebben geen inwendige reflectie- of brekingsvlakken en zijn dus transparant.

De voorwaarden tot kristallisatie:

- Een volstrekte regelmaat in de plaatsing van de zijgroepen in de opeenvolgende monomeer-eenheden. Men bekomt ofwel isotactisch, ofwel syndiotactisch. Atactisch wil zeggen dat er een mengeling is van isotactische en syndiotactische stukken.
- Het polymeer moet de gelegenheid gekregen hebben tot kristalliseren, ergens tussen  $T_g$  en  $T_m$ . Als de temperatuur onder  $T_g$  zakt, is er geen kristallisatie meer mogelijk, want dan zijn de ketens verstart.
- Als de repeterende eenheid eerder groot is, dan verloopt de kristallisatie nogal moeilijk. Door het rekken van de vezels kan men echter wel kristallen doen vormen. Door het rekken gaan de vezels oriënteren, waardoor de kristallisatie snel intreedt en een hoge graad van kristalliniteit wordt bekomen.

Neem als voorbeeld PET, deze stof is doorzichtig, maar als men ze gaat uitrekken, wordt ze wit, en ondoorzichtig. De trekstrekke in de rekrichting wordt zeer hoog!

Naarmate de kristalliniteit hoger is, worden de stijfheid en de sterkte groter. De stijfheid daalt met de temperatuur als gevolg van de steeds aanwezige rubberachtige amorfe fase. Deze rubberachtige amorfe fase geeft een grotere slagvastheid aan het polymeer.

## 6.2 WAT ZIJN COMPOSITEN?

Composiet komt oorspronkelijk uit het latijn: het werkwoord *componere* betekent 'bijeenvoegen' of 'samenstellen'. De meeste mensen kennen het woord van het Franse woord 'composite', dat 'samengesteld' betekent. Het is een treffende typering voor dit soort materiaal want composieten zijn namelijk vezels gecombineerd met een kunststof inbeddingsmateriaal. Het geheim van composietmaterialen is de unieke combinatie tussen twee of meerdere materialen, die een meerwaarde aan elkaar toevoegen. De compositie van de verschillende grondstoffen bepaalt de eigenschappen en dus de geschiktheid voor een toepassing. De gewenste materiaaleigenschappen zijn op maat te maken. Het is een combinatie van twee of meer materialen verschillend in vorm. De samengestelde delen behouden hun identiteit, d.w.z. dat ze niet volledig in elkaar vermengen maar samen in harmonie werken met als doel de eigenschappen van het basismateriaal te verbeteren.

Wanneer er dus sprake is van twee componenten, dan fungeert de ene component meestal als inbeddingsmateriaal en wordt deze daarom de matrix genoemd. De andere component dient ter versterking van de matrix. Meestal gebruikt men vezels als versterkende component. Men noemt de samenstelling van beiden dan het vezelversterkte materiaal.

De vezelversterkte kunststoffen vormen eigenlijk de huidige generatie van composieten en zijn een interessant alternatief voor verschillende traditionele materialen omdat ze zowel sterk als licht zijn. De meest gebruikte harsen (matrices) zijn: polyester, epoxy en vinylester. De belangrijkste toegepaste vezels zijn: glas-, koolstof- en aramidevezel. Er zijn echter nog vele andere soorten, waar ook metalen en technisch keramiek toe behoren. Momenteel komen composietmaterialen voor in vrijwel alle sectoren van de industrie.

De **matrix** is een macromoleculair materiaal dat de verschillende versterkende vezels met elkaar verbindt en de spanningen van de structuur verdeelt en overdraagt op de vezels. De matrix bepaalt in hoofdzaak ook de milieu-eigenschappen, zoals daar zijn de chemische bestendigheid, de veroudering, het gedrag bij brand, enz.

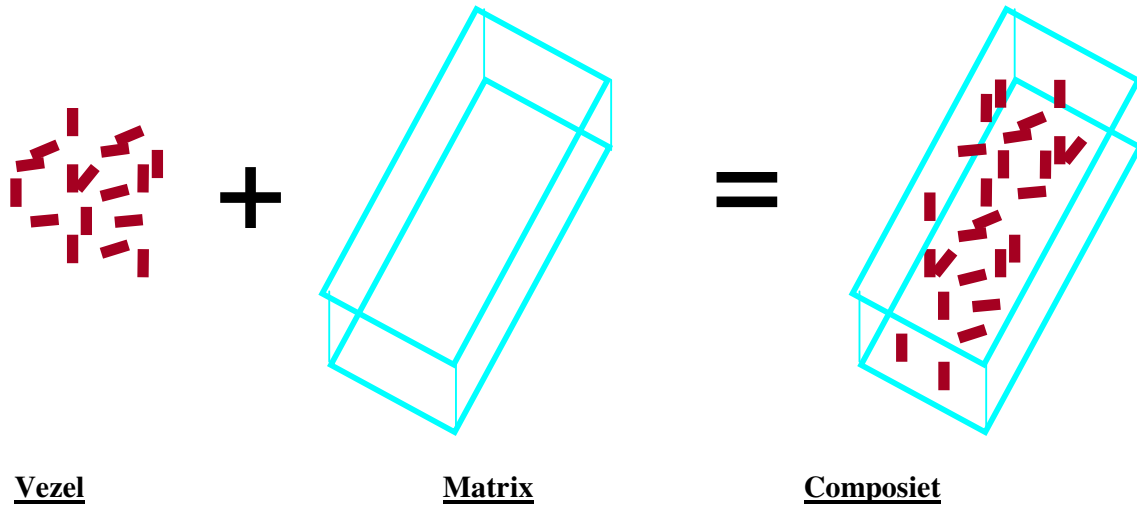
De **versterking** bestaat meestal uit zeer fijne vezels die in de matrix ingewerkt zijn en zo de totale structuur mechanische sterkte en stijfheid geven.

Discontinue versterking (sterkte op korte termijn)

- korte vezels
- schilfers
- korrels

Continue versterking (sterkte op lange termijn, kruip)

- lange vezels
- vezelmat
- weefsel



Figuur 4: Algemene voorstelling van de opbouw van een composiet

Eventueel kunnen ook **additieven** zoals vlamvertragers, weekmiddelen, UV-stabilatoren e.d. worden toegevoegd. Dit zijn mogelijk verschillende producten die aan het materiaal bijkomende eigenschappen geven omwille van prestatie-eisen of uit kostenoverweging.

Typische composieten zijn: (de groepen die weergegeven zijn in vet lettertype, zijn de meest toegepaste composietvormen)

- **Vezelversterkte kunststoffen (FRP's = Fibre Reinforced Plastics)**
  - Vezelversterkte thermoharders (bv. polyester, epoxy, vinylester, enz.)
  - Vezelversterkte thermoplasten (bv. PPS, PEEK, PEI, CURV® enz.)
- **Sandwich constructies**
  - Honingraat (bv. nomex, papier, aluminium, carbon, enz.).
  - Kernmateriaal schuim (bv. PUR, PVC enz.)
  - Kernmateriaal hout (bv. multiplex, balsa)
  - Vezelversterkte kunststoffen huiden, aluminium huiden
- Fibre Metal Laminates (bv. GLARE)
- **Metal Matrix Composites (MMC)**
- Glas Matrix Composites
- **Ceramic Matrix Composites (CMC)**
- Ceramic Ceramic Composites
- Carbon Carbon Composites

Composieten zijn zeer interessante materialen die verschillende aantrekkelijke eigenschappen bezitten. De drie hoofdgroepen zijn de vezelversterkte kunststoffen, de MMC en de CMC. Ze worden uitgebreid toegepast in vliegtuigconstructies, ruimtetuigen, transportindustrie, sportartikelen en in andere structurele toepassingsgebieden.

Tijdens de verdere uitwerking van dit thema zal de nadruk gelegd worden op de vezelversterkte kunststoffen, de zgn. *Fibre Reinforced Plastics* (FRP's), omdat deze hoofdgroep het dichtst bij het eindwerkonderwerp aansluit.

In 1907 geschiedde de eerste toepassing van FRP's bij de productie van zuurbestendige tanks. Zij werden vervaardigd uit fenolhars en asbestvezels. Epoxyhars werd voor het eerst gebruikt in de jaren '30 als matrixmateriaal. Veertig jaar later vonden opmerkelijke ontwikkelingen van de composieten plaats. Sindsdien noemt men ze ook wel "**advanced composites**". Dit zijn composietmaterialen die hoofdzakelijk in de lucht- en ruimtevaartindustrie worden gebruikt. Deze composieten hebben hoogwaardige versterkingsvezels met een extreem kleine diameter. De vezels zijn ingebed in een epoxy of aluminium matrix. De vezelversterkte kunststoffen worden tot op heden vooral gebruikt in militaire en burgervliegtuigen, raket- en helikopteronderdelen. Zo werden de FRP's reeds toegepast in componenten van de DC-10, de L-1011 en de Boeing 727, 757, 767, 777. De Boeing 777 bestaat uit 9% composietmaterialen. Dit is driemaal zoveel als bij vorige Boeing toestellen. Bepaalde vloerstructuren en het grootste deel van het verticale en horizontale staartvlak zijn gemaakt uit vezelversterkte kunststoffen. De daaruit vloeiende gewichtsbesparing leidt op zijn beurt tot een daling van brandstofverbruik met ongeveer 2%. De vervanging van aluminium door koolstof-epoxy FRP's (CFRP) zorgt voor een verlaging van het gewicht en van de productiekosten met 30%. Daarentegen verhoogt de weerstand tegen corrosie en tegen vermoeiing.

90% van de structuuronderdelen van het Voyager vliegtuigtoestel, dat rond de aarde vloog zonder bij te tanken, was gemaakt uit CFRP. Het buitenste kaderwerk van de Stealth bommenwerper wordt vervaardigd uit koolstof- en glasvezels, epoxyhars en andere vooruitstrevende materialen.

Het produceren van FRP's brengt belangrijke uitdagingen met zich mee. Verschillende vernieuwende technieken zijn ontwikkeld voor de productie van zowel kleine als grote onderdelen. Doorslaggevende factoren voor de kwaliteit van het composietmateriaal zijn de vorm en de lengte van de ingebedde vezels, hun volumepercentage in verhouding met het matrixmateriaal, de sterkte van de vezel-matrix aanhechting en de oriëntatie van de vezels in de matrix. Zorgvuldige inspectie en testen van de FRP's zijn essentieel in kwetsbare componenten. In sommige gevallen kan de inspectiekost een vierde van de totale kost van het composietproduct bedragen.

Enkele soorten vezels:

- Minerale vezels:
  - Glasvezels, kwarts glasvezel
  - Koolstofvezels = carbonvezel (93 tot 95% koolstof); grafietvezel (>99% koolstof)
  - Siliciumvezels

- Organische vezels
  - Aramide (bv. Kevlar / Twaron )
  - Polypropyleen (bv. CURV®)
  - Polyethyleen (HPPE: bv. Dyneema / Spectra)
  
- Metallische vezels:
  - Aluminiumvezels
  - Boornitraatvezels, boronvezel
  - Titaanvezels

De vezels die momenteel op grote schaal worden toegepast zijn voornamelijk glas-, koolstof- en aramidevezels. Maar ook de polypropyleenvezels, die zich in het te onderzoeken materiaal bevinden, kennen een groot toepassingsgebied. Indien er niet één, maar verschillende soorten vezels als versterking worden gebruikt, dan spreekt men van hybride-versterking. De diameter van deze vezels ligt in de orde van 10 µm. Ter vergelijking: een mensenhaar is een factor 10 dikker. Voor het opnemen van de mechanische belasting vormen de vezels de belangrijkste component van het composietmateriaal.

Glas is een zeer bros materiaal, maar in vezelvorm is het sterker dan metaal. Daarom bestaat 90% van alle vezelmateriaal uit glasvezels. Glas is bovendien veel goedkoper en laat het licht door. Het hoofdbestanddeel van glas is SiO<sub>2</sub> (siliciumoxide). Daarnaast komen er ook andere oxyden in voor (Al, K, Ca en Mg). Er bestaan verschillende typen glasvezel. De belangrijkste typen zijn de E-glasvezel en de S-glasvezel. De E-glasvezel is het meest voorkomende type en dus het standaard type. De S-glasvezel is duurder, maar heeft een hogere elasticiteitsmodulus en is sterker. De glasvezels zijn in het algemeen goed bestand tegen trekbelasting en hebben een geringe thermische uitzetting.



Figuur 5: Glasvezels op rol

Koolstofvezels zijn sterk en licht, ze hebben een erg hoge specifieke stijfheid en sterkte. Ze worden ook gebruikt omdat ze elektrisch geleidend zijn. De basis van de meest voorkomende koolstofvezels is een synthetische vezel, nl. PAN (poly-acryl-nitryl). Deze vezel wordt eerst gecarboniseerd bij hoge temperatuur waardoor er bepaalde elementen worden 'uitgekookt'. Daarna wordt de vezel gefraïtiseerd. Hier krijgt hij zijn definitieve samenstelling. Door tijdens het proces aan de vezel te trekken, verkrijgt men een oriëntatie van de kristallen. Door deze oriëntatie zijn de vezels zeer sterk en stijf in deze trekrichting, doch loodrecht op deze richting zijn ze erg zwak. Dit noemt men anisotroop. Koolstofvezels zijn zeer sterk, hebben een hoge elasticiteitsmodulus en een lage dichtheid en ze worden ingebed in vele high-tech toepassingen. Het nadeel is dat ze heel duur zijn. Ze vertonen ook een zwakke



schokbestendigheid. Men onderscheidt: HM (high modulus = hoge stijfheid) en HT (high tensile = hoge sterkte)

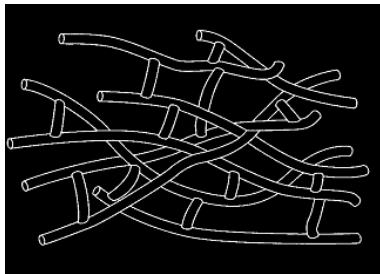


Figuur 6: Koolstofvezels op rol

Aramide is een samentrekking van aromatische polyamide, ook wel bekend onder de merknaam KEVLAR®. Specifiek aan deze vezel is dat hij zeer licht is, wat heel nuttig kan zijn in de luchtvaartsector. Aramide is ook goed impactbestendig; het heeft een hoge elasticiteitsmodulus. Een nadeel is dat het vrij duur is. Een ander nadeel is dat de drukweerstand 6 tot 10 maal lager is dan de treksterkte.

De kunststoffen die men als matrix gebruikt, kunnen worden gescheiden in twee groepen: thermoharders en thermoplasten.

Thermoharders harden uit door netwerkvorming (= cross-linking). Bij te hoge temperaturen verbrost het uitgeharde hars en valt uiteen. Thermoplasten daarentegen bestaan gewoonlijk uit lange ketenmoleculen. Bij toenemende temperatuur worden ze plastisch. Dit proces is reversibel: bij het afkoelen worden ze weer stijf.



Figuur 7: Netwerkvorming (= cross-linking) van de molecuulketens bij thermoharders

Soorten matrices :

- **Thermoharders**
  - polyester
  - epoxy
  - formaldehyde (fenol-)
  
- **Thermoplasten**
  - Poly-ethers (bv. PEI, PEEK)
  - Vinyl-polymeren (bv. PVC)
  - Polyimiden
  - **Poly-olefinen** (bv. PE,PP)

- Metalen (bv. aluminium, titanium, staal, enz.)
- Glas
- Technisch keramiek

Polyesterhars wordt voornamelijk toegepast in combinatie met glasvezelproducten. Het is een thermoharder en kan dus na bewerking niet meer bijgewerkt worden. Ze hebben een snelle uitharding, een goede corrosiebestendigheid en een lage kostprijs. De macromoleculaire ketting vormt een dicht netwerk. Dit vormen van een netwerk noemt men uitharden of *curing*. Bij het uitharden komt warmte vrij en treedt er krimp op wat kan leiden tot inwendige spanningen. In een polyesterhars is een inhibitor aanwezig. Dit is een chemische stof die moet beletten dat het hars zal beginnen reageren op kamertemperatuur. De inhibitor kan de reactie vertragen maar jammer genoeg niet stilleggen. Algemeen gezien kunnen harsen, indien ze bij een kamertemperatuur van 25°C bewaard worden, tot 6 maanden na fabricatie gebruikt worden.

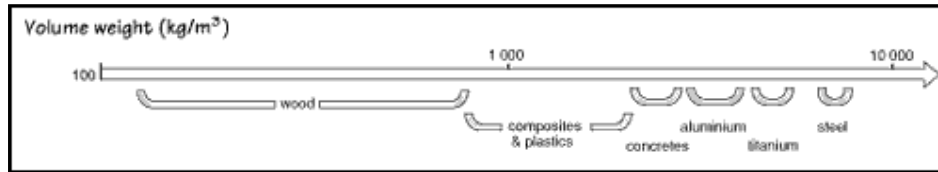
Epoxyhars is eveneens een thermoharder. Epoxyharsen zijn beter geschikt om statische en dynamische belastingen op te vangen. Ook zijn ze beter in staat om de vezel vast te houden. Er is dus een betere hechting. Ze zijn bruikbaar bij hogere temperaturen en hebben een goede chemische bestendigheid. Epoxyharsen vertonen minder inkrimping bij het uitharden. Ze zijn echter duurder dan de polyesters.

Tot voor kort werd voor de meeste constructie-onderdelen steeds geopteerd voor thermoharders als matrixmateriaal, versterkt met koolstof- of glasvezels. Zij bieden een hoge sterkte en stijfheid voor een laag gewicht. Een belangrijk nadeel van deze klasse composieten is de gevoeligheid voor delaminaties (= loskomen van twee lagen van elkaar), en de bijgevolg eerder beperkte weerstand tegen impactschade. Een belangrijke oorzaak is de lage breuktaaiheid van de thermoharder-matrix: de energie, nodig voor scheurinitiatie en -groei, is vrij laag. Daarom werden de laatste jaren steeds betere thermoplasten ontwikkeld als matrix voor vezelversterkte kunststoffen. Het CURV® materiaal dat in dit onderzoek besproken wordt, is hiervan een zeer goed voorbeeld. Deze kunststoffen hebben een hoge breuktaaiheid. De gevoeligheid voor delaminaties en impactschade is dan ook een stuk geringer. Ook andere aspecten spelen in het voordeel van thermoplasten:

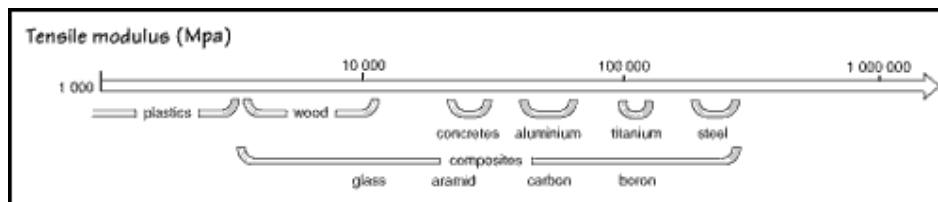
- thermoplasten zijn beter te recycleren dan thermoharders,
- de productieprocessen zijn sneller en gemakkelijker te automatiseren dan voor thermoharders.

Toch is het gebruik van vezelversterkte thermoplasten in belangrijk dragende onderdelen van constructies nog steeds zeer beperkt. De terughoudendheid van de technische gemeenschap is groot wegens het complex mechanisch gedrag van vezelversterkte thermoplasten, onder andere bij langeduur belastingen en bij cyclische belasting. Het materiaal is immers visco-elastisch en vertoont een aantal minder gewenste aspecten: bij langeduur belastingen is het composiet onderhevig aan kruip, zeker bij verhoogde werkingstemperatuur. Afhankelijk van de belastingsamplitude en -frequentie kan de temperatuur in een vezelversterkte thermoplast bij cyclische belasting zeer hoog oplopen.

### 6.3 WAAROM COMPOSITIETEN?



Figuur 8: Dichtheid van composieten ten opzichte van andere materialen



Figuur 9: E-modulus (uit de trekproef) van toegepaste vezels ten opzichte van andere materialen

Door moderne hoogwaardige polymeren met vezels te versterken kan een samengesteld constructiemateriaal worden gemaakt met zeer hoogwaardige mechanische eigenschappen en met een lage dichtheid, maar helaas met een zeer hoge kostprijs. Een kleinere massa zal op zijn beurt binnen bepaalde toepassingssectoren leiden tot een enorme energiebesparing.

In de luchtvaart gebruikt men al vele jaren composieten op basis van koolstofvezel en epoxyhars. Die vezels kunnen een sterkte hebben tot zo'n 7 GPa; dat betekent dat een gewicht van zeventienhonderd kilogram kan hangen aan een vezelbundel met een doorsnede van een vierkante millimeter. Composieten zijn zo geschikt vanwege hun hoge specifieke stijfheid (weerstand tegen vervorming onder invloed van krachten, bijvoorbeeld doorbuiging) en specifieke sterkte (weerstand tegen breuk onder invloed van krachten). Specifiek betekent stijfheid/sterkte delen door de dichtheid.

In de lucht- en ruimtevaartsector worden hoofdzakelijk de koolstofcomposieten gebruikt om zeer lichte en sterke constructies te bouwen, waarin bovendien andere eigenschappen te verenigen zijn, zoals vormvrijheid, vermoeiingsterkte en schadetolerantie. Glas- en aramidevezelconstructies zijn populair geraakt door hun toepassing in radarkappen of radomes, waarvoor radartransparantie essentieel is. Zo heeft elke sector zijn favoriete composietmaterialen leren kennen: glas/fenol in de elektrotechniek vanwege de goede isolerende en brandwerende eigenschappen, glas/polyester voor overkappingen vanwege de lichtdoorlaatbaarheid, en in mijnenvegers vanwege het niet magnetisch zijn van het materiaal. De vormvrijheid speelt bijna altijd een belangrijke rol: composieten kunnen zonder extra kosten worden verwerkt tot complexe dubbelgekromde vormen.

Composieten hebben drie sterke punten: de mechanische eigenschappen: specifieke stijfheid en sterkte, de vormvrijheid en de duurzaamheid: constructies uit composieten vragen in het algemeen zeer weinig onderhoud vergeleken met metalen constructies en zijn ook niet onderhevig aan corrosie. Dit laatste is zeker ook van groot belang in de luchtvaartsector omdat het onderhoud aan een vliegtuig aan strikte regels is onderworpen.

Enkele voordelen van composieten:

- zeer hoge specifieke sterkte, d.w.z. zeer hoge sterkte bij een laag gewicht;
- zeer grote vormvrijheid;
- hoge mate van integratie mogelijk, d.w.z. integratie van inserts, verstijvers;
- materiaal kan 'op maat' gemaakt worden voor de belastingen/prestaties die het eindproduct moet gaan leveren;
- uitstekende vermoeiingseigenschappen in functie van het aantal cyclische belastingen en breuksterkte bij vermoeiing (*bij aramide- en carbon-epoxy laminaten gemiddeld meer dan. 60% van maximale statische belasting, dat een veelvoud is van wat met metalen haalbaar is*);
- uitstekende chemische bestendigheid tegen zuren, chemicaliën e.a.;
- uitstekend water- en weerbestendig. Materiaal corrodeert bijna niet, neemt weinig vocht op en leidt daardoor tot veel lagere onderhoudskosten, zeker op de lange duur;
- composieten hebben uitstekende RAM eigenschappen (Radar Absorbing Materials) (daarbij kunnen laminaten radar- en sonartransparant gemaakt worden voor de vliegtuigindustrie);
- uitstekende impacteigenschappen;
- uitstekende elektrische eigenschappen, qua isolatie maar ook geleiding, dielectrische eigenschappen, elektromagnetische behuizing;
- Thermische isolatie-eigenschappen, uitstekende brandvertragende en hitte bestendige eigenschappen.

Nadelen van composieten:

- ze zijn anisotroop, d.w.z. dat ze niet in alle richtingen dezelfde eigenschappen hebben. Soms is het nodig dat voorwerpen in een bepaalde richting een grotere kracht moeten kunnen opnemen dan in een andere richting. Door gebruik te maken van composieten is dit perfect mogelijk;
- soms nadelige invloed van vocht en UV-straling;
- soms geringe schokweerstand.

---

## 6.4 PRODUCTIETECHNIEKEN

De productieprocessen van composietmaterialen met een kunststoffen matrix omvatten operaties die ook gebruikt worden bij de vormgeving van metalen. Kunststoffen kunnen bijvoorbeeld onder verhoogde druk en temperatuur worden gevormd, gegoten, bewerkt en met elkaar verbonden. Ze kunnen gemakkelijk worden verwerkt in verschillende vormen met een beperkt aantal operaties. De uiteindelijke eigenschappen van de kunststoffen onderdelen worden beïnvloed door de toegepaste productietechniek en door de verschillende procesparameters toegepast tijdens de verwerking. Een juiste controle hiervan is noodzakelijk voor de kwaliteit van de gefabriceerde componenten.

Thermoplasten worden als korrels of als poeder aan de productiebedrijven geleverd. Nadien worden ze gesmolten voordat ze kunnen verwerkt worden in het productieproces. Thermoplasten zoals ook polypropyleen worden vaak gebruikt bij het maken van vezelversterkte composieten. Een vezelversterkte kunststof kan zó worden vervaardigd dat het voldoet aan de mechanische vereisten, zoals een grote relatieve sterkte, een grote relatieve stijfheid en een opmerkelijke kruipweerstand. Dankzij hun unieke structuur hebben de vezelversterkte kunststoffen speciale vormingstechnieken nodig. Het versterkingsmateriaal kan bestaan uit korte stukjes vezel, een vezelmat, gevlochten vezels of continue vezels. Vezels of vezelmatten kunnen worden gebruikt bij *injection molding*, gemalen vezels kunnen gebruikt worden bij *reaction-injection molding*, langere vezelstukken worden hoofdzakelijk gebruikt bij *compression molding*. Enkele belangrijke verwerkingstechnieken zijn spuitgieten, extruderen, gieten, kalanderen, kunststofschuimen, handlamineren, persen, pultrusie, rotatiegieten, vacuümvormen, enz. Een uitgebreide beschrijving van deze technieken kan je terugvinden op [www.kunststoffen.cjb.net](http://www.kunststoffen.cjb.net).

Voor het produceren van composietmaterialen kunnen er diverse technieken worden toegepast. Bij bijna 100% van deze technieken wordt het eindproduct opgebouwd door het systematisch aanbrengen van verschillende lagen vezelversterking met daartussen een kunststofmatrix op of in een matrijs.

## 6.5 CURV®

### 6.5.1 ALGEMEEN



Het basismateriaal van de kofferschelpen van de X'Lite koffer bestaat uit een hoogwaardig 100% PP-PP composiet, het zogenaamde CURV® materiaal. Dit materiaal werd door Propex ontwikkeld en wordt door hen geproduceerd via een gepatenteerd proces. Op dit uniek productieproces, dat in het volgende puntje wordt beschreven, heeft Propex een patent verworven. CURV® is een thermoplastisch vezelversterkt composietmateriaal, waarvan de hoge stijfheid en sterkte afkomstig zijn van de uitermate gerichte polypropyleen moleculen in de getrokken vezels. Deze PP vezels worden ingebed in een polypropyleen matrix. Omwille van het feit dat het een 100% thermoplastisch materiaal is, kent dit composiet een zeer goede impactweerstand.

Het CURV® basismateriaal kan aangewend worden bij verschillende productvormen. Men verkrijgt van Propex afgewerkte platen die je dan kan verwerken naargelang de eigen behoefte of met betrekking tot het eigen verwerkingsproces. De platen hebben een dikte tussen 0,3 en 4,0 mm, hebben een breedte gaande tot 1,36m en de totale lengte van de platen wordt bepaald door de behoeften van de klant. De platen kunnen gebruikt worden bij het vormen van onderdelen in een voorgevormde matrix en dit gebeurt dan onder verhoogde temperatuur. (*Thermoforming*) Ook kunnen de CURV® bladen gebruikt worden als huidmateriaal bij composietlaminaten. Men gebruikt een verstevigend kernmateriaal tussen 2 CURV® huidprofielen. Zo verkrijgt men bijvoorbeeld een combinatie met een honingraatstructuur bestaande uit Expanded PP (EPP) schuim of papier of aluminium. Ook wordt CURV® gebruikt bij FML (*fibre-metal laminates*) waar het CURV® materiaal zich tussen dunne platen aluminium bevindt. Een belangrijke toepassing is bij lokale verstevigingen in spuitgegoten onderdelen in de automobielsector.

(bron : Curv® Self-Reinforced Polypropylene Composite Processing Guide)



Figuur 10: Curv + Expanded PP (EPP) schuim

## 6.5.2 PRODUCTIE VAN CURV® BIJ PROPEX



(bron : [www.mntnetwork.com](http://www.mntnetwork.com))

Propex Fabrics is een leidend bedrijf op het vlak van kunststoffen weefsels. Het bedrijf heeft 5 productievestigingen: in de Verenigde Staten, Brazilië, Duitsland, Hongarije en Mexico. Het productiebedrijf bevindt zich in Duitsland.

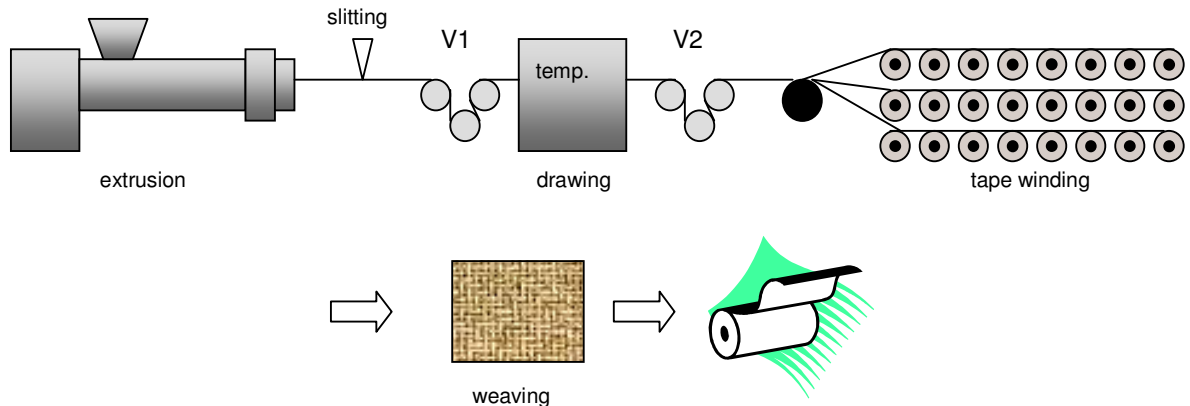
Propex produceert hoofdzakelijk geweven alsook niet-geweven polypropyleen stoffen en tapijtensteunen die in de industrie worden gebruikt. Men produceert daarnaast ook synthetische weefsels die gebruikt worden in industriële stoffen en ook in de automobielsector. Propex extrudeert PP vezels en weeft deze vezels samen tot volledige PP matten. Deze polymeerweefsels worden gebruikt in de wegenbouw als afdichtingslaag van de rijbaan en kunnen ook functioneren als een anti-erosielaag bij bodembedekking. De geweven PP weefsels worden ook verder verwerkt bij de productie van het CURV® materiaal.

De productie van het CURV® materiaal startte in 2002 in de vestiging in Gronau, Duitsland. Het materiaal wordt volledig van begin tot einde, van de PP-vezels tot de volwaardige composietplaten, bij Propex gemaakt. Propex Fabrics verkrijgt in 2004 de Frost & Sullivan Award voor de productie van het innoverende CURV® materiaal in de kunststoffenindustrie. U vindt de press release hiervan in bijlage 1.

Zoals in vorige paragraaf reeds is aangehaald, is het productieproces bij Propex uniek. Ze vertrekken van de grondstof polypropyleen om zo te komen tot een all-in-one 100% 'self-reinforced' thermoplastisch composietmateriaal met uitermate goede mechanische eigenschappen. In dit onderdeel zullen de opeenvolgende productiestappen die men toepast bij Propex algemeen geschetst worden. Deze stappen alsook de totale materiaalstroom worden op de bijgevoegde figuren duidelijk voorgesteld (vooral Figuur 11 en 14).

Vooreerst wordt het polypropyleen geëxtrudeerd tot vezels die daarna getrokken worden tot een bundel vezels of je kan het ook bekijken als een dunne tape bestaande uit PP-vezels. De dunne getrokken polypropyleen tape wordt op het einde op rollen verzameld. Het trekken en stretchen van de vezels zorgt ervoor dat de moleculen zich inwendig in de tape gaan schikken volgens een welbepaalde richting zodat het materiaal een hoge stijfheid en een hoge sterkte verkrijgt in die welbepaalde richting waarin ze worden getrokken. De volgende stap in het proces is het verkrijgen van een polypropyleen weefsel. De dunne tape wordt hierbij door elkaar geweven in 2 hoofdrichtingen. De aparte dunne PP tape banden worden onder hoeken van 0° en 90° door elkaar geweven. Het verkregen weefsel wordt nadien op cilinders gerold.

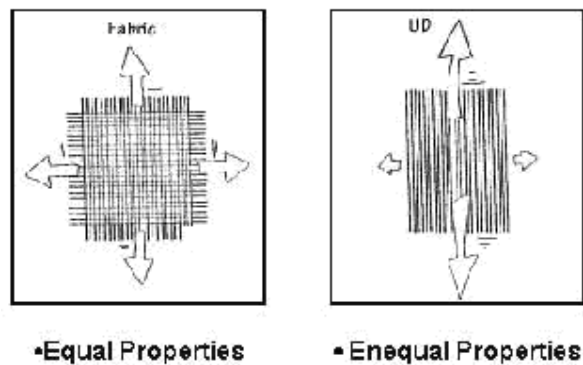




Figuur 11: Eerste deel in het productieproces van het CURV® materiaal

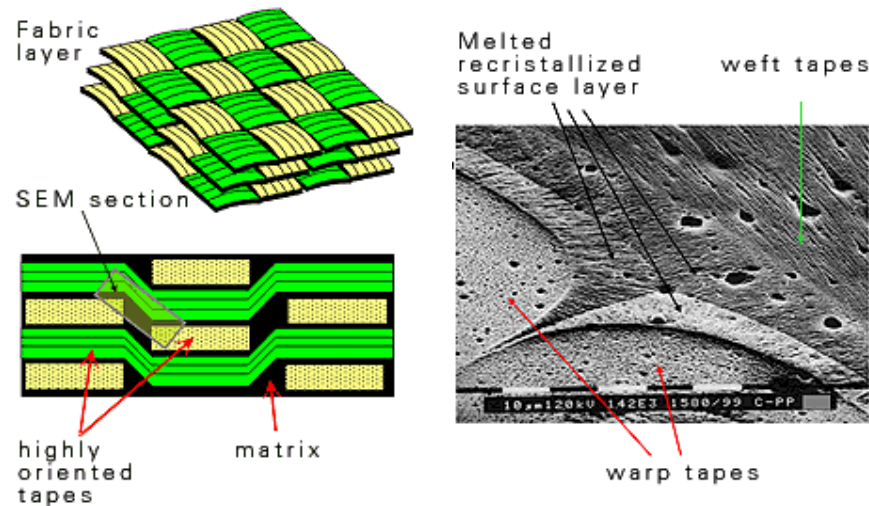
De composieten waarbij de tape steeds in éénzelfde richting wordt geplaatst, hebben overheersende mechanische eigenschappen in die richting. Dit fenomeen noemt men anisotropie. Isotropische materialen daarentegen hebben gelijke eigenschappen in verschillende richtingen. Composieten die opgebouwd zijn uit een weefselversterking hebben dezelfde mechanische eigenschappen in elke vezelrichting, maar ze zijn daarom nog niet isotropisch. De eigenschappen in de diagonaal 45°-richting verschillen bij weefsels duidelijk van de 0° of de 90°-richting en er bestaan ook niet gebalanceerde weefsels waarbij er bv. meer vezels in de 0°-richting liggen dan in de 90°-richting. Het is dan duidelijk dat bij niet-gebalanceerde weefsels de mechanische eigenschappen verschillen naargelang de vezelrichting.

CURV® wordt gemaakt met weefsels waarvan de vezels onderling in hoeken van 0° en 90° liggen, zodat optimale mechanische prestaties in de beide richtingen kunnen geleverd worden.



Figuur 12: Isotrope en anisotrope materialen

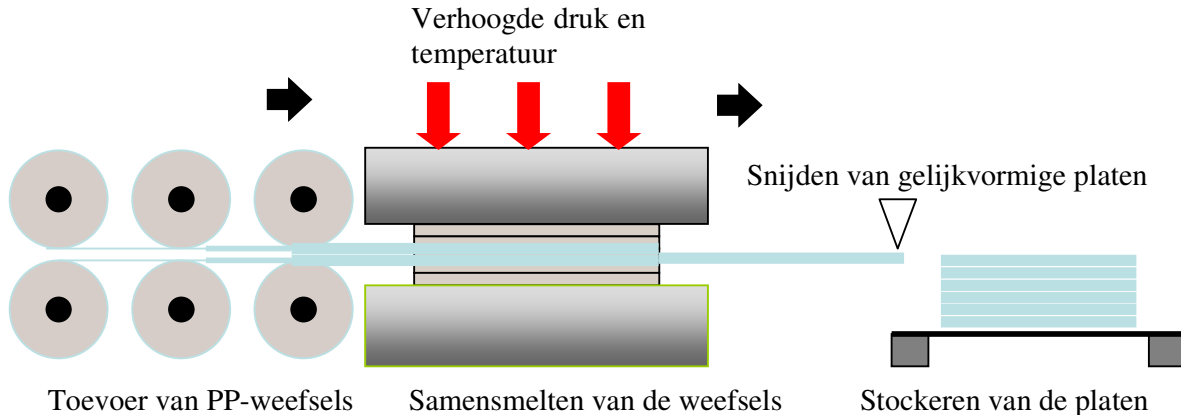




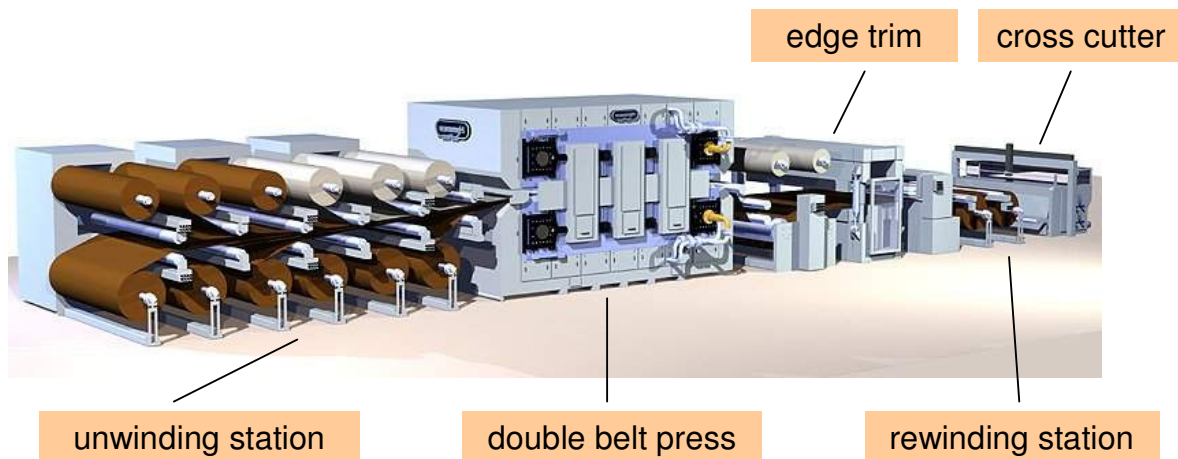
Figuur 13: Opeenvolgende weefsellagen

Tijdens de volgende stap worden de verschillende lagen die komen van de verschillende rollen, doorheen een 'double belt press' geleid. De verschillende lagen bestaan uit enkele lagen PP-weefsel met telkens tussen 2 weefsellagen een zuivere PP laag. Het gaat hier dus over een machine die het samengestelde materiaal langs boven- en onderzijde kan benaderen met een perfecte controle van de temperatuur- en druksettings. De 2 machinehelften drukken de verschillende materiaallagen, die in de machine worden geleid, tegen elkaar aan onder verhoogde druk en temperatuur. Hierbij wordt het oppervlak van elke weefsellaag gedeeltelijk aan het buitenoppervlak gesmolten, zodat de verschillende lagen weefsel aan elkaar worden gehecht tot een nieuwe structuur. Dit proces wordt zeer duidelijk voorgesteld in Figuur 16.

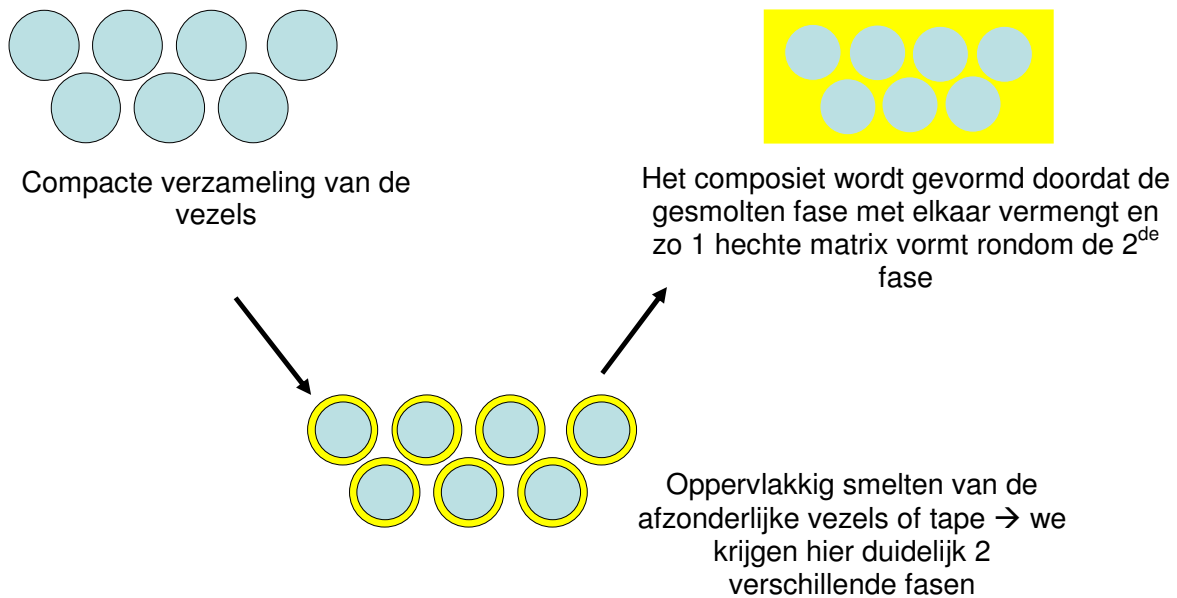
Op het basismateriaal CURV® wordt tijdens het productieproces een afgewerkte laag gelamineerd. Deze laag bestaat uit een polypropyleenlaag van 42µm met daarop een dunne verbindingslaag PUR van ongeveer 2µm. Als krasbestendige toplaag komt er op de PUR een laag PET van 36µm om de slijtweerstand te verhogen. Deze behandelde CURV® platen worden als basismateriaal gebruikt bij de productie van de X'Lite koffer uit het Samsonite Black Label collectie.



Figuur 14: Tweede deel in het productieproces van het CURV® materiaal



Figuur 15: Overzichtstekening van het 'double belt press' procédé: Hot Compaction Technologie



Figuur 16: Verschillende lagen weefsel worden aan elkaar gehecht

Het bekomen CURV® materiaal heeft verscheidene voordelen:

- een laag gewicht bij een grote sterkte en stijfheid
- 100% hetzelfde materiaal is goed voor recyclage
- vervormbaar door op te warmen
- een hoge impactweerstand
- 100% inert

Het CURV® materiaal heeft een grote sterkte, rekening houdend met het feit dat met dit materiaal tot 50% gewicht kan bespaard worden ten opzichte van even sterke materialen. CURV® heeft ook een goede impactweerstand en wordt zelfs niet opmerkelijk bros bij lage temperaturen. Daarnaast en dit tegenover vele andere composietmaterialen is CURV® 100% opgebouwd uit hetzelfde materiaal en daarom is het ook zeer interessant als we denken aan de recyclage van composieten. De combinatie van het gereduceerde gewicht, betere materiaal eigenschappen en 100% recycleerbaarheid leveren een schitterend product af voor bijvoorbeeld de automobiellindustrie waar vermindering van het gewicht kan bijdragen tot een lager brandstofverbruik.

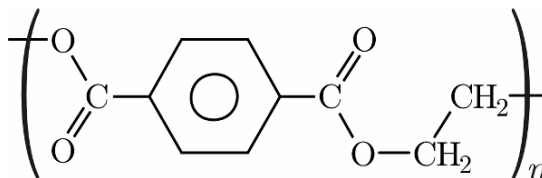


Belangrijk bij het verwerken van de CURV® basisplaten...

CURV® platen kunnen verwerkt worden door thermisch vormgeven (=‘*thermoforming*’) tot de gewenste vormen zoals dashboard panelen van voertuigen, beenbeschermers voor voetballers en kofferschalen bij Samsonite. Zoals de meeste thermoplasten wordt CURV® verwerkt door het op te warmen, waardoor het zachter wordt en gemakkelijker kan vervormd worden. Tegengesteld aan de conventionele thermoplasten behoudt CURV® bij hogere verwerkingstemperaturen zijn hoge relatieve stijfheid. Hierdoor moet er een hoge druk aangelegd worden om het materiaal te vervormen. Een belangrijk gevolg van zijn blijvende stijfheid en de hogere drukken (5 – 30 bar) is dat CURV® niet kan vacuüm gevormd worden. Een belangrijke factor bij het thermisch vormen is de temperatuur. Hoe hoger de temperatuur, hoe hoger de graad van inkrimping zal zijn. De factor inkrimping speelt een belangrijke rol bij onderdelen met een complexe vorm. Indien de onderdelen niet te complex zijn kan men het materiaal vervormen tot een temperatuur van ongeveer 150°C, waarbij de inkrimping nog gering blijft. Bij onderdelen met een hoge complexiteit zoals de kofferschalen van de X’Lite koffer verkrijgt men een beter resultaat als men een verwerkingstemperatuur hanteert van ongeveer 170°C. Bij deze hogere temperaturen zal men rekening moeten houden met meer gebieden van inkrimping en plaatselijke verdunningen in de zones met een grotere vervorming. Hier zal men ervoor moeten zorgen dat de basisplaten bij het opwarmen worden ingeklemd, zodat de inkrimping wordt belemmerd. Doordat de platen worden ingeklemd, is er een grotere kracht nodig om het materiaal in de matrijs te vormen. Ook zal de kans op grotere schuifkrachten en delaminatie tussen de aaneengesmolten lagen toenemen. Zeer kritisch zijn complexe vormen aan de randen van onderdelen. Er moeten hier mechanismen voorzien worden die het materiaal volledig inklemmen zodat het niet te snel vervormt. Indien dit wel gebeurt, zullen er langs de randen zones met geplooid bovenlagen optreden, wat zeer nadelig is voor de mechanische eigenschappen en de esthetiek van het onderdeel. Indien er een grote diepte in de mal moet bereikt worden, moet men het inklemmingssysteem voorzien van veren, zodat het materiaal toch gedeeltelijk vrij mee kan bewegen. De trekkracht van de veren is dan voldoende om het plooiën van de bovenste lagen tegen te gaan.

Naast het zuivere CURV® materiaal dat bestaat uit 100% zuiver PP-PP composiet, kan men de CURV® ook verkrijgen met een functionele oppervlaktelaag. Meestal gebruikt men polyester (PET) of thermoplastische polyurethaan (TPU). TPU overtreft de eigenschappen van het traditionele polyurethaan en rubber. Polyurethaan is zeer slijtvast, veerkrachtig, licht en toch sterk, hecht goed en is klimaatbestendig. De dunne polyurethaanlaag is meestal nodig als hechtingslaag tussen de PP-toplaag van de CURV® en een toegevoegde toplaag. Hoofdzakelijk gebruikt men PET als uiteindelijke toplaag omdat PET zeer krasbestendig is en het geeft aan het afgewerkte onderdeel een gepolijst uitzicht. Ook bij de productie van de kofferschalen van de X’Lite gebruikt Samsonite het CURV® materiaal met PET als toplaag.

De structuurformule van PET:



### 6.5.3 TECHNICAL DATA SHEET CURV®

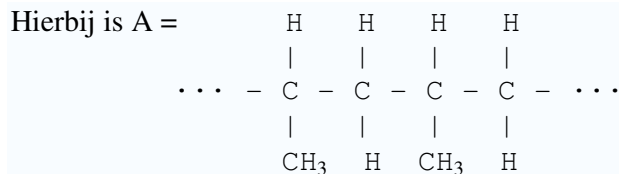
Zie bijlage 2

### 6.5.4 MATERIAL SAFETY DATA SHEET CURV®

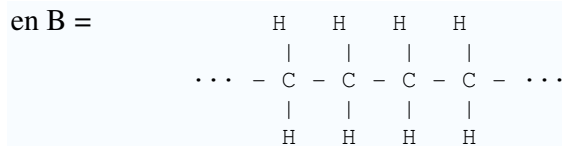
Zie bijlage 3

## 6.6 MOPLEN EP 1661

MOPLEN EP 1661 is een blokcopolymeer van polypropyleen (PP) en polyethyleen (PE). We kunnen dit schematisch zo voorstellen: ...- A-A-A-B-B-A-A-B-B-B-...



Polypropyleen



Polyethyleen

### 6.6.1 TECHNICAL DATA SHEET

Zie bijlage 4

### 6.6.2 MATERIAL SAFETY DATA SHEET

Zie bijlage 5

## **7. PRAKTISCHE UITWERKING**

Belangrijk bij de productie van afval van een vezelversterkte kunststof is ook na te gaan of die honderd procent recycleerbaar is. Zuiver CURV® materiaal bestaat uit 100% PP en is dus volledig te recyclen. Dat komt omdat zowel de vezel als de matrix uit thermoplastisch polypropyleen bestaat. Het verschil tussen de 2 toegepaste fasen van PP bij CURV® schuilt in een verschillend smeltpunt. Zo kan het afgedankte afvalmateriaal door de shredder verkleind worden en zonder materiaalverlies in de extrusiemachine gevoerd worden. Achteraf kan het gerecycleerde granulaat op gepaste wijze opnieuw in de productiecyclus worden gebracht. Met glas- of koolstofvezels is dat voorlopig uitgesloten. Vezel en hars zijn bij deze niet te scheiden en moeten samen verbrand worden, waarbij er allerlei giftige stoffen vrijkomen.

Het materiaal dat Samsonite gebruikt bij de productie van de X'Lite koffer is CURV® met daarop een dun hechtingslaagje PUR van enkele  $\mu\text{m}$  en een krasbestendig PET toplaagje van  $36\mu\text{m}$ . Wanneer het afval verhakeld opnieuw geëxtrudeerd wordt, verkrijgt men een nieuw en speciaal materiaal. De oorspronkelijke gelaagde structuur van de verschillende componenten zal door het verhakkelen verdwijnen. De aanwezige polypropyleen vezels zullen verbroken worden. We krijgen bijgevolg een mix van zowel het PP, PUR en PET. Het nieuwe materiaal zal hoofdzakelijk wel uit polypropyleen bestaan, maar de houding van PET in het ontwikkelde mengsel zal nagegaan moeten worden. De aanwezigheid van PUR zal eventueel kunnen verwaarloosd worden in vergelijking met de hoeveelheid PP en PET in de blend. Via microscopie kan de inwendige structuur van het materiaal na extrusie en na het spuitgieten in kaart worden gebracht. Uitgaande van de microscopische structuur kunnen bepaalde karakteristieke eigenschappen van het gerecycleerde afvalmateriaal verklaard worden. De belangrijkste mechanische eigenschappen van dit nieuwe materiaal worden nagegaan om te kunnen besluiten of het recycleaat kan herbruikt worden voor bepaalde toepassingen bij Samsonite.

### **7.1 OVERZICHT OPEENVOLGENDE STAPPEN IN HET ONDERZOEK**

- Afval, verkregen van Samsonite, verwerken in kleine stukjes = shredderen (SITA)
- Extrusie van het basismateriaal en het afvalmateriaal = materiaal  $\rightarrow$  granulaat (KUL)
- Spuitgieten van het granulaat  $\rightarrow$  trekstaven, kerfslagstaven (KHBO)
- Mechanische testen = trekproef (KUL), kerfslagproef (KUL), hardheid Shore D (KHBO), impactproef (Samsonite Oudenaarde)

### **7.2 ACTIVITEITEN TIJDENS DE STAGEPERIODE**

Ik zal nu als korte introductie een beschrijving geven van de uitgevoerde handelingen tijdens de stageperiode. De stage handelde in samenwerking met het departement MTM van de Katholieke Universiteit Leuven.

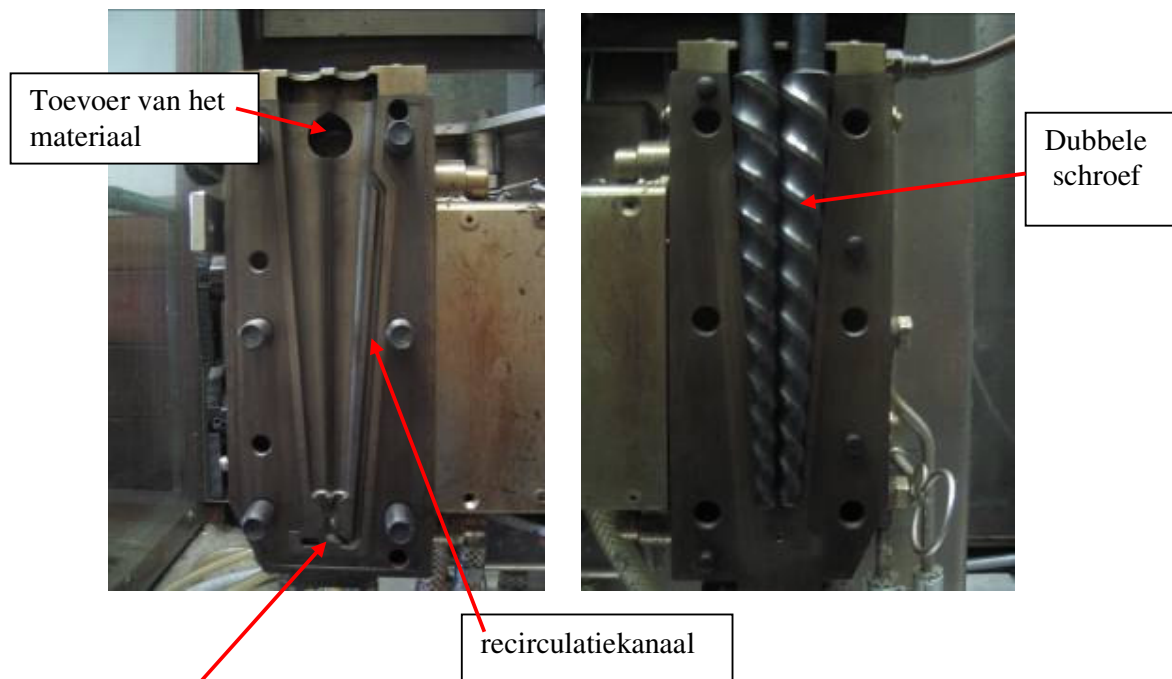


Contactpersonen MTM : Prof.dr.ir. Ignaas Verpoest, Ing. Kristof Vanclooster  
Contactpersoon CIT : Prof.dr.ir. Peter Van Puyvelde

Tijdens de eerste kennismakingsweek was het bewuste afvalmateriaal van Samsonite reeds aanwezig in Leuven, doch dit was veel te groot versneden en onbruikbaar om te extruderen. De volgende grote stap was dus het verkleinen van het gekregen afvalmateriaal. Het was de bedoeling om het afvalmateriaal fijn te hakken (= te shredderen). De verdere uitleg i.v.m. het shredderen vindt u in het onderdeel 7.3 *Shredderen productie-afval X'Lite koffer*.

Tijdens de tweede stageweek werden er met het eigenhandig versnipperde afvalmateriaal (+/- 2kg) al enkele testen gedaan op een kleine midi-extruder op het Chemische departement. Hier was het de bedoeling om de procesparameters van het extrusie-apparaat te wijzigen om zo te ervaren wat de invloed was op het macroscopische uitzicht van het geëxtrudeerde materiaal. Deze aanvangstesten gebeurden op een coroterende dubbelschroefextruder die zorgt voor een goede menging van het materiaal. Er zijn 3 belangrijke parameters die veranderd kunnen worden op de midi-extruder: de temperatuur, het toerental en de cyclustijd. De cyclustijd bepaalt de tijd dat het materiaal circuleert in de extruder alvorens het eruitstroomt. De extruder is voorzien van een zogenaamd 'feedback' systeem dat zorgt voor een recirculatie van de smelt doorheen de extruder.

Figuur 17: dubbelschroefextruder in open toestand



**Onderaan** de midi-extruder is er een kraantje voorzien om te kiezen tussen ofwel de uitstoot ofwel de recirculatie van het gesmolten geëxtrudeerde materiaal. Tijdens de recirculatie, wordt het materiaal naar de bovenzijde van de extruder gebracht via een apart recirculatiekanaal, zodat het opnieuw geëxtrudeerd wordt doorheen de dubbele schroef. De uitstoot van het materiaal zorgt ervoor dat het geëxtrudeerde materiaal langs de zijkant uit de

machine loopt. Daar wordt het uitgestoten materiaal opgevangen op een steriele aluminium plaat om nadien de oppervlaktegesteldheid en de algemene uiterlijke kwaliteit te controleren. Na elk monster moet de machine grondig gereinigd worden. De machine bestaat uit 2 helften die vastzitten met 6 bouten en deze moeten van elkaar losgemaakt worden (*open toestand*) om zo, na de uitstoot van het extrusiemateriaal, het achtergebleven materiaal te verwijderen en ook de schroeven te verwijderen om ze te reinigen. Na het manueel reinigen laten we de extruder minstens 2 maal met zuiver polyethyleen draaien om de binnenste leidingen te ontdoen van het eerder verwerkt klevende afvalmateriaal. De volledige reiningscyclus is heel cruciaal, zodat het volgende monster kan gemaakt worden met een machine zonder verontreiniging.

Het materiaal na extrusie heeft een mooi homogeen uitwendig uitzicht, zonder vervormingen aan het oppervlak. Het belangrijkste besluit van de experimenten op de midi-extruder is dat men na extrusie een mooie gladde sliert verkrijgen zodat men met een gericht idee qua parameters naar de grote dubbelschroefextruder kan gaan op CIT om het afvalmateriaal om te zetten in granulaat. De hoge temperaturen (250°C) zijn nodig om het PET te kunnen smelten. Op het einde van de tweede week ben ik persoonlijk naar Izegem gereden om het materiaal te laten shredderen bij SITA, ongeveer 30kg zuivere CURV® en ongeveer 50kg afvalmateriaal CURV®+PUR+PET.

Gedurende de derde stageweek werd het verhakkeld materiaal naar de extruder op CIT gebracht, maar de extrusie op de dubbelschroefextruder kon nog niet aangevat worden wegens een elektronisch probleem.

Tijdens de laatste stageweek werd het geshredderd materiaal geëxtrudeerd op de dubbelschroefextruder. Zo verkrijgen we na enkele wijzigingen van de procesparameters ongeveer 12,5kg gerecycleerd CURV® materiaal en 18,5kg gerecycleerd afvalmateriaal CURV®+PUR+PET.

#### Kritische vragen

- Wat gebeurt er met de PUR indien hij gebracht wordt op 250°C
- Wat gebeurt er met de PP indien hij gebracht wordt op 250°C (in welke mate degradatie?)

Een antwoord op de laatste vraag kan gevonden worden als men op het materiaal enkele viscositeitsmetingen zou uitvoeren.

### 7.3 SHREDDEREN PRODUCTIE-AFVAL X'LITE KOFFER

Op de K.U.Leuven blijkt er geen machine aanwezig te zijn die het afvalmateriaal van Samsonite kan shredderen in kleine stukjes van maximaal 1cm op 1cm. De vereiste grootte wordt bepaald door de onderste opening van de aanvoertrechter van de extrusiemachine op CIT. Op het internet vindt men verschillende bedrijven die kunststoffen verwerken of recycleren en die het dus ook kunnen verhakkelen. Voor de meeste bedrijven is dit weliswaar niet praktisch realiseerbaar omdat het totale afgalgewicht veel te klein is en het economisch voor het bedrijf niet de moeite is om een machine daarvoor te reinigen. In afwachting naar een positieve reactie van een bedrijf ben ik begonnen met het manueel verkleinen van het afval met een tuinschaar. Zo verkrijgen we reeds 2kg verhakkeld materiaal.

Via een kennis van mijn vader heb ik uiteindelijk contact kunnen opnemen met een firma te Izegem (SITA) die positief antwoord gaf voor het verhakkelen van het afvalmateriaal.





Figuur 18: Afvalmateriaal na X'Lite productiecyclus  
(de bijgeplaatste liniaal in de foto meet 40cm)



Figuur 19: Verhakkeld afvalmateriaal

## 7.4 EXTRUSIE GESHREDDERD MATERIAAL

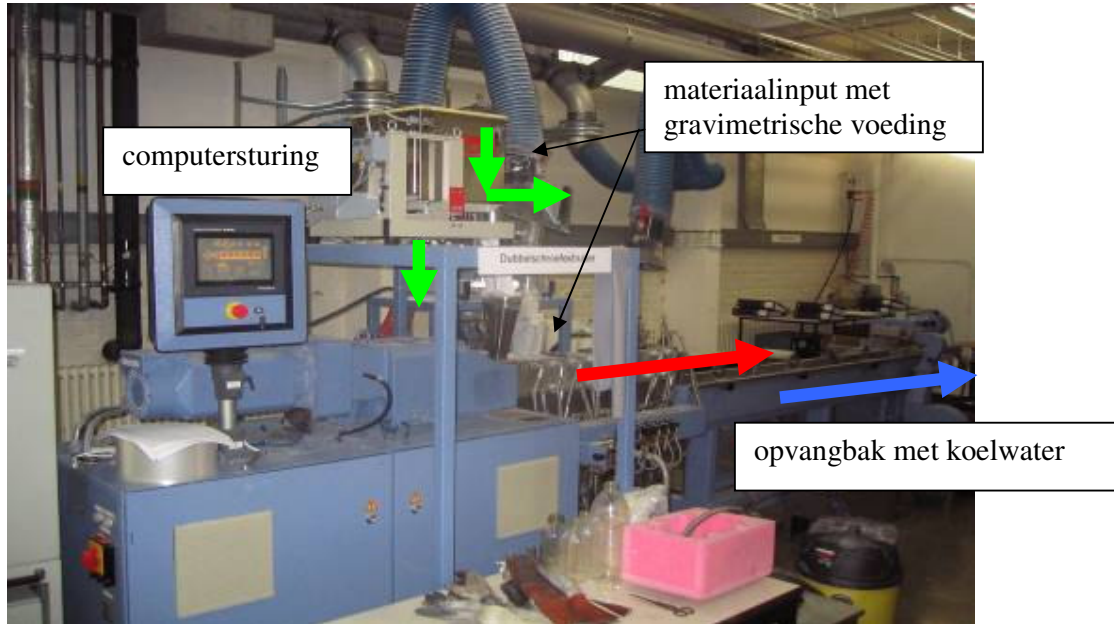
Na het shredderen wordt het materiaal van SITA naar Leuven getransporteerd om het op CIT te verwerken tot bruikbaar granulaat. De extrusie van de 2 gerecycleerde materialen wordt uitgevoerd met een coroterende dubbelschroefextruder. De dubbelschroefextruder (Figuur 20) is coroterend, wat zorgt voor een betere menging van het gesmolten materiaal tijdens de extrusie. Bij de dubbelschroefextruder passen we gravimetrische voeding toe, d.w.z. dat na calibratie de dosage perfect kan geregeld worden. Bij beide materialen wordt 5kg/uur als voedingsdebiet gebruikt. Vooraf hadden we 8kg/uur geprobeerd, maar dit resulteerde in een ophoping van het geshredderd materiaal in de toevoertrechter omdat het materiaal opmerkelijk licht is, niet voldoende naar beneden wordt gedrukt door het eigengewicht en dus

niet wordt meegenomen door de schroeven. Ook passen we het toerental van de schroeven aan om een goede materiaaltoevoer te verkrijgen. Calibratie van de machine is steeds verplicht alvorens men kan overschakelen naar de extrusie van een ander materiaal, omdat ieder materiaal zijn eigen dichtheid heeft. Het eigengewicht heeft effect op de gravimetrische voeding. Ook het toerental van de schroeven en de verschillende temperaturen van de opeenvolgende segmenten kunnen vrij ingesteld worden.

Het verhakkelde materiaal wordt gesmolten en simultaan met elkaar gemengd door het verwarmde extrusiecompartiment met daarin de 2 schroeven (detailfoto zie Figuur 21). De draaiende schroeven zorgen ook voor het transport van het materiaal naar de uitgang van de machine. Uiteindelijk wordt het materiaal na het smelten en het mengen door een kleine opening aan het einde van de schroef geperst waar ook de smelttemperatuur en de smeltdruk wordt gemeten. Daarna wordt de sliert onder water geleid om het materiaal te koelen. Op het einde van de koelbak komt de sliert boven water en wordt het overtollige koelwater van de sliert geblazen. Daarna wordt het gestolten materiaal versneden in een automatische snijmachine. Deze snijmachine maakt van de lange sliert kleine korrels (= granulaat) die worden opgevangen in een bak onder de machine. Deze verwerkingsmethode voeren we uit zowel op het verhakkelde afvalmateriaal (CURV® + PUR + PET) als op het verhakkelde basismateriaal CURV® met steeds dezelfde ingestelde parameters.

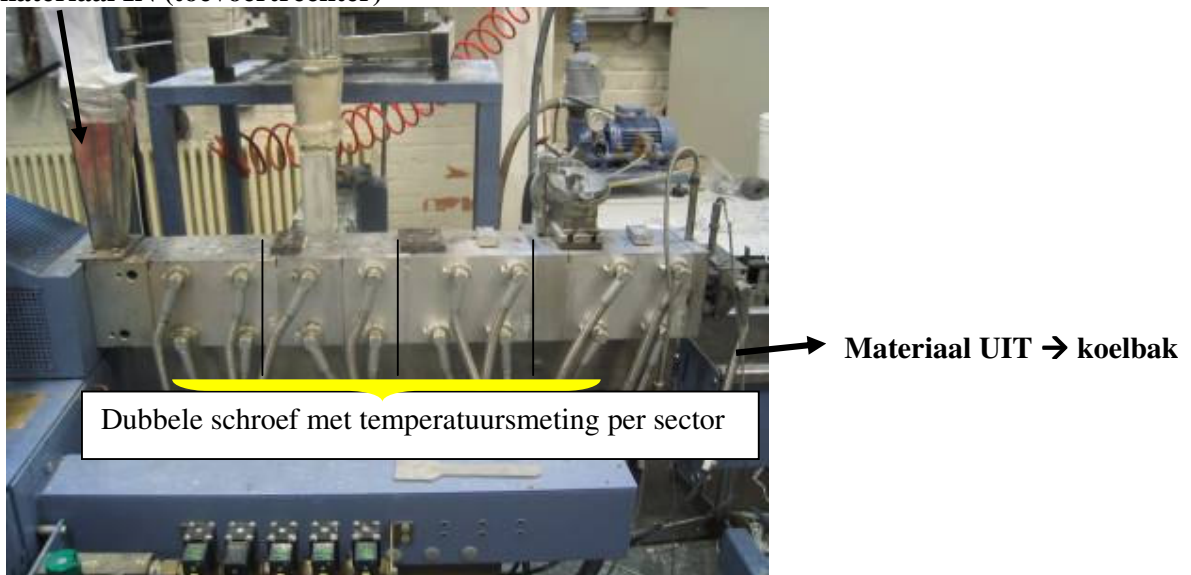
Ingestelde parameters:

- schroeftemperaturen:            zone1 zone2 zone3 zone4 zone5 zone6  
  (van ingang naar uitgang ) 240  245  245  250  250  250    °C
- Dosering: 5kg/uur
- Toerental van de schroeven: 225 tr/min
- Smelttemperatuur: 245°C
- Smeltdruk: 21 bar

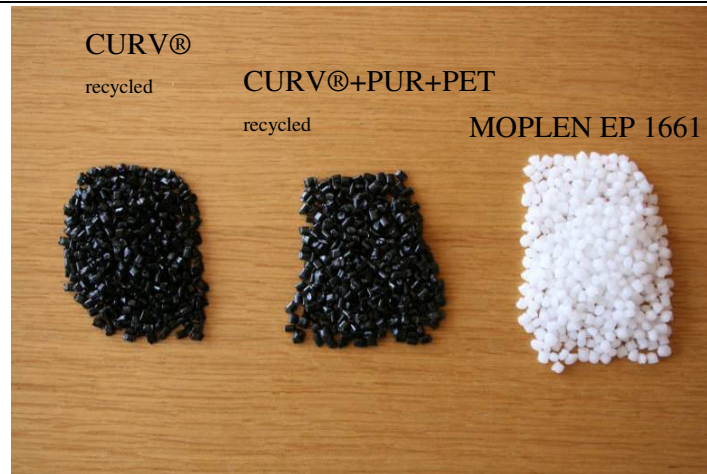


Figuur 20: Een blik op de volledige dubbelschroefmachine

**materiaal IN (toevoertrechter)**



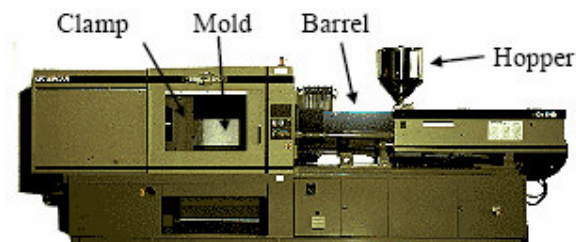
Figuur 21: Extrusiecompartiment met 2 coroterende schroeven en aparte temperatuurregeling



Figuur 22: Het bekomen granulaat

## 7.5 SPUITGIETEN GRANULAAT

(Engl.: Injection molding)



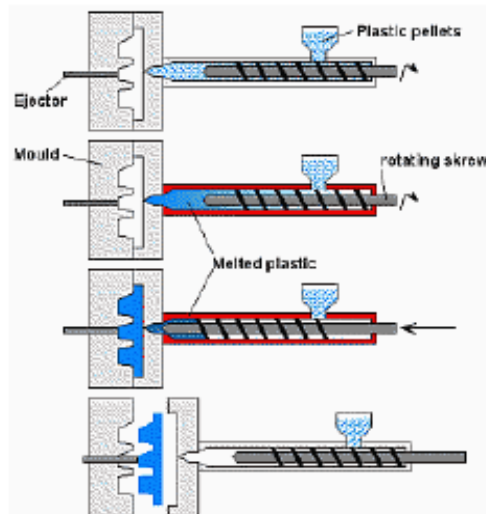
Figuur 23: Algemene opbouw van een spuitgietsmachine

Spuitsieten wordt meestal toegepast bij thermoplasten. De grondstof, in de vorm van korrels of ook granulaat genoemd, wordt gesmolten en door een plunjer, die voor de druk zorgt, wordt het polymeer in een matrijs gespoten. Deze matrijs wordt meestal gekoeld om het koelingsproces te versnellen. Met deze methode kunnen zeer ingewikkelde vormen vervaardigd worden. Maar deze productiemethode rendeert pas na vele stukken, dus deze methode is enkel geschikt voor zeer grote oplagen.

Het spuitgieten is een verwerkingstechniek die gebruik maakt van het thermisch-fysisch gedrag van het materiaal. Het materiaal onder de vorm van granulaat wordt in een verwarmde cilinder gebracht totdat het week of plastisch wordt. Bijkomende warmte wordt bekomen door de wrijving tussen de moleculen wanneer zij langsheen de schroef worden geleid. De schroef wordt ook wel de schroef van Archimedes genoemd. De gesmolten kunststof wordt dan getransporteerd naar de voorzijde van de schroef en daar onder druk in een gietvorm of matrijs gespoten. De matrijs heeft de vorm van het te vervaardigen product. De gesmolten substantie kan ook m.b.v. een hydraulische zuiger onder druk in de matrijs gespoten worden. Het materiaal begint te stollen wanneer het in aanraking komt met de koudere matrijswand.



Bij thermoplasten gebruikt men koude matrijzen. Bij thermoharders daarentegen gebruikt men verwarmde matrijzen, waar dan de polymerisatie en de *cross-linking* plaatsgrijpt. Nadat het product voldoende afgekoeld en vormvast is, wordt de matrijs geopend en wordt het product uitgestoten met behulp van de uitstoters (= *ejector pins*). Daarna wordt de matrijs opnieuw gesloten en kan het bovenstaande proces opnieuw beginnen.



Figuur 24: Opeenvolgende cycli in het spuitgietproces

Uitleg bij Figuur 24: het granulaat wordt in een elektrisch verwarmde cilinder gebracht, waarin zich een schroef bevindt. Het materiaal wordt gesmolten en door de ronddraaiende schroef naar voren gebracht. Op het einde van de cilinder wordt het gesmolten materiaal echter niet meteen uit de cilinder verwijderd, maar daar opgeslagen. De ruimte die daar voor nodig is, wordt verkregen doordat de schroef zelf tijdens de productie van de smelt naar achteren schuift. Zodra er voldoende smelt, nodig om de matrijsholte te vullen, voor in de cilinder is verzameld, stopt de schroef zijn draaiende beweging. Vervolgens wordt deze hoeveelheid smelt door een schuifbeweging van de schroef via de spuitneus in de matrijsholte geperst. In de meestal met water gekoelde matrijs koelt het materiaal af. Zodra het voldoende vormvast is geworden, wordt de matrijs geopend en het artikel gelost.

Men kan met deze techniek fabricagestukken met een complexe vorm vervaardigen. Er kan een goede vormnauwkeurigheid bereikt worden. Bij spuitgieten bereikt men een hoge productiesnelheid. Typische cyclustijden schommelen tussen de 5 à 60 seconden. Een matrijs kan ook verschillende productieholtten (*cavities*) hebben, zodat er meer producten per cyclus worden gemaakt. De productkwaliteit hangt in sterke mate af van het matrijsontwerp en van de materiaalstroom (materiaaltoevoer). Door de hoge matrijskost gebruikt men deze techniek meestal voor producten die in een groot aantal moeten worden vervaardigd. Er bestaan verschillende soorten spuitgietprocédés: spuitgieten met gasinjectie, 2-componenten spuitgieten, precisie spuitgieten en sandwich spuitgieten.

Het spuitgieten van met korte vezel versterkte thermoplasten (= composieten) verschilt op enkele punten:

- De viscositeit van de kunststofsmelt is hoger, zodat de injectiedruk tot 80% hoger is.
- Door de grotere stijfheid van het voorwerp mag de matrijs reeds bij een hogere temperatuur geopend worden, zodat de cyclustijd verkort.
- De snelheid van de transportschroef en de drukopbouw is in de cilinder van groot belang, indien men een vezelbreuk en dus de mechanische eigenschappen van het werkstuk onder controle wil houden.
- De verhoogde slijtage van het staal waaruit de schroef, de cilinder en de matrijs vervaardigd zijn, wordt tegenwoordig door een aangepaste materiaalkeuze opgevangen.

**Belangrijk:** de maximale versterking is sterk afhankelijk van de vloeirichting van het visceus vloeibare materiaal en de zich erin bewegende vezels tijdens het spuitgieten.

Na extrusie van het verhakeld materiaal verkrijgen we de 2 soorten granulaat (gerecycleerd). Het zuivere MOPLEN EP 1661 granulaat (niet gerecycleerd) is afkomstig van Samsonite. Met de 3 verschillende materialen worden voldoende trekstaven en kerfslagstaven spuitgegoten. Zowel het MOPLEN EP 1661, het gerecycleerde CURV® als het gerecycleerde afvalmateriaal CURV® + PUR + PET worden met dezelfde instelparameters verwerkt tot proefstaven met de Arburg 320 (Figuur 25). De technische gegevens van deze machine bevinden zich in bijlage 7.



Figuur 25: Spuitgietmachine Arburg 320, type 50ton

Kenmerkende parameters van het proces:

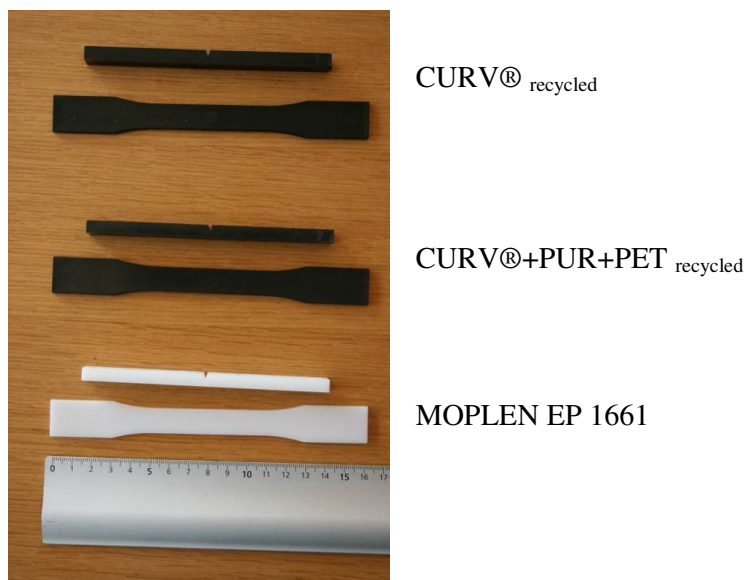
- Cilindertemperaturen:
 

zone1	zone2	zone3	zone4	zone5	trechter
○ 250	250	245	240	235	35 °C
- Matrijstemperaturen:
 

spuitzijde	sluitzijde
○ 20	20 °C
- Plastificeerweg: 25 ccm
- Inspuitsnelheid: 40 ccm/s
- Inspuitdruk: 786 bar
- Omschakelen op nadruk: 10,7 ccm

- Nadruk en tijd: 700bar – 10s
- Buffer: 4,9 ccm
  
- Snelheid plastificeren 20 m/min
- Tegendruk: 60 bar
- Decompressie: 5 ccm – 10ccm/s
  
- Inspuittijd: 0,6 s
- Plastificeertijd: 3,8 s
- Restkoeltijd: 15 s
- Matrijs dicht: 0,43 s
  
- Cyslustijd: 29 s

Het spuitgieten en de controle van de machine vereist een grondige kennis van de werking van de machine en van het totale proces. Daarom wordt de praktische uitvoer van het spuitgieten van alle proefstaven die bij dit eindwerk worden gebruikt, gerealiseerd door Mr. Aspeslagh van de KHBO. De gebruikte matrijzen leveren ons de trek- en de kerfslagstaven (Figuur 26). We merken hierbij op dat de maten van de proefstaven niet genormeerd zijn. Op de KHBO hebben we geen matrijs met genormeerde trek- en kerfslagstaven. We hebben de 3 soorten materialen onder dezelfde omstandigheden spuitgegoten met dezelfde machine en dezelfde matrijzen. Ook de belangrijke instellingen later bij de afzonderlijke proefopstellingen zullen we zoveel mogelijk constant houden bij alle behandelde materialen. Op basis van deze veronderstellingen kunnen we na elke mechanische test gemakkelijk een relatieve en vergelijkende studie van onze testresultaten onderling maken. Onze resultaten zullen daarom moeilijk te vergelijken zijn met eventuele literatuurwaarden. Toch voeren we elke mechanische test zoveel mogelijk uit volgens de voorgeschreven ISO-norm, zodat onze meetmethode en de verdere berekeningen op enige betrouwbaarheid kunnen steunen.



Figuur 26: Spuitgegoten trek- en kerfslagstaven

---

## 7.6 MECHANISCHE TESTEN

### 7.6.1 INLEIDING

Alle producten in onze samenleving vervullen specifieke functies. Deze functies zoals mechanische functies vertalen zich in bepaalde producteigenschappen, die hoofdzakelijk door het materiaaltype bepaald worden. Het is dus heel belangrijk dat men als ontwerper een keuze kan maken van een geschikt materiaal voor een specifiek ontwerp. En die keuze zal afhangen van de verschillende eigenschappen die een materiaal kan hebben:

- chemische eigenschappen,
- fysische eigenschappen,
- mechanische eigenschappen,
- dimensionale eigenschappen.

Zo moeten we goed beseffen dat de typerende mechanische eigenschappen van kunststoffen verschillen met die van metalen. De keuze van materiaal en productieroute bepaalt in belangrijke mate in hoeverre de gewenste producteigenschappen gerealiseerd worden. Een mechanische eigenschap van het materiaal is een te meten aspect dat tijdens de materiaalkeuze moet bestudeerd worden om zo een materiaaltype te relateren aan een gewenste functie-eis of fabricage-eis. De meetnauwkeurigheid van deze eigenschappen hangt voornamelijk af van de beschikbare meettechnologie. Om een zicht te krijgen op de verschillende mechanische eigenschappen worden verschillende testen uitgevoerd. Bij dit onderzoek hebben we de volgende proeven uitgevoerd:

- trekproeven,
- hardheidsmetingen,
- slagvastheidstesten,
- impacttesten.

De methode van de uitvoering van elke soort proef alsook de berekening van de kenmerkende eigenschappen worden bepaald door meetprocedures of liggen vast in normen. Een belangrijk voorbeeld hiervan is de ISO-norm. Normen dienen vooral om de betrouwbaarheid van een onderlinge vergelijking te maximaliseren en om de te volgen procedure in hoge mate te standaardiseren. Het methodologisch ideaal, dat de meetmethode de uitkomst niet beïnvloedt, is onbereikbaar. Daarnaast treden bij de lange weg van proefvoorbereiding tot en met de bruikbare testresultaten talrijke onvoorspelbare hindernissen op die de planning serieus kunnen vertragen.

In dit eindwerk worden de belangrijkste mechanische eigenschappen van het onderzochte materiaal nagegaan om achteraf te kunnen besluiten of het gerecycleerde afvalmateriaal van de X'Lite koffer kan herbruikt worden voor bepaalde toepassingen bij Samsonite. De uitgevoerde mechanische testen die hierna één voor één worden besproken maken het belangrijkste deel uit van dit eindwerk. De resultaten van deze testen zullen een duidelijke maatstaf zijn om te controleren of het nieuw ontwikkelde gerecycleerde materiaal in aanmerking komt om het te hergebruiken.

Bij elke uitgevoerde mechanische test wordt eerst wat uitleg of nuttige documentatie over de test gegeven. Ook worden de bekomen resultaten getoond en vergeleken met elkaar. Tenslotte zullen de belangrijkste resultaten besproken en verklaard worden.



Elke soort proef is uitgevoerd op de 3 verschillende materialen:

- het gerecycleerde basismateriaal CURV® (PP-PP gerecycleerd);
- het gerecycleerde afvalmateriaal van de X'Lite koffer (PP-PP+PUR+PET gerecycleerd);
- het zuivere polypropyleen MOPLEN EP 1661.

Een belangrijke opmerking hierbij is dat alle trekstaven en kerfslagstaven van alle onderzochte materialen bij dezelfde procesparameters werden spuitgegoten. Voor verdere details, zie 7.5 *Spuitgieten van het granulaat*.

De impactproef werd niet uitgevoerd op het gerecycleerde basismateriaal CURV®, alsook zijn de impactresultaten van MOPLEN EP 1661 afkomstig uit de database van het laboratorium bij Samsonite.

Bij de aanvang van het onderzoek hebben we gesteld dat een vergelijking tussen het gerecycleerde basismateriaal CURV® en het gerecycleerde afvalmateriaal (CURV® + PUR + PET) nuttig zou zijn. Bij deze vergelijking zou het effect van de PET in het materiaal kunnen verklaard worden. Dit is weliswaar niet de grootste bezorgdheid van Samsonite.

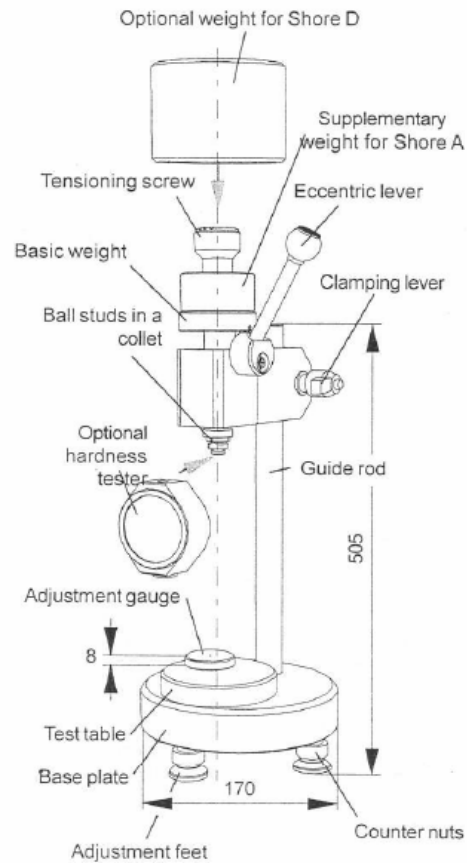
De belangrijkste vergelijking die bij elke proef gemaakt moet worden is tussen het gerecycleerde afvalmateriaal van Samsonite en het zuiver PP materiaal. Het MOPLEN EP 1661 copolymeer wordt momenteel bij Samsonite gebruikt bij de productie van sommige hardschalige koffers en enkele kleine onderdelen. Het afvalmateriaal van de X'Lite koffer wordt voorlopig bij Samsonite enkel verkocht aan externe bedrijven. De hoofdvraag in dit onderzoek is of het gerecycleerde afvalmateriaal het MOPLEN EP 1661 in sommige onderdelen als productiemateriaal kan vervangen. In de eerste plaats zou het kunnen gebruikt worden bij de productie van niet kritische onderdelen zoals bv. bevestigingslatjes.

## 7.6.2 HARDHEID SHORE D

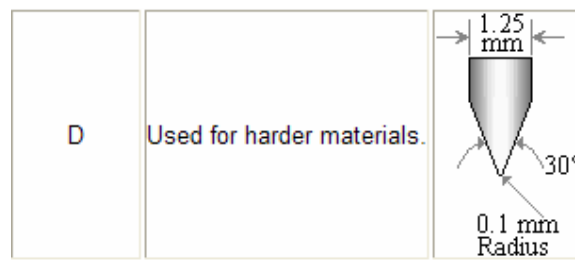
Hardheid is de weerstand die een materiaal biedt tegen plastische deformatie.

Hardheid kan bepaald worden als de weerstand van een materiaal tegen plastische vervorming van het oppervlak onder invloed van een zeer plaatselijke belasting.

Er bestaan verschillende soorten hardheidsmetingen met verschillende meetinstrumenten en indruklichamen voor metalen en voor kunststoffen. Hardheid Vickers, Brinell en Rockwell worden meestal gebruikt bij metalen en hebben verschillende indruklichamen. Helaas kunnen hardheidswaarden die met een bepaalde testmethode zijn gemeten, niet worden omgerekend in de schaaleenheden die bij een andere test worden gebruikt. Een methode die veel gebruikt wordt bij de bepaling van de hardheid van kunststoffen is de durometerproef van Shore (zie Figuur 27). Bij Shore A of Shore D wordt er gebruik gemaakt van een indruknaald. De hardheid wordt gemeten met behulp van een naald die door een veer in het materiaal wordt gedrukt. Volgens de norm, ISO 868, heeft de naald bij Shore D een tophoek van 30° (zie Figuur 28). Het resultaat van de hardheidsmeting wordt uitgedrukt in een getal zonder eenheden. De hardheid van het onderzochte materiaal kan vergeleken worden met die van een ander materiaal, indien ze beiden volgens dezelfde methode worden getest.



Figuur 27: Durometerproef Shore D



Figuur 28 : Indruklichaam bij hardheidsmeting Shore D

Wat is nu eigenlijk het doel van hardheidsmetingen?

- Er is een zekere relatie tussen de hardheid en de treksterkte van een materiaal. Zo kan men een eenvoudige, niet-destructieve test doen om een eerste indruk te krijgen i.v.m. de sterkte van een materiaal. (een toepassing hiervan is het Ashby diagram)
- Hardheid is ook een maat voor de slijtagevastheid van een materiaal.
- De microstructuur van een legering kan onderzocht worden door de hardheid van de verschillende fasen te onderzoeken.

Het resultaat wordt onmiddellijk afgelezen van het meettoestel en is enkel een indicatie die kan gebruikt worden in een relatieve vergelijking tussen verschillende materialen.



Figuur 29: Schaalverdeling durometer Shore D

De hardheidsschaal gaat van 0 bij volledige penetratie tot 100 bij geen penetratie van de naald in het materiaal. Een volledige indringing van de naald komt overeen met een indringdiepte van ongeveer 2,46 à 2,54 mm, afhankelijk van het meettoestel dat gebruikt wordt.

De metingen worden uitgevoerd op zowel de spuitgegoten trekstaven als op de spuitgegoten kerfslagstaven, opdat er geen twijfel over de bekomen resultaten mogelijk is. Beide soorten staven werden bij dezelfde procesparameters spuitgegoten. Dit laat ons toe om de materialen onderling te vergelijken. De gemeten hardheden worden in de volgende tabel weergegeven.

**Shore D hardheid ISO 868**

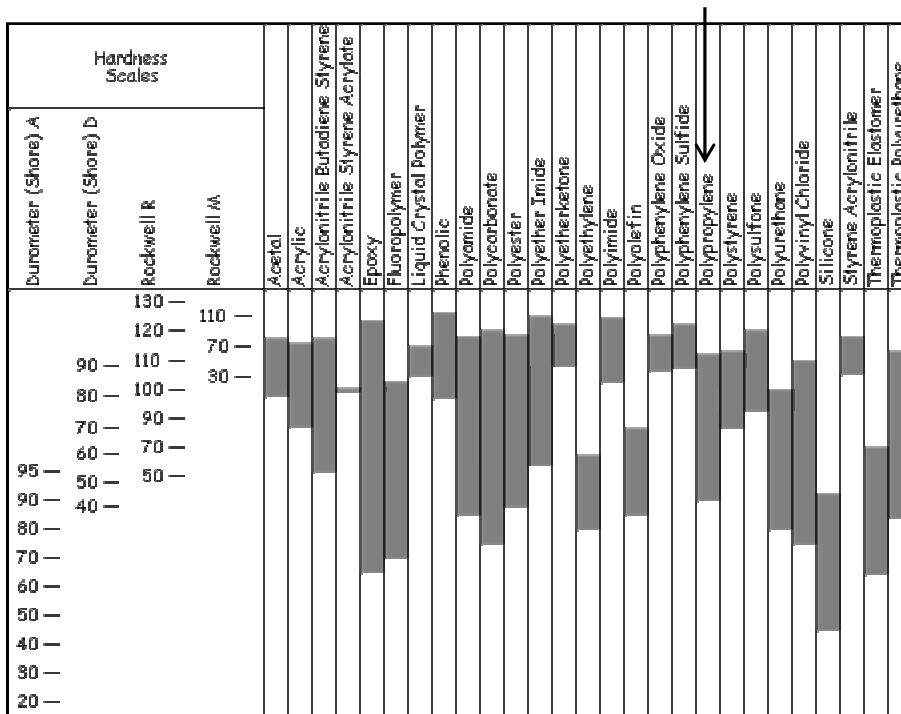
	CURV® gerecycleerd	CURV®+PUR+PET gerecycleerd	MOPLN EP 1661 vergelijkingsmateriaal
	basismateriaal	afvalmateriaal	
	67	70	57
	67	68	58
	69	69	58
	68	69	59
	68	68	56
	62	65	58
	64	63	58
	63	67	59
	63	65	56
	63	64	57
<b>gemiddelde</b>	<b>65,4</b>	<b>66,8</b>	<b>57,6</b>
2x stdev	5,2	4,7	2,1
95%+	70,6	71,5	59,7
95%-	60,1	62,0	55,5

Van de 10 metingen hebben we telkens het gemiddelde bepaald. De rode cijfers in de tabel zijn de uiteindelijke hardheidswaarden per materiaal. Het gemiddelde opgeteld met 2 keer de standaarddeviatie geeft ons de 95% zekerheid bovengrens. Op analoge wijze bepalen we de 95% zekerheid ondergrens.

*Deze statistische verwerking wordt op alle meetresultaten van alle uitgevoerde proeven uit dit onderzoek op indentieke wijze toegepast, maar de berekende statistische kengetallen zullen niet bij elke berekening getoond worden om de duidelijkheid van het rapporteren te behouden.*

Algemeen geldt: hoe groter het hardheidsgetal, hoe harder de kunststof, hoe kleiner de indrukking en hoe groter ook de weerstand tegen plastische vervorming.

Uit de tabel met de hardheidsresultaten besluiten we dat het gerecycleerde afvalmateriaal een grotere of betere hardheid bezit dan het vergelijkingsmateriaal MOPLen EP 1661. Het verschil tussen de hardheidswaarde van het gerecycleerd basismateriaal en het gerecycleerd afvalmateriaal is praktisch te verwaarlozen. Hieruit kunnen we afleiden dat de PET fractie, die in het afvalmateriaal aanwezig is, niet veel effect heeft op de totale hardheid van het materiaal. Dit is te verklaren doordat de PET deeltjes enorm verspreid aanwezig kunnen zijn in het composiet, waardoor we niet de hardheid van een PET-deeltje opmeten, maar wel van de PP die errond zit. Louter uitgaande van deze hardheidsresultaten kunnen we besluiten dat het gerecycleerde afvalmateriaal harder is en het MOPLen EP1661 kan vervangen als het gewenste materiaal hard moet zijn. Met dit besluit wordt enkel rekening gehouden met de eigenschap weerstand tegen plastische vervorming. We hebben het hier niet over andere mechanische eigenschappen of ook niet over de visuele of esthetische eis die aan een voorwerp wordt gesteld.



Figuur 30: Vergelijkbare hardheidswaarden bij kunststoffen

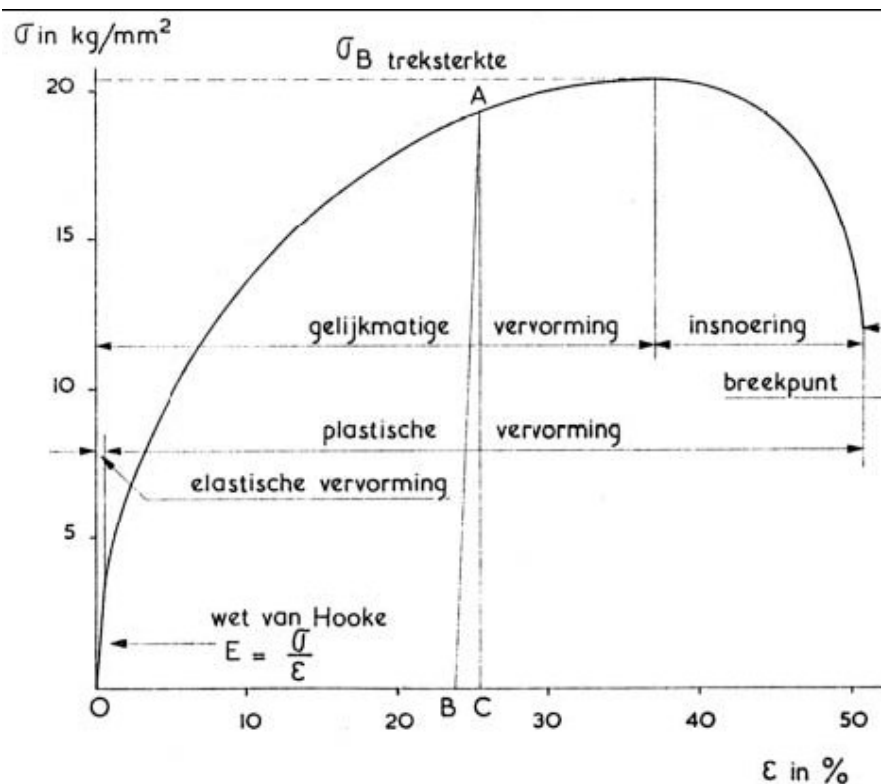
### 7.6.3 TREKPROEF

Bij statische beproevingsmethoden wordt een proefstuk continu en niet-wisselend belast. De trekproef is de belangrijkste statische beproeving. Met de trekproef kunnen we enkele van de meest fundamentele mechanische eigenschappen van een materiaal afleiden (sterkte, taaigheid, stugheid, versterking, ...).

Bij deze proef wordt een trekstaaf in 1 richting belast. De proefstaven worden in een trekbank op genormaliseerde wijze gerekken, totdat breuk optreedt. De waarden van de aangelegde kracht en resulterende verlenging worden continu geregistreerd. Deelt men de gemeten kracht door het oorspronkelijke oppervlak van de trekstaaf en deelt men de opgelegde verlenging door de oorspronkelijke lengte, verkrijgt men de berekende spanning en de berekende rek. De volgende formules geven dit weer:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

Het verband tussen deze laatste 2 grootheden (spanning en rek) wordt traditioneel voorgesteld in een trekkromme of ook het spanning-rek diagramma genoemd (zie Figuur 31).



Figuur 31: Algemene voorstelling van een spanning-rek diagram

Bij het begin van de curve bestaat er een evenredigheid tussen de nominale spanning  $\sigma$  en de specifieke rek  $\varepsilon$  (volgens de wet van Hooke):  $\sigma / \varepsilon = E = \text{cte}$  (deze constante is een materiaalconstante en noemt men elasticiteitsmodulus E. De elasticiteitsmodulus is de spanning die nodig is om het materiaal te rekken met 100% in de veronderstelling dat het materiaal de wet van Hooke zou blijven volgen ver boven de rekgrens. De E-modulus is een maat voor de stijfheid van een materiaal. Bij kleine verlengingen krijgen we een ELASTISCH tijdelijke vervorming. Bij een grotere verlenging krijgen we te maken met een PLASTISCH blijvende vervorming.

Een materiaal met een HOGE E-modulus is een **STIJF materiaal**.

Een materiaal met een LAGE E-modulus is een **SOEPEL materiaal**.

Vanaf een bepaalde grenswaarde van de spanning gaat de elastische vervorming over in een plastische, nl. bij de ELASTICITEITSGRENS.

Een materiaal met een HOGE ELASTICITEITSGRENS is een **STUG materiaal**.

Een materiaal met een LAGE ELASTICITEITSGRENS is een **WEEK materiaal**.

Tot aan de elasticiteitsgrens treedt na rekken volledig vormherstel op, boven de elasticiteitsgrens is er blijvende, plastische vervorming opgetreden. Bij kunststoffen is deze grens meestal niet goed te onderscheiden.

De oorspronkelijke begindoorsnede A wordt steeds gebruikt om de nominale spanning te berekenen, maar in werkelijkheid is de spanning iets anders, aangezien tijdens het rekken de doorsnede van de proefstaaf voortdurend wijzigt. Tijdens de trekproef bereikt de trekkracht en dus ook de nominale spanning op een bepaald punt een maximum, nadien begint de staaf in te snoeren.

Een materiaal met een HOGE TREKSTERKTE wordt **STERK genoemd**.

Een materiaal met een LAGE TREKSTERKTE wordt **ZWAK genoemd**.

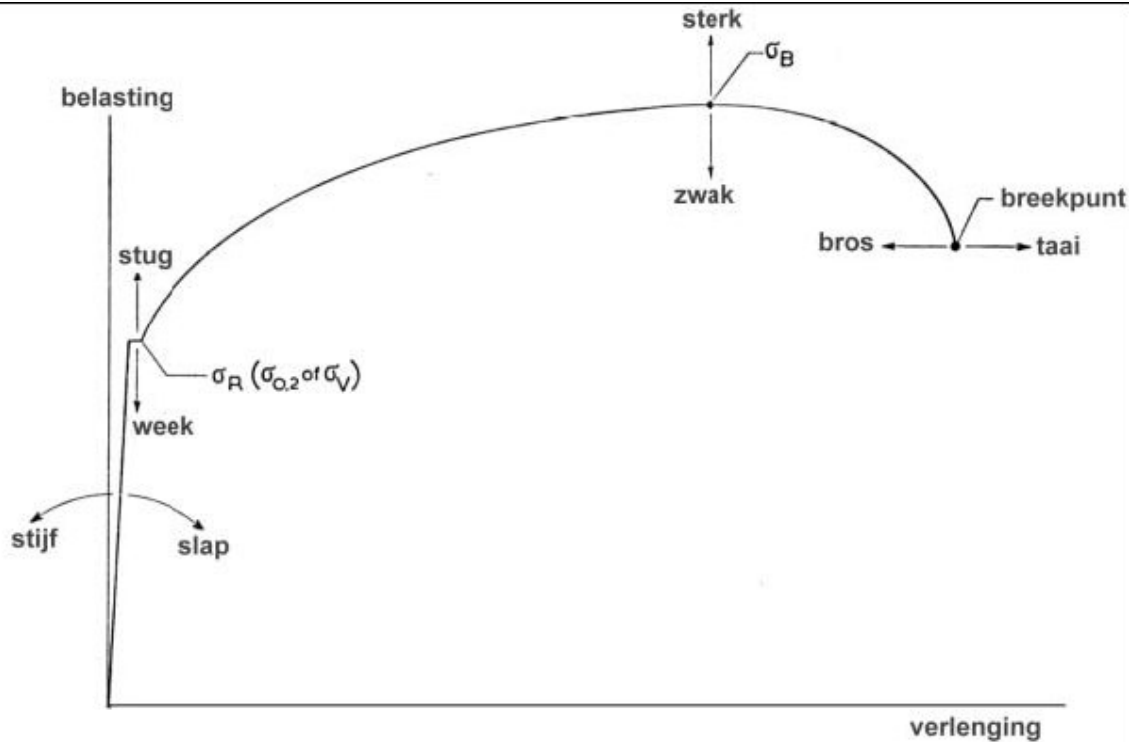
Hoewel de globale rek een verkeerd beeld geeft van de werkelijke rek, noemen we de globale rek van de gebroken proefstaaf de BREUKREK.

Materialen met een HOGE BREUKREK zijn **TAAI**.

Materialen met een LAGE BREUKREK zijn **BROS**.

Het totale oppervlak onder de curve is de benodigde energie per volume-eenheid om de proefstaaf te breken. Deze energie is een maat voor de taaiheid van het onderzochte materiaal.

Een overzicht van de verschillende mechanische kenmerken van een materiaal worden duidelijk weergegeven op de volgende figuur.



Figuur 32: Kenmerkende materiaaleigenschappen gekoppeld aan een spanning-rek diagram

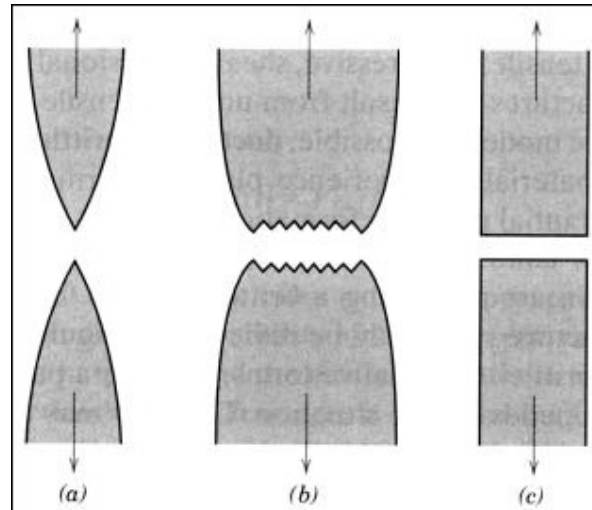
De ontwerpsterkte van een stof of een materiaal kan niet op een éénduidige manier gedefinieerd worden. Voor kunststoffen geldt vaak als sterkte de spanning bij een vervorming van 1 %.

Bij de uitvoering van de trekproef begint de gestandaardiseerde proefstaaf te rekken zonder dat de normaaldoorsnede van vorm verandert. Veelal blijkt bij het rekken de benodigde kracht plotseling te dalen. Meestal vermindert dan het oppervlak van de normaaldoorsnede. Dit verschijnsel heet insnoering. Omdat de optredende kracht steeds gedeeld wordt door het oppervlak van de oorspronkelijke normaaldoorsnede, daalt ook de berekende spanning. Bij kunststoffen kan nadien de benodigde kracht opnieuw gaan stijgen, omdat de molecuulketens zich allemaal volgens de trekrichting hebben geplaatst. Zo versterkt het materiaal in de trekrichting. Dit fenomeen wordt rekversteving (Eng.: *strain hardening*) genoemd. Het is zelfs mogelijk dat de aangelegde kracht blijft stijgen tot boven de vooraf verkregen maximale trekspanning. Achteraf, als alle molecuulketens bezwijken aan de toenemende kracht, zal de proefstaaf breken.

Een eenvoudige definitie van breuk is: een niet gewilde scheiding in een vast materiaal onder mechanische belasting bij een temperatuur die laag is in vergelijking met de smelttemperatuur ervan. Breuk kan zowel taai als bros optreden. Bij een taaie breuk is, voorafgaand aan de breuk, in de buurt van de breuk plastische deformatie opgetreden. Vaak gaat deze taaie breuk vergezeld van een sterke insnoering, zoals bij de trekproef duidelijk kan vastgesteld worden. Hoe minder aan de breuk plastische deformatie voorafgaat, hoe brosser de breuk. Een



volkomen brose breuk is een breuk zonder enige plastische deformatie. Breuk kan optreden als gevolg van trek, afschuiving of druk. De beschrijving van de breukverschijnselen gaat evenwel het eenvoudigst voor trek. Op de volgende figuur worden de belangrijkste breuktypen bij de trekproef getoond.



Figuur 33: Breukvormen: a. volkomen taai, b. taai en c. volkomen bros

De richting van de brose breuk staat praktisch loodrecht op de belastingsrichting. De snelheid van brose breken is vaak groot en het ontstane breukvlak meestal glad. Het breukvlak vertoont veelal V-vormige lijnen. De punt van de V wijst naar het punt van scheurinitiatie. De theoretische sterkte van een brose vaste stof hangt uiteraard af van de bindingskrachten tussen de atomen.

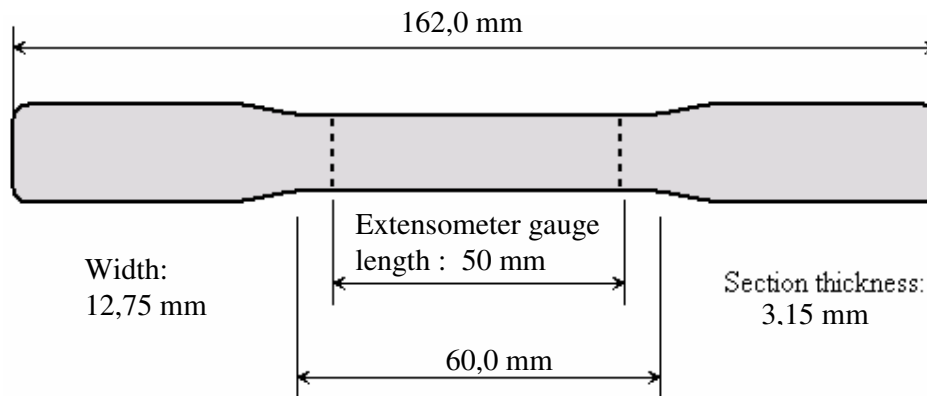


Figuur 34: Instron trekbank (K.U.Leuven)



• **Randvoorwaarden – labo K.U.Leuven**

- ISO 527: Bepaling van de trekeigenschappen bij kunststoffen
- Meettoestel: Trekbank Instron 4505 (Figuur 34)
- Installatie van je hydraulische klauwen (loadcell van 100kN)
- Instellen van de sturende software, Instron IX series
- Temperatuur: 22°C
- Relatieve vochtigheid: 55%
- Gebruikte trekstaven: zie onderstaande schets



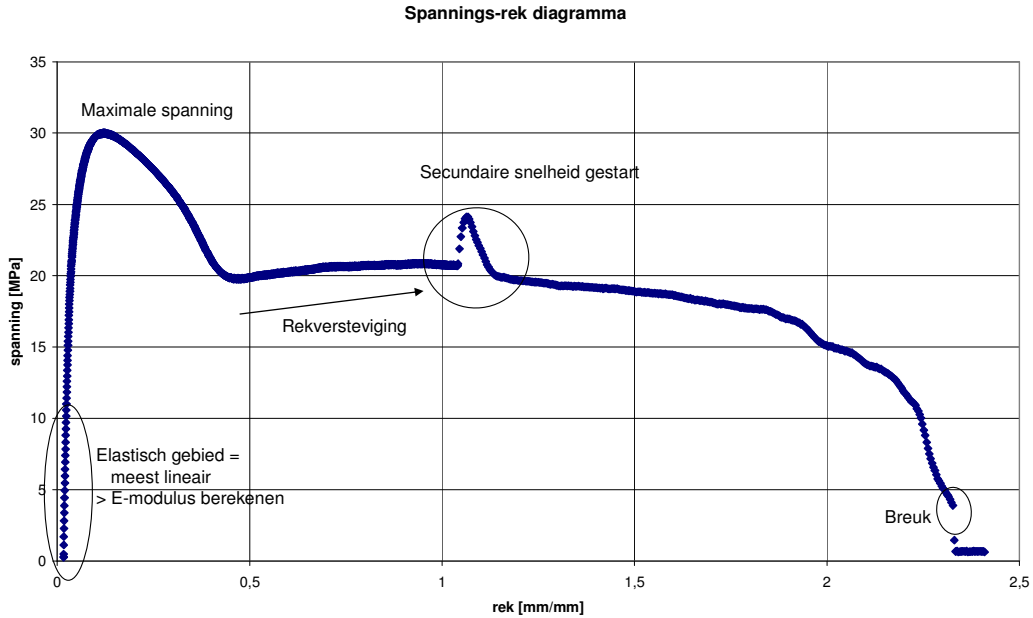
• **Resultaten**

Figuur 35 geeft het algemeen verloop weer van een spannings-rek diagramma van het gerecycleerde CURV® materiaal. Het gerecycleerde afvalmateriaal met de extra PUR en PET laag heeft een identiek verloop, maar wordt niet voorgesteld op figuur 35.

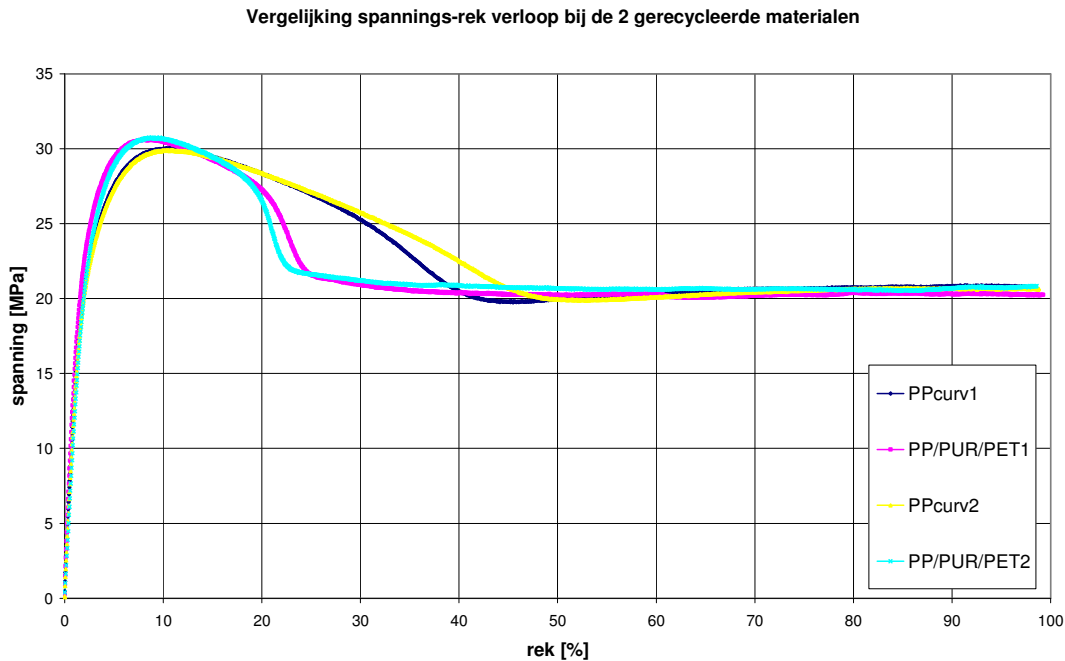
Bij de eerste trekproeven wordt op de 2 gerecycleerde materialen getest met 2 verschillende treksnelheden. De trekproef begint met 10mm/min en gaat bij ongeveer 100% rek over naar een tweede treksnelheid, nl. 70mm/min. De primaire treksnelheid is laag omdat op die manier veel data verkregen wordt bij het begin van de proef om daaruit een nauwkeurige E-modulus te berekenen. Indien 10mm/min als treksnelheid wordt aangehouden tot op het einde, zal het gerecycleerd CURV® materiaal alsook het gerecycleerd afvalmateriaal niet breken en worden enorme rekken verkregen van bijna 12 keer de oorspronkelijke lengte. Daarom wordt de proef kunstmatig versneld door gebruik te maken van een secundaire treksnelheid, zodat de trekstaaf toch breekt. Weliswaar is de verkregen rek bij breuk niet de exacte rek, aangezien de test gemanipuleerd werd.

Bij het begin van elke trekproef wordt gebruik gemaakt van een extensometer. Deze meter zorgt ervoor dat de juiste verlenging in functie van de aangelegde kracht opmeten wordt, i.p.v. de verschuiving van de verticale spil van de trekbank. Hij wordt voor de aanvang van iedere test ongeveer in het midden van de trekstaaf aangebracht. De gebruikte extensometer heeft een meetbereik van ongeveer 50mm. Bij het bereiken van zijn maximale uitrekking wordt de extensometer nog tijdens de trektest manueel verwijderd. Zodra de extensometer verwijderd is, leest de machine de data binnen van de verlenging die verkregen wordt via de verticale verplaatsing van de hoofdspil. De plotse stijging van de spanning die je in het midden van figuur 35 opmerkt, komt enkel door het aanleggen van de secundaire snelheid. De verhoging

van de spanning tijdens het omschakelen van de treksnelheid is een visco-elastisch effect. Hieruit kan je niks besluiten. Indien we testen zonder secundaire snelheid, is er op die plaats geen bult in de trekcurve aanwezig. In verdere berekeningen wordt 50mm genomen als oorspronkelijke lengte  $l_0$ .

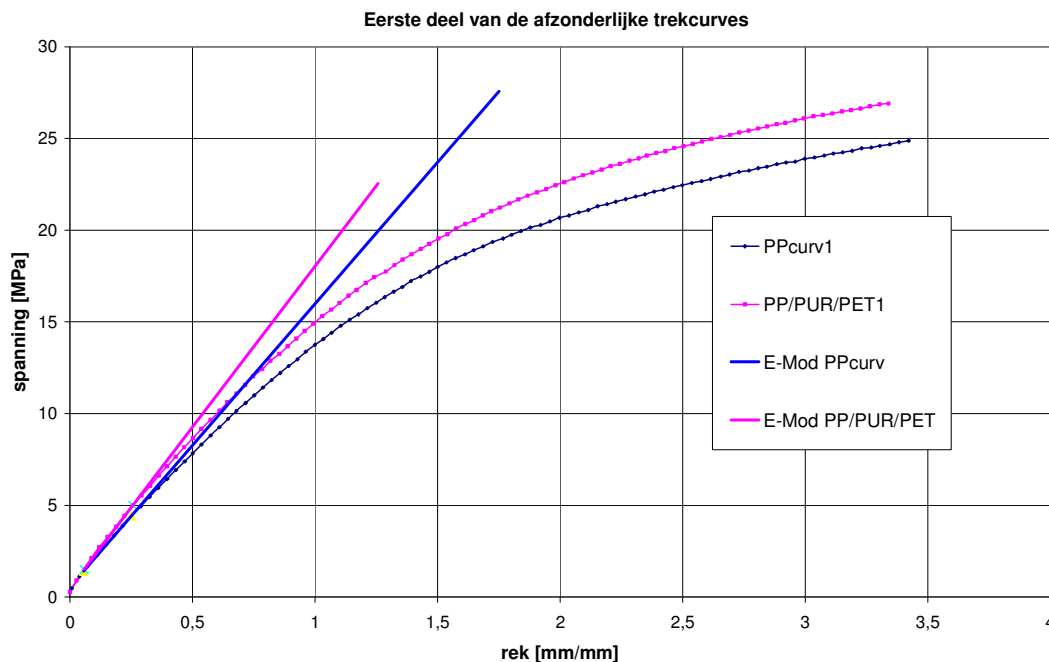


Figuur 35: Algemeen verloop van het spannings-rek diagramma van gerecycleerde CURV®

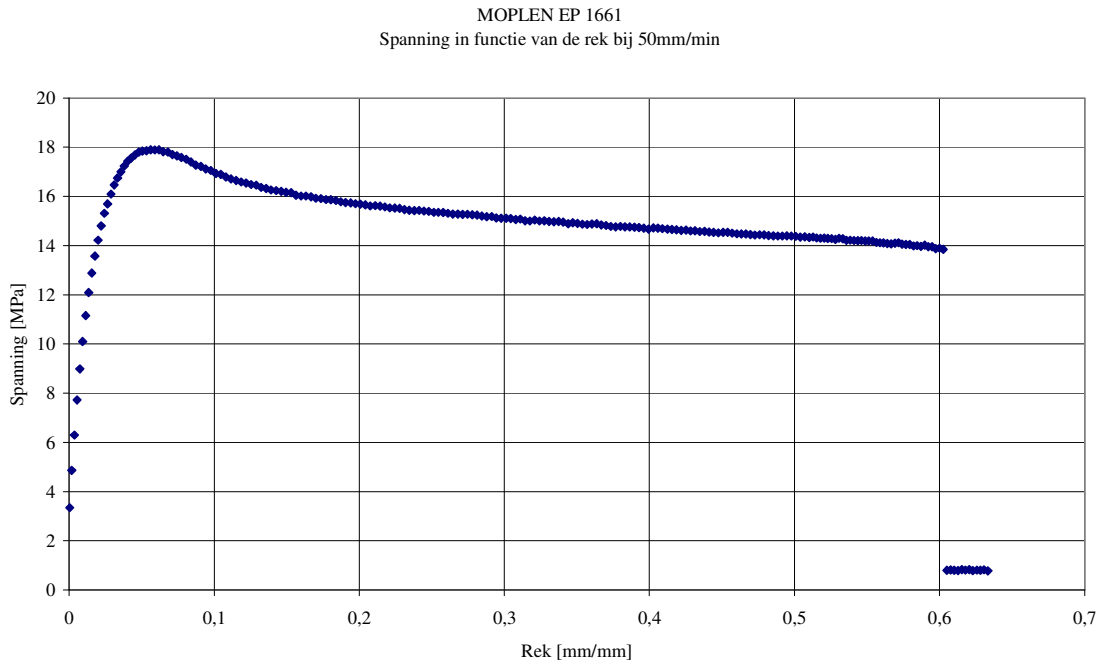


Figuur 36: Vergelijking van de trekcurve van de 2 gerecycleerde materialen

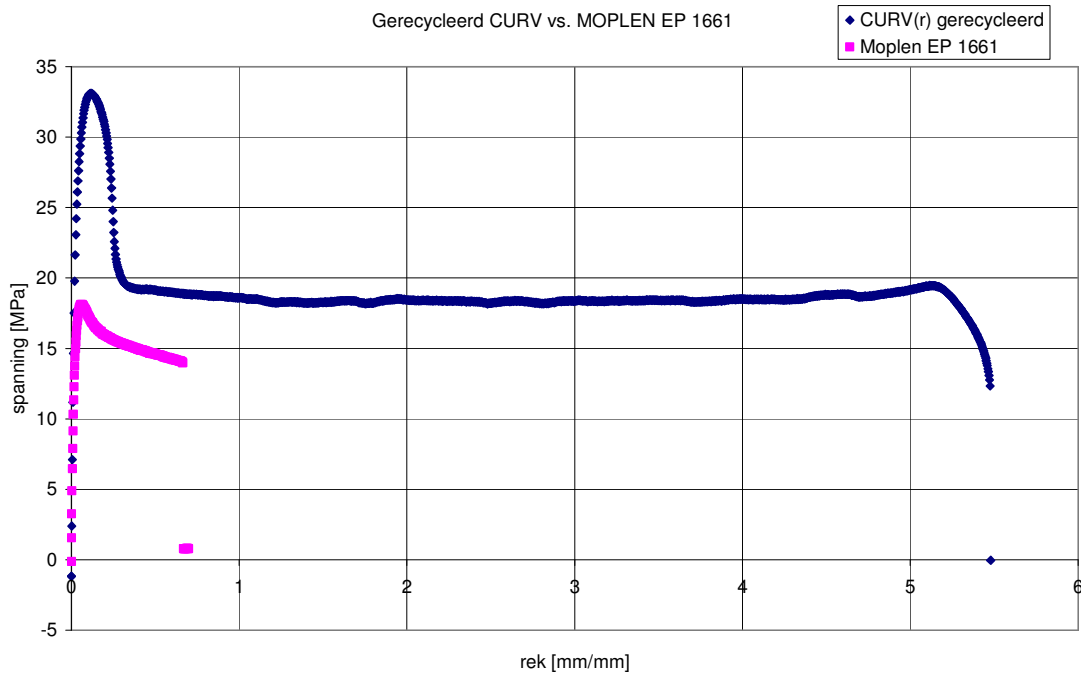
Figuur 37 is een detailweergave van het eerste deel van de trekcurves van de gerecycleerde materialen. Het getoonde deel gebeurt bij 10mm/min en gaat tot op het ogenblik dat de extensometer wordt verwijderd en tot men overgaat naar een secundaire snelheid. Op figuur 37 is er een duidelijk verschil tussen de vloeigebieden van de 2 materialen. In het elastische gebied lijken de 4 curves gelijk te lopen met een klein verschil. Door de hogere E-modulus kan er gesteld worden dat het materiaal met de PET fractie iets stijver is dan het gerecycleerde CURV® zonder PET. Na het elastisch gebied heeft het gerecycleerd afvalmateriaal van Samsonite voor een zelfde rek een grotere kracht nodig. Dit wijst erop dat het materiaal bij het vloeien en insnoeren sterker blijft. Het insnoeren kan belemmerd worden door de PET deeltjes die in de blend aanwezig zijn. Ook de maximale trekspanning is iets groter bij het gerecycleerd afvalmateriaal. Eens we voorbij de maximale spanning gaan, verliest het materiaal met PUR en PET sneller zijn sterkte tijdens het insnoeren van de trekstaaf. De roze en lichtblauwe curves dalen na het maximum sneller dan de gele en donkerblauwe curves. Dit kan verklaard worden door de slechtere fysische hechting tussen de verschillende molecuulketens door de aanwezigheid van de PET. Alsook kan PET bij de trekproef zijn functie als mechanische hindernis uitvoeren, waardoor het materiaal bij het vloeien sterker blijft. Opmerkelijk is wel dat de 2 soorten materialen naar dezelfde spanning van ongeveer 20 MPa convergeren. In de beide materialen zit er voor het grootste deel gerecycleerd polypropyleen. Na het versnellen van de treksnelheid verliezen beide materialen geleidelijk aan hun treksterkte en worden ze getrokken tot ze breken. Deze bekomen rek na breuk is niet in rekening te brengen aangezien de test werd gemanipuleerd met een secundaire snelheid. Wel mag opgemerkt worden dat het materiaal zonder de PET fractie steeds een grotere rek na breuk vertoont. Dit materiaal is dus taaier dan de gerecycleerd materiaal.



Figuur 37: Het elastische gebied en het begin van het plastisch gebied van beide materialen (treksnelheid 10mm/min)



Figuur 38: Spanning-rek curve van MOPLEN EP 1661 (treksnelheid 50mm/min)



Figuur 39: Spannings-rek diagramma; een vergelijking tussen gerecycleerd CURV® en MOPLEN EP 1661 (treksnelheid 50mm/min)

In Figuur 38 wordt het verschil tussen het gerecycleerde materiaal en het MOPLEN materiaal voorgesteld. MOPLEN EP 1661 heeft een kleinere elasticiteitsmodulus, een kleinere maximale spanning en een kleinere rek na breuk. Het te vervangen materiaal is bij de trekproef minder stijf, minder sterk en veel brosser. Hieruit kan men besluiten dat het afvalmateriaal wel degelijk het MOPLEN EP 1661 kan vervangen bij een trage belastingsnelheid.

De volgende resultaten werden berekend, steunend op de definitie die je kan terugvinden in de ISO-527 norm.

(bron: [http://www.ides.com/property\\_descriptions/ISO527-1-2.asp](http://www.ides.com/property_descriptions/ISO527-1-2.asp))

De **elasticiteitsmodulus** is de richtingscoëfficiënt van de rechte gaande door 2 punten met een welbepaalde rek. De resultaten van de E-modulus staan in onderstaande tabel.

$$E - \text{Modulus} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Hierbij is  $\varepsilon_1$  een rek van 0,0005 en  $\varepsilon_2$  een rek van 0,0025.

Hierbij is  $\sigma_1$  de trekspanning bij een rek van 0,0005 en  $\sigma_2$  de trekspanning bij een rek van 0,0025.

CURV® gerecycleerd		CURV® +PUR+PET gerecycleerd	MOPLEN EP 1661
[Mpa]		[Mpa]	[Mpa]
	1542	1755	1288
	1453	1140	1028
	1586	1299	955
	1555	1438	1070
	1593	1777	
	1352	1815	
		1371	
<b>gemiddelde</b>	<b>1514</b>	<b>1513</b>	<b>1085</b>
2x stdev	186	535	286
95%+	1701	2049	1371
95%-	1327	978	799

(De literatuurwaarde voor de E-modulus van MOPLEN EP 1661 bedraagt 1100 MPa)

De volledige technische datasheet van MOPLEN EP 1661 bevindt zich in bijlage 4.

MOPLEN EP 1661 heeft een kleinere elasticiteitsmodulus dan het gerecycleerde afvalmateriaal en is bijgevolg minder stijf. Er is geen duidelijk verschil tussen de E-modulus van de gerecycleerde materialen, waardoor het effect van de PET op de E-modulus niet onmiddellijk duidelijk is.

De **yloiegrens** is de trekspanning waar een vergroting van de rek niet resulteert in een verhoging van de spanning. Bij de 3 onderzochte materialen komt deze beschrijving overeen met de maximale trekspanning in het materiaal. De maximale trekspanning bepaalt de maximale treksterkte. De resultaten staan in onderstaande tabel.

CURV® gerecycleerd	CURV®+PUR+PET gerecycleerd	MOPLEN EP 1661
[MPa]	[MPa]	[MPa]
30,034	30,613	18,110
29,915	30,693	17,894
30,495	30,654	18,289
29,904	30,715	18,135
30,860	30,689	
30,150	30,659	
	30,822	
<b>Gemiddelde</b>	<b>30,23</b>	<b>18,11</b>
2x stdev	0,76	0,30
95%+	30,98	18,41
95%-	29,47	17,81

(De literatuurwaarde voor de maximale trekspanning van MOPLEN EP 1661 bedraagt 19 MPa)

MOPLEN EP 1661 heeft een kleinere maximale trekspanning, waardoor het minder sterk is. Opnieuw is er geen uitgesproken verschil tussen de treksterkte van de gerecycleerde materialen.

De **rek bij vloeï** is de procentuele rek gemeten bij de vloeigrens. Bij onze tests komt deze rek overeen met de rek bij maximale trekspanning. De resultaten staan in de onderstaande tabel.

CURV® gerecycleerd (basismateriaal)	CURV®+PUR+PET gerecycleerd (afvalmateriaal)	MOPLEN EP 1661
[%]	[%]	[%]
12,33	9,14	6,48
12,28	10,30	5,61
11,41	9,18	5,32
11,93	9,35	5,96
11,46	9,57	
12,68	8,71	
	9,23	
<b>gemiddelde</b>	<b>9,4</b>	<b>5,8</b>
2x stdev	1,0	2,5
95%+	10,3	8,3
95%-	8,4	3,4
Ter herinnering: <b>Vloeigrens</b>	<b>30,23</b>	<b>18,11</b>

(De literatuurwaarde voor de rek bij vloeï van MOPLEN EP 1661 bedraagt 4,5%)

De rek na vloeï bij het gerecycleerde afvalmateriaal is ongeveer 3% kleiner dan bij gerecycleerde CURV®. Aangezien deze rek bij ongeveer dezelfde trekspanning is berekend, betekent dit dat de PET zorgt voor een grotere weerstand tegen mechanische vervorming. Bij ongeveer dezelfde trekspanning ( $\pm 30$  MPa) is het gerecycleerde afvalmateriaal minder uitgerokken. Het MOPLEN EP 1661 materiaal heeft een kleinere rek bij vloeï, maar de vloeïgrens ( $\pm 18$  MPa) is ook beduidend lager dan de andere 2 gerecycleerde materialen. Daarom kunnen we hier de resultaten van het MOPLEN materiaal niet vergelijken met het gerecycleerde materiaal.

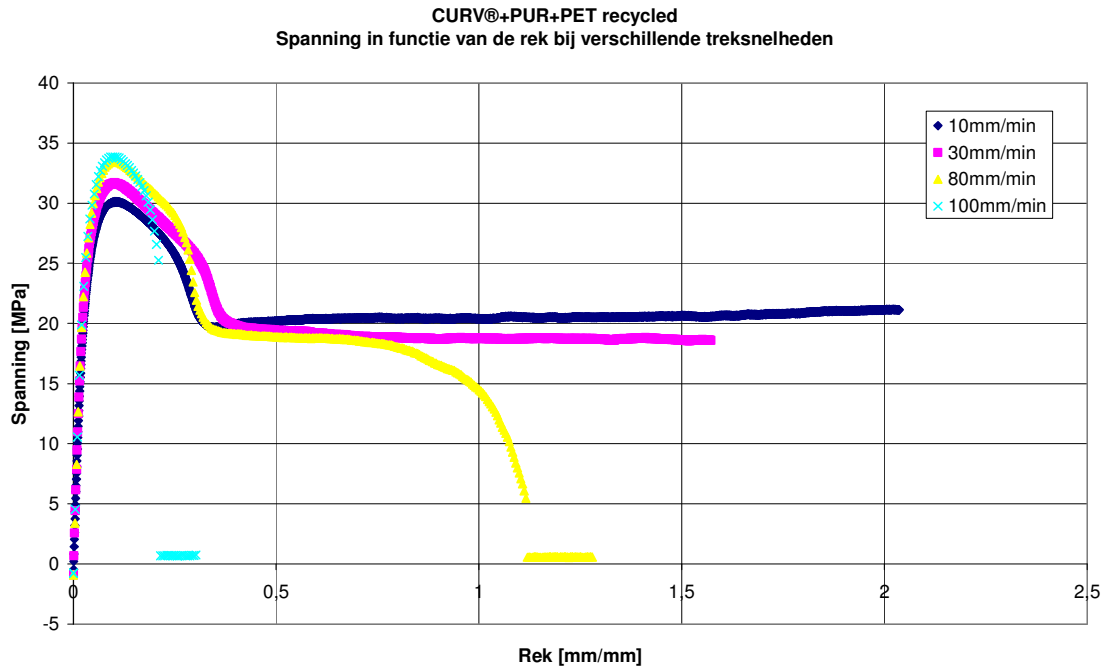
Zowel de E-modulus als de vloeïgrens van de 2 gerecycleerde materialen verschillen slechts zeer weinig. Merk hierbij op dat de spreiding van de resultaten in de tabel met de E-moduli onderling duidelijk verschilt. Het materiaal met de PET fractie heeft een veel grotere spreiding op de resultaten, wat kan duiden op een instabieler houding van het materiaal door de aanwezigheid van de PET.

De rek bij breuk van het MOPLEN materiaal ( $\pm 60\%$  bij 50mm/min) is kleiner dan de rek bij breuk van de gerecycleerde materialen ( $>100\%$  bij 50mm/min). Dit betekent dat het MOPLEN materiaal veel brosser is en dus veel sneller breekt dan het gerecycleerd afvalmateriaal.

Een samenvattende tabel van de belangrijkste testresultaten kan men terugvinden in hoofdstuk 8. *Besluiten*.

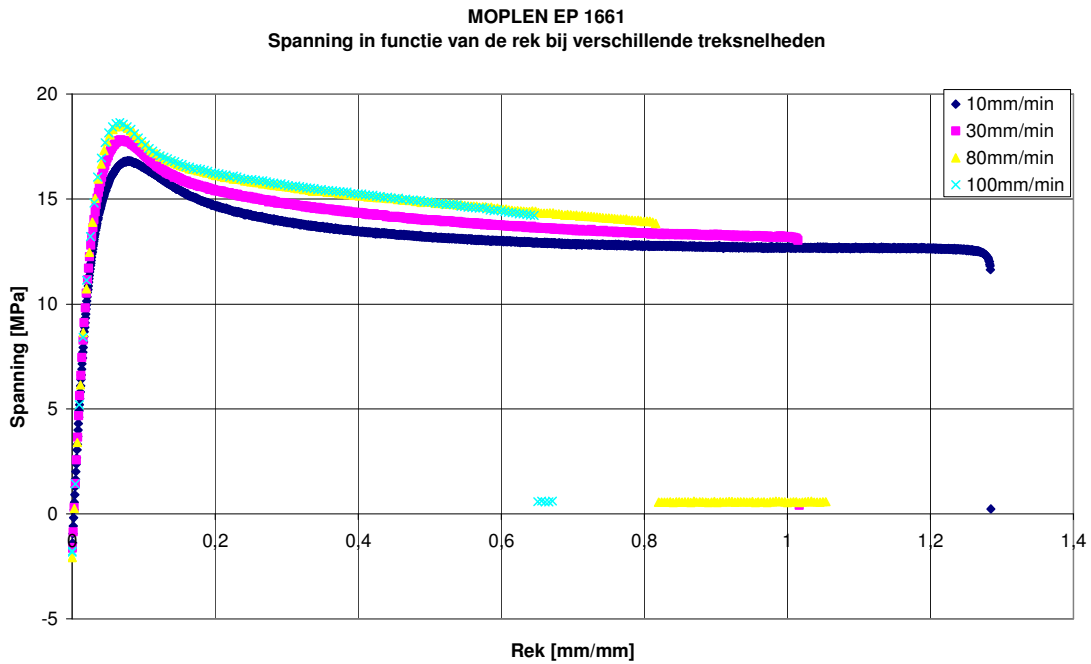
Een belangrijke instelparameter bij de trekproef is de treksnelheid. Als interessante uitbreiding van dit onderzoek, wordt de invloed nagaan van de treksnelheid op de mechanische parameters van de trekproef.

De trektest wordt op identieke wijze uitgevoerd als voordien beschreven (dezelfde randvoorwaarden) en enkel de treksnelheid wordt nu gewijzigd. Zo worden de spanning-rek diagramma's bekomen van onderstaande figuren 40, 41 en 42.

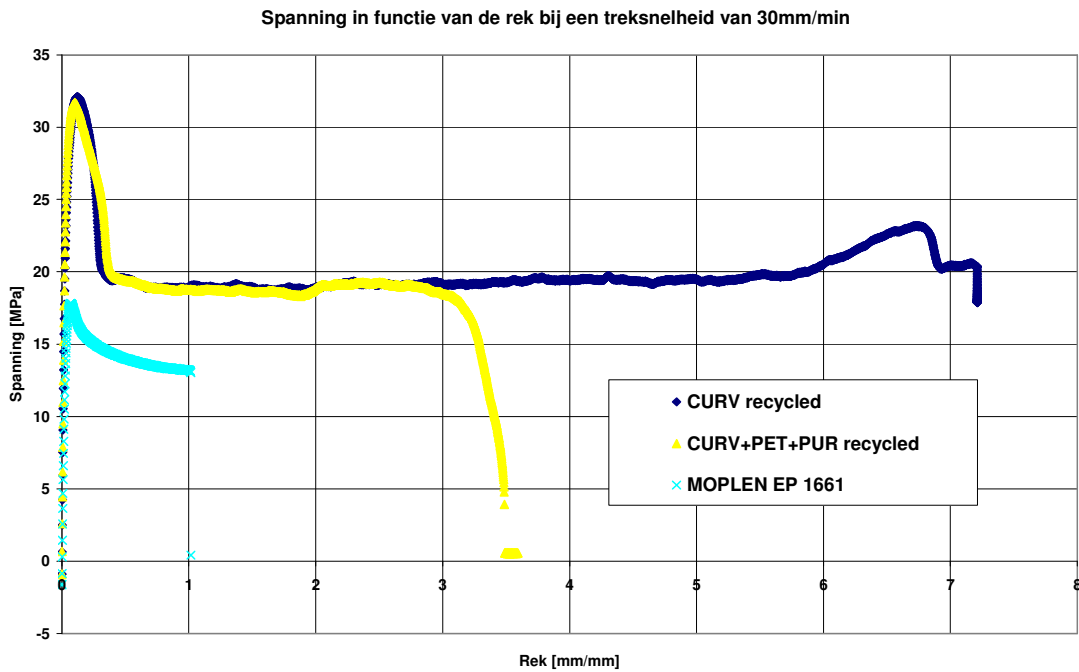


Figuur 40: Invloed van de treksnelheid op de trekcurve van CURV®+PUR+PET





Figuur 41: Invloed van de treksnelheid op de trekcurve van MOPLEN EP 1661



Figuur 42: Spanning-rek diagramma's van de onderzochte materialen bij 1 bepaalde treksnelheid

De belangrijkste berekende resultaten vatten we samen in onderstaande tabel:

<b>MOPLEN EP 1661</b>				
<b>ISO 527</b>	<b>E-modulus</b>	<b>Vloeispanning = maximale trekspanning</b>	<b>rek bij vloeï</b>	<b>Rek na breuk</b>
<b>Treksnelheid [mm/min]</b>	<b>[Mpa]</b>	<b>[Mpa]</b>	<b>[%]</b>	<b>[%]</b>
10	686	16,8	7,8	128
30	721	17,8	6,8	101
80	730	18,5	6,5	82
100	712	18,6	6,7	65

<b>CURV®+PUR+PET<sub>recycled</sub></b>				
<b>ISO 527</b>	<b>E-modulus</b>	<b>Vloeispanning = maximale trekspanning</b>	<b>rek bij vloeï</b>	<b>Rek na breuk</b>
<b>Treksnelheid [mm/min]</b>	<b>[Mpa]</b>	<b>[Mpa]</b>	<b>[%]</b>	<b>[%]</b>
10	1182	30,1	10,1	NB
30	1201	31,7	10,1	349
80	1158	33,5	10,2	112
100	1133	33,9	9,2	21

<b>CURV®<sub>recycled</sub></b>				
<b>ISO 527</b>	<b>E-modulus</b>	<b>Vloeispanning = maximale trekspanning</b>	<b>rek bij vloeï</b>	<b>Rek na breuk</b>
<b>Treksnelheid [mm/min]</b>	<b>[Mpa]</b>	<b>[Mpa]</b>	<b>[%]</b>	<b>[%]</b>
10	1107	29,3	12,8	NB
30	1186	32,1	12,6	NB
80	1116	34,1	12,3	99
100	1078	34,1	12,2	109

NB: niet gebroken

Uit de voorgaande grafieken en tabellen kunnen enkele algemene besluiten geformuleerd worden:

- Hoe hoger de treksnelheid, hoe hoger de maximale trekspanning. Dit heeft te maken met de inertie van de molecuulketens in het materiaal. Bij een hogere treksnelheid krijgen de moleculen niet de tijd om zich volgens de trekrichting mooi naast elkaar te leggen en geleidelijk aan te verschuiven ten opzichte van elkaar. Ze worden zeer snel

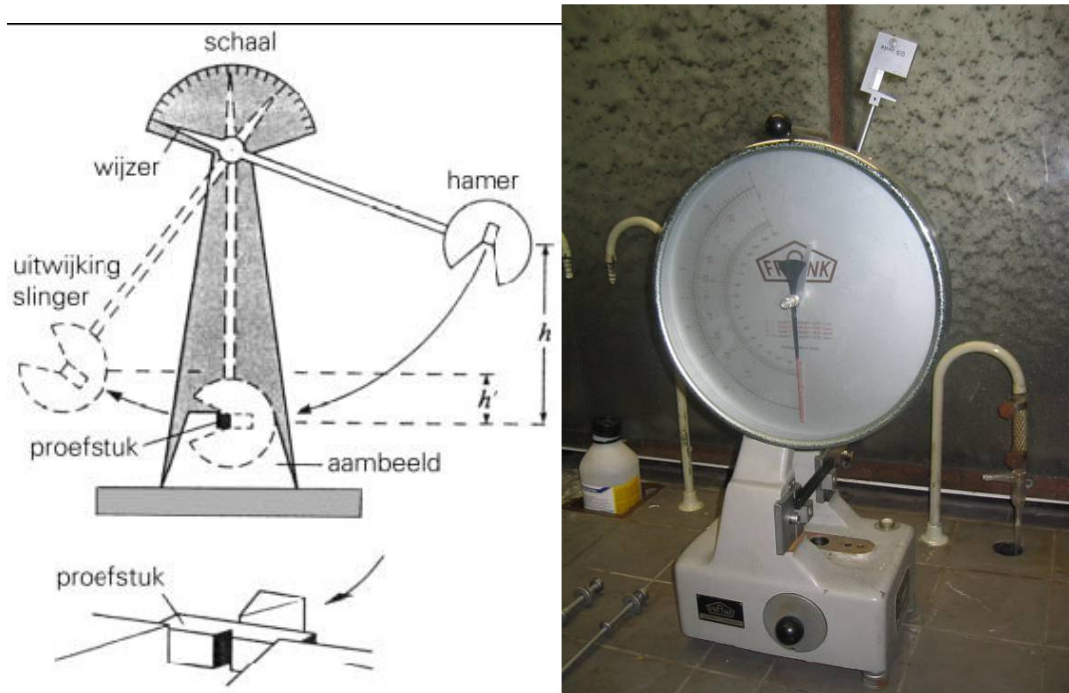
getrokken, waardoor de sterische hinder tussen de moleculen zorgt voor een bepaaldeweerstand in het materiaal. Het materiaal reageert sterker.

- Hoe hoger de treksnelheid, hoe lager de rek bij breuk. Dit is een vrij logische conclusie. Een hogere snelheid wil ook zeggen een grotere mechanische belasting per tijdseenheid. Bij een statische proef in 1 richting zoals bij de trekproef resulteert een grotere verlenging per tijdseenheid in het sneller breken van de proefstaaf.
- Uit figuur 42 blijkt dat de rek na breuk bij het gerecycleerd CURV® materiaal groter is dan bij de gerecycleerde CURV® met PUR en PET. Het materiaal met de PET is dus brosser, wat het gevolg is van de verspreide PET deeltjes. Als deze deeltjes niet goed gehecht zijn aan het polypropyleen, zorgen zij ervoor dat bij een bepaalde scheurinitiatie de scheurgroei gemakkelijker plaatsgrijpt.
- Bij een lage treksnelheid is het gerecycleerd afvalmateriaal taaier dan MOPLEN EP 1661, maar bij een hoge treksnelheid is het MOPLEN materiaal taaier.
- De variatie van de treksnelheid heeft per materiaal weinig invloed op de E-modulus. Bij deze testen werd er telkens per treksnelheid maar 1 proefstaaf van elk materiaal getest. Indien er meerdere proefstaven per materiaal en per treksnelheid worden getest, kan het effect op de E-modulus beter in kaart gebracht worden.

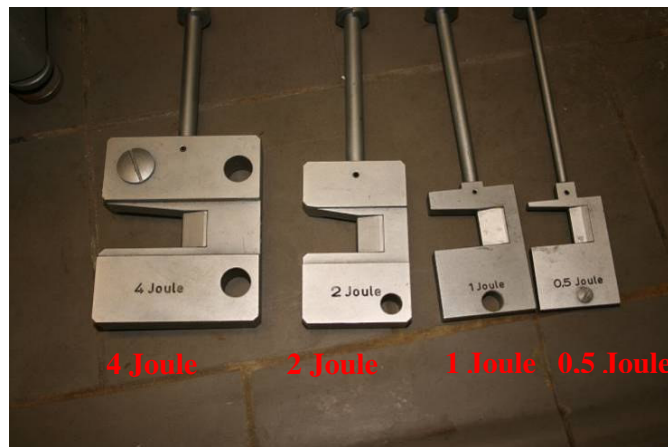
#### 7.6.4 KERFSLAGPROEF

**Kerfslagvastheid:** de hoeveelheid energie die nodig is om een gegeven volume van een materiaal te laten breken.

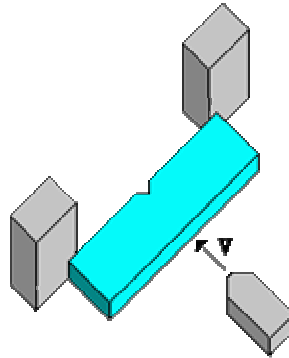
De breuktaaiheid is een indicatie van de weerstand tegen scheurgroei in de veronderstelde aanwezigheid van microscheuren. De neiging van proefstukken tot bros breken is een belangrijk gegeven voor de ontwerper. In de praktijk blijkt dat materialen, afhankelijk van de uitwendige omstandigheden zoals temperatuur, zowel bros als taai breukgedrag kunnen vertonen. De vergelijkende praktijktest die hiervoor kan gebruikt worden is de kerfslagproef (zie figuur 43). De breuktaaiheid mag dus niet verward worden met de kerfslagwaarde. Veel materialen blijken een duidelijke overgang van bros naar taai breken te vertonen bij een bepaalde temperatuur. Zowel de meetmethode volgens Charpy als deze volgens Izod worden in de praktijk veelvuldig gebruikt. Bij Charpy wordt de proefstaaf horizontaal opgelegd. Met een zwaaihamer wordt de proefstaaf met een V-vormige kerf stukgeslagen. De hierbij door het proefstuk opgenomen energie per oppervlakte-eenheid is de kerfslagwaarde. De enige parameter die aan de proefopstelling kan gewijzigd worden, is de waarde van de zwaaihamer (zie figuur 44). Deze dient zó gekozen te worden dat de invloed van de nullastwaarde zo klein mogelijk is op het bekomen meetresultaat. Wanneer slagvastheid vermeld wordt als Charpy V of notched (gekerfd) Izod, wil dat zeggen dat er in de test een gekerfde proefstaaf gebruikt wordt. De hamer zal tijdens het naar beneden zwaaien inbeuken aan de proefstaafzijde tegenovergesteld aan de zijde waar de V-kerf zich bevindt (Figuur 45). Waarden van gekerfde proefstaven mogen niet worden vergeleken met waarden van ongekerfd testmateriaal. De kerfslagresultaten van proefstaven met een spuitgegoten kerf geven ook niet dezelfde resultaten in vergelijking met proefstaven waar de kerf na het spuitgieten machinaal werd aangebracht. Wij hebben bij dit onderzoek enkel tests gedaan op gekerfde proefstaven waarop de kerf reeds aanwezig is na het spuitgieten.



Figuur 43: Voorstelling van de kerfslagproef volgens Charpy



Figuur 44: Verschillende waarden voor de zwaaihamer



Figuur 45: Impactrichting van de zwaaihamer

Voor het breken van het kerfslagstaafje is een hoeveelheid arbeid nodig, de zogenaamde slagarbeid. De arbeid die voor het breken van de proefstaaf nodig is per m<sup>2</sup>, noemen we de kerfslagwaarde. Deze wordt weergegeven in kJ/m<sup>2</sup>.

De toegepaste ISO-norm is de ISO 179-1: Niet-geïstrumenteerde slagbeproeving. In de ISO-aanduiding van de kerfslagwaarde wordt de waarde voorafgegaan door de letters KC en U of V, afhankelijk van de kerfvorm.

- **Randvoorwaarden – labo K.U.Leuven**

- ISO 179-1: Niet-geïstrumenteerde slagbeproeving
- Meettoestel: Mouton Pendule 53565
- Temperatuur: 22°C
- Relatieve vochtigheid: 55%
- Testapparaat waterpas geplaatst
- Proefstaaf gecentreerd op oplegplaats
- Gebruikte kerfslagstaven: zie onderstaande schets



- **Resultaten**

Eerst worden de wrijvingsverliezen van het meettoestel bepaald, d.w.z. dat de kerfslagproef wordt uitgevoerd zonder proefstaaf. Wanneer er een andere zwaaihamer wordt gebruikt, zal dit een effect hebben op de waarde van het wrijvingsverlies.

Hamerwaarden	0,5 Joule	2 Joule	4Joule
wrijvingsverliezen [Joule]	0,010	0,020	0,041

De belangrijkste kerfslagresultaten van de verschillende materialen kunnen we in deze tabel samenvatten:

	CURV®	CURV®+PUR+PET	MOPLEN EP 1661		
	gerecycleerd	gerecycleerd			
gebruikte hamerwaarde gemiddelde gemeten arbeid [J]	0,5 Joule	0,5 Joule	0,5 Joule	2 Joule	4 Joule
2x standaarddeviatie [J]	<b>0,1798</b>	<b>0,1746</b>	NB	<b>1,3552</b>	<b>1,3864</b>
95+ [J]	0,0073	0,0190	-	0,0666	0,0704
95- [J]	0,1871	0,1937	-	1,4218	1,4568
Arbeid zonder wrijvingverlies [J]	0,1726	0,1556	-	1,2886	1,3161
			-		
gebroken oppervlakte [m <sup>2</sup> ]	0,1694	0,1643	-	1,3347	1,3457
Kerfslagwaarde Charpy V (KC V) [kJ/m <sup>2</sup> ]	4,58E-05	4,58E-05	-	3,15E-05	3,17E-05
	<b>3,7</b>	<b>3,6</b>	-	<b>P 42,3</b>	<b>P 42,5</b>

J: Joule

NB: not broken

P: gedeeltelijk (*partial*) gebroken

- **Besluiten**

Een belangrijke opmerking bij deze resultaten gaat over de gebruikte hamerwaarden. Beide gerecycleerde materialen kunnen getest worden bij een hamerwaarde van 0,5J. Elke geteste proefstaaf breekt volledig door bij de uitvoering van de proef. Wanneer echter de hamer van 0,5J gebruikt wordt bij het MOPLEN EP1661 materiaal, breekt de opgelegde proefstaaf niet. Het kan dus zijn dat het proefstukje niet wordt doorgeslagen en dan is de gemeten waarde onbruikbaar. Zo'n resultaat wordt aangeduid met de letters 'NB'. In dergelijke gevallen kan de test opnieuw worden gedaan met een hogere hamerwaarde of met een proefstaaf van een lagere temperatuur, opdat het materiaal brosser zou breken.

Het MOPLEN materiaal wordt getest bij hamerwaarden van 2J en 4J. Bij de uitvoering van deze proef bij de verschillende hamerwaarden breekt de proefstaaf niet helemaal door, maar slechts gedeeltelijk (P). Er is slechts een zeer klein verschil tussen de resultaten van de proef bij 2J en bij 4J. Het minieme verschil zit in de blijvende restoppervlakte ter hoogte van de V-kerf die niet gebroken is en die dus na de proef overblijft.

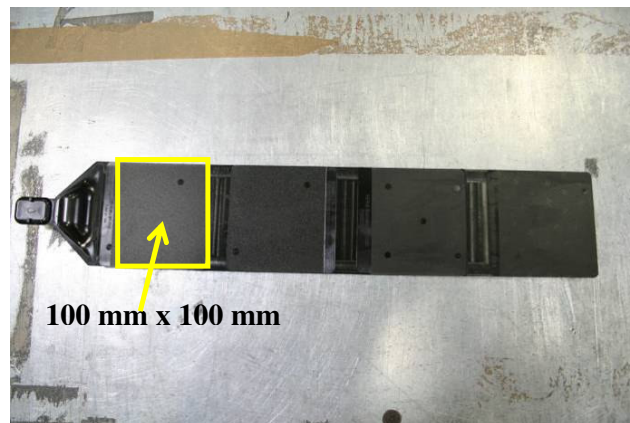
Opmerkelijk is dat het wrijvingsverlies bij een hamerwaarde van 0,5J ten opzichte van de testresultaten van de gerecycleerde materialen procentueel groter is dan het wrijvingsverlies bij een hamerwaarde van 2j of 4J ten opzichte van de testresultaten van het MOPLEN materiaal.

Een eerste algemene conclusie is dat het afvalmateriaal veel zwakker scoort bij de kerfslagproef als het MOPLEN EP 1661. Het gerecycleerde afvalmateriaal is bijna 12 keer minder slagvast dan het materiaal dat het zou moeten vervangen. Vooraf konden we misschien een zelfde waarde verwachten voor het gerecycleerde CURV® materiaal en het MOPLEN materiaal, aangezien beiden bestaan uit 100% polypropyleen. Toch is er een

duidelijk verschil. Het gerecycleerde CURV® materiaal blijkt niet goed bestand te zijn tegen korte hevige piekbelastingen. Het breekt hier veel brosser dan MOPLEN EP 1661. Bij de trekproef en bij lage treksnelheden, waar de belasting geleidelijk wordt aangebracht, scoort het gerecycleerde materiaal wel goed en is het veel taaier dan MOPLEN EP 1661. Er is geen beduidend verschil tussen de kerfslagwaarde van het gerecycleerde CURV® materiaal en van de gerecycleerde CURV® met PUR en PET.

### 7.6.5 IMPACTTEST

Om de weerstand tegen een kortstondige gedwongen vervorming van een kunststof of een composiet te meten, kan de impacttest aangewend worden. Deze test geeft ook een idee over de slagvastheid van een materiaal. Zo kan men simuleren hoe een bepaald materiaal reageert wanneer het ergens tegenaan botst of wat er gebeurt met het materiaal als het wordt belast door een impact. Met deze test heeft men een goede indicator voor de slagvastheid van een kunststof. Deze test voert men bij Samsonite uit op nieuw samengestelde kunststoffen of op nieuwe materialen. Van het nieuwe materiaal worden eerst speciale proefplaatjes spuitgegoten. Deze plaatjes hebben reeds de uitwendige structuur van enkele specifieke koffers waarvoor het nieuwe materiaal zou kunnen gebruikt worden (Figuur 46).



Figuur 46: Spuitgegoten proefplaatjes 4x (100mm x 100mm)

- **Randvoorwaarden – Labo Samsonite**
  - Impact tester DYNATUB 8250 (Figuur 47)
  - Spuitgegoten testplaatjes: 100mm x 100mm (Figuur 46)
  - temperatuur: 22°C (kamertemperatuur)
  - Relatieve luchtvochtigheid: 55%
  - Testplaatje bevestigd op de impact tester
  - Valgewicht: staaf met afgeronde kop als impactzijde
  - Valgewicht losgelaten vanop een ingestelde hoogte
  - Impactproef uitgevoerd tot breuk
  - Testresultaten verwerkt via software





Figuur 47: Impact tester in het testlabo van Samsonite

- **Resultaten**

De proefplaatjes werden spuitgegoten met het gerecycleerde CURV®+PUR+PET door André De Keyzer, Instructor process & projects bij Samsonite. Er werden van het gerecycleerd afvalmateriaal 3 reeksen proefplaatjes spuitgegoten met andere procestemperaturen.

- Reeks1  
schroeftemperaturen: neus zone1 zone2 zone3 zone4 zone6  
250 245 240 240 235 225 °C
- Reeks2  
schroeftemperaturen: neus zone1 zone2 zone3 zone4 zone6  
270 265 260 260 255 245 °C
- Reeks3  
schroeftemperaturen: neus zone1 zone2 zone3 zone4 zone6  
290 285 280 280 275 265 °C

De spuitgegoten proefplaatjes hebben geen mooie egale kleur, maar vertonen hier en daar vlekken aan het oppervlak. Er is een duidelijke kleurschakering aan het oppervlak, wat zorgt voor een minder esthetisch uiterlijk. Hoe hoger de toegepaste temperatuur bij spuitgieten, hoe beter de kleurverdeling is. Bij reeks 3 zijn er minder vlekken aanwezig dan bij reeks 1. De kleur van het gerecycleerde materiaal werd in dit onderzoek nog niet behandeld. Aangezien het gerecycleerd materiaal geen gelijke kleurverdeling heeft op groter spuitgespoten onderdelen, kan dit materiaal dus best gebruikt worden bij onderdelen die geen belangrijke visuele rol spelen ofwel moet er kleurstof aan worden toegevoegd. Het effect van de



kleurverdeling zal nog in detail moeten gecontroleerd worden op eventuele andere spuitgietstukken.

De impacttest en de verwerking van de testresultaten werden uitgevoerd in het labo van Samsonite door de laboverantwoordelijke Johan Pareyt, Supervisor Quality Assurance bij Samsonite.

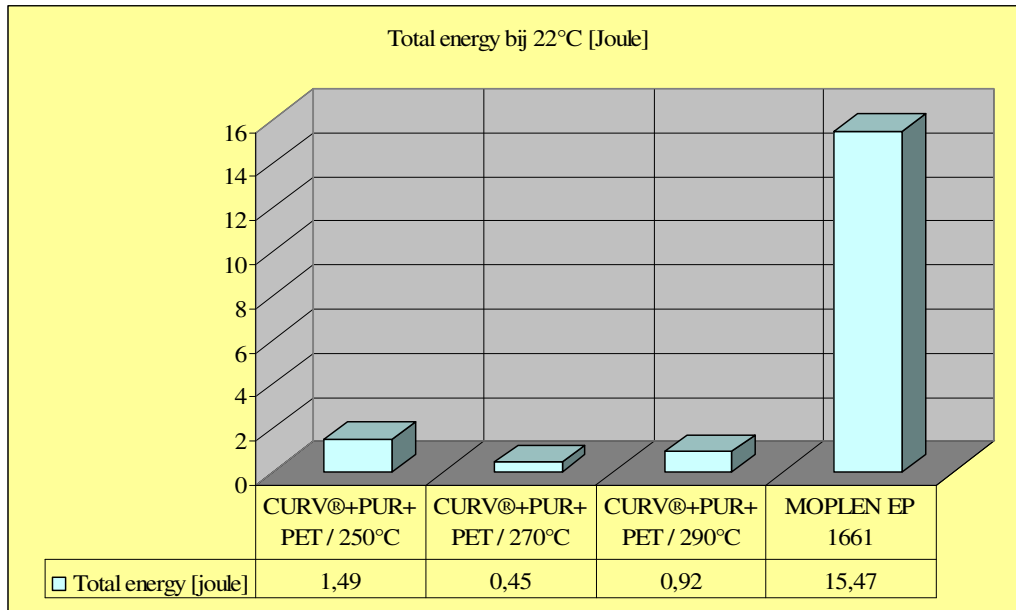
Belangrijke begrippen die van toepassing zijn op de impacttest en die gebruikt worden bij het verwerken van de testresultaten:

- Impactenergie: de totale impactenergie die losgelaten wordt op de proefstaaf, deze moet in alle proeven gelijk zijn, zoniet kunnen we de resultaten niet vergelijken. We kunnen zelf de impactenergie veranderen door de hoogteinstelling op het impactmeettoestel of het gewicht van het vallichaam te wijzigen.
- Impactsnelheid: de impactsnelheid is enerzijds afhankelijk van het gewicht van het impactlichaam, anderzijds van het hoogteverschil tussen begin- en eindpositie van het impactlichaam.
- Max. load [kN]: de maximale kracht die gedurende de test op de proefplaat terechtkomt om het te kunnen breken.
- Energy max. load [Joule]: de totale geabsorbeerde energie tot bij de maximum lading. Dit is gelijk aan de totale energie voor beschadiging.
- Defl. to max. load [mm]: de vervorming bij de maximale lading. Dit is de verticale afstand die het impactlichaam op de proefplaat heeft afgelegd van bij de impact tot de plaats bij 'max. load'.
- Total energy [Joule]: de totale geabsorbeerde energie gedurende de ganse test. Dit resultaat is groter dan de 'energy max. load', omdat er nog energie door de proefplaat wordt opgenomen wanneer het vallichaam de proefplaat breekt en erdoor gaat.

De testresultaten van de impactproef op MOPLEN EP1661 komen uit de labodatabase van Samsonite. De ingestelde procesparameters bij het spuitgieten van dit materiaal verschillen met de ingestelde spuitgietparameters van het gerecycleerd materiaal. Normaal moet het gewicht en de ingestelde hoogte van het vallichaam dezelfde zijn bij de verschillende geteste materialen om de resultaten van de impactproef onderling te kunnen vergelijken. MOPLEN EP 1661 werd in het verleden onder andere voorwaarden getest. Indien men dezelfde instellingen neemt als bij het gerecycleerde materiaal, zal de MOPLEN proefplaat niet breken. De MOPLEN resultaten uit de database van Samsonite worden hier enkel toegevoegd om een bepaald idee te hebben van de overeenkomende waarden. We kunnen bij deze test de impactwaarden van het CURV®afvalmateriaal niet 100% vergelijken met de impactwaarden van het MOPLEN EP 1661.

Impactresultaten in tabelvorm:

		<b>CURV@+PUR+PET recycled</b>			<b>100% MOPLEN EP1661 (LB) + 1% metallic</b>
		reeks 1 : 250/245/240/260/235/225°C	reeks 2 : 270/265/260/260/255/245°C	reeks 3 : 290/285/280/280/275/265°C	
<b>Max load [kN]</b>	after 7 days	<b>0,24</b>	<b>0,18</b>	<b>0,24</b>	<b>1,35</b>
<b>Energy at M load [Joule]</b>	after 7 days	<b>1,03</b>	<b>0,38</b>	<b>0,83</b>	<b>11,55</b>
Energy/Max load [J/kN]		4,3		3,4	8,55
<b>Defl at M load [mm]</b>	after 7 days	<b>6,16</b>	<b>3,66</b>	<b>5,85</b>	<b>15,85</b>
<b>Total energy [joule]</b>	after 7 days	<b>1,49</b>	<b>0,45</b>	<b>0,92</b>	<b>15,47</b>
Total energy/Max load [J/kN]		6,2		3,8	11,4



Figuur 48: de totale geabsorbeerde energie bij de impacttest op de verschillende materialen

- **Besluiten**

Deze besluiten steunen niet op de absolute waarden van de resultaten, maar zijn enkel bedoeld om een idee te hebben van de impacteigenschappen van het materiaal.

Ongeacht de spuitgiestellingen en de impactproefparameters, liggen alle bekomen resultaten van het MOPLEN EP 1661 veel hoger dan de verschillende reeksen van het gerecycleerd afvalmateriaal. De energie bij de maximale kracht is ongeveer 11 keer kleiner bij het gerecycleerd materiaal. De totale geabsorbeerde energie bij impact ligt gemiddeld 15 keer hoger bij het MOPLEN materiaal. Uit deze richtinggevende resultaten kan men stellen dat MOPLEN EP 1661 bij impactschade meer energie kan opnemen dan het gerecycleerd afvalmateriaal van de X'Lite koffer. De vervorming bij de maximale kracht is bij het gerecycleerd materiaal kleiner, wat duidt op een brossere houding van dit materiaal bij impactschade. De berekende energie per maximale kracht is bij het gerecycleerd materiaal ongeveer gelijk aan de helft tot één derde van de waarden bij MOPLEN EP 1661.

Het gerecycleerd afvalmateriaal heeft een kleinere weerstand tegen kortstondige gedwongen vervorming.

De impactresultaten van het gerecycleerd materiaal zijn bij 250°C het grootst. Bij hogere temperaturen gedraagt het gerecycleerd materiaal zich brosser. Bij hogere temperaturen verkrijgt men wel een mooier uiterlijk van de spuitgiestukken, doch bij hogere temperaturen heeft het gerecycleerd afvalmateriaal mindere impacteigenschappen vanwege de degradatie van het polypropyleen.

### **7.6.6 MICROSCOPIE**

Het materiaal dat Samsonite gebruikt bij de productie van de X'Lite koffer is CURV® met daarop een dun hechtingslaagje PUR van 2µm en een krasbestendig PET toplaag van 36µm. De oorspronkelijke gelaagde structuur van de verschillende componenten zal door het verhakkelen verdwijnen. De aanwezige polypropyleen vezels zullen ook verbroken worden. We krijgen bijgevolg een mix van zowel polypropyleen, een weinig PUR en PET. Het nieuwe materiaal zal hoofdzakelijk uit polypropyleen bestaan. De ordening en de fijnheid van PET in de blend, alsook de interactie van de PET met PP in de nieuw ontwikkelde blend zal moeten nagegaan worden via microscopie. De aanwezigheid van de PUR zal kunnen verwaarloosd worden in vergelijking met de procentuele hoeveelheid PP en PET in de blend. Via microscopie, hoofdzakelijk door een SEM-analyse, kan de inwendige microstructuur van de blend ontdekt worden. Het zou bij dit onderzoek ook nuttig kunnen zijn om te kijken naar de microstructuurverschillen van het materiaal na de extrusie en van het materiaal na het spuitgieten. Uitgaande van de microscopische structuur van het gerecycleerd materiaal kunnen er karakteristieke mechanische eigenschappen van het gerecycleerde afvalmateriaal verklaard worden.

## 8. ALGEMEEN BESLUIT

Een overzicht van de belangrijkste testresultaten die dit onderzoek hebben opgeleverd:

		Mechanische eigenschappen bij kamertemperatuur			
		ISO NORM	CURV® gerecycleerd	CURV®+PUR+PET gerecycleerd	Moplen EP1661
Trekproef (KUL)	eenheden				
trek E-modulus Max. spanning rek bij vloeï rek bij breuk	MPa	ISO 527	1514	1514	1086
	MPa	ISO 527	30,23	30,69	18,11
	%	ISO 527	12	9	6
	%	ISO 527	>100	>100	62
Kerfslagvastheid (KUL)	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179	3,7	3,6	42,4
Charpy V			*	*	**
Hardheid (KHBO)	/	ISO 868	65	67	58
Impact (Samsonite)	Totale energie [J]	-	-	1,5	15,5
	Afbuiging bij Max. load [mm]	-	-	6,2	15,9

\* volledig gebroken staven bij een hamerwaarde = 0,5 Joule

\*\* gedeeltelijk gebroken staven, getest bij hamerwaardes 2 en 4 Joule.

Bij 0,5 Joule braken de staven niet.

Het doel van dit onderzoek was nagaan of het productie-afvalmateriaal van de X'Lite koffer van Samsonite kan hergebruikt worden bij de productie van bepaalde kofferonderdelen.

Uit het onderzoek is gebleken dat het gerecycleerd afvalmateriaal van de X'Lite koffer, in vergelijking met MOPLEN EP 1661, hoger scoort bij de hardheidsmeting en de trekproef, maar lager scoort bij de de kerfslag- en impactproef.

- Uit de hardheidsmeting blijkt dat het gerecycleerd afvalmateriaal een grotere of betere oppervlaktehardheid bezit dan het vergelijkingsmateriaal MOPLEN EP 1661.
- Uit de trekproef blijkt dat het gerecycleerd afvalmateriaal onder dezelfde randvoorwaarden en gelijke procesinstellingen een grotere elasticiteitsmodulus en een grotere maximale trekspanning heeft. Gerecycleerd CURV®+PUR+PET gedraagt zich dus stijver en sterker. Het gedraagt zich ook taaier als er getest wordt met een lage treksnelheid.
- Uit de kerfslagproef blijkt dat het gerecycleerd afvalmateriaal veel zwakker scoort dan MOPLEN EP 1661. Ongeacht de randvoorwaarden, is gerecycleerd CURV®+PUR+PET minder slagvast dan het materiaal dat het zou moeten vervangen.
- Uit de impactproef blijkt dat het gerecycleerd afvalmateriaal minder energie kan absorberen en brosser breekt dan MOPLEN EP 1661. Ook bij deze proef is gerecycleerd CURV®+PUR+PET minder slagvast dan het materiaal dat het zou moeten vervangen.

Het gerecycleerd afvalmateriaal reageert taaier dan MOPLEN EP 1661 bij lage snelheden bij de trekproef, maar is duidelijk brosser bij de kerfslag- en impactproef. Een belangrijk verschil tussen deze testen is de snelheid waarmee het materiaal belast wordt. Dit fenomeen wordt ook waargenomen bij de trektestresultaten bij verschillende treksnelheden. Het gerecycleerd materiaal is bij lage belastingssnelheden taaier dan het MOPLEN materiaal.

Het gerecycleerd afvalmateriaal van de X'Lite koffer kan worden hergebruikt bij de productie van kofferonderdelen die geen impactbelasting moeten kunnen opnemen. Het kan worden toegepast bij niet-kritische onderdelen die louter een structurele functie uitoefenen, bv. bevestigingslatjes aan de binnenzijde van de koffer.

Bij de materiaalkeuze voor een reiskoffer spelen ook de uitwendige eigenschappen een belangrijke rol. Tijdens het onderzoek heeft men vastgesteld dat op spuitgegoten grotere onderdelen, zoals op impactproefplaatjes, de kleurverdeling van gerecycleerd afvalmateriaal niet optimaal is. De plaatjes hebben geen mooie egale kleur, maar vertonen lichte vlekken aan het oppervlak. Dit zorgt voor een minder esthetisch uiterlijk van de onderdelen. Het gerecycleerd materiaal kan gebruikt worden bij onderdelen die geen belangrijke visuele rol spelen. Weliswaar kan het effect van de kleurverdeling van dit materiaal verder in detail gecontroleerd worden op andere spuitgiestukken.

Een aanvullend onderzoek of vervolgonderzoek op dit gerecycleerd materiaal is steeds mogelijk. Een belangrijk onderdeel dat men kan uitwerken is **microscopisch onderzoek** van gerecycleerd CURV®+PUR+PET. Via SEM (Scanning Elektron Microscope) kan de microstructuur van de ontwikkelde blend achterhaald worden. Aan de hand van de microstructuur kan men nadien opmerkelijke mechanische eigenschappen tot op het bot verklaren.

Een andere belangrijke parameter bij de recyclage van kunststoffen is de **moleculaire massa** en de evolutie van deze parameter doorheen het verwerkings- en productieproces. De moleculaire massa heeft effect op de **viscositeit** van het materiaal. Een lage viscositeit is bijvoorbeeld nodig bij het spuitgieten van een materiaal. Onze verwerkingstemperatuur doorheen de ganse cyclus bedraagt 250°C. Deze temperatuur hebben we nodig om ook PET te kunnen smelten, maar bij 250°C kan de degradatie van polypropyleen reeds gestart zijn. Degradatie van het materiaal heeft slechte gevolgen op de mechanische eigenschappen van het materiaal en kan via viscositeitsmetingen in kaart gebracht worden.

Een mogelijke uitbreiding van dit onderzoek is de hele onderzoekscyclus opnieuw uit te voeren bij een **temperatuur lager dan 250°C**. Als men het afvalmateriaal verwerkt bij bv. 150°C zal het polypropyleen in de blend smelten, maar het polyethyleentereftalaat zal ongesmolten blijven. Zo gaat men na het verhakkelen en extrusie van het afval een unieke combinatie verkrijgen van PET en PP. Deze optie kan nog verder onderzocht worden in een aansluitend onderzoek.

Wanneer er in bedrijven gepraat wordt over recycleren, is het **economisch aspect** vaak een doorslaggevende negatieve factor. Meer milieuvriendelijk zijn kost in de meeste gevallen geld. Het doel van elk gezond bedrijf is zoveel mogelijk winst maken, maar men wil ook z'n steentje bijdragen tot een milieuvriendelijke samenleving. Dit kan vaak door het geproduceerde afval te recycleren, indien het mogelijk is. Een andere oplossing is op zoek gaan naar andere grondstoffen die men wel kan recycleren of overschakelen naar een productieproces waarbij er minder afval geproduceerd wordt. Het afvalmateriaal van de X'Lite koffer is recycleerbaar. Indien de productie toeneemt, stijgt het geproduceerde afval ook. Recyclage en hergebruik van het afval binnen het bedrijf kan in bepaalde omstandigheden leiden tot financiële winst voor het bedrijf.

Enkele betrouwbare richtwaarden:

- Kostprijs polypropyleen: 1,5 €/kg
  - Afvalvergoeding CURV®+PUR+PET bij verkoop: 0,15 €/kg
  - X'Lite koffer: 1 kg afval/koffer
  - X'Lite productie: 100000 koffers/jaar
- } = 100 ton afval/jaar



Indien wordt overgegaan tot recyclage en hergebruik kan men de totale kostprijs van het polypropyleen uitsparen, deze is  $(1,5 \text{ €/kg} - 0,15 \text{ €/kg}) \times 100000 \text{ kg/jaar} = 135000 \text{ €/jaar}$ . Dit is enkel de opbrengstzijde door het recycleren. Daarnaast moet men ook nog rekening houden met de kostzijde ten gevolge van het recycleren:

- kost machine: aankoopprijs + onderhoud (shredder + extruder)
- kost mens: extra werkuren, opleiding
- kost omgeving: stockeren van verhakkeld materiaal en/of granulaat, inbrengen van recyclage in productieproces → ergonomie, opleiding personeel
- onderzoek: bv. naar de optimalisatie van het recyclaat, dit heeft tijd nodig en *'time is money'*...

Hergebruik binnen het bedrijf is financieel enkel mogelijk als het totale verschil tussen de opbrengstzijde en de kostzijde positief is. Of het bedrijf producten zal recycleren zal voornamelijk afhangen van het economisch aspect. Als aanvulling op dit onderzoek is een grondige economische studie van het recyclageproces zeker welgekomen voor het bedrijf.

## 9. BIJLAGEN

- Bijlage 1: Propex Fabrics Receives 2004 Frost & Sullivan Award for Product Innovation in the Plastic Composites Industry for Curv® - press release

Curv® self-reinforced plastics (SRPs), based on the groundbreaking and patented hot compaction technology, are an innovative line of single polymer composites that effectively bridge the gap between normal plastics and the glass fibre-reinforced plastics (GRP) product category. SRPs have the toughness of regular plastics with levels of rigidity normally associated with certain grades of GRP whilst at the same time being up to 50 per cent lighter than the latter.

“SRPs have outstanding impact resistance and can be easily recycled,” says Frost & Sullivan Industry Analyst Dr. Brian Balmer. “Their recyclability makes them particularly interesting to the automotive industry, which must meet tough recycling targets in the EU.”

Propex Fabrics is one of the three suppliers in the European market to invest in SRPs. As the company is fully integrated into the production of raw materials (as a former member of the BP group), it is best placed to lead this market sector – especially with its favourable cost structure that enables it to offer the most competitive prices in the market.

Curv® can service a wide range of applications including the automotive industry, industrial cladding, building and construction, cold temperature applications, audio products, personal protective equipment and sports goods. The product is also being tested for numerous other applications such as under-body panels, roof lining and flooring for low volume cars, anti-riot protection and luggage.

When combined with other materials, Curv® can be used as an enabling material for new composites and applications. There are two main applications – foam and honeycomb laminates – that maintain as well as extend the concept of a 100 per cent polypropylene (PP) composite product.

Curv® / expanded PP (EPP) foam laminates can be produced without adhesives during the compression cycle where the foam automatically bonds to the Curv® sheets. Applications for this product include architectural panels, automotive components and insulation. In Curv® / PP honeycomb laminates, the Curv® sheets are bonded to honeycomb using any of a variety of adhesives.

### **Tailored CURV®**

Apart from these 100 per cent PP laminates, the technology can be extended to a product range which Propex Fabrics refer to as ‘tailored Curv®’. The flexibility as well as the tolerance controls in the continuous hot compaction process enable the incorporation of other materials, offering specific performance characteristics. By hot-compacting materials like aluminium, glass, aramides, carbon fibre and even GRPs together with the Curv® substrates, one can create a totally new range of thermoplastic composites meeting a wide range of cost and performance targets.

“Over the last three years, Propex Fabrics has led by example by investing significantly in SRP product and technology development that is necessary to break through into full-scale commercialisation,” notes Dr. Balmer. “Propex Fabrics is now well placed to capitalise on the growing interest in self-reinforced plastics.”

- Bijlage 2 : ‘Technical data sheet’ van het basismateriaal CURV®

**Curv™ - Technical Data Sheet C100A**

Product: Polyyopylene/Polypropylene thermoformable Composite



Technical Properties		Test Method	Value	Unit
	Density	ISO 1183	0,92	g/cm <sup>3</sup>
	Water Absorption	DIN 53 495	<0,1	%
			<b>MD</b>	<b>CD</b>
	Tensile Modulus	DIN EN ISO 527	4200	4200 N/mm <sup>2</sup>
	Tensile Strength	DIN EN ISO 527	120	120 N/mm <sup>2</sup>
	Tensile Strain to Failure	DIN EN ISO 527	20	20 %
	Flexural Modulus [flat wise]	DIN EN ISO 178	3500	3500 N/mm <sup>2</sup>
	Compression strength [flat wise]	EN ISO 604	300	MPa
	Charpy Impact [20 C / 52 J / EP / ]	EN ISO 179/2	> 250 nb	kJ/m <sup>2</sup>
	Charpy Impact [20 C / 52 J / EP / Notched Type B]	EN ISO 179/2	120	kJ/m <sup>2</sup>
	IZOD impact [Notched Type B / 20 C / 52 J / EP]	EN ISO 180/2	400	kJ/m <sup>2</sup>
	IZOD Impact [-40 C / 52 J / EP / Notched Type b]	EN ISO 180/2	600	kJ/m <sup>2</sup>
	Puncture Impact Behaviour [20 C, 52 J, 2,1 mm]	ISO 6603	6 40	kN J
	Tensile Impact Strength [20 C / 15 J / 2,1 mm]	EN ISO 8256	1000	1000 kJ/m <sup>2</sup>
	Heat Deflection Temperature under Load [flat wise]	EN ISO 75-2 B	102	°C
		EN ISO 75-2 A	160	°C
	Coefficient of Linear Thermal Expansion [20 C - 80 C]	DIN 53752	6,8	x 10 <sup>-5</sup> K <sup>-1</sup>
	Fire Behavior of Building Materials	DIN 4102	B 2	class

- nb: no break

**Delivery Information – Sheet Dimension**

Colours:	standard black (other colours on request)	Thickness:	0.30 - 3.0 mm
Standard Lengths:	any length up to 3 meters, thinner material available on roll	Available Width:	up to 1360 mm

**PROPEX**  
FABRICS

Düppelstraße 16  
D - 48599 Gronau / Germany  
Phone +49 (0) 2582 77 465  
Fax +49-(0) 2582 77 467  
E-mail: Info@Curvonline.com  
Website: www.curvonline.com

**Exclusion of Liability**

Information contained in this publication is accurate to the best of the knowledge of PROPEX FABRICS. Any information or advice obtained from PROPEX FABRICS otherwise than by means of this publication and whether relating to PROPEX FABRICS materials or other materials, is also given in good faith. However, it remains at all times, the responsibility of the customer to ensure that PROPEX FABRICS materials are suitable for the particular purpose intended. Insofar as materials not manufactured or supplied by PROPEX FABRICS are used in conjunction with or instead of PROPEX FABRICS materials, the customer should ensure that he has received from the manufacturer or supplier all the technical data and other information relating to such materials. PROPEX FABRICS accepts no liability whatsoever (except as otherwise expressly provided by law) arising out of the use of information supplied, the application or processing of the products described herein, the use of other materials in lieu of PROPEX FABRICS materials in conjunction with such other materials.

- Bijlage 3 : 'Material Safety Data Sheet' van CURV® met PUR- en PET-laag

**EC SAFETY DATA SHEET**  
acc. to EC Directive 91/155/EEC



Date / revised on: 11.06.06 / -

Product code: PK6003.800

1 / 5

**1. Company identification**



Nordenia Deutschland Gronau GmbH  
Jöbkesweg 11 - 48599 Gronau  
Tel. 0 25 62/9 19-0  
Fax 0 25 62/9 19-4 80

**2. Composition / information on ingredients**

Chemical nature: Polypropylene (max. 55%)  
PET (max. 50%)  
Polyurethane adhesive (max 4%).

Dangerous ingredients: no

**3. Possible hazards**

Special advice for humans  
and environment: no

**4. First aid measures**

Inhalation: no

Skin contact: for thermal skin burns seek for immediate  
medical attention

Eye contact: in case of dust contact flush eyes thoroughly  
with water for several minutes, in case of  
thermal eye burns flush eyes thoroughly for at  
least 15 minutes. Seek for medical advice if  
irritation persists

---

Product code: PK6003.800

2 / 5

---

**5. Fire fighting measures**

- Suitable extinguishing media: water, polymer based foams  
dry extinguishing media only shortly after start of fire
- Extinguishing media to avoid: solid stream of water
- Possible gases to be released: CO, CO<sub>2</sub>
- Special protection: no

**6. Accidental release measures**

- Personal precaution: no
- Environmental protection: no
- Spillages: clean up to prevent slipping

**7. Handling and storage**

- Handling: protection against fire and explosion, take precaution against electrostatic discharges, all equipment shall be grounded
- Storage: protect from heat and direct solar radiation

**8. Exposure controls / personal protection**

- Exposure control: no
- Personal protection: no
- General measures concerning protection and hygienic: assure sufficient ventilation at processing equipment, if there is a risk for higher temperatures wear respiratory protection

---

**Product code:** PK6003.800

---

**3 / 5**

### 9. Physical and chemical properties

Physical state:	Complex PP/PET film (laminated with polyurethane adhesive)
Colour:	natural or dyed,
Odor:	faint, characteristic
Decomposition Melting temperature/range:	120 - 170 ° C hardened PUR adhesive, not melting undecomposed,
Flash point:	> 250 ° C
Inflammation point:	> 300 ° C
Density: ( 23 ° C )	0,80 – 1,40 g/cm <sup>3</sup> DIN 53 479
Solubility in water:	insoluble

### 10. Stability and reactivity

Conditions to be avoided:	not known
Thermal decomposition:	> 200 ° C formation of inflammatory gases / steams
Materials to be avoided:	not known
Hazardous decomposition products:	monomers, inflammatory gases / steams.
Dangerous reactions:	not known

---

**Product code:** PK6003.800

**4 / 5**

---

#### 11. Toxicological information

**Additional advice:** according to the best of our knowledge the product has shown no influences on human health under appropriate and correct use.

#### 12. Ecological information

The product has not been tested. Due to product consistence biodegradability is unlikely. No negative effects on the environment are expected.

#### 13. Disposal considerations

**Product:** Dispose in accordance with all applicable Federal, State and local environmental regulations. Key number for the unused product: 57128 (Germany)

**Not cleaned packaging:** Contaminated packaging has to be optimally depleted. After a corresponding cleaning the packaging should be recycled or disposed through an approved waste management facility.

#### 14. Transport information

Not a dangerous good as defined by the transport regulations.

#### 15. Regulatory information

**Labelling according to EU regulations:** not subject to labelling

**National regulation:** risk classification for water pollution: 0 (Germany) (self classification)



---

Product code: PK6003.800

5 / 5

---

#### 16. Other information

The information provided in this safety data sheet is correct to the best of our knowledge at the date of its publication. The information given is designed only as a guidance for safe handling, processing, storage, transportation and disposal and is not to be construed as a warranty or quality specification for which Nordenia assumes any legal responsibility. Since the use of this information and the conditions of the use of the product are not under the control of Nordenia it is the user's responsibility to ensure that the product is suitable for the particular purpose and to determine conditions of safe use of the product. The information relates only to the specific product designated above.

Gronau, 12 September 2006 / NorTec / Ke, Hag,

Rev.Nr. 1

- Bijlage 4: 'Technical data sheet' MOPLEN EP 1661



## Provisional Product Datasheet

### ***Moplen EP1661***

### ***Development grade***

Moplen EP1661 is a medium fluidity nucleated heterophasic copolymer suitable for injection moulding applications.

Moplen EP1661 exhibits an outstanding low temperature impact performance in combination with a good stiffness and an excellent processability.

Moplen EP1661 is designed for use in luggage, transport and cold storage crates, sports and leisure equipment, toys and typical consumer goods which require a high impact resistance at low temperatures.

Typical Resin Properties		Method	Unit	Value(*)
Melt Flow Rate (230/2.16)		ISO 1133	g/10 min	16.5
Flexural Modulus		ISO 178	MPa	1200
Tensile modulus		ISO 527-1,-2	MPa	1100
Tensile Stress at Yield		ISO 527-1,-2	MPa	19.0
Tensile Elongation at Yield		ISO 527-1,-2	%	4.5
Izod Impact Strength, Notched	23 °C	ISO 180	kJ/m <sup>2</sup>	NB
Izod Impact Strength, Notched	0 °C	ISO 180	kJ/m <sup>2</sup>	9
Izod Impact Strength, Notched	-20 °C	ISO 180	kJ/m <sup>2</sup>	7,5
Instrumented Falling Weight				
Total penetration energy	23 °C	ISO6603-2	J	28
Total penetration energy	0 °C	ISO6603-2	J	41
Total penetration energy	-20 °C	ISO6603-2	J	42

(\*) The property values shown are based on a limited number of tests and, therefore, should not be construed as product specifications.

- Bijlage 5: 'Material safety data sheet' MOPLEN EP 1661



**Blad met veiligheidsgegevens**  
volgens 2001/58EEG

Bladzijde: 1/5

datum van de druk: 14.12.2006

Version 3

opnieuw bewerkt op: 25.06.2006

**1 Identificatie van de stof of het preparaat en de vennootschap/onderneming**

- Informatie over het produkt
- Handelsnaam: **Moplen EP1661**
- Artikelnummer: 17659
- Toepassing van de stof/ van de bereiding Synthetisch hars
- Fabrikant/leverancier: Basell Polyoolefins
- inlichtingengevende sector:  
Regulatory Affairs Department  
Research center G. Natta, Basell Poliolefine Italia s.r.l., 44100 - Ferrara (Italy)  
Tel.: +39/0532/468653 ; h 8.30-17.00  
Fax: +39/0532/468820


**2 Samenstelling en informatie over de bestanddelen**

- Chemische karakterisering:
- CAS-Nr. omschrijving  
9010-79-1 1-propene, polymer with ethene
- Beschrijving:  
Mengsel van na elkaar aangevoerde stoffen met ongevaarlijke bijmengingen:  
1-propene, polymeer met etheen

**3 Identificatie van de gevaren**

- Informatie betreffende bijzondere gevaren voor mens en milieu:  
In gesmolten toestand plakt het product aan de huid en veroorzaakt brandwonden.  
Gevaar voor uitglijden over gemorste korrels.  
Het materiaal kan electrostatisch opgeladen worden bij gebruik.  
De dampen die vrijkomen bij verwerking van het product kunnen zowel de ogen als de ademhalingswegen irriteren.
- Classificatiesysteem:  
Dit product is volgens de EU-richtlijnen 1999/45, 67/548,76/769 en de volgende aanpassingen niet als gevaarlijk geclassificeerd.

**4 Eerstehulpmaatregelen**

- Algemene informatie:  
Bij kamertemperatuur is het product niet irriterend en geeft ook geen gevaarlijke dampen vrij.  
De hieronder opgegeven maatregelen hebben betrekking op kritische situaties (brand, foutieve procesvoorwaarden).
- Na het inademen:  
Bij een te hoge inhalatie van rook, het slachtoffer in de frisse lucht brengen. Een dokter raadplegen.  
Het slachtoffer warm houden, zo nodig mond-op-mondbeademing of kunstmatige beademing toepassing.
- na huidcontact:  
Na contact met het gesmolten produkt snel met koud water afkoelen.  
Het gestoide produkt niet van de huid trekken.  
Onmiddellijk deskundig medisch advies inwinnen.
- Na oogcontact:  
 Ogen met open ooglid een aantal minuten onder stromend water afspoelen en aansluitend arts consulteren.
- Na inslikken:  
Geen specifieke maatregelen vereist als het product gewoon werd ingeslikt.

(Vervolg op blz. 2)

NI



**Blad met veiligheidsgegevens**  
volgens 2001/58EEG

datum van de druk: 14.12.2006

Version 3

opnieuw bewerkt op: 25.06.2006

**Handelsnaam: Moplen EP1661**

Eventueel medisch advies inwinnen.

(Vervolg van blz. 1)

**5 Brandbestrijdingsmaatregelen**

- **Geschikte blusmiddelen:**  
Waternevel  
Schuim  
Kooldioxyde  
Chemisch bluspoeder
- **Bijzonder gevaar veroorzaakt door de stof, zijn verbrandingsproducten of de vrijkomende gassen:**  
Bij een brand kan vrijkomen:  
Water (H<sub>2</sub>O), koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) en, in de afwezigheid van zuurstof (O<sub>2</sub>), koolstofmonoxide (CO)  
De verbrandingsproducten zijn gevaarlijk.  
In de beginfase van een brand (in het bijzonder tussen 400°C en 700°C) kunnen koolwaterstoffen en aldehyden gevormd worden.
- **speciale beschermende kleding:**



Ademhalingsstoestel aantrekken.

- **Verdere gegevens Verwarmingswaarde: 8000 - 11000 kcal/kg**

**6 Maatregelen bij accidenteel vrijkomen van de stof of het preparaat**

- **Voorzorgsmaatregelen m.b.t. personen:**  
Geen specifieke maatregelen vereist.  
Zie punt 8.
- **Maatregelen ter bescherming van het milieu:**  
Geen speciale maatregelen noodzakelijk.  
Zie punten 12 en 13
- **Procedure voor het reinigen/opnemen:**  
Beperkte hoeveelheden vrijgekomen stoffen:  
Opscheppen in een getiktetard vat en voor een veilige afvalverwerking zorgen.  
Belangrijke hoeveelheden vrijgekomen stoffen:  
Te werk gaan zoals bij een beperkt vrijkomen van schadelijke stoffen.  
Het product opnieuw gebruiken of op een veilige manier verwerken.  
Zie punt 13
- **Aanvullende gegevens:**  
Gemorst polymeer wegens slipgevaar (uitslijden over horrels) opnemen en verzamelen.

**7 Hantering en opslag**

- **Verwerking:**
- **Informatie m.b.t. veilig verwerking:**  
Geen bijzondere maatregelen vereist wanneer de verwerking bij kamertemperatuur gebeurt.  
Rondstrooien van het product (morsen van horrels) wegens slipgevaar vermijden.  
Bij opwarming van het materiaal tot op bedrijfstemperaturen kunnen dampen tot ontwikkeling komen; deze bestaan uit:  
Propyleen  
Ethyleen  
Koolwaterstoffen met laag moleculair gewicht en de oxidatieproducten ervan  
Resten van oplosmiddelen  
Sporen van formaldehyde en acrylaldehyde  
Sporen van zuren (methaanzuur, azijnzuur)

(Vervolg op blz. 3)

ML

**Handelsnaam: Moplen EP1661**

In dergelijke verwerkingsomstandigheden is het aangeraden een geschikt verluchtingsstelsel (voldoende ventilatie) te voorzien. (Vervolg van blz. 2)

Proeven onder verschillende toepassingsvoorwaarden hebben maximale hoeveelheden formaldehyde, acroleïne, methaan- en azijnzuur aangetoond, die beduidend onder de MAC-waarden liggen.

Zoals bij elke soort polymeer moeten maatregelen worden getroffen om explosie te voorkomen, wanneer tijdens het transport of de manipulatie stof ontstaat.

- Informatie m.b.t. brand- en ontploffingsgevaar: Geen bijzondere maatregelen noodzakelijk.

- Opslag:

- Eisen ten opzichte van opslagruimte en tanks:

Voorzorgsmaatregelen tegen statische elektriciteit nemen.



Niet roken.

Toestellen aarden.

Elektrische beveiligingsapparatuur.

Gebruik van open vuur verboden.

Het product kan in zakken of "autosilo's", containers of grote kartons opgeslagen worden.

- Informatie m.b.t. gezamenlijke opslag: Niet noodzakelijk

- Verdere inlichtingen over eisen m.b.t. de opslag:

Tegen hitte en directe zonnestralen beschermen.

Container op een goed geventileerde plaats bewaren.

Droog bewaren.

Octabins niet op elkaar stapelen.

- Bepaalde toepassingen For safe stacking, follow the storage recommendations specific for this product

**8 Maatregelen ter beheersing van blootstelling/persoonlijke bescherming**

- Bestanddelen met grenswaarden die m.b.t. de arbeidsruimte in acht genomen moeten worden: vervalt

- Aanvullende expositiegrenswaarden bij de behandeling van het produkt:

107-02-8 acrylaldehyd

MAC (1) Korte termijn waarde: 0,12 mg/m<sup>3</sup>, 0,05 ppm

Lange termijn waarde: 0,05 mg/m<sup>3</sup>, 0,02 ppm

50-00-0 formaldehyd

MAC (1) Korte termijn waarde: 3 mg/m<sup>3</sup>, 2 ppm

Lange termijn waarde: 1,5 mg/m<sup>3</sup>, 1 ppm

64-19-7 azijnzuur

MAC (1) 25 mg/m<sup>3</sup>, 10 ppm

64-18-6 Mierezuur

MAC (1) 9 mg/m<sup>3</sup>, 5 ppm

- Aanvullende gegevens: Zie punt(en) 7, 9.

- Persoonlijke beschermingsvoorzieningen:

- Algemene beschermings- en gezondheidsmaatregelen:

Niet eten of drinken tijdens gebruik.

Niet roken.

Installatie voorzien voor het opvangen van de dampen die tijdens de verwerking ontstaan.

- Ademhalingsbescherming:

Beschermend masker tijdens de verwerking van het gesmolten product gebruiken, wanneer de ruimte niet voldoende geventileerd is.

- Handschoenbescherming: Warmte-isolerende handschoenen.

- Handschoenmateriaal

De keuze van een geschikte handschoen is niet alleen afhankelijk van het materiaal, maar ook van andere kwaliteitskenmerken en verschil van fabrikant tot fabrikant.

- Doordringingstijd van het handschoenmateriaal

De precieze penetratietijd kunt u te weten komen bij de handschoenfabrikant; houd er rekening mee.

(Vervolg op blz. 4)

ML





**Blad met veiligheidsgegevens**  
volgens 2001/58EEG

datum van de druk: 14.12.2006

Version 3

opnieuw bewerkt op: 25.06.2006

Handelsnaam: *Moplen EP1661*

- (Vervolg van blz. 3)
- Oogbescherming: Bij omgieten van het product verdient het aanbeveling een beschermbril te gebruiken.
  - Lichaamsbescherming: Normale werkkleren

**9 Fysische en chemische eigenschappen**

**- Algemene gegevens**

Vorm:	Granulaat
Kleur:	wit
Reuk:	reukloos

**- Toestandsverandering**

Smeltpunt/smeltbereik:	140-163°C
Kookpunt/kookpuntbereik:	Niet van toepassing

- Vlampunt: Niet van toepassing (zie bijlage richtlijn 92/69/EG, A.9)

- Ontstekingstemperatuur: > 400°C

- Ontbindingstemperatuur: > 300°C

- Ontploffingsgevaar: Het product is niet ontploffingsgevaarlijk.  
Zie echter punt(en) 7.

- Dichtheid bij 20°C: 0,89-0,91 g/cm<sup>3</sup> (ISO 1183)

- Oplosbaarheid in/mengbaarheid met:  
Water: niet oplosbaar

- Verdere inlichtingen: Oplosbaar in kokende aromatische gechloreerde oplosmiddelen.

**10 Stabiliteit en reactiviteit**

- Thermische ontbinding / te vermijden omstandigheden:  
Het product is stabiel bij normale verwerkings- en opslagvoorwaarden.  
Ontbindt bij meer dan 300°C.
- te vermijden stoffen: Sterke oxidatiemiddelen
- Gevaarlijke reacties: Geen gevaarlijke reacties bekend.
- Gevaarlijke ontledingsproducten: Bij kamertemperatuur zijn geen gevaarlijke ontbindingsproducten bekend.

**11 Toxicologische informatie**

- Acute toxiciteit:
- Primaire aandoening:  
- op de huid: Geen prikkelend effect  
- aan het oog: Geen prikkelend effect
- Overgevoeligheid: geen effect van overgevoeligheid bekend
- Aanvullende toxicologische informatie:  
Bij deskundige omgang en gebruik volgens voorschrift veroorzaakt het product op grond van onze ervaring en de ons toegankelijke informatie geen schadelijke effecten voor de gezondheid

**12 Milieu-informatie**

- Gegevens m.b.t. eliminatie (persistentie en afbreekbaarheid):
- Verdere informatie: Het product is niet biologisch afbreekbaar.
- Gedrag in milieu-compartimenten:
- Mobiliteit en bio-accumulatie-potentiaal:  
Drijft op water.  
Er treedt geen beduidende biologische accumulatie op.

(Vervolg op blz. 5)



**Blad met veiligheidsgegevens  
volgens 2001/58/EEG**

Bladzijde: 3/3

datum van de druk: 14.12.2006

Version 3

opnieuw bewerkt op: 25.06.2006

**Handelsnaam: Moplen EP1661**

(Vervolg van blz. 4)

**- Algemene informatie:**

*Het product is niet toxisch, kleine deeltjes kunnen echter fysische uitwerking hebben op organismen die in het water en de aarde leven.*

**\* 13 Instructies voor verwijdering**

**- Product:**

**- Aanbeveling:** Opslag van afvalstoffen door gecontroleerde verbranding of op toegestane afvalberg.  
**- Europese afvalcatalogus 070213**

**- Niet gereinigde verpakkingen:**

**- Aanbeveling:** Afvalverwijdering volgens overheidsbepalingen.

**\* 14 Informatie met betrekking tot het vervoer**

**- Transport/verdere gegevens:**

*Het product is volgens de nationale en internationale voorschriften die het vervoer langs de wegen, spoorwegen, lucht en op zee regelen, niet gevaarlijk.*

**\* 15 Wettelijk verplichte informatie**

**- Kenmerking volgens EEG-richtlijnen:**

*De stof is niet kenmerkingsplichtig volgens de EG-lijsten of andere ons bekende literatuurbronnen  
De bij de omgang met chemicaliën gebruikelijke voorzorgsmaatregelen moeten worden nageleefd.*

**- Nationale voorschriften:**

**- Overige voorschriften, beperkingen en verbodsbepalingen**

*Over het algemeen moeten alle nationale voorschriften met betrekking tot dit producttype toegepast worden.*

**\* 16 Overige informatie**

*Deze voorschriften zijn gebaseerd op de huidige stand van onze kennis; ze hebben tot doel het product met betrekking tot de eisen inzake milieu, gezondheid en veiligheid te beschrijven. Ze mogen evenwel niet als garantie voor specifieke producteigenschappen getoonterpreteerd worden. Basell is niet aansprakelijk voor gedragingen van handelaars en verwerkers die niet aan de bovengenoemde voorwaarden voldoen of voor onverstandige, verkeerde of niet-voorzorgende toepassingen van het product.*

**- Departement verantwoordelijk voor de uitgave van de productspecificaties: Regulatory Affairs Department**

**- Contact-persoon: Dr. Patrizia Busi**

**- Bibliografie**

**- EG-richtlijn 67/548 en volgende aanpassingen**

**- Richtlijn 1999/45/EG, in de telkens geldende versie**

**- Richtlijn 76/769/EEG en daaropvolgende aanpassingen**

**- Richtlijn 2001/58/EG**

**- RTECS (Registry of toxic effects of chemical substances 1985-1986 edition) (Register van toxische invloeden van chemische stoffen, editie 1985-1986)**

**- Frostling, Hof, Jacobson, Pfaffli, Zitting, "Thermal decomposition products from plastics", 2-polypropylene and polyvinylchloride, 1983**

**- EINECS/ELINCS**

**- \* Gegevens die ten opzichte van de voorgaande versie zijn veranderd Section 7**



- Bijlage 6: PP-PUR laagje van 42µm en een PET-toplaag van 36µm

#### Ergänzung zur physikalischen Spezifikation

Kaschierverbund: PK6003.800, 80µm, besteht aus PP6308.030 (42µm) und 36 µm PET

Das PET wird über Nordenia Deutschland Gronau GmbH mit dem PET Lieferanten spezifiziert.

Verbundhaftung nach Aushärtung\*:

Hierzu müssen über die nächsten Fertigungen noch Werte gesammelt werden.

Transparenz nach Rollenschnitt (nach Aushärtung)\*:

Hierzu müssen über die nächsten Fertigungen noch Werte gesammelt werden.

COA bzgl. der mit \* gekennzeichneten Prüfmerkmale bei Anlieferung der Ware

- Bijlage 7: Technische gegevens over de spuitgietmachine

### **ARBURG Allrounder 320S 500-150**

#### **Sluiteenheid**

Maximale sluitkracht:	500 kN
Maximale openloopweg:	350 mm
Minimale inbouwhoogte matrijs:	225 mm
Maximale afstand tussen de platen:	575 mm
Afstand tussen de holmen:	320 x 320 mm
Afmeting opspanplaten:	446 x 446 mm
Maximale uitstootkracht:	30 kN
Maximale uitstootweg:	125 mm
Droogloop voor openloopweg (Euromap 6):	1,7 s – 189 mm
Maximaal matrijsgewicht aan beweegbare plaat:	250 kg

#### **Spuiteenheid**

Schroefdiameter:	25 mm
Effectieve schroeflengte:	24 L/D
Maximale doseerlengte:	110 mm
Maximaal injectievolume:	54 cm <sup>3</sup> PS
Maximaal shotgewicht:	49 g PS
Maximale inspuitdruk:	2500 bar
Maximale inspuitstroom:	80 cm <sup>3</sup> /s
Maximale schroefkoppel:	300 Nm
Maximale perskracht spuitneus:	70 kN
Maximale slag spuitneus:	300 mm

---

## 10. LITERATUURLIJST

### 10.1 GEDRUKTE BRONNEN

Bonte , Hilde. Kunststoffen; Inleiding en Mechanische eigenschappen, Oostende, KHBO.  
Samsonite Annual Report 2006  
Propex Fabrics GmbH. Curv® Self-Reinforced Polypropylene Composite, Processing Guide  
Propex Fabrics GmbH. Learning Curv®, Technical Manual  
ISO 179-1. Kunststoffen – Bepaling van de slagsterkte volgens Charpy – Deel 1: Niet  
geïnstumenteerde slagbeproeving  
ISO 527-1 en 527-2. Kunststoffen – Bepaling van de trekeigenschappen  
Czarnecki, Tomasz. Verpoest, Ignaas. SAMSONITE IWT PROJECT. Recycling concept for  
CURV PP (PP/PET) composite. K.U.Leuven, 13/02/2006

### 10.2 ELEKTRONISCHE BRONNEN

- Curv® Presentation. CD-ROM
- K.U.Leuven Instructiegids voor nieuwe medewerkers. CD-ROM. September 2006
  
- <http://home.wanadoo.nl/rgroen/kerfslagproef.htm>
- <http://nl.wikipedia.org/wiki/Hoofdpagina>
- [www.belgochlor.be/nl/H306.htm](http://www.belgochlor.be/nl/H306.htm)
- [www.composites-by-design.com/processes.htm](http://www.composites-by-design.com/processes.htm)
- [www.curvonline.com](http://www.curvonline.com)
- [www.ides.com](http://www.ides.com)
- [www.kuleuven.be](http://www.kuleuven.be)
- [www.kunststoffen.cjb.net](http://www.kunststoffen.cjb.net)
- [www.maximal.be/cases/samsonite\\_XL\\_01.html](http://www.maximal.be/cases/samsonite_XL_01.html)  
→ ‘ *X'Lite is the lightest and strongest Samsonite case ever, utilizing the exclusive CURV® composite to create luxury, with high-impact strength, performance, and abrasion resistance.* ‘
- [www.mntnetwork.com](http://www.mntnetwork.com)
- [www.mtm.kuleuven.be](http://www.mtm.kuleuven.be)
- [www.samsonite.com/global/global\\_homepage.jsp](http://www.samsonite.com/global/global_homepage.jsp)
- [www.samsoniteblacklabel.com/scatalog/index\\_flash.jsp](http://www.samsoniteblacklabel.com/scatalog/index_flash.jsp)
- [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- [www.sind.com](http://www.sind.com)
- [www.wbib.kuleuven.be](http://www.wbib.kuleuven.be)
- [www.unitedcomposites.net](http://www.unitedcomposites.net)

