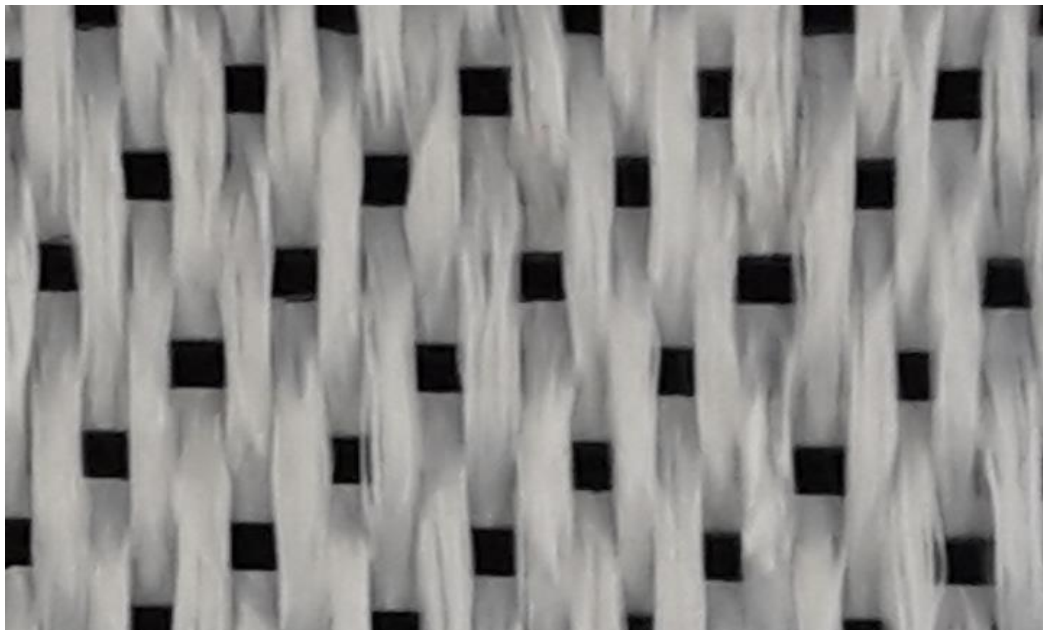
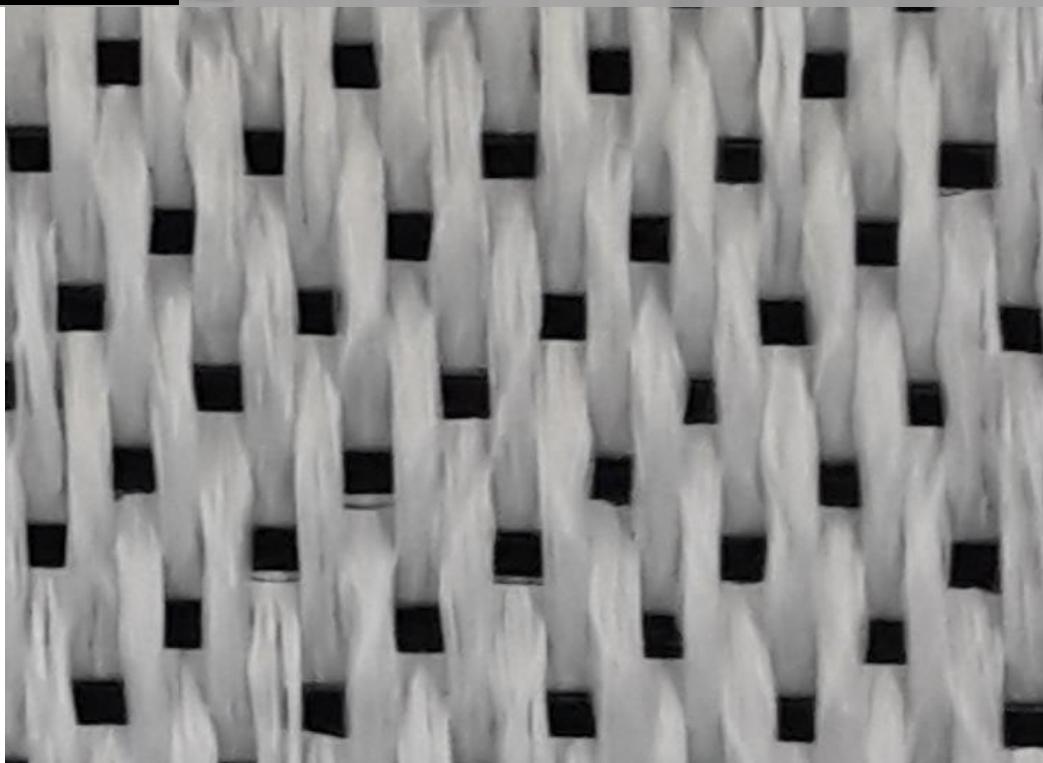


16-6-2016



LECTORAAT
LICHTGEWICHT
CONSTRUEREN

PRODUCTIE VAN COMPOSITDOEK DOOR GEBRUIK VAN
TEXTIELE PRODUCTIETECHNIEKEN



Technische Commerciële Textielkunde, Saxion | Lisanne ter Horst

Afstudeeronderzoek

Productie van composietdoek door gebruik van textiele productietechnieken

Student: Lisanne ter Horst, 302613

Datum: 16-6-2016

Afstudeercoach: Dyo van Opstall

Bedrijfsbegeleider: Ferrie van Hattum

Bedrijf: Lectoraat Lichtgewicht Construeren

Opleiding: Technische Commerciële Textielkunde

Inhoudsopgave

Lijst met tabellen en figuren	i
Lijst met afkortingen	iii
Voorwoord	iv
Samenvatting.....	v
Hoofdstuk 1. Inleiding	1
1.1 Het bedrijf.....	1
1.2 Aanleiding onderzoek.....	1
1.3 Onderzoeksvraag.....	2
1.4 Leeswijzer	2
2. Literatuuronderzoek.....	3
2.1 Wat is een composiet?	3
2.2 Productiemethodes composieten	3
2.3 Textiele productietechnieken.....	6
2.4 Materiaal	11
2.5 Snijden	12
2.6 Pers	14
Hoofdstuk 3. Methoden	15
3.1 Kwalitatief of kwantitatief onderzoek.....	15
3.2 Dataverzamelmethode	15
3.3 Materiaal	16
3.3.1 Thermoplastisch tape	16
3.3.2 Pp/glasgaren.....	16
3.3.3 Glasgaren.....	16
3.4 Instrumentenanalyse.....	16
3.4.1 Pers	16
3.4.2 Lasersnijder	17
3.5 Testen	18
3.5.1 Kerfslagproef	18
3.5.2 Treksterkte	19
3.5.3 3 puntsbuigproef	19
Hoofdstuk 4. Resultaten	20
4.1 Resultaten trekproef	21
4.2 Resultaten 3 puntsbuigproef.....	23

4.3 Resultaten kerfslagproef	26
4.4 Resultaten testen Twintex en Bondlaminates	28
Hoofdstuk 5. Conclusie en aanbevelingen	29
5.1 Conclusie	29
5.2 Vergelijking.....	30
5.3 Aanbevelingen.....	31
Hoofdstuk 6. Onderzoeksreflectie.....	32
Nawoord bedrijf	33
Literatuurlijst	34
I. Bijlage 1	I-1
Bedrijfsbezoeken	I-1
Bezoek Thermo Plastic composite Research Center	I-1
Bezoek Weverij TenCate.....	I-1
II. Bijlage 2	II-1
Foto's matten	II-1
Pp/glas	II-1
Glas	II-3
III. Bijlage 3	III-1
Sjabloon laser	III-1
IV. Bijlage 4	IV-1
Formuleblad dikte platen	IV-1
V. Bijlage 5	V-1
Foto's geperste platen.....	V-1
Pp/glas	V-1
Glas	V-3
VI. Bijlage 6	VI-1
Sjabloon testsamples.....	VI-1
VII. Bijlage 7	VII-1
Formuleblad theoretische waardes	VII-1
VIII. Bijlage 8	VIII-1
Testresultaten treksterkte.....	VIII-1
PP/glas	VIII-1
Glas	VIII-3
IX. Bijlage 9	IX-1

Testresultaten 3 puntsbuigproef.....	IX-1
Pp/glas	IX-1
Glas	IX-6
X. Bijlage 10	X-1
Testresultaten kerfslagproef	X-1
Pp/glas	X-1
Glas	X-3
XI. Bijlage 11	XI-1
Datasheet Twintex.....	XI-1
XII. Bijlage 12	XII-1
Datasheet Bondlaminates	XII-1
XIII. Bijlage 13	XIII-1
Foto's vlechten	XIII-1
XIV. Bijlage 14	XIV-1
Grafieken	XIV-1
XV. Bijlage 15	XV-1
Foto's lus	XV-1
XVI. Bijlage 16	XVI-1
Vergelijking met Twintex.....	XVI-1

Lijst met tabellen en figuren

Tabel 1 Voor- en nadelen verschillende snijmethodes (Bas, 2011)	13
Tabel 2 Aantal garens en thermoplastisch tape in een mat van 30x30 cm	20
Tabel 3 Resultaten testen Twintex en Bondlaminates	28
Tabel 4 Hoogste waarde van de uitgevoerde testen	30
Figuur 1 Handlamineren (Nijssen R. , 2013)	3
Figuur 2 Vezelspuiten (Nijssen R. , 2013)	3
Figuur 3 Gesloten maltechniek (Illstreet composites, 2016)	4
Figuur 4 Reaction Injection Moulding (Core Moulding Technologies, 2016)	4
Figuur 5 Nat persen	4
Figuur 6 Sheet Moulding Compound (Nuplex, 2014)	5
Figuur 7 GMT (Owens Corning, 2016)	5
Figuur 8 Pultrusie (Nijssen R. , 2013)	5
Figuur 9 Wikkelen (Nijssen R. , 2013)	6
Figuur 10 Autoclaaf (Nijssen R. , 2013)	6
Figuur 11 Platbinding	7
Figuur 12 Dubbelkeper	7
Figuur 13 Kettingkeper en inslagkeper	7
Figuur 14 Kettingsatijn en inslagsatijn	8
Figuur 15 Tri-axiaal weefsel (Gong, Yarn to Fabric: Specialist Fabric Structures, 2015)	8
Figuur 16 Breinaald (Linde, 2013)	9
Figuur 17 Steekvorming (Linde, 2013)	9
Figuur 18 Rechts-links breisel	9
Figuur 19 Inslagbreisel en kettingbreisel (Linde, 2013)	10
Figuur 20 Knopen (Gong, Yarn to Fabric: Specialist Fabric Structures, 2015)	11
Figuur 21 Vlechtsel (Gong, Yarn to Fabric: Specialist Fabric Structures, 2015)	11
Figuur 22 Waterstraal snijden (Bas, 2011)	13
Figuur 23 Schematische weergave lasersnijkop (Nederlands Instituut voor Lastechniek, 1999-2009)	14
Figuur 24 Trekbank (Zwick Roell, 2016)	14
Figuur 25 Thermoplastisch tape	16
Figuur 26 Pp/glasgaren	16
Figuur 27 Glasgaren	16
Figuur 28 De pers	17
Figuur 29 Laserprogramma	17
Figuur 30 Laser	18
Figuur 31 Kerfslagproef	18
Figuur 32 Treksterkte	19
Figuur 33 3 puntsbuigproef	19
Figuur 34 Bi-axiaal breisel (Opstall, 2014)	20
Figuur 35 Resultaten treksterkte platen thermoplastisch tape en pp/glasgaren	21
Figuur 36 Resultaten treksterkte platen thermoplastisch tape en pp/glasgaren	22
Figuur 37 Resultaten Youngs Modulus platen thermoplastisch tape en pp/glasgaren	22

<i>Figuur 38</i> Resultaten Youngs Modulus platen thermoplastisch tape en glasgaren.....	23
<i>Figuur 39</i> Resultaten Buiging Modulus kettingrichting platen thermoplastisch tape en pp/glasgaren	23
<i>Figuur 40</i> Resultaten Buiging Modulus inslagrichting platen thermoplastisch tape en pp/glasgaren .	24
<i>Figuur 41</i> Resultaten Buiging Modulus kettingrichting platen thermoplastisch tape en glasgaren	24
<i>Figuur 42</i> Resultaten Buiging Modulus inslagrichting platen thermoplastisch tape en glasgaren	24
<i>Figuur 43</i> Resultaten Buigsterkte kettingrichting platen thermoplastisch tape en pp/glasgaren.....	25
<i>Figuur 44</i> Resultaten Buigsterkte inslagrichting platen thermoplastisch tape en pp/glasgaren.....	25
<i>Figuur 45</i> Resultaten Buigsterkte kettingrichting platen thermoplastisch tape en glasgaren.....	26
<i>Figuur 46</i> Resultaten Buigsterkte inslagrichting platen thermoplastisch tape en glasgaren.....	26
<i>Figuur 47</i> Resultaten Impactsterkte kettingrichting platen thermoplastisch tape en pp/glasgaren....	27
<i>Figuur 48</i> Resultaten Impactsterkte inslagrichting platen thermoplastisch tape en pp/glasgaren.....	27
<i>Figuur 49</i> Resultaten Impactsterkte kettingrichting platen thermoplastisch tape en glasgaren	27
<i>Figuur 50</i> Resultaten Impactsterkte inslagrichting platen thermoplastisch tape en glasgaren	28

Lijst met afkortingen

BMC

Bulk Moulding Compound, 5

GMT

Glas mat versterkte thermoplast, 5

Hz

Frequentie, 21

kJ/m^2

kilo Joule per vierkante meter, 26

kN

kilo Newton, 17

MPa

Mega Pascal, 21

N.B.

Niet bekend, 28

N/mm^2

Newton per vierkante millimeter, 21

p

Vermogen, 21

pp

Polypropyleen, 1

SMC

Sheet Moulding Compound, 4

TPRC

ThermoPlastic Research Center, 1

v

Snelheid, 21

Youngs Modulus

Stijfheid, 22

Voorwoord

Dit onderzoeksverslag is ontstaan als afstudeeropdracht vanuit de opleiding Technische Commerciële Textielkunde aan het Saxion te Enschede. De afstudeeropdracht is uitgevoerd bij het Lectoraat Lichtgewicht Construeren als onderdeel van het project 3Dcomp. Het onderzoek vond plaats in de tijdsperiode van februari tot en met half juli 2016.

Het doel vanuit de opleiding is: het toepassen en integreren van kennis en vaardigheden opgedaan tijdens de studie, zelfstandig en methodisch analyseren en zowel schriftelijk als mondeling de onderzoeksresultaten kunnen onderbouwen en verantwoorden.

Het onderzoek dat is uitgevoerd bestaat uit twee deelonderzoeken. Samen met een medestudent heb ik deze onderzoeken uitgevoerd. Beide onderzoeken richten zich op het onderzoeken welke textiele productietechnieken toegepast kunnen worden om platen te maken met thermoplastisch tape. Mijn onderzoek richt zich voornamelijk op thermoplastisch tape gemengd met garens. Het onderzoek van mijn medestudent, Maaïke Paap, richt zich op het maken van platen met alleen thermoplastisch tape.

Mijn dank gaat uit naar mijn coach Dyo van Opstall en mijn bedrijfsbegeleider Ferrie van Hattum, voor hun begeleiding en feedback. Ook gaat mijn dank uit naar de medewerkers van het Lectoraat Lichtgewicht Construeren, die mij geholpen hebben tijdens het onderzoek. Daarnaast wil ik Maaïke bedanken voor de samenwerking.

Ik wens u veel plezier met het lezen,

Enschede, 16 juni 2016

Lisanne ter Horst

Samenvatting

Bij het lectoraat Lichtgewicht Construeren werken ze met thermoplastische tape, veelal gemaakt van polypropyleen met continu glasvezel. Dit materiaal is in opmars als composietmaterialen voor toepassing in onder andere de automobiele industrie. De kostprijs is hier een dominerende factor. Deze materialen worden vaak in geperste plaatvorm gebruikt, vervaardigd vanuit textieltechnieken. Door de hoge stijfheid van de tapes, zijn de gebruikelijke textieltechnieken wellicht niet toepasbaar of zijn afgeleide methodes een beter, kosten-efficiënter alternatief. Dit onderzoek richt zich erop om de toepasbaarheid te onderzoeken en waar mogelijk een afgeleide techniek voor de verwerking van tapes tot plaatmateriaal te ontwikkelen.

Dit onderzoek bestaat uit twee deelonderzoeken. Eén onderzoek heeft zich gericht op het maken van platen met alleen thermoplastisch tape, uitgevoerd door Maaïke Paap. Dit onderzoek heeft zich gericht op het maken van hybride platen, met als inslag thermoplastisch tape en als ketting glasgaren of polypropyleen en glasgaren. Er is gebruikt gemaakt polypropyleen en glasvezel, omdat van de toepassing hiervan de grootste groei wordt verwacht.

Het onderzoek is zowel kwalitatief als kwantitatief uitgevoerd. Eerst is er een literatuuronderzoek gedaan om meer kennis op te doen over composieten en de productietechnieken hiervan. Ook is er onderzocht welke textiele productietechnieken er zijn. Vervolgens is er onderzocht welke textiele productietechnieken toepasbaar zijn. Met de toepasbare textiele productietechnieken zijn met de hand matten gemaakt en daarna geperst tot platen. Uit deze platen zijn testsamples gesneden voor het uitvoeren van mechanische testen.

Na het testen zijn de resultaten geëvalueerd en daarna vergeleken met bestaande resultaten van commercieel beschikbare materialen.

De onderzoeksvraag van het onderzoek luidt als volgt: doormiddel van welke bestaande of gemodificeerde textieltechniek kan hybride composietdoek geproduceerd worden van thermoplastisch tape en garen? Om te komen op een antwoord op de onderzoeksvraag zijn er deelvragen opgesteld. Deze zijn hieronder beantwoord.

Textieldoek wordt op dit moment geproduceerd op de volgende manieren: breien, weven, knopen, vlechten, non-woven.

De meest voorkomende productiemethode van composieten zijn: handlamineren, vezelspuiten, gesloten mal techniek, Reaction Injection Moulding (RIM), sheet Moulding compound (SMC), Bulk Moulding Compound (BMC), Glas Mat versterkte Thermoplast (GMT), pultrusie en autoclaaf.

Het is mogelijk om met verschillende materialen te werken, het hangt alleen af van de toepassing. Een nadeel van het produceren van composieten met de bestaande textiele productietechnieken is dat het thermoplastisch tape stijf is. Bij een lus kleiner dan 2 cm, breekt de tape. Hierdoor wordt het lastig om te vlechten, breien of te knopen. Bij het weven met glasgaren, gebeurde het soms dat het glasgaren knapte.

De gemodificeerde composieten zijn vergeleken met composieten met vergelijkbaar materiaal van Twintex en Bondlaminates. Hier is uit gekomen dat alle gemodificeerde composieten minder sterk zijn. Wel is er uit de resultaten gekomen dat de MD het meest in de buurt komt met het materiaal van Twintex. En van de bindingen van de weefsels heeft de satijnbinding de beste resultaten.

Uit dit onderzoek is gebleken dat weven de beste optie is om toe te passen als textiel productietechniek. Hiermee is de onderzoeksvraag beantwoord.

Het weven van de matten met garens gaat makkelijker dan weven met alleen thermoplastisch tape. De snelste en makkelijkste methode was om een MD plaat te maken. De thermoplastische tapes zijn hier het meest geschikt voor.

Hoofdstuk 1. Inleiding

1.1 Het bedrijf

Het lectoraat Lichtgewicht Construeren is een onderdeel van Saxion- lectoraten Design en Technologie. Deze lectoraten zijn gericht op het gebied van productontwikkeling, innovatieve materialen en innovatieve technologie.

Bedrijven kunnen de lectoraten en onderzoekers inschakelen bij het vinden van antwoorden en oplossingen van hun vraagstukken. De bedrijven kunnen ervoor kiezen om een opdracht te geven en een professioneel onderzoek te laten uitvoeren door een lectoraat. Het onderzoek kan ook uitgevoerd worden door studenten onder begeleiding van lectoren en docentonderzoekers (Saxion, Design en technologie).

Het lectoraat Lichtgewicht Construeren wil een verbintenis leggen tussen fundamenteel (wetenschappelijk) onderzoek en direct toepasbaar praktijk gericht onderzoek. Doel van het lectoraat is: lichtgewicht constructies in het bedrijfsleven winstgevend toepasbaar maken. De uitkomst is een innovatieve en concurrerende toepassing in bijvoorbeeld de transport-, industrie- en bouwsector. De aandacht is vooral gericht op de toepassing van thermoplastische composieten. Dit is een combinatie van kunststoffen met ander materiaal zoals glasvezel of koolstofvezel. Deze materialen zorgen voor een hoge mate van stijfheid en sterkte gecombineerd met een laag gewicht en worden onder andere in de luchtvaartindustrie en auto-industrie toegepast. Saxion werkt samen met Thermo Plastic composite Research Center (TPRC). TPRC is een onafhankelijk innovatie- onderzoeks- en ontwikkelingscentrum dat thermoplastische composieten ontwikkelt voor een breed scala van eindgebruikers. Het is opgericht door: Boeing, Fokker, TenCate en de universiteit Twente (Saxion, Lectoraat Lichtgewicht Construeren).

1.2 Aanleiding onderzoek

Bij het lectoraat Lichtgewicht Construeren werken ze met thermoplastische tape, veelal gemaakt van polypropyleen met continu glasvezel. Dit materiaal is in opmars als composietmaterialen voor toepassing in onder andere de automobiele industrie. De kostprijs is hier een dominerende factor. Deze materialen worden vaak in geperste plaatvorm gebruikt, vervaardigd vanuit textieltechnieken. Door de hoge stijfheid van de tapes, zijn de gebruikelijke textieltechnieken wellicht niet toepasbaar of zijn afgeleide methodes een beter, kosten-efficiënter alternatief.

Doormiddel van dit onderzoek wil het lectoraat erachter komen of het mogelijk is, om het proces van het maken van composiet halffabricaten in doek/plaatvorm te versnellen en te vereenvoudigen door het toepassen van textiele productietechnieken.

Om te komen tot een oplossing, worden er twee onderzoeken uitgevoerd. Dit onderzoek zal zich vooral richten op het werken met een hybride materiaal. Met hybride wordt bedoeld dat het "doek" uit twee verschillende materialen bestaat. Bij weven zal bijvoorbeeld de ketting van thermoplastisch tape zijn en de inslag van een ander materiaal. Het andere materiaal kan bijvoorbeeld polypropyleen(pp) of glas zijn. De reden dat pp of glas wordt gebruikt, is omdat dit vezels zijn die veel worden gebruikt in composieten, maar net iets flexibeler zijn dan het thermoplastische tape. Ook is aangegeven door het lectoraat, dat zij zich willen richten op deze materialen. Het gebruik van twee verschillende materialen moet het proces van het maken van de composiet iets gemakkelijker maken.

Het andere onderzoek richt zich op composieten gemaakt van alleen thermoplastisch tape, dit wordt gedaan door Maaïke Paap.

Het probleem is dat het nog niet mogelijk om met een gewone weefmachine de composieten te weven. De reden dat het niet mogelijk is, is omdat het thermoplastische tape erg stijf is. Hierdoor kan de machine het niet aan.

De manier waarop het nu gedaan wordt, neemt veel tijd in beslag. Het lectoraat zou graag willen onderzoeken of er een alternatieve manier is om de composieten te produceren tot een doek door het gebruik van textiele productietechnieken zoals: weven, breien, knopen, vlechten etc. doormiddel van welke bestaande of gemodificeerde textieltechniek kan hybride composietdoek geproduceerd worden van thermoplastisch tape en garen?

1.3 Onderzoeksvraag

De onderzoeksvraag luidt als volgt: doormiddel van welke bestaande of gemodificeerde textieltechniek kan hybride composietdoek geproduceerd worden van thermoplastisch tape en garen?

De onderzoeksvraag die met het soortgelijke onderzoek wordt gedaan (door medestudent) luidt: Doormiddel van welke bestaande of gemodificeerde textieltechniek kan composietdoek geproduceerd worden van thermoplastisch tape?

Door de onderzoeksvraag op te delen in meerder deelvragen, kan er makkelijker een antwoord gegeven worden op de hoofdvraag. De deelvragen zijn:

- Welke technieken worden gebruikt om textieldoek te produceren?
- Op welke manier wordt de constructie van de composieten nu geproduceerd?
- Wat zijn de nadelen van het produceren van composieten met bestaande textieltechnieken?
- Wat zijn mogelijkheden voor hybride combinaties om een composiet te produceren?
- Is het mogelijk om met de textiele productietechnieken composieten te produceren met dezelfde eigenschappen als composieten met vergelijkbaar materiaal?

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt er doormiddel van verschillende bronnen onderzoek gedaan naar de recente productiemethoden van composieten, textiele productietechnieken, over het materiaal dat wordt gebruikt, mogelijke snijmethoden en pers.

In hoofdstuk 3 wordt er beschreven op welke manier het onderzoek wordt uitgevoerd. Hier vindt u uitleg over de materialen die worden gebruikt voor het onderzoek en welke testen er worden uitgevoerd.

In hoofdstuk 4 wordt het verloop van het onderzoek beschreven. Ook worden de verkregen resultaten uit dit onderzoek weergegeven. De gegevens worden weergegeven in grafieken.

In hoofdstuk 5 wordt er antwoord gegeven op de deelvragen en daarmee de hoofdvraag met behulp van de verkregen resultaten. Hierna wordt er beschreven of het mogelijk is om de textiele productietechnieken toe te passen bij het maken van composieten. Ook worden hier mogelijkheden voor een vervolgonderzoek besproken.

In hoofdstuk 6 wordt er gereflecteerd op het verloop van het onderzoek. Er wordt beschreven of de werkelijke resultaten en de verwachte resultaten van dit onderzoek overeenkomen. Ook wordt er beschreven hoe betrouwbaar het onderzoek is.

2. Literatuuronderzoek

2.1 Wat is een composiet?

Composieten bestaan uit twee hoofdcomponenten, namelijk een kunsthars en een vezel (Wegman, 2012). Eén van de twee materialen geldt als matrix (het kunsthars) en de ander als versterking (de vezel). De matrix houdt de versterking bij elkaar. Een voorbeeld hiervan is: de matrix is gemaakt van plastic en het versterkingscomponent is gemaakt van glasvezel (RSC, 2015).

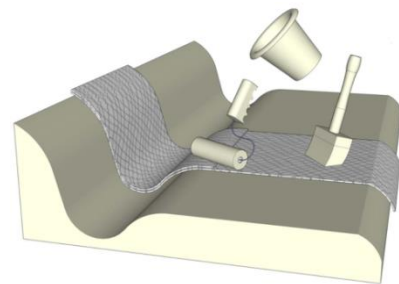
Door het gebruik van twee materialen kunnen eigenschappen gecreëerd worden dat een materiaal van zichzelf niet heeft (Pascoe, 1978). Composieten kunnen sterk en licht zijn, hebben lage onderhoudskosten, lange levensduur en hebben een hoge chemische bestendigheid (Polyproducts, Composieten, 2015). Ook kunnen composieten eigenschappen hebben zoals: bestand zijn tegen corrosie, hoge schokweerstand, vormvastheid, niet magnetisch, niet geleidend en radar transparantie (ACMA, 2015). De nadelen van composieten kunnen zijn dat ze hoge materiaalkosten hebben, kleur en glansbehoud is niet voorspelbaar en ze zijn gevoelig voor uv-licht, dit hangt van de gekozen materialen af (Nijssen R. , 2013).

2.2 Productiemethodes composieten

Er zijn verschillende manieren om composieten te produceren. Er is geen onderscheid gemaakt tussen productiemethoden van thermoharders en thermoplasten. De meest voorkomende manieren van het produceren van composieten op dit moment zijn: handlamineren, vezelspuiten, gesloten maltechniek, Reaction Injection Moulding (RIM), Sheet Moulding Compound (SMC), Bulk Moulding Compound (BMC), Glas Mat versterkte Thermoplast (GMT), pultrusie en autoclaaf.

Handlamineren

Bij handlamineren wordt er gebruik gemaakt van een open mal. In deze mal wordt eerst een lossingsmiddel en een gelcoating aangebracht. Het lossingsmiddel zorgt ervoor dat het composiet eenvoudig uit de mal kan worden gehaald. De gelcoating dient als kleurtoevoeging en als beschermer tegen uv-licht. Als deze laag is aangebracht, wordt het vlies laag voor laag handmatig ingelegd. Elke laag wordt eerst bevochtigd met een hars.



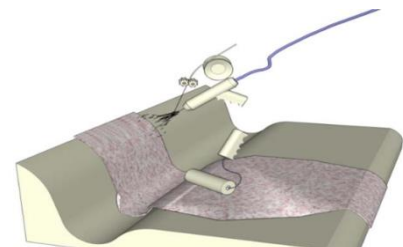
Doormiddel van rollers kan de luchtinsluiting worden verminderd. *Figuur 1 Handlamineren (Nijssen R. , 2013)*

In *Figuur 1* wordt handlamineren schematisch weergegeven.

Het handlamineren wordt vaak gebruikt voor producten zoals scheepsrompen, bruggen en koepels. Handlamineren brengt verschillende voordelen met zich mee: de kosten zijn laag, er is maar één mal nodig, de richting van de vezels is zelf te bepalen en er kunnen grote producten mee worden gemaakt. Het nadeel is dat het een arbeidsintensieve techniek is (Vereniging Kunststof Composieten Nederland, 2016).

Vezelspuiten

Het beginproces van het vezelspuiten en het handlamineren komt met elkaar overeen. Er wordt gebruik gemaakt van een open mal en er kan een gelcoating in aan worden gebracht. Vervolgens worden de vezels en de hars door een pistool in de mal gespoten. Dit is te zien in *Figuur 2*. De vezels worden van een rol aangevoerd en in de gewenste lengte gehakt. Doormiddel van

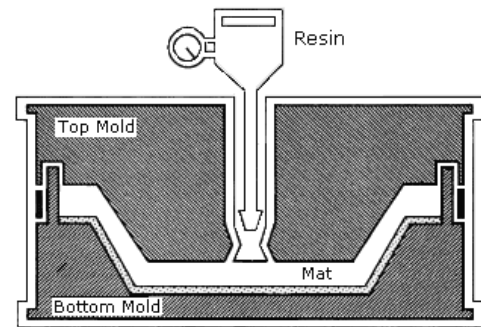


Figuur 2 Vezelspuiten (Nijssen R. , 2013)

lucht worden de vezels gespoten. De luchtinsluitels worden op dezelfde manier verwijderd als bij het handlamineren. Vezelspuiten wordt vaak gebruikt voor producten als bakken, vaten en scheepsrompen. Voordelen van vezelspuiten zijn dat de investering klein is, het sneller gaat dan bij het handlamineren en dat de dikte per plaats te veranderen is (Vereniging Kunststof Composieten Nederland, 2016).

Gesloten maltechniek

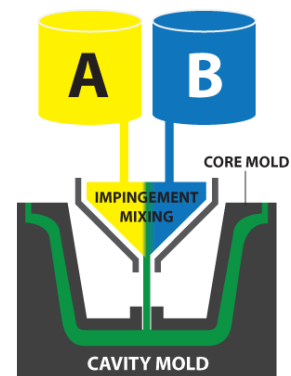
Bij de gesloten maltechniek wordt het materiaal in één keer in de mal gelegd. Vervolgens komt boven op dit materiaal nog een mal te liggen. Doormiddel van druk wordt hars op verschillende punten de mal ingevoerd. Te zien in *Figuur 3*. Aan de randen kan het overtollige hars worden weggehaald. Een variant van deze productiemethode is de vacuüm folie techniek, hier wordt in plaats van een tweede mal een folie gebruikt. Doormiddel van vacuüm wordt de mal afgesloten. De gesloten maltechniek wordt gebruikt voor boten, windmolenwieken, grote bakken en vaten. Deze techniek is ten opzichte van het handlamineren snel. Doordat er twee mallen worden gebruikt, is het materiaal aan twee kanten glad (bij de vacuüm techniek is dit echter één kant). Het is in vergelijking met het handlamineren een schoon proces. Ook is de kans op luchtinsluitsels kleiner (Vereniging Kunststof Composieten Nederland, 2016).



Figuur 3 Gesloten maltechniek (Illstreet composites, 2016)

Reaction Injection Moulding

Reaction Injection Moulding is een techniek waarbij twee materialen in een matrijsholte worden gespoten, zie *Figuur 4*. Deze twee materialen reageren met elkaar, waardoor het materiaal uithard. Bij deze techniek worden vaak polyurethaan en polyamide gebruikt. Deze techniek wordt gebruikt voor panelen, bumpers, grilles, helmen, kasten en surfplanken. Er kunnen complexe producten worden gemaakt doormiddel van deze techniek. Verder is het proces energiezuinig en schoon (Vereniging Kunststof Composieten Nederland, 2016).

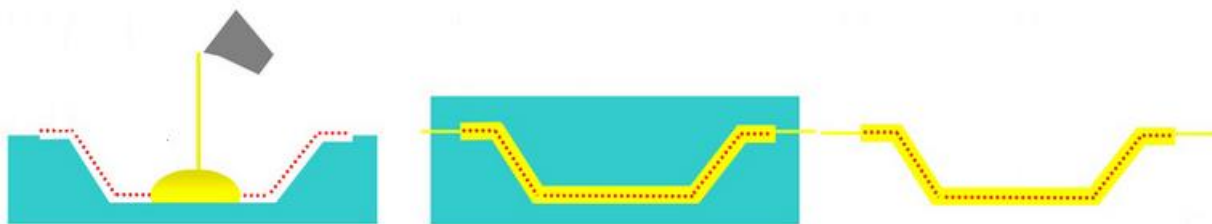


Figuur 4 Reaction Injection Moulding (Core Moulding Technologies, 2016)

Nat persen

Bij nat persen wordt allereerst het versterkingsmateriaal in de mal gelegd. Hierna wordt een laag hars aangebracht, vervolgens wordt hier nog een mal op aangebracht, dit is te zien in *Figuur 5*. Doormiddel van druk wordt het overtollige hars verwijderd. Er kan ook geperst worden doormiddel van warmte.

Met nat persen worden simpele en middelgrote producten geproduceerd. Voorbeelden van deze producten zijn vaten en baden. Een voordeel van het natpersen is dat er weinig kracht voor nodig is, dit scheelt in de kostprijs. Ook is de plaat aan beide kanten glad (Vereniging Kunststof Composieten Nederland, 2016).



Figuur 5 Nat persen

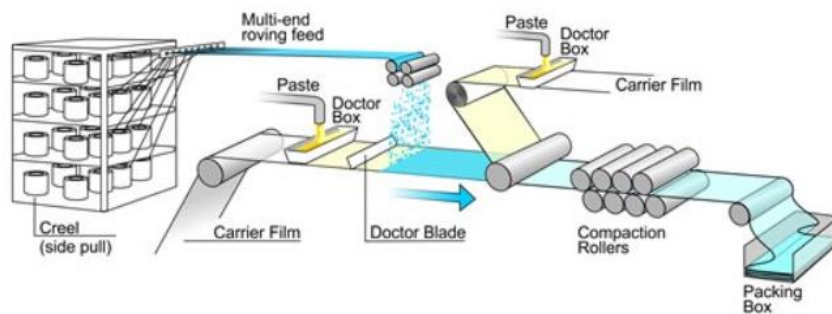
SMC/BMC

SMC staat voor Sheet Moulding Compound. Dit is de grondstof die wordt gebruikt in dit proces. Dit materiaal bestaat uit thermo hardende hars gecombineerd met glasvezels en vulstoffen. Van dit materiaal worden vellen gemaakt. Deze vellen worden vervolgens in een mal gelegd. Doormiddel van hoge druk en temperatuur wordt het materiaal gevormd en vervolgens uitgehard. In *Figuur 6* is dit

proces te zien. Producten die door dit proces worden gemaakt zijn vrachtwagenspoilers, autocarosseriedelen, schotelantennes, panelen en stadionstoelen.

BMC staat voor Bulk Moulding Compound. Het proces is vrijwel hetzelfde als bij het SMC proces, alleen het materiaal dat wordt gebruikt is anders. Bij BMC is het materiaal deegachtig. De deegachtige massa bestaat uit glasvezels, vulstoffen en hars.

Doormiddel van het BMC proces worden kleine onderdelen in grote series gemaakt. Voorbeelden van dit zijn: schakelhuizen en chassis van elektronische apparatuur. Beide processen hebben een korte cyclustijd en hierdoor zijn de producten goed reproduceerbaar. De oppervlakte kwaliteit van de platen is goed (Vereniging Kunststof Composieten Nederland, 2016).



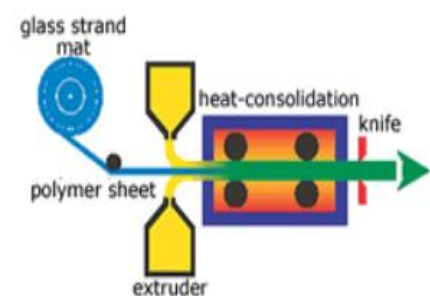
Figuur 6 Sheet Moulding Compound (Nuplex, 2014)

GMT

GMT staat voor glas mat versterkte thermoplast. Meestal wordt voor de versterkte thermoplast polypropyleen gebruikt gemengd met glas. De grondstof wordt in platen geleverd. Deze platen worden via een lopende band verwarmd in een infrarood oven. Het verwarmde materiaal wordt in een matrijs gelegd en wordt door druk gevormd, dit is te zien in *Figuur 7*. Product voorbeelden van GMT zijn accubakken en bumperdraggers.

Het is mogelijk om met deze productiemethoden complexe

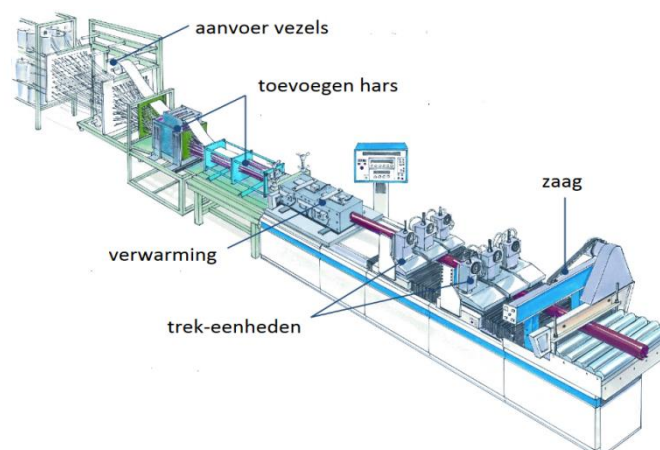
vormen, met een korte cyclustijd te maken, waardoor massaproductie mogelijk is (Vereniging Kunststof Composieten Nederland, 2016).



Figuur 7 GMT (Owens Corning, 2016)

Pultrusie

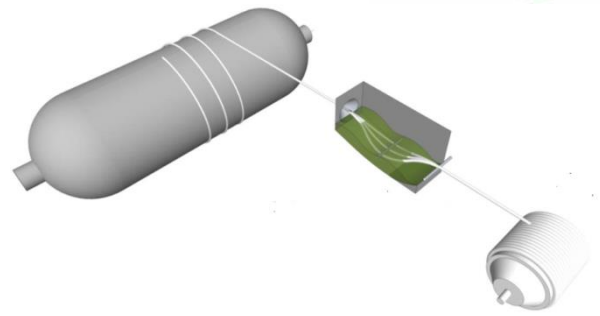
Pultrusie is een continu proces waarbij vezels van rollen worden getrokken en door een harsbad worden geleid. Vervolgens worden de vezels in een matrijs geleid en de vormen worden uitgehard doormiddel van een verwarmde matrijs. Het productieproces is weergegeven in *Figuur 8*. Bij deze productiemethode is het mogelijk om verschillende maten en vormen te produceren. Voorbeelden van deze vormen zijn: ladders, bordessen, roosters, dragende constructies en bruggen (Vereniging Kunststof Composieten Nederland, 2016).



Figuur 8 Pultrusie (Nijssen R. , 2013)

Wikkelen

Bij wikkelen worden continu vezels om een matrijs gewikkeld. Er worden vezels van een rol getrokken, welke worden geïmpregneerd met hars, zie *Figuur 9*. Vervolgens worden deze vezels om de matrijs gerold. Als de hars volledig is uitgehard kan de matrijs worden verwijderd. Mogelijke producten zijn: buizen, windmolenbladen, hengels en masten. Bij deze techniek is de vezelrichting goed te sturen. Omdat de vezels om een matrijs worden gelegd, is het mogelijk om grote holle producten te produceren (Vereniging Kunststof Composieten Nederland, 2016).



Figuur 9 Wikkelen (Nijssen R. , 2013)

Autoclaaf

In een autoclaaf, te zien in *Figuur 10*, worden producten onder hoge druk en temperatuur uitgehard. Het product wordt in een eenzijdige mal in de oven gelegd, met hierover vacuümfolie. Met deze techniek worden kleine, maar hoogwaardige producten geproduceerd. Deze producten worden veelal in de luchtvaartindustrie gebruikt. Met deze techniek kan een hoger vezelgehalte worden gecreëerd en een lager void-gehalte. Ook is er relatief weinig afval. Het is mogelijk om met complexe vormen te werken (Vereniging Kunststof Composieten Nederland, 2016).



Figuur 10 Autoclaaf (Nijssen R. , 2013)

Er worden ook al composieten geweven, dit gebeurt echter met gewone garens. Deze garens worden vervolgens verstevigd met een kunsthars. De meest voorkomende bindingen die worden gebruikt zijn: plat, keper en satijn. Er worden dus al wel textiele productietechnieken toegepast bij het maken van composieten, maar dit wordt nog niet gedaan met verstevigde tapes (Nijssen R. , 2013).

2.3 Textiele productietechnieken

Er zijn verschillende technieken om tot een textiel materiaal te komen. De technieken die voornamelijk worden gebruikt zijn: weven, breien, non woven, knopen en vlechten. Deze technieken worden hieronder uitgelegd.

Weven

Weefsels bestaan uit draden die elkaar loodrecht kruisen. In een weefsel zitten altijd twee of meer draadsystemen. Deze draadsystemen worden garenstelsels genoemd. Er zijn minstens 2 draadsystemen aanwezig in een weefsel: de kettingdraden en inslagdraden. De kettingdraden lopen in de lengte van de stof en de inslagdraden in de breedte van de stof (van zelfkant naar zelfkant). De manier waarop de kettingdraden en de inslagdraden elkaar kruisen, wordt een binding genoemd. Om een weefsel te maken wordt gebruik gemaakt van een weefmachine. Bij een weefmachine worden de kettingdraden eerst bij elkaar gewikkeld op een kettingboom, dit wordt scheren genoemd. De kettingdraden lopen hiervandaan door de heveloogjes van de schachten of schaften, die er voor zorgen dat een deel van de kettingen omhoog en naar beneden wordt getrokken. De ruimte die ontstaat tussen de kettingdraden wordt 'sprong' genoemd. De inslagdraden worden door deze sprong gelegd. Door het riet, een soort van kam, worden de inslagdraden tegen elkaar gedrukt. De ontstane stof wordt gewikkeld op een doekboom.

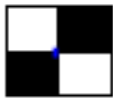
De verschillende bindingvarianties zijn afgeleid van drie hoofdgroepen, namelijk:

1. Platbinding
2. Keperbinding
3. Satijnbinding

Bindingspatronen worden op ruitjespapier getekend waar de verticale kolommen de kettingdraden voorstellen en de horizontale kolommen de inslagdraden. Alleen de kettingdraden worden getekend. Wanneer deze bovenop de inslagdraad liggen, wordt het vakje zwart gekleurd. Ligt de ketting onder de inslagdraad dan blijft het vakje wit.

De meest eenvoudigste binding is de platbinding. Deze is te zien in *Figuur 11*. In deze binding kruisen de ketting en inslagdraden elkaar steeds om en om: één op en één neer. Kenmerken van een platbinding zijn:

- Dat het aan beide kanten hetzelfde bindingspatroon heeft.
- Dat de eventuele kenmerkende lijnen altijd in verticale en/of horizontale richting lopen.
- Dat het sterk is en minder pluist dan weefsel waarbij de draden langer losliggen.



Figuur 11 Platbinding

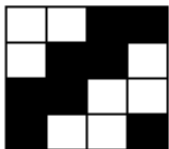
Variaties op de platbinding zijn: kettingribs, inslagribs, panama, ajour en gerstekorrel. Deze variaties zorgen voor een ander uiterlijk en andere eigenschappen van de stof.

Bij een keperbinding kruisen de kettingdraden de inslagdraden minstens twee op en één neer, of één op en twee neer. Doordat de kettingdraad minstens één inslagdraad hoger begint dan de voorafgaande kettingdraad, krijg je een keperbinding. Kenmerken van een keperbinding zijn:

- Dat de lijnen die ontstaan, lopen altijd schuin.
- Dat de voor- en achterkant zijn niet altijd gelijk, als er gekeken wordt naar de bindingen.
- Dat er een dichter en zwaarder/sterker weefsel kan worden gemaakt dan met de platbinding
- Dat de flotteringen van een keperbinding zijn langer dan bij een platbinding

Er zijn drie hoofdgroepen in de keperbinding:

1. Gelijkzijdige of dubbelkeper
2. Kettingkeper
3. Inslagkeper



Figuur 12 Dubbelkeper

Keperbindingen hebben een formule. De keper in *Figuur 12*, heeft een formule van $\frac{2}{2}/1$. Dat betekent dat de kettingdraad twee keer op en twee keer neer gaat. Het getal daarachter is het telgetal. De volgende kettingdraad begint één stap hoger met kruisen van de inslagdraad dan de vorige. Deze keperbinding noemen ze ook wel dubbelkeper omdat beide kanten van de stof hetzelfde uiterlijk hebben.

In *Figuur 13* is een keper met $\frac{2}{1}/1$ te zien. De ketting gaat hier twee keer op en één keer neer, de volgende kettingdraad begint één stap hoger met kruisen van de inslagdraad dan de vorige kettingdraad.



Figuur 13 Kettingkeper en inslagkeper

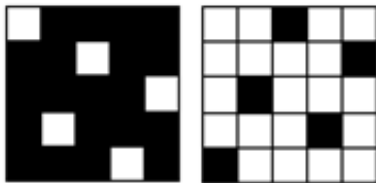
De voor- en achterkant van een keper zijn nooit gelijk, behalve bij een dubbelkeper. Bij een kettingkeper zijn bij de voorkant, de goede kant, de kettingdraden zichtbaar en bij de achterkant de inslagdraden. Bij een inslagkeper is dit omgekeerd. De ketting- en inslagkeper worden ook wel niet-gelijkzijdige keper genoemd.

Er zijn verschillende variaties bij de keperbinding. De meest voorkomende zijn:

- Steilkeper, waarbij de keperlijn steiler is dan 45°
- Keper met gebroken keperlijnen, waarbij links en rechts opgaande keperlijnen elkaar ontmoeten.

Bij een satijn binding kruisen de kettingdraden de inslagdraden elkaar minstens vier keer op en één keer neer, of één keer op en vier keer neer. Elke kettingdraad begint minstens twee inslagdraden hoger dan de voorafgaande kettingdraad. Er zijn twee soorten satijnbinding, namelijk de ketting- of inslagsatijn. Deze zijn beide te zien in *Figuur 14*. Kenmerken van een satijnbinding:

- Satijnbinding heeft geen kenmerkende lijnen doordat de kruisingspunten elkaar niet raken.
- Doordat de kruisingspunten elkaar niet raken geeft de satijnbinding ten opzicht van een plat- en keperbinding het meest gladde weefsel.
- De voor- en achterkant van een satijnbinding zijn altijd verschillend van uiterlijk (glans of kleur (Bekke, 2011)).

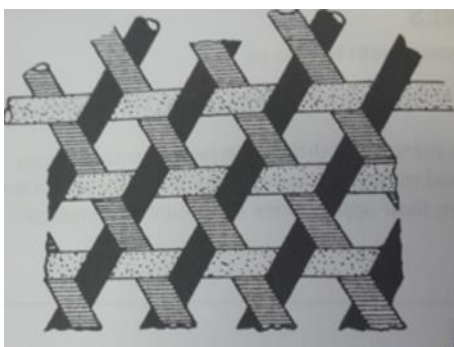


Figuur 14 Kettingsatijn en inslagsatijn

Er is naast het gewone weven ook nog een andere techniek. Deze techniek heet tri-axiaal weven. Normaal wordt een weefsel gemaakt van twee draadsystemen, één ketting en één inslag, dit wordt ook wel bi-axiaal weven genoemd. Bij tri-axiaal weven wordt er gebruik gemaakt van 3 draadsystemen, twee kettingdraden en een inslagdraad. Hierbij staan de kettingdraden op elkaar in een hoek van 60° . In *Figuur 15* is een voorbeeld te zien van een tri-axiaal weefsel.

Als er gebruik wordt gemaakt van twee draadsystemen is de verschuiving in het materiaal laag doordat de kruispunten dit blokkeren en is er een lage weerstand tegen extensie. Hierdoor wordt het materiaal stabiel en is het materiaal isotroop.

De dichtheid van een tri-axiaal structuur ligt 50% lager dan bij een gewone weefstructuur, dit maakt het materiaal erg geschikt voor producten die licht van gewicht moeten zijn of een goede ventilatie nodig hebben (Gong, Yarn to Fabric: Specialist fabric structures, 2015).



Figuur 15 Tri-axiaal weefsel (Gong, Yarn to Fabric: Specialist Fabric Structures, 2015)

Breien

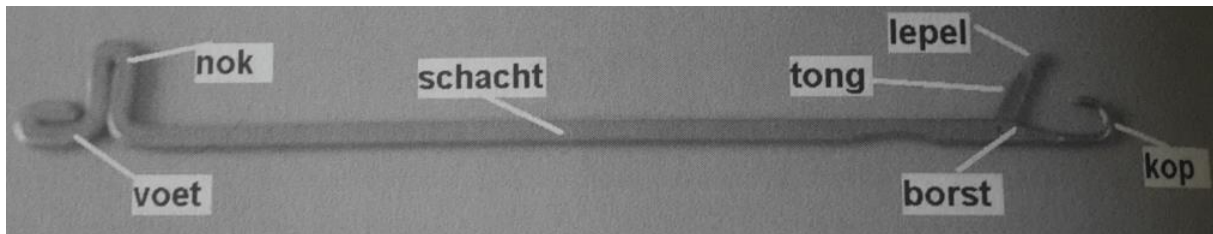
Bij breien worden lussen gelegd in één draad of meerdere draden die met elkaar door steken worden verbonden. Het maken van deze lussen wordt ook wel kuleren genoemd.

Er zijn verschillende manieren om te breien, namelijk: inslagbreien, kettingbreien, rondbreien en vlakbreien. Dit wordt gedaan op breimachines.

Een typische inslag breimachine bestaat uit: twee naaldenbedden, breinaalden, een slot en een draadgeleider. De naaldenbedden staan tegenover elkaar met een hoek van 90° . Er is een voorbed en

een achterbed. In deze naaldenbedden bevinden zich de breinaalden. Er zijn verschillende breinaalden, de bekendste zijn de tong- en de schuifnaald.

Een naald bestaat uit een voet, een nok, een schacht, een tong, een lepel, een borst en een kop, zie *Figuur 16*. De kop van de naald bestaat uit een haak, waarbinnen de draad wordt gelegd. De tong kan open en dicht. Bovenaan de tong zit een lepel, deze zorgt ervoor dat het garen over de kop van de naald kan glijden. Het onderste gedeelte van de naald wordt de voet genoemd. Hier bevindt zich de nok, deze zorgt voor de besturing van de naald.



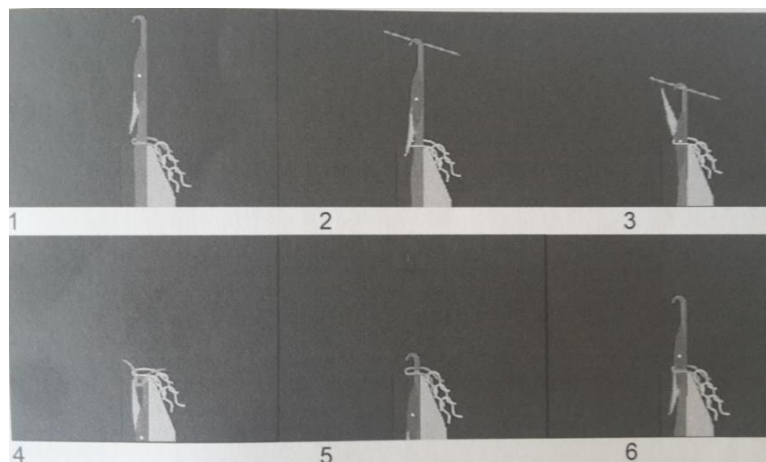
Figuur 16 Breinaald (Linde, 2013)

Het slot zorgt voor de naald bewegingen. De sloten stoten de nokken aan van de naalden die zijn geselecteerd. Hierdoor gaan de naalden omhoog of omlaag.

Tijdens het breien worden de garens van een cone afgetrokken. Dit moet onder een goede garensparing gebeuren. De spanning wordt grotendeels bepaald door de schotelrem. Het garen loopt door deze schotel heen en wordt aangedrukt door een veer. De veer is te verstellen doormiddel van een draaiknop. Het garen loopt door een hefboom naar de breimachine toe. Op de breimachine bevindt zich ook een draadgeleider, deze draadgeleider zorgt ervoor dat de draad tussen de naalden wordt gelegd. Er zijn twee soorten draadgeleiders, een normale en een plateerneus.

De steekvorming is weergegeven in *Figuur 17* en gaat als volgt:

1. Er is een lus gevormd
2. De kop van de naald ligt om een nieuwe draad
3. De naald gaat naar beneden, waardoor de tong sluit.
4. De naald wordt door de lus getrokken.
5. Hierna gaat de naald weer omhoog
6. De tong gaat weer naar beneden, totdat de lus onder de tong valt.



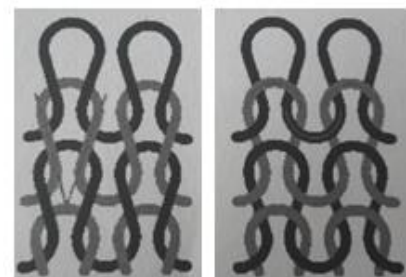
Figuur 17 Steekvorming (Linde, 2013)

Een breisel bestaat uit stekenrijen en stekenstaven. Waarbij de stekenrijen in de horizontale richting en de stekenstaven in verticale richting liggen.

Breisels worden niet alleen gebruikt in kleding, maar ook in technisch textiel.

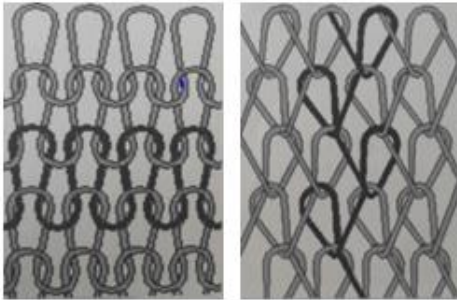
Er zijn twee categorieën waarin breisels kunnen worden verdeeld, inslag- en kettingbreisels. Deze zijn te zien in *Figuur 19*.

- Inslagbreisels
 - Rechts-links: Dit breisel is aan de voorkant opgebouwd met rechtse steken (V) en aan de achterkant is het breisel opgebouwd uit linkse steken (O), zie *Figuur 18*.



Figuur 18 Rechts-links breisel

- De eigenschappen van dit breisel zijn: sterke krulneiging, rekbaar, niet elastisch.
- Rechts-Rechts: Bij een rechts-rechts breisel zie je aan beide kanten van het breisel rechtse steken. De linkse steken bevinden zich in het midden van het breisel. De eigenschappen van dit breisel zijn: vlakliggend, rekbaar in de breedte, elastisch in de lengte.
- Links-Links: Hierbij zie je aan beide kanten alleen linkse steken. De rechtse steken bevinden zich in het midden van het breisel. De eigenschappen van dit breisel zijn: vlakliggend, rekbaar in de lengte, elastisch in de breedte.
- Kettingbreisels
Deze breisels zijn niet rekbaar of elastisch (Linde, 2013).



Figuur 19 Inslagbreisel en kettingbreisel (Linde, 2013)

Non-woven

De letterlijke definitie van non-woven materialen is volgens de BS EN ISO 9092:2011 als volgt:

Non-woven zijn constructies van textiel, zoals vezels, continue filamenten of gehakte garens van elke aard en herkomst, die als webben zijn gevormd met alle mogelijke middelen, en met elkaar verbonden zijn doormiddel van alle mogelijke middelen, met uitzondering van materialen zoals een geweven stof, gebreide stof, kant, vlechtwerk of getuft weefsel. (ISO, 2011)

Een non-woven verschilt van andere textiele constructies met de volgende eigenschappen:

- Een non-woven bestaat uit individuele vezels of garens.
- Een non-woven is anisotropisch.
- Een non-woven is niet uniform.
- De structuur van een non-woven materiaal is erg poreus.

Om een non- woven te maken, wordt er eerst een web gevormd van de vezels, daarna worden deze vezels aan elkaar gebonden. Om dit te doen zijn er verschillende technieken. Deze technieken zijn:

- Drylaid: Bij het drylaid proces worden de vezels gekeerd en vervolgens op een continue lopende band gelegd.
- Spunmelt: Eerst worden er filamenten gemaakt, maar in plaats van het maken van garens, worden de filamenten gecollecteerd op een lopende band. Hiervan wordt vervolgens een web van geformeerd.
- Wetlaid: Hierbij worden vezels eerst vermengd met water, hierna wordt het als een web neergelegd en vervolgens wordt het water verdampt en is het web gevormd. Als het web is gevormd, moet het web worden gebonden. Voor het binden zijn er ook verschillende technologieën, zoals:
 - Chemisch binden: De vezels worden aan elkaar gehecht doormiddel van chemische middelen. Dit kan zijn in vloeibare vorm, in poeders, in deeltjes en door polymerooplossingen.

- Mechanisch binden: Bij de mechanische technologie worden de vezels fysiek met elkaar verbonden door: verstrengeling, door de vezels ten opzichte van elkaar te verleggen of doormiddel van het aan elkaar stikken van de vezels.
- Thermisch binden: De vezels worden aan elkaar gebonden doormiddel van hitte. Dit kan bij thermoplastische vezels. Als de vezels niet thermoplastisch zijn moet er een hitte gevoelige poeder aan het materiaal toegevoegd worden.

Non-woven worden gebruikt voor verschillende producten. Deze producten zijn verdeeld in verschillende categorieën:

- Hygiëne: gezichtsreinigingsdoekjes, luiers, incontinentie producten.
- Functionele kleding, schoenen en bagage: overjassen, kragen, labels, kleding voor eenmalig gebruik.
- Huishoud: schoonmaakdoekjes, filters, achterkanten van tapijten, bed linnen, behang.
- Land- tuinbouw: gewas afdekragen, dekens voor zaden, onkruidbestrijding stoffen (Mao & Russell, 2015).

Knopen

Er zijn verschillende manieren van knopen zoals: netten, macramé, kant en crochet. Het kan worden toegepast in verschillende applicaties. Een paar applicaties zijn visnetten, tapijten, ornamenten, accessoires en decoratieve materialen (Gong, Yarn to Fabric: Specialist fabric structures, 2015). In *Figuur 20* is een voorbeeld te zien van een net.



Figuur 20 Knopen (Gong, Yarn to Fabric: Specialist Fabric Structures, 2015)

Vlechten

Gevlochten structuren worden gemaakt door het vlechten van drie of meer draden, zodat ze elkaar diagonaal kruisen. In *Figuur 21* is een vlechtsel te zien gemaakt van drie draden. Vlechten is één van de makkelijkste technieken, omdat er geen riet geregen hoeft te worden, er is geen inslagdraad die moet worden ingevoegd en de draden hoeven niet worden aangeslagen. Er is alleen wel een groot nadeel aan vlechten en dat is dat de breedte gelimiteerd is. De reden dat de breedte is gelimiteerd, is omdat er maar een aantal draden in een vlechtmachine kunnen worden gedaan.

Vlechtsels kunnen geproduceerd worden als twee dimensionaal, plat of buisvormig. Buisvormige vlechtsels worden vooral gebruikt om elektrische kabels te beschermen (Gong, Yarn to Fabric: Specialist Fabric Structures, 2015).



Figuur 21 Vlechtsel (Gong, Yarn to Fabric: Specialist Fabric Structures, 2015)

2.4 Materiaal

De thermoplastische tapes en garens die gebruikt worden in dit onderzoek zijn gemaakt van glas en polypropyleen. De eigenschappen van deze materialen worden hieronder uitgelegd.

Glas

Glas is een vezel, dat veel gebruikt wordt voor de versterking van polymeren. De goede eigenschappen van glas zijn: onbrandbaarheid, een goede treksterkte, stijfheid, hoge thermische- en chemische bestendigheid, lage thermische expansie (uitzetting) en hoge transparantie. Ook zijn de productiekosten aanzienlijk lager dan bij carbon. Door de combinatie van goede eigenschappen en lage kosten wordt het veel toegepast in composieten (Mane & Markad, 2015).

De glasvezel wordt voornamelijk gemaakt van silica (SiO_2) en wordt geproduceerd doormiddel van smeltspinnen. Het smeltspinnen gebeurt op een temperatuur boven de 1300°C . De gesmolten glasvezel wordt geëxtrudeerd door een kop met veel openingen, vervolgens worden de filamenten op een trommel gewikkeld.

Glas bestaat voornamelijk uit amorge gebieden. Bij glas heb je te maken met een overgangstemperatuur, dit is de temperatuur waarbij de thermische eigenschappen van het materiaal veranderen. Wanneer de glas-overgangstemperatuur wordt bereikt tijdens het afkoelen, wordt de viscositeit verhoogd waardoor het materiaal stijf wordt.

Glas wordt gebruikt voor versterking van polymeren die worden gebruikt in de ruimtevaart, auto-industrie, marine, sport, de bouw en in de civiele techniek (Mather, 2015).

Polypropyleen

Pp is een kunststof die niet veel kost, maar toch sterk is, een goede weerstand heeft tegen chemicaliën en een hoge stijfheid heeft. Een nadeel van de kunststof is dat deze niet kan worden geverfd, tenzij deze gemodificeerd wordt met allerlei additieven.

Er zijn verschillende additieven die kunnen worden toegevoegd, om eigenschappen te creëren die gewenst zijn. Voorbeelden zijn stabilisatoren tegen warmte, licht, vlammen en staticiteit.

Pp wordt geproduceerd doormiddel van de polymerisatie van propaan. Garen van pp worden gemaakt door het smelten van granulaten.

De regeling van de ketens in een garen wordt sterk beïnvloed door het spinproces van de garens.

Een simpele structuur van polypropyleen bestaat voornamelijk uit kristallijne gebieden met een paar amorge gebieden.

De eigenschappen van pp worden beïnvloed door een aantal factoren. Deze factoren zijn:

- De hoeveelheid pp gebruikt in het spinproces.
- De condities waarmee wordt gesponnen.
- De additieven die worden gebruikt.

De belangrijkste eigenschappen van de kunststof zijn:

- Bestand tegen aantasting door zuren, alkalische- en organische vloeistoffen.
- De kunststof zwelt door organische vloeistoffen onder hoge temperaturen, de kunststof kan zelfs oplossen als de temperatuur hoog genoeg is.
- Pp is gevoelig voor sterke oxidatiemiddelen. Deze middelen kunnen de sterkte van de kunststof aantasten en kan verkleuring veroorzaken.
- De kunststof wordt ook aangetast door uv-licht.
- Pp is niet biologisch afbreekbaar.
- Pp is lichter dan water.

Pp wordt veel gebruikt, de reden hiervoor is dat het erg goedkoop is om te produceren.

Toepassingen zijn: wielrenbroeken, zwemkleding, duikpakken, lichtgewichtkleding voor klimmers (Mather, 2015).

2.5 Snijden

De matten moeten op maat gesneden worden, zodat de matten in de pers passen. Ook moeten de testsamples gesneden worden uit de geperste platen. Dit kan gedaan worden op verschillende manieren: watersnijden, lasersnijden en frezen.

Waterstraal snijden

Bij waterstraal snijden wordt water met een druk van circa 4000 bar door een straalbuis gespoten. De snelheid van de waterstraal is meer dan twee keer de geluidssnelheid en is zo krachtig dankzij de combinatie met een abrasief dat het vrijwel elk materiaal kan snijden (Klomp, 2016).

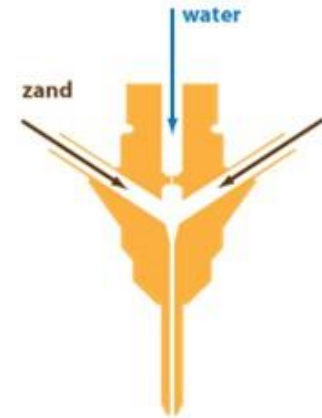
Voordelen van waterstraal snijden zijn: geen giftige dampen, geen vervorming of verkleuring, vrijwel braamloze snede, hoge toleranties haalbaar, er wordt geen warmte gebruikt waardoor de eigenschappen van het materiaal niet veranderen en de snede is van constante kwaliteit (Alleswatersnijden, 2016).

Abrasief, ook wel snijzand, is een schuurmiddel. Door dit toe te voegen aan het water, zorgt dit voor extra slijtage aan het te snijden materiaal.

Er kan ook gesneden worden zonder abrasief, dit gebeurt bij het snijden van etenswaren, kunststoffen, schuimen en dunne platen hout.

Bij dikker hout of metaal is abrasief onmisbaar. Met het gebruik van abrasief zal het snijden sneller en nauwkeuriger gaan. Bij watersnijbedrijven wordt per liter water 0,631 kg abrasief gebruikt met een korrelgrootte van 80 mesh. De vorm van de zandkorrel is verschillend, er is rond zand dat minder scherp is dan gehoekt zand. De abrasief wordt op het laatste moment toegevoegd aan de waterstraal in de spuitknop, zodat het de machine zo min mogelijk beschadigt, te zien in *Figuur 22*. Het water zorgt voor een onderdruk, waardoor het zand er vanzelf in getrokken wordt.

Papier, karton en zacht hout kunnen niet gesneden worden met een waterstraal, omdat het materiaal water opneemt. Ook materialen die reageren met water kunnen niet worden gesneden met een waterstraal. Dit komt doordat water altijd de weg van de minste weerstand kiest en daarom tussen de materiaallagen kan gaan zitten bij bepaalde materialen, zo ook bij enkele composieten waar zachter materiaal tussen zit (Bas, 2011). Voor- en nadelen van de verschillende methodes, ten opzichte van watersnijden, zijn weergegeven in Tabel 1.



Figuur 22 Waterstraal snijden (Bas, 2011)

Tabel 1 Voor- en nadelen verschillende snijmethodes (Bas, 2011)

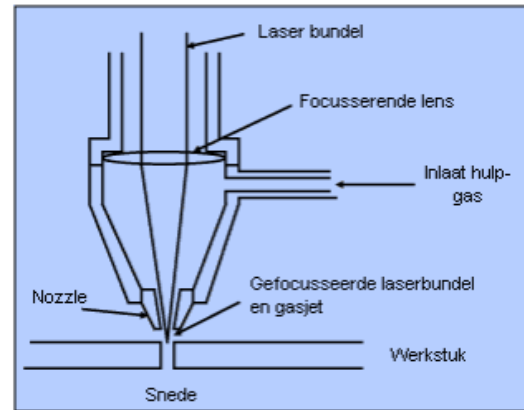
methode	voordeel	nadeel
Lasersnijden	Goedkoper	gaat niet door erg dikke materialen en zorgt voor thermische belasting waardoor vervorming v/h materiaal en verandering van de materiaal eigenschappen optreedt. Gecertificeerde materialen verliezen hun certificaat.
Stansen	Zeer goed geschikt voor massaproductie	Grote product specifieke investering nodig dus niet geschikt voor kleine series
Frezen	zeer grote vormvrijheid (3D) en mooi resultaat	Erg duur

Lasersnijden

Voordelen lasersnijden:

- Economischer dan watersnijden
- Braamloze snede, is afhankelijk van het materiaal
- Bij sommige materialen schroeit de rand mooi dicht door de warmte
- Materiaal wordt niet nat, wat bij niet watervast materiaal noodzakelijk is (Cutcompany, 2015).

Lasersnijden is een gemechaniseerd-, thermisch-, en contactloos proces voor het snijden van materialen. Het snijden gebeurt met precisie en kwaliteit. Er zijn verschillende soorten lasersnijders. Het meest wordt gewerkt met een CO₂ laser of Nd: YAG laser, en de laatste soort is Fiber lasers (Nederlands Instituut voor Lastechniek, 1999-2009). Zie in *Figuur 23* een schematische weergave van een lasersnijkop. CO₂ (glas)lasers werken met een gasmengsel van koolstofdioxide dat elektrisch wordt gestimuleerd. Door de golflengte van 10,6 micrometer is de CO₂ laser vooral geschikt voor materialen die niet van metaal zijn. CO₂ lasers hebben een relatief hoge efficiëntie en worden gekenmerkt door een zeer goede straalkwaliteit. Het is geschikt voor de volgende materialen: hout, acrylaat, glas, papier, textiel kunststof, folie & film, leer en steen.



Figuur 23 Schematische weergave lasersnijkop (Nederlands Instituut voor Lastechniek, 1999-2009)

Fiber lasers horen bij de groep van lasers met een vast lichaam. De laserstraal wordt gegenereerd met een zogenaamde 'seed laser' en versterkt deze in ontworpen glasvezels waaraan energie wordt toegevoegd via pompdiodes. De fiber lasers hebben een golflengte van 1,064 micrometer en bereiken een uiterste kleine focusdiameter, waardoor de intensiteit tot 100 keer hoger ligt dan die van de CO₂ laser. De fiber lasers zijn geschikt voor het markeren van metaal (doormiddel van gloeien), voor metaal graveren en voor contrastrijke kunststofmarkeringen.

Nd: YAG (neodymium-gedoteerd yttrium-aluminium-granaat) is een kristallaser net als Nd: YVO (neodymium-gedoteerd yttrium ortho-vanadate), genoemd naar het doteerelement neodymium en het draagkristal (Trotec, 2016). De golflengte van het laserlicht is veel korter, namelijk 1,06 micrometer. Het ligt in de buurt van het zichtbare licht, hierdoor kan de laserstraal door een glasvezelkabel geleid worden (Nederlands Instituut voor Lastechniek, 1999-2009). De lasers zijn geschikt voor: metalen, gecoate metalen, kunststoffen en in zeker mate ook voor keramiek (Trotec, 2016).

Frezen

Frezen is een techniek waarbij er met snijgereedschap (een frees) kleine stukjes materiaal van het basismateriaal worden verwijderd. Door te frezen kunnen verschillende materialen in de juiste vorm worden gebracht. Voorbeelden van materialen zijn hout en kunststoffen. Een freesbank kan computergestuurd zijn maar ook conventioneel, waarbij de frezer gebruik maakt van een conventionele freesbank die hij zelf handmatig instelt (Geertsma, 2014).

2.6 Pers

Om te komen tot een composiet plaat, moet het materiaal geperst worden. In *Figuur 24* is een trekbank te zien. Bij het Lectoraat Lichtgewicht Construeren wordt er gewerkt met een ouder type van Zwick (Zwick Roell, 2016) die omgebouwd is tot een pers.



Figuur 24 Trekbank (Zwick Roell, 2016)

Hoofdstuk 3. Methoden

3.1 Kwalitatief of kwantitatief onderzoek

Om de hoofdvraag te beantwoorden wordt er gebruik gemaakt van kwalitatief en kwantitatief onderzoek. Het kwalitatief onderzoek is een literatuuronderzoek. Het literatuuronderzoek wordt gedaan om meer kennis op te doen over composieten en de productietechnieken van composieten. Ook wordt er met het literatuuronderzoek onderzocht welke textiele productietechnieken er zijn en welke toepasbaar zouden kunnen zijn.

Het kwantitatieve onderzoek wordt gedaan doormiddel van experimenten. Door het uitvoeren van experimenten blijkt uit de resultaten of de textiele productietechnieken een toevoeging bieden aan het maken van de composieten met de thermoplastische tapes en garen.

3.2 Dataverzamelingsmethoden

Het onderzoek bevat zowel kwantitatieve als kwalitatieve dataverzamelingsmethoden. Het onderzoek bestaat uit meerdere stappen.

De eerste stap bestaat uit onderzoek doen naar bestaande textiele productietechnieken die toepasbaar kunnen zijn voor composieten. Dit wordt gedaan doormiddel van literatuuronderzoek. Met het literatuuronderzoek kunnen de textiele productietechnieken goed in kaart worden gebracht.

De volgende stap is het uitvoeren van de textiele productietechnieken met de thermoplastische tape en garen. Hierbij worden de productietechnieken, die in het literatuuronderzoek zijn beschreven, handmatig uitgevoerd. Het gaat hierbij om de volgende productietechnieken: weven, breien, non-woven, knopen en vlechten. Deze experimenten worden uitgevoerd om te kijken of het mogelijk is deze textiele productietechnieken toe te passen bij het produceren van platen gemaakt met thermoplastisch tape en garen.

Er worden bij deze stap matten gemaakt van ongeveer 35 bij 35 cm. De matten worden met de hand gemaakt, omdat er op het lectoraat nog geen machine hiervoor aanwezig is.

De derde stap is het laseren van de gemaakte matten. De matten moeten worden gelaserd, zodat ze vervolgens in de pers passen. De pers heeft een afmeting van 30 bij 30 cm met de hoeken afgerond.

Stap vier is het persen van platen van de matten die gemaakt zijn bij de vorige stap. Er zal berekend moeten worden hoeveel matten er nodig zijn om een plaat van ongeveer 2 mm dikte te persen.

De volgende stap zal bestaan uit het maken van de testsamples. Deze testsamples worden gelaserd uit de platen die bij stap vier zijn geperst. De testsamples worden gelaserd omdat dit minder tijd kost in vergelijking met het snijden van samples met een cirkelzaag. De samples kunnen ook gesneden worden met een waterstraal, maar hierdoor kan er water komen in het materiaal. Ook moet er meer ruimte tussen de testsamples beschikbaar zijn vanwege de waterstraal, namelijk 5 mm. Deze ruimte is niet aanwezig op de platen en daardoor passen de nodige testsamples niet.

De zesde stap is het testen van de testsamples die gecreëerd zijn bij stap vijf. Op deze gelaserde testsamples worden de volgende testen uitgevoerd: treksterkte volgens: ISO 527-4:1997, de 3 puntsbuigproef volgens: ISO 14125-1998 en kerfslagproef volgens: ISO 179-1:2000. Deze testen worden uitgevoerd omdat deze eigenschappen bij composieten erg belangrijk zijn. Composieten worden voornamelijk gebruikt in constructies, waar de sterkte en stijfheid van het materiaal belangrijk is. Daarom worden deze testen uitgevoerd, om te zien of het materiaal dat gemaakt is wel sterk en stijf genoeg is. De eigenschappen van composieten kunnen voorspeld worden met behulp van formules. Deze formules zijn vermeld in de norm van de testen.

De laatste stap bestaat uit het evalueren van de resultaten van de testen die uitgevoerd zijn bij stap zes. Ook worden de resultaten vergeleken met bestaande resultaten van Twintex en Bondlaminates. Twintex en Bondlaminates zijn producenten van composieten, waarvan het materiaal te vergelijken is met het materiaal dat in dit onderzoek gebruikt wordt. De testresultaten van Twintex zijn van een platbinding 1/1 en een satijnbinding 4/1 gemaakt van E-glasvezel en pp filament. Het materiaal van Bondlaminates is een keperbinding 2/2 en gemaakt van glasvezel en pp filament. Op deze manier kan er worden vergeleken of de gemaakte platen aan deze eigenschappen voldoen.

3.3 Materiaal

De materialen die gebruikt wordt bij dit onderzoek is pp en glas, wat in verschillende vormen wordt toegepast. Deze vormen zijn thermoplastisch tape en garen. Er worden in dit onderzoek twee soorten matten gemaakt. Matten met thermoplastisch tape en pp/glasgarens en matten met de thermoplastische tape en glasgarens. Er is gekozen voor deze combinaties omdat de tape ook is gemaakt van pp en glas. Op deze manier zouden de eigenschappen dicht bij elkaar moeten liggen. Er worden twee soorten garens gebruikt in dit onderzoek, op deze manier kan duidelijk worden of er veel verschil in de resultaten zit als er een ander garen wordt gebruikt.

2.3.1 Thermoplastisch tape

De thermoplastische tape is gemaakt bij Comptape. De tape bestaat uit 40% pp en 60% glasvezel. De thermoplastische tape heeft een Tex van 4000 (Comptape, 2016). In *Figuur 25* is de thermoplastische tape te zien.



Figuur 25 Thermoplastisch tape

3.3.2 Pp/glasgaren

Het garen is gemaakt bij Fiber Glass Industries inc. Het product valt onder het type Twintex en bestaat uit een combinatie van 40 % pp en 60 % glas. Het garen heeft een Tex van 1870 g/km (OCV Reinforcements, 2008). In *Figuur 26* is een pp/glasgaren te zien.



Figuur 26 Pp/glasgaren

3.3.3 Glasgaren

De glasgarens die zijn gebruikt, zijn gemaakt door het bedrijf PPG Industries. Het materiaal valt onder het product type TufRov 4599 (PPG industries, 2015). In *Figuur 27* is een glasgaren te zien.



Figuur 27 Glasgaren

3.4 Instrumentenanalyse

3.4.1 Pers

De matten worden één voor één in de pers gelegd met onder- en bovenop een stuk Teflon. De pers is te zien in *Figuur 28*. Doordat Teflon niet smelt bij de temperaturen waarop geperst wordt, zorgt het ervoor dat de matten niet vast in de mal komen te zitten. Als de matten in de pers liggen, wordt de pers dicht gedaan. De pers wordt nu nog niet helemaal gesloten, maar wordt gesloten tot kN op de

display verschijnt. kN in dit geval staat voor kilo Newton(kN), dit betekent dat er druk op de pers staat. Op dit moment is het nog niet de bedoeling dat er druk op de pers staat, dus als de K verschijnt wordt de pers weer iets omlaag gedaan tot de K weer verdwijnt.

Nu is de pers wel gesloten, maar er staat geen druk op. De pers wordt opgewarmd tot 230°C.

Wanneer de pers op temperatuur is, blijft de pers op dezelfde stand staan voor twee minuten. Dit wordt gedaan zodat de pp de tijd heeft om te kunnen smelten.

Als de twee minuten voorbij zijn wordt er druk op de pers gezet. De druk die nodig is om de platen goed te persen is 20 kN, dit is de totale druk. De plaat wordt twee minuten lang op 20 kN geperst.

Na twee minuten persen, moet de pers worden afgekoeld. Het afkoelen van de pers wordt gedaan doormiddel van koud water dat door de buizen van de pers stroomt. Hiervoor zit een kraantje dat geheel open moet worden gedraaid. Het is belangrijk dat de druk op de plaat blijft staan, anders is er een kans dat de plaat gaat kromtrekken.

Wanneer de pers goed is afgekoeld kan de koeling uit en kan de pers geopend worden en de plaat er uit gehaald worden.



Figuur 28 De pers

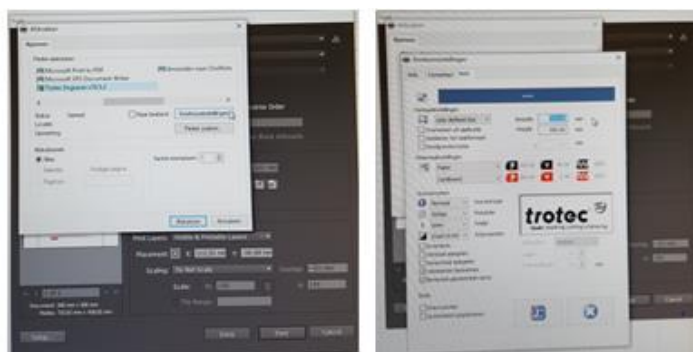
3.4.2 Lasersnijder

Om de testsamples te kunnen laseren moet er eerst een patroon gemaakt worden in adobe illustrator.

Als het gewenste patroon is gemaakt, moeten de lijnen rood worden gemaakt. Door de rode lijnen weet de laser dat het materiaal gesneden moet worden en niet gegraveerd. De lijndikte moet worden aangepast naar 0,01 mm.

Als het bestand is aangepast moet er op ctrl+P gedrukt worden, er verschijnt dan een scherm met afdrukken, zoals te zien is in *Figuur 29*. Vervolgens moet er op voorkeursinstellingen gedrukt worden. Hier kunnen de eigenschappen voor het laseren aangepast worden.

Als alle eigenschappen zijn ingevuld moet het bestand worden afgedrukt. Het bestand wordt niet letterlijk afgedrukt, maar het bestand wordt naar het bestuur programma van de laser verstuurd. Nu kan het materiaal gesneden worden met de laser. De laser is te zien in *Figuur 30*.



Figuur 29 Laserprogramma



Figuur 30 Laser

3.5 Testen

3.5.1 Kerfslagproef

Deze test wordt uitgevoerd volgens de norm: ISO 179-1:2000 - Determination of Charpy impact properties (ISO, 2001). Bij deze test wordt het materiaal getest of het schokbestendig is. Bij deze test moeten vijf testsamples in de kettingrichting en vijf in de inslagrichting uit het materiaal gehaald worden, met een afmeting van 15 x 80 mm. De dikte en breedte van elke testsample wordt op drie punten met een schuifmaat gemeten en het gemiddelde hiervan wordt meegenomen in de berekening, die vermeldt staat in de norm.

Voordat de testsamples getest worden, moet de machine eerst gekalibreerd worden. Hiermee wordt de weerstand van de hamer gemeten. Deze waarde moet na het testen van de gemeten waarden afgetrokken worden.

Als de machine gekalibreerd is, moet de hamer weer boven in de machine geklemd worden. Ook moet de waarde weer op nul gezet worden. Het testsample kan nu in de machine worden geplaatst. Als het testsample recht zit, kan de hamer los worden gelaten. Als de hamer tegen het materiaal aankomt meet de machine de weerstand die het materiaal geeft als de hamer er tegenaan komt. Deze waarde wordt weergegeven in Joule. De kerfslagproef is te zien in *Figuur 31*.



Figuur 31 Kerfslagproef

3.5.2 Treksterkte

Deze test wordt uitgevoerd volgens: ISO 527-4:1997 - Determination of tensile properties of plastics (ISO, 1997). De trekproef wordt uitgevoerd om te testen hoe sterk en stijf het materiaal is. Er wordt gebruik gemaakt van een Testometric M500-50CT van Zwick.

Voor deze test zijn er vijf testsamples uit de ketting- en vijf uit de inslagrichting van het materiaal nodig. Omdat de platen te smal zijn voor alle testsamples is er voor gekozen om alleen de kettingrichting te testen. De afmeting van de testsamples is 250 x 25 mm. De afstand tussen de klemmen, waar het testsample tussen geklemd wordt, moet 195 mm zijn. Dit kan ingesteld worden met de computer die aan de machine is gekoppeld. Ook de snelheid van de trekmachine moet aangepast worden naar 5 mm/min. Het testsample kan tussen de klemmen worden geplaatst en aan de strepen op de klemmen kan afgemeten worden of het testsample in het midden zit. De dikte en breedte van elke testsample wordt op drie punten met een schuifmaat gemeten en het gemiddelde hiervan wordt ingevoerd in de computer. Daarna kan de afstand en druk worden gereset, zodat deze op nul staan. De testsample kan worden getest. In *Figuur 32* is de trekbank en het besturingsprogramma van de trekbank te zien.

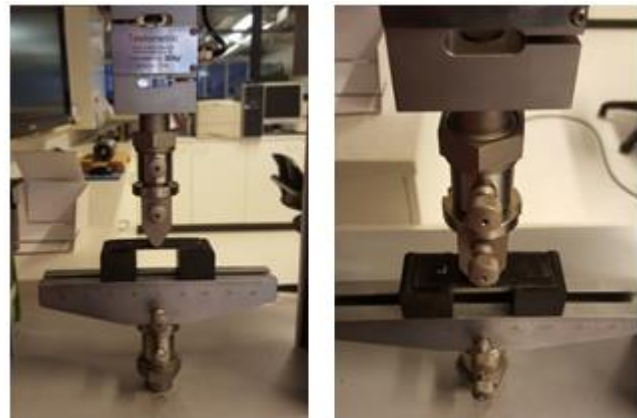


Figuur 32 Treksterkte

3.5.3 3 puntsbuigproef

Deze test wordt volgens de ISO 14125-1998 - Determination of flexural properties (ISO, 1998) uitgevoerd. Deze test geeft de stijfheid, sterkte en maximale doorbuiging weer die het materiaal kan verdragen voordat deze knapt. Er wordt gebruik gemaakt van een Testometric M350-20CT van Zwick. Voor deze test zijn er vijf testsamples uit de ketting- en vijf uit de inslagrichting van het materiaal nodig. De afmeting van de testsamples is 100 x 25 mm. De spanwijdte van de opstelling is 40 mm. De bovengrens is 144 mm en de ondergrens is 124 mm.

De dikte en breedte van elke testsample wordt op drie punten met een schuifmaat gemeten en het gemiddelde hiervan wordt ingevoerd in de computer. Daarna wordt de testsample op de opstelling gelegd, zie *Figuur 33*, en moet de druk en de afstand gereset worden. De snelheid van de test moet aangepast worden naar 5 mm/min. Het testsample kan worden getest.



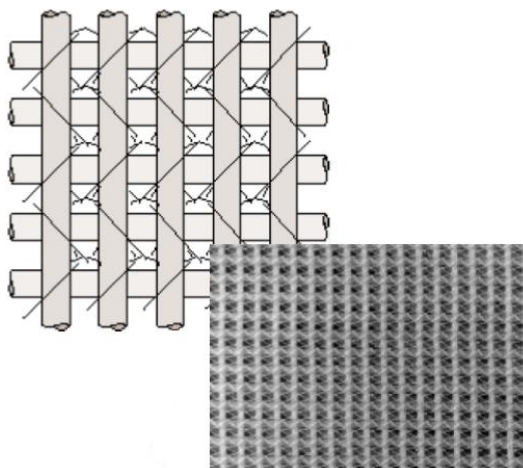
Figuur 33 3 puntsbuigproef

Hoofdstuk 4. Resultaten

Met dit onderzoek is er gekeken met welke textiele productietechnieken er platen geproduceerd konden worden. Non-woven wordt gemaakt van losse vezels, omdat het lectoraat al werkt met een soort gelijke techniek is dit achterwege gelaten. Daarnaast ging het er vooral om te onderzoeken wat de mogelijkheden zijn met het thermoplastische tape, zonder het in kleine stukken te snijden.

Bij vlechten, knopen en breien moet de thermoplastische tape een lus of bocht maken. Bij het maken van een bocht of lus kleiner dan 2 cm, breekt het materiaal, dit is te zien in Bijlage 15. Bij inslagbreien en kettingbreien maakt het materiaal een lus, dit is met thermoplastisch tape bijna niet mogelijk. Inslagbreien zou wel mogelijk zijn met de garens, maar het lectoraat heeft aangegeven dat breien uitgesloten is, omdat het versterkingsmateriaal gestrekt moet liggen.

Variaties op kettingbreien zijn bi-axiaal (zie *Figuur 34*) en multi-axiaal (Opstall, 2014). De productie van deze technieken is niet mogelijk in Nederland, daarom is hier een alternatief op bedacht. Het alternatief is een Multi-Directioneel (MD) waarbij de tapes en garens recht naast elkaar worden gelegd. De plaat bestaat uit drie lagen die in 0°/90°/0° richting liggen. Het verschil met bi-axiaal is, dat de verschillende lagen bij bi-axiaal aan elkaar worden vastgemaakt met een kettingbreisel.



Figuur 34 Bi-axiaal breisel (Opstall, 2014)

Naast het maken van MD platen zijn er platen geweven. Er is voor gekozen om de drie basis bindingen te gebruiken, namelijk plat (1/1), keper (2/1) en satijn (4/1). In Tabel 2 zijn de aantallen te zien van de ketting en inslag in een mat van 30x30 cm.

Tabel 2 Aantal garens en thermoplastisch tape in een mat van 30x30 cm

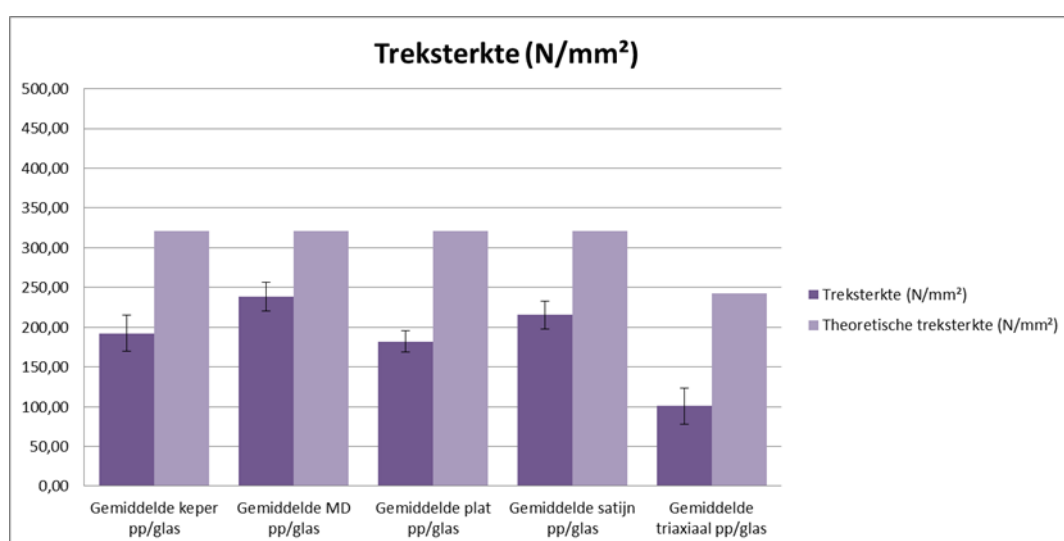
Binding	Materiaal	Ketting	Inslag
Plat	Glas	72	34
	Pp/glas	69	31
Keper	Glas	71	36
	Pp/glas	69	31
Satijn	Glas	71	42
	Pp/glas	68	33
MD	Glas	60	3
	Pp/glas	58	3
Tri-axiaal	Glas	24/22	18
	Pp/glas	25/20	18

Deze bindingen worden toegepast bij het produceren van composieten, dit is gebleken uit het bedrijfsbezoek bij TPRC en TenCate, zie Bijlage 1 voor evaluatiebezoek. Ook is er een plaat gemaakt met een tri-axiaal binding, deze binding wordt in de textiel gebruikt tegen verschuiving en is quasi-isotroop. Foto's van de gemaakte matten zijn weergegeven in Bijlage 2.

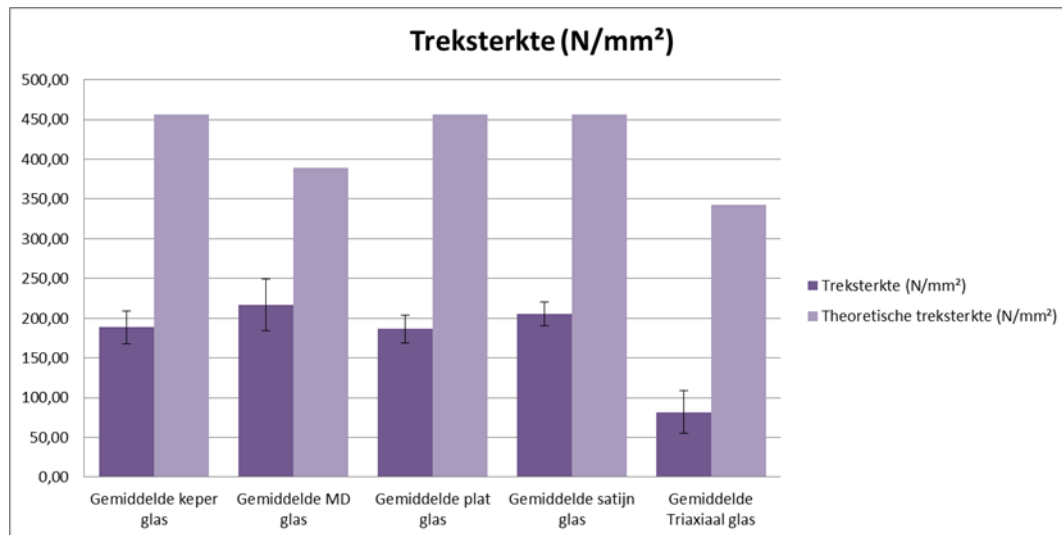
De matten werden op maat gesneden met de laser. Er is een sjabloon gemaakt van een vierkant van 30x30 cm, zie Bijlage 3. Er is berekend hoeveel matten er nodig zijn voor één plaat van ongeveer 2 mm dik. Voor alle platen gemaakt van thermoplastisch tape en pp/glasgarens zijn minstens 3 matten nodig. Voor de platen gemaakt van thermoplastisch tape en glasgarens zijn ook minstens 3 matten nodig. In Bijlage 4 is het formuleblad toegevoegd met de berekening. Na het uitrekenen van de hoeveelheid matten, zijn de matten geperst foto's hiervan zijn te vinden in Bijlage 5. Uit de geperste platen werden testsamples gesneden met de laser. Hiervoor is een sjabloon gemaakt met daarin de benodigde testsamples, zie Bijlage 6. Tijdens het snijden is gebleken dat de laser vijf keer over het materiaal heen moet gaan met een snelheid (v) van 0.7, vermogen (p) van 100 en een frequentie (Hz) van 1000. De testen zijn uitgevoerd volgens de ISO normen, zie Hoofdstuk 3. Methoden.

4.1 Resultaten trekproef

Voor het uitvoeren van de treksterkte zijn er met de laser vijf testsamples uit de platen gesneden. Alle testsamples zijn links uit de plaat gesneden. De treksterkte is uitgevoerd op de platen gemaakt van thermoplastisch tape en pp/glasgarens en platen gemaakt van thermoplastisch tape en glasgarens. In *Figuur 35* zijn de testresultaten te zien van de treksterkte van de platen gemaakt van thermoplastisch tape en pp/glas. In *Figuur 36* zijn de testresultaten te zien van de treksterkte van de platen gemaakt met thermoplastisch tape en glas. De resultaten zijn weergegeven in Newton per vierkante millimeter (N/mm^2). N/mm^2 is gelijk Mega Pascal (MPa). Er zijn twee verschillende waarden te zien, namelijk de theoretische waarde en de werkelijke waarde. De theoretische waarden zijn berekend met een formule, deze formule is weergegeven in Bijlage 7. Deze formule staat vermeld in de ISO norm (ISO, 1997). De waarden die worden weergegeven zijn de gemiddelde waarden van de resultaten van vijf testsamples. In Bijlage 8 is de tabel met alle waarden weergegeven. Een voorbeeld grafiek van de verkregen resultaten van de trekproef is weergegeven in Bijlage 14. De foutbalken geven de standaard deviatie aan van de gemiddelde waarden.



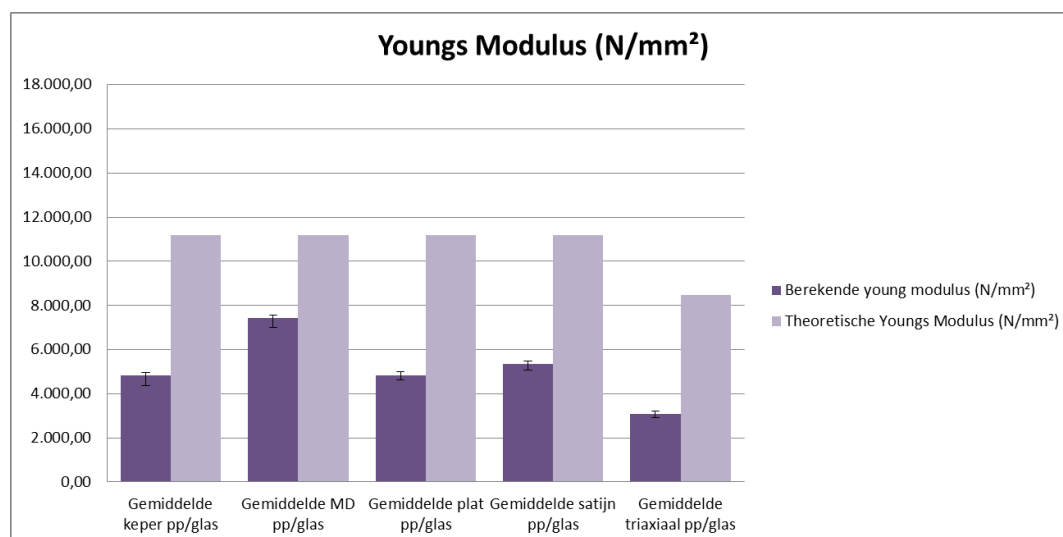
Figuur 35 Resultaten treksterkte platen thermoplastisch tape en pp/glasgarens



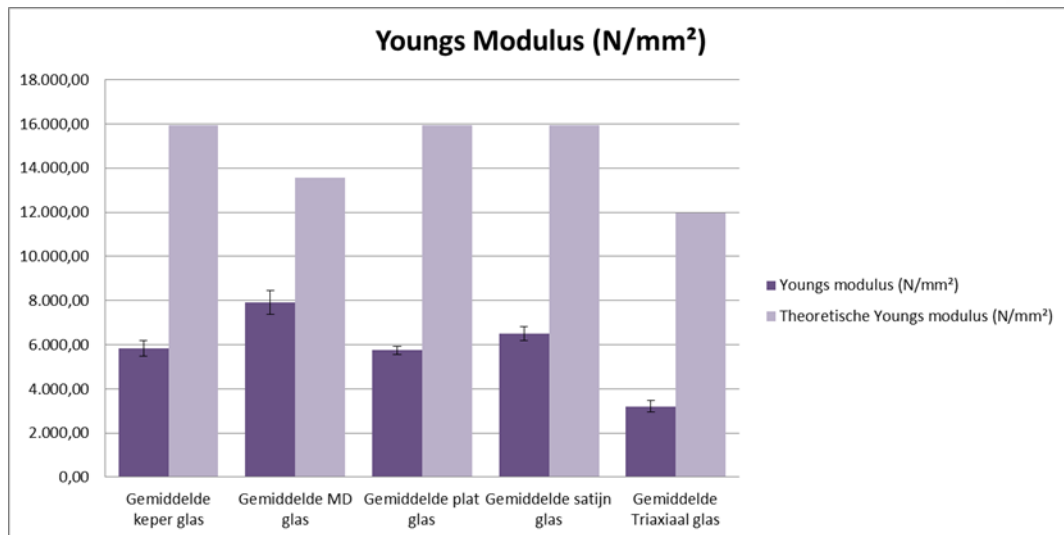
Figuur 36 Resultaten treksterkte platen thermoplastisch tape en pp/glasgaren

De Youngs Modulus geeft de stijfheid van het materiaal weer. Deze is berekend met de waarden van de treksterkte. De waarden zijn weergegeven in N/mm².

In *Figuur 37* zijn de testresultaten te zien van de Youngs Modulus met het materiaal thermoplastisch tape en pp/glas. In *Figuur 38* zijn de testresultaten te zien van de Youngs Modulus met het materiaal thermoplastisch tape en glas. Naast de werkelijke waarden zijn er ook theoretische waarden berekend. De waarden die worden weergegeven zijn de gemiddelde waarden van de testresultaten van vijf testsamples. In Bijlage 8 is de tabel met alle waarden weergegeven. De foutbalken geven de standaard deviatie aan van de gemiddelde waarden.



Figuur 37 Resultaten Youngs Modulus platen thermoplastisch tape en pp/glasgaren

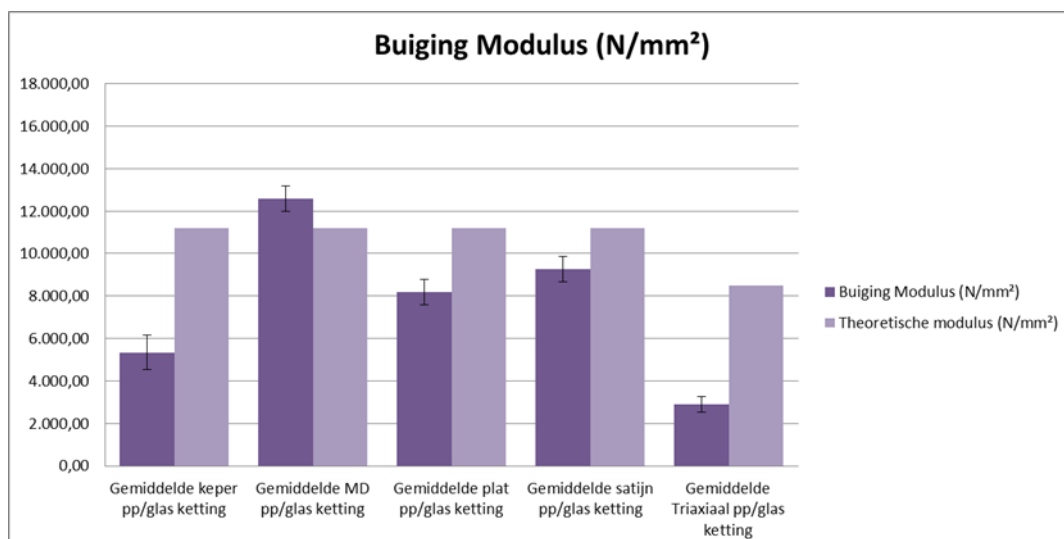


Figuur 38 Resultaten Youngs Modulus platen thermoplastisch tape en glasgaren

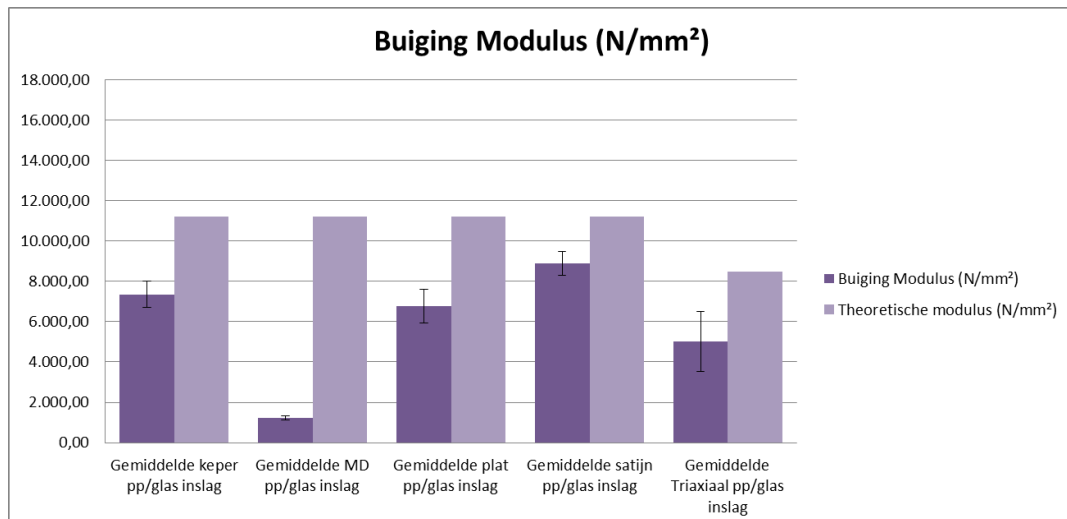
4.2 Resultaten 3 puntsbuigproef

Voor de 3 puntsbuigproef zijn er vijf testsamples uit de kettingrichting en vijf testsamples uit de inslagrichting gehaald. De testsamples zijn rechts uit de platen gehaald. De testen zijn zowel op de platen gemaakt van thermoplastisch tape met pp/glasgaren als platen gemaakt van thermoplastisch tape met glasgaren uitgevoerd.

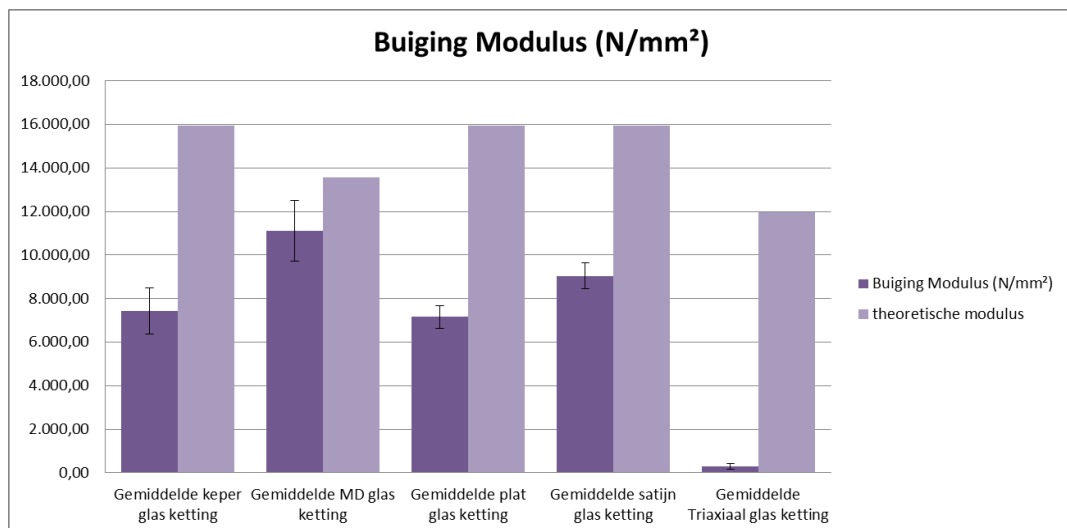
In *Figuur 39* zijn de testresultaten te zien van de buiging modulus van de 3 puntsbuigproef van het materiaal thermoplastisch tape en pp/glas in kettingrichting en in *Figuur 40* zijn de testresultaten te zien van de inslagrichting. In *Figuur 41* zijn de testresultaten te zien van de buiging modulus van het materiaal thermoplastisch tape en glasgaren. In *Figuur 42* zijn de resultaten van de inslag te zien. De testresultaten zijn weergegeven in N/mm². Hierin zijn twee verschillende waarden te zien, namelijk de theoretische waarde en de werkelijke waarde. Zie Bijlage 7 voor de berekening van de theoretische waarde. De formule staat vermeld in de ISO norm (ISO, 2011). De waarden die worden weergegeven zijn de gemiddelde waarden van de testresultaten van vijf testsamples. In Bijlage 9 is de tabel met alle waarden weergegeven. Een voorbeeld grafiek van de verkregen resultaten van de van de 3 puntsbuigproef is weergegeven in Bijlage 14. De foutbalken geven de standaard deviatie aan van de gemiddelde waarden.



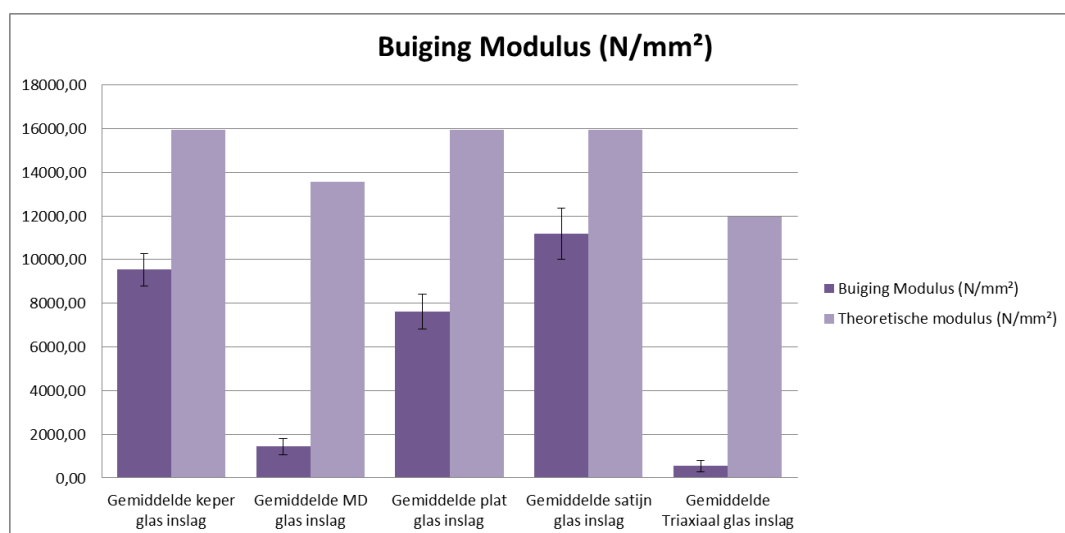
Figuur 39 Resultaten Buiging Modulus kettingrichting platen thermoplastisch tape en pp/glasgaren



Figuur 40 Resultaten Buiging Modulus inslagrichting platen thermoplastisch tape en pp/glasgaren

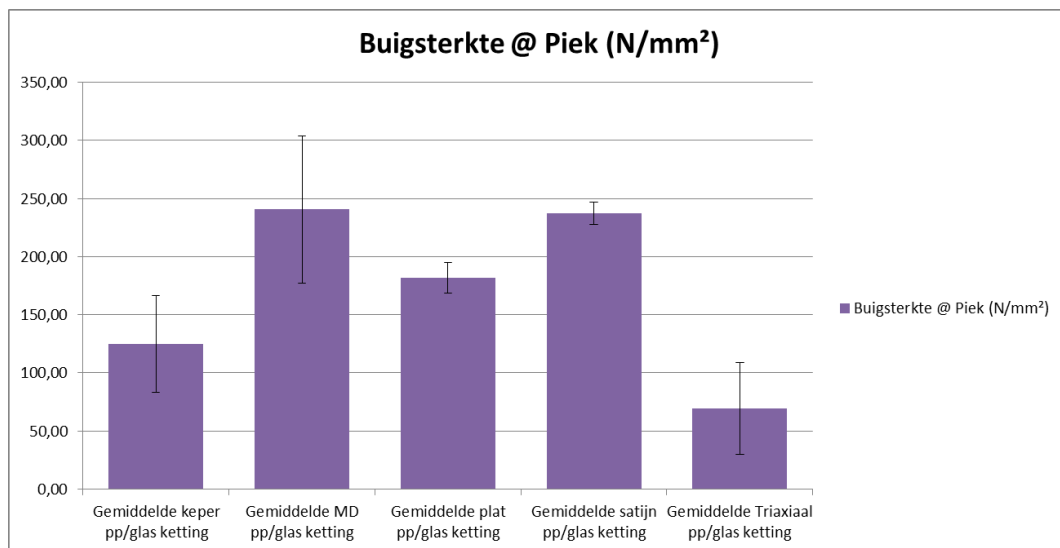


Figuur 41 Resultaten Buiging Modulus kettingrichting platen thermoplastisch tape en glasgaren

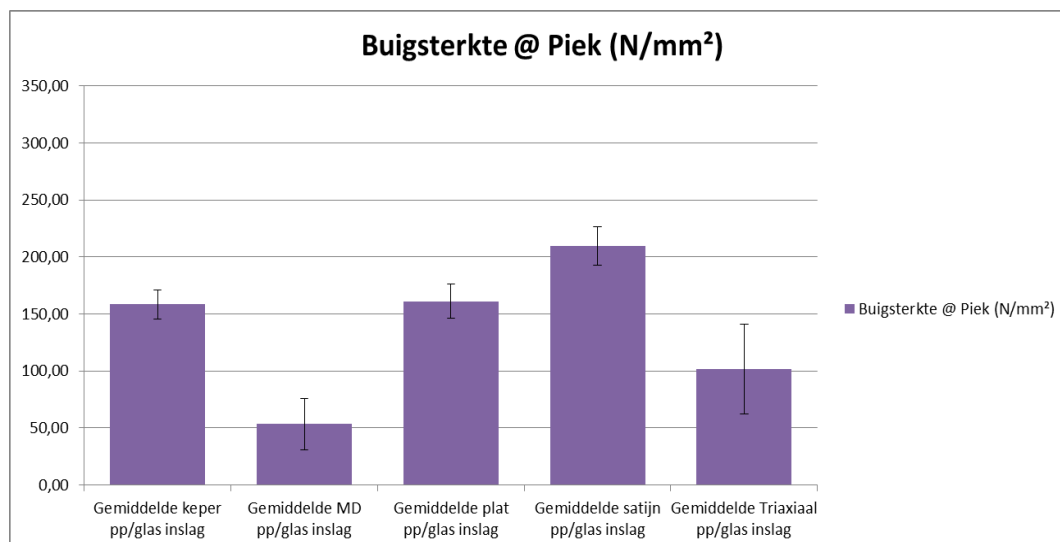


Figuur 42 Resultaten Buiging Modulus inslagrichting platen thermoplastisch tape en glasgaren

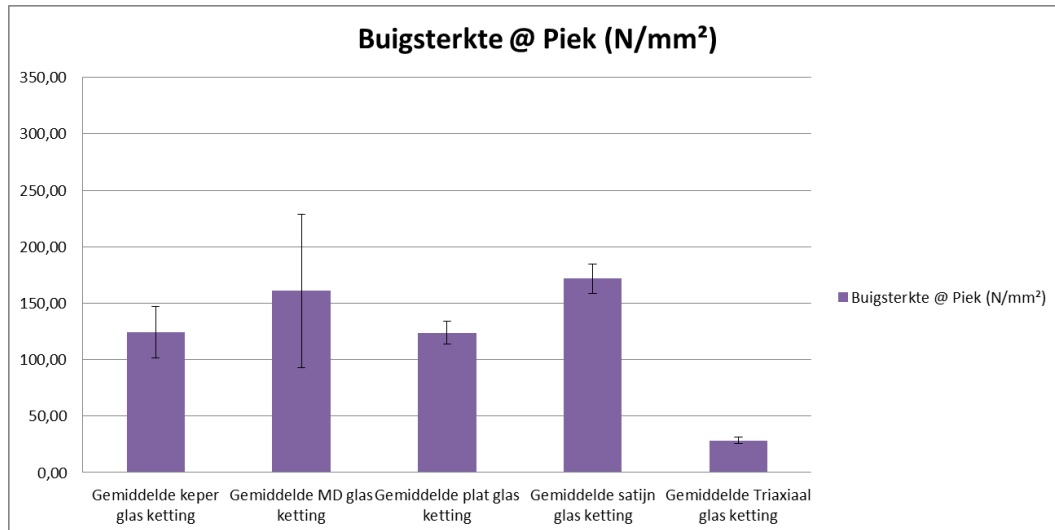
Aan de hand van de resultaten van de 3 puntsbuigproef is ook de buigsterkte berekend. De resultaten van de buigsterkte van de buigproef van het materiaal thermoplastisch tape en pp/glas in kettingrichting zijn te zien in *Figuur 43* en de resultaten van de inslagrichting zijn te zien in *Figuur 44*. In *Figuur 45* zijn de testresultaten te zien van het materiaal thermoplastisch tape en glas in kettingrichting in *Figuur 46* de resultaten van de inslagrichting te zien. De waarden zijn weergegeven in N/mm^2 . De waarden die worden weergegeven zijn de gemiddelde waarden van de testresultaten van vijf testsamples. In Bijlage 9 is de tabel met alle waarden weergegeven. De foutbalken geven de standaard deviatie aan van de gemiddelde waarden.



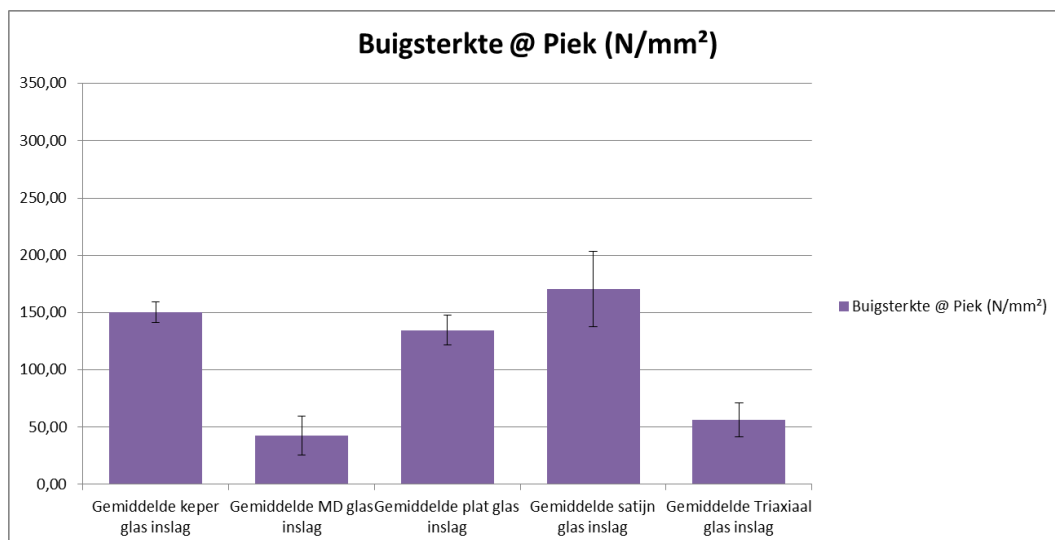
Figuur 43 Resultaten Buigsterkte kettingrichting platen thermoplastisch tape en pp/glasgaren



Figuur 44 Resultaten Buigsterkte inslagrichting platen thermoplastisch tape en pp/glasgaren



Figuur 45 Resultaten Buigsterkte kettingrichting platen thermoplastisch tape en glasgaren

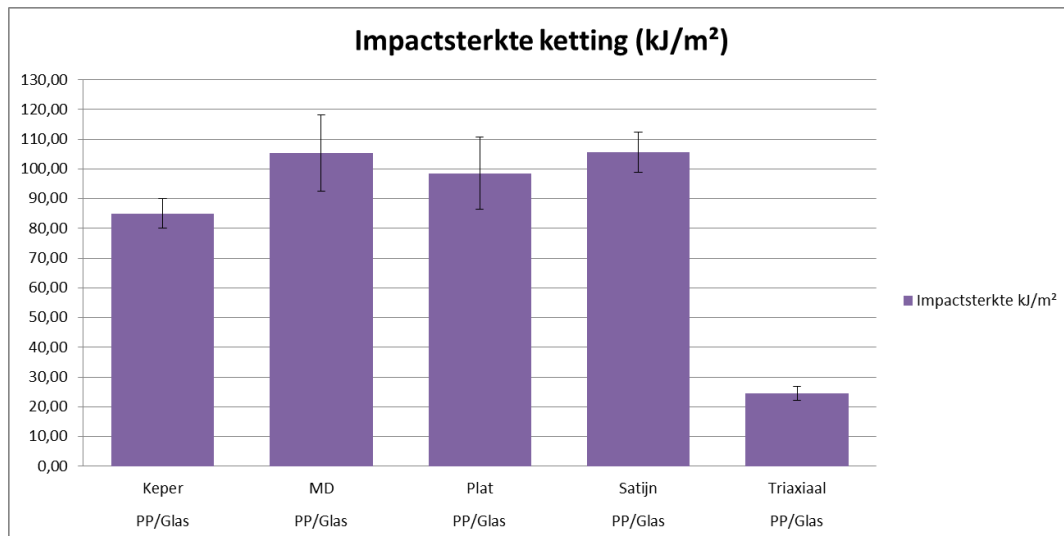


Figuur 46 Resultaten Buigsterkte inslagrichting platen thermoplastisch tape en glasgaren

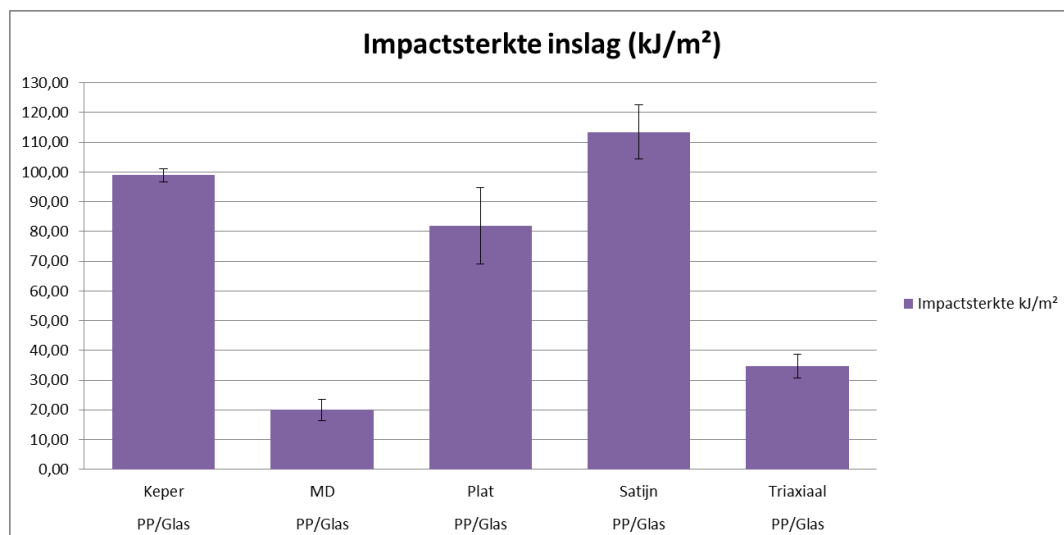
4.3 Resultaten kerfslagproef

Voor de kerfslagproef zijn er zes testsamples uit de kettingrichting genomen en vijf testsamples uit de inslagrichting. Voor een zesde testsample uit de inslagrichting was geen plaats meer. Er zijn voor deze test meer testsamples uitgesneden, omdat deze machine lastig was om in te stellen. Op deze manier is de kans kleiner dat er te weinig geldige testresultaten waren. De testsamples van de kerfslagproef zijn midden uit de plaat gehaald.

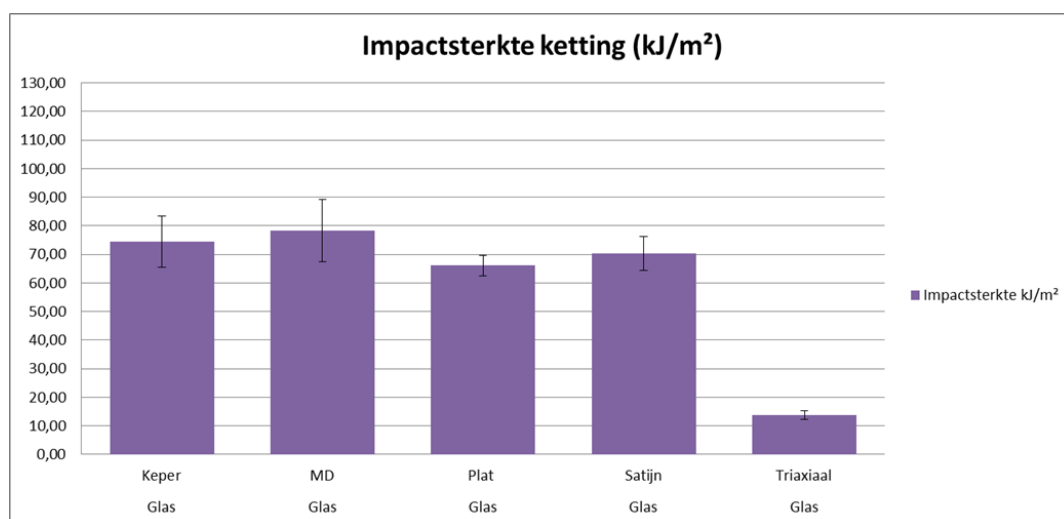
De testresultaten van de kerfslagproef van het materiaal thermoplastisch tape pp/glas in kettingrichting worden weergegeven in *Figuur 47* en de resultaten van inslagrichting in *Figuur 48*. In *Figuur 49* worden de resultaten van de kerfslagproef van het materiaal thermoplastisch tape en glas in kettingrichting weergegeven in *Figuur 50* worden de resultaten van de inslagrichting weergegeven. De waardes worden weergegeven in kilo Joule per vierkante meter (kJ/m^2). Er is een gemiddelde genomen van de waardes van vijf testsamples. In Bijlage 10 worden de waardes van de vijf testsamples weergegeven. De foutbalken in figuur geven de standaard deviatie weer van de gemiddelde waardes.



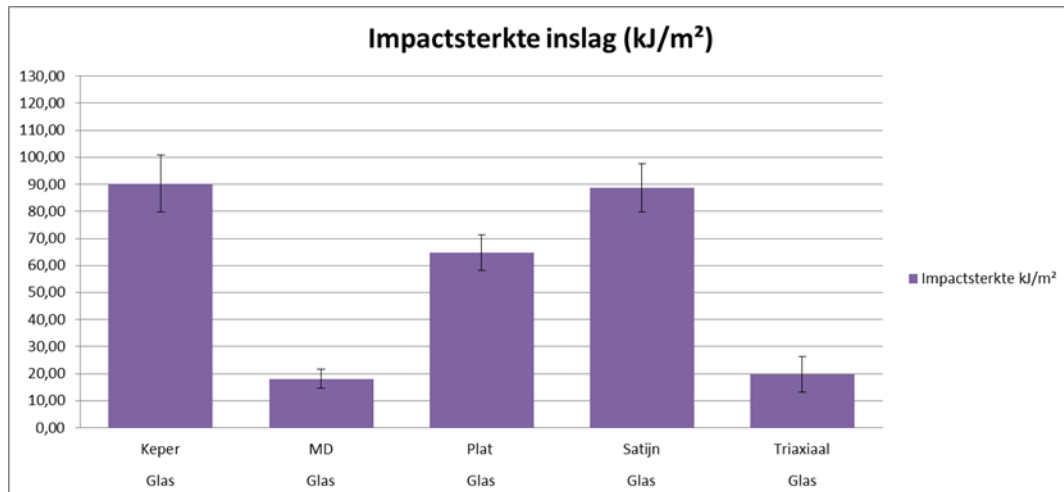
Figuur 47 Resultaten Impactsterkte kettingrichting platen thermoplastisch tape en pp/glasgaren



Figuur 48 Resultaten Impactsterkte inslagrichting platen thermoplastisch tape en pp/glasgaren



Figuur 49 Resultaten Impactsterkte kettingrichting platen thermoplastisch tape en glasgaren



Figuur 50 Resultaten Impactsterkte inslagrichting platen thermoplastisch tape en glasgaren

4.4 Resultaten testen Twintex en Bondlaminates

De resultaten van de testen die gedaan zijn worden vergeleken met de resultaten van Twintex en Bondlaminates. Dit zijn materialen die overeenkomen met de materialen die in dit onderzoek zijn gebruikt.

In Tabel 3 zijn de testresultaten van de treksterkte, 3 puntsbuigproef en kerfslagproef van de materialen van Twintex en Bondlaminates weergegeven. De resultaten van de treksterkte en 3 puntsbuigproef zijn weergegeven in MPa. De resultaten van de kerfslagproef zijn weergegeven in kJ/m². Alle eigenschappen van het materiaal van Twintex zijn weergegeven in de datasheet in Bijlage 11. De eigenschappen van het materiaal van Bondlaminates is weergegeven in de datasheet in Bijlage 12.

Tabel 3 Resultaten testen Twintex en Bondlaminates

Testen		Twintex 1/1	Twintex 4/1	Bondlaminates 2/2
Treksterkte	Treksterkte	300 MPa	400 MPa	400 MPa
	Youngs Modulus	14000 MPa	20000 MPa	20500 MPa
3 puntsbuigproef	Buigsterkte	280 MPa	380 MPa	370 MPa
	Buig Modulus	13000 MPa	18000 MPa	17500 MPa
Kerfslagproef	Impactsterkte	160 kJ/m ²	200 kJ/m ²	N.B.

Hoofdstuk 5. Conclusie en aanbevelingen

5.1 Conclusie

Textieldoek wordt op dit moment geproduceerd op de volgende manieren: breien, weven, knopen, vlechten, non-woven. Met deze technieken is de deelvraag op welke manieren textieldoek nu geproduceerd wordt beantwoord.

De productie van composieten gebeurt op dit moment op verschillende manieren. De meest voorkomende zijn: handlamineren, vezelspuiten, gesloten mal techniek, Reaction Injection Moulding (RIM), sheet Moulding compound (SMC), Bulk Moulding Compound (BMC), Glas Mat versterkte Thermoplast (GMT), pultrusie en autoclaaf. Hiermee is de deelvraag op welke manier de composieten worden gemaakt beantwoord.

Tijdens dit onderzoek is er gebruik gemaakt van pp/glasgarens. De reden dat hiervoor is gekozen, is dat de eigenschappen dan zo dicht mogelijk bij de eigenschappen van het thermoplastische tape liggen. Op deze manier kunnen de resultaten beter vergeleken worden met het tweede onderzoek, waar alleen thermoplastisch tape gebruikt wordt. Ook is er tijdens dit onderzoek glasgaren gebruikt. Glasgarens hebben een sterkere eigenschap dan pp/glasgaren. Er is gekeken of dit ook naar voren komt tijdens het testen.

Het zou ook mogelijk zijn om met andere garens te weven, dit ligt aan de eigenschappen die bereikt willen worden met de composiet.

Eén van de deelvragen was wat de nadelen van het produceren van composieten met de bestaande textiele productietechnieken zijn. Doordat het thermoplastisch tape stijf is, wordt het lastig om een lus te maken. Wanneer er een lus kleiner wordt dan 2cm, breekt het materiaal, zie Bijlage 15. Hierdoor is het bijna niet mogelijk om met thermoplastisch tape te breien en te vlechten op de manier hoe het in dit onderzoek uitgetest is. Zie Bijlage 13 met foto's van het experimenteren van vlechten met thermoplastisch tape. De enige mogelijkheid die bij dit onderzoek overbleef was weven. Hierbij hoeft het materiaal geen lussen te maken.

Ook bij het weven kwamen er nadelen naar voren. Bij het weven met glasgarens werd het duidelijk, dat als het thermoplastische tape strak tegen elkaar aan wordt gelegd, de glasgarens kunnen breken. Dit kwam vooral veel voor bij de platbinding, hier kwam tijdens het weven veel spanning op de garens te staan. Als dit gebeurt is het weefsel niet meer bruikbaar, omdat dit invloed heeft op de testresultaten.

Bij de MD was het lastig om bij zowel de pp/glasgarens als de glasgarens recht te krijgen. Hierdoor verschoven de garens tijdens het persen.

Weven met thermoplastisch tape gebeurt nog niet, omdat het materiaal te breed en stijf is voor een weefmachine. Wel gebeurt dit met halffabricaten van glasvezels die worden verhard met een kunsthars, nadat het geweven is. Zie Bijlage 1 voor het bezoek bij TPRC en TenCate.

Om de deelvraag te kunnen beantwoorden of de gemodificeerde composieten overeenkomen met composieten met vergelijkbaar materiaal, is er gekeken wat de eigenschappen van de composieten met vergelijkbaar materiaal zijn. De composieten van Twintex en Bondlaminates worden ook gemaakt van glasvezels en pp filamenten. In Tabel 3 is te zien wat de eigenschappen zijn van het materiaal van Twintex en Bondlaminates.

Bij de trekproef is er naar voren gekomen dat de materialen van Twintex en Bondlaminates een hogere treksterkte hebben, zowel bij de platen gemaakt van thermoplastisch tape en pp/glasgaren en platen gemaakt van thermoplastisch tape en glasgaren. Bij de 3 puntsbuigproef en kerfslagproef zijn de resultaten van het materiaal van Twintex en Bondlaminates ook beter.

In *Figuur 35* wordt duidelijk dat bij de treksterkte van het materiaal gemaakt van thermoplastisch tape en pp/glas komen de MD met een treksterkte van 238 N/mm² het dichtst in de buurt komt van

de resultaten van Twintex. In *Figuur 36* wordt duidelijk dat net zoals bij de platen gemaakt van thermoplastisch tape en pp/glasgarens, de resultaten van de platen gemaakt van thermoplastisch tape en glasgarens, de MD het dichtst in de buurt komt. Deze vergelijking is weergegeven in Bijlage 16. De plaat met de tri-axiale binding, gemaakt van beide materialen, ligt het verst af van deze waarden.

Bij de Buiging Modulus komt ook naar boven dat de resultaten van de MD in lengterichting het dichtst bij de waarden van Twintex in de buurt komen. Dit geldt zowel voor de platen gemaakt van thermoplastisch tape en pp/glasgaren en de platen gemaakt van thermoplastisch tape en glasgaren. De vergelijking van de Buiging Modulus is weergegeven in Bijlage 16. In de breedterichting liggen de waarden van de MD veel lager. Dit heeft te maken met het feit dat de MD bestaat uit twee lagen met de garens en thermoplastisch tape in lengterichting en maar één laag in de breedterichting. Op deze manier kan de breedterichting minder weerstand bieden dan de lengterichting. Net zoals bij de treksterkte zijn de waarden van de tri-axiale binding het laagst.

Bij de kerfslagproef zijn de resultaten van de MD in lengterichting bij beide materialen het hoogst. Net zoals bij de buigproef zijn de resultaten van de MD in breedterichting heel laag, dit heeft dezelfde oorzaak. Ook bij de kerfslagproef zijn de waarden van de tri-axiale binding het laagst. Van de weefsels heeft de satijnbinding de beste resultaten in de trekproef en 3 puntsbuigproef. De resultaten van de satijnbinding bij de 3 puntsbuigproef zijn redelijk constant in de ketting- en inslagrichting.

De onderzoeksvraag van het onderzoek was om uit te zoeken welke bestaande of gemodificeerde textieltechnieken composietdoek van thermoplastisch tape en garen geproduceerd kan worden. Uit dit onderzoek is gebleken dat weven de beste optie is om toe te passen als textiele productie techniek. Tussen de bindingen van de weefsels zitten verschillen in de waarden. Zo blijkt dat satijn in vergelijking met de andere bindingen de beste resultaten heeft in zowel ketting- als inslagrichting. Alleen uit alle drie de testen is gebleken dat MD de beste resultaten heeft in kettingrichting.

5.2 Vergelijking

Dit onderzoek bestaat uit twee deelonderzoeken en om te bekijken wat de verschillen en overeenkomsten zijn, is er een vergelijking gemaakt tussen deze onderzoeken. In Tabel 4 zijn de bindingen te zien met de hoogste waarde van de drie uitgevoerde testen.

Een overeenkomst tussen alle platen is dat bij de treksterkte de MD als sterkst naar boven komen. De waarde van thermoplastische tape ligt bij de treksterkte, buigsterkte en impactsterkte hoger dan de waarden van de platen gemaakt van pp/glasgaren en glasgaren.

Bij de buigsterkte (inslag) bij de platen gemaakt van pp/glas en glas is de satijnbinding het sterkst. Bij de platen gemaakt van thermoplastisch tape is de keper het sterkst.

Tabel 4 Hoogste waarde van de uitgevoerde testen

Testen	Pp/glas	Glas	Thermoplastisch tape
Treksterkte	MD 238,56 N/mm ²	MD 216,91 N/mm ²	MD 282,91 N/mm ²
Youngs Modulus	MD 7415,67 N/mm ²	MD 6529,56 N/mm ²	MD 7327,41 N/mm ²
Buiging Modulus ketting	MD 12586, 60 N/mm ²	Satijn 15960,00 N/mm ²	MD 15793,35 N/mm ²
Buiging Modulus Inslag	Satijn 8887,16 N/mm ²	Satijn 11178,87 N/mm ²	Keper 7354,08 N/mm ²
Buigsterkte ketting	MD 240,54 N/mm ²	Satijn 171,63 N/mm ²	MD 330,29 N/mm ²
Buigsterkte Inslag	Satijn 209,66 N/mm ²	Satijn 170,42 N/mm ²	Keper 158,37 N/mm ²
Impactsterkte ketting	Satijn 105,64 kJ/m ²	MD 78,49 kJ/m ²	MD 127,80 kJ/m ²
Impactsterkte inslag	Satijn 113,42 kJ/m ²	Keper 90,27 kJ/m ²	Satijn 94,88 kJ/m ²

Het weven van matten met garens en thermoplastisch tape is makkelijker dan weven met alleen thermoplastisch tape, dit komt doordat de thermoplastische tapes stijver zijn en hierdoor niet goed aangedrukt kunnen worden.

Een nadeel van het maken van matten met garens en thermoplastisch tape is dat de garens kunnen verschuiven tijdens het persen.

De snelste en makkelijkste methode was het maken van een mat met MD. Dit is beter geschikt met alleen thermoplastisch tape, de waardes zijn hoger en de thermoplastische tapes verschuiven niet tijdens het persen. Het maken van weefsels is met garens het makkelijkst. Er kan bij het weven met garens dichter geweven worden dan bij het weven met alleen thermoplastisch tape. Bij het weven van thermoplastisch tape ontstaan gaten, dit komt omdat het niet goed aangedrukt kan worden.

5.3 Aanbevelingen

Het is mogelijk om te weven met zowel thermoplastisch tape en pp/glasgaren als thermoplastisch tape en glasgarens. De satijnbinding is in beide gevallen de beste optie. De eigenschappen van deze binding komen in ketting- en in de inslagrichting goed overeen. Een nadeel van het met de hand weven is dat het veel tijd in beslag neemt. Het zou mogelijk kunnen zijn om met deze garens op een (gemodificeerde) weefmachine te weven en doormiddel van een gripper de thermoplastische tapes er doorheen te halen voor de inslag.

MD is ook een goede optie, deze plaat is in de kettingrichting het sterkst van allemaal. Alleen in de inslagrichting is het materiaal zwak. Hiervoor zou het mogelijk zijn om met minstens vier lagen te werken. Waardoor zowel in de ketting als in de inslagrichting evenveel lagen liggen.

Ook is het bij de MD nodig dat de garens goed recht liggen in de plaat. Dit zou gedaan kunnen worden door de garens op bepaalde punten vast te leggen met overdwars thermoplastisch tape.

De theoretische waardes die berekend zijn voor de platen gemaakt van thermoplastisch tape en glasgarens liggen veel hoger dan de werkelijke waardes. De theoretische waardes zijn berekend met een treksterkte van 2000 N/mm^2 . Om zeker te zijn of de glasgarens werkelijk deze treksterkte hebben, is het handig om alleen de garens te testen op de trekbank. Op deze manier komt er misschien een meer realistische waarde uit de berekening.

Hoofdstuk 6. Onderzoeksreflectie

Het weven met de glasgarens was lastiger dan gedacht. Tijdens het aandrukken van de inslag (thermoplastisch tape), gebeurde het nog wel eens dat de glasgarens knapte. Dus soms moest het weer opnieuw geweven worden.

Ook moest er goed gekeken worden of er geen weeffouten in de matten zaten. Als dit het geval was, moest er ook weer opnieuw geweven worden.

Het persen van de matten gemaakt van glas ging wat lastiger dan de matten gemaakt van pp/glas. Dit komt omdat glas nog niet smelt bij een temperatuur van 230 graden Celsius.

De laser moest vaker over de platen gemaakt van glas dan over de platen gemaakt van pp/glas. Tijdens het laseren is één plaat verbrandt. Dit kan invloed hebben gehad op de testresultaten. De randen van de testsamples waren verkoold, ook dit zou invloed kunnen hebben op de testresultaten.

Uit het onderzoek komt naar voren dat de satijnbinding het sterkste was, maar de verwachtingen waren dat de platbinding het sterkst zou zijn. Dit omdat de garens op meerdere punten worden vastgelegd. Uiteindelijk is gebleken dat weefsels met zoveel mogelijk flotteringen het sterkst zijn. Dit is ook de reden dat de MD het sterkst is.

De pers stond niet helemaal recht, waardoor op sommige stukken meer druk stond. Hierdoor zijn de platen niet overal even dik geworden. Doordat de platen niet overal even dik waren, kan het zijn dat de waardes van de testsamples midden uit de plaat kunnen verschillen met de waardes van de testsamples die uit de zijkant van de plaat zijn gehaald. Deze afwijking was minimaal, maar kan wel invloed hebben op de testresultaten.

Bij de treksterkte waren sommige samples gescheurd bij de klem, waardoor de resultaten niet betrouwbaar zijn.

De resultaten die een te grote afwijking hadden, zijn niet meegenomen in de gemiddelde waardes. De Youngs Modulus en de Buiging Modulus horen over het algemeen overeen te komen, uit de resultaten is gebleken dat de Youngs Modulus veel lager ligt

De resultaten van dit onderzoek geven weer dat de platen van pp/glas over het algemeen sterker zijn dan de platen gemaakt met glasgarens. Alleen theoretisch zouden de platen gemaakt van glasgarens sterker moeten zijn dan de platen gemaakt van pp/glas. Dit is omdat glas een (veel) hogere treksterkte heeft dan pp. Een oorzaak hiervan zou kunnen zijn dat er toch een aantal draden geknapt zijn tijdens het weven, waardoor de plaat niet zijn volledige sterkte kon behalen.

De testresultaten zijn vergeleken met een datasheet van Twintex, maar deze resultaten zijn van een plaat gemaakt met een platbinding en een satijnbinding. In de conclusie wordt ook de tri-axiaal en MD vergeleken met deze resultaten. Omdat er geen vergelijkingsmateriaal was voor deze platen zijn de MD platen vergeleken met de resultaten van de platbinding van Twintex.

Nawoord bedrijf

Tijdens haar afstuderen heeft Lianne aangetoond zelfstandig aan de slag te kunnen, en een voor haar nieuw gebied relatief snel eigen kunnen maken. In de voor een afstuderen van dit type relatief beperkte tijdspanne, heeft zij een aanzienlijke hoeveelheid experimenteel werk verzet, gebruik makend van machines en (test-)technieken die in haar opleiding niet eerder of slechts beperkt zijn behandeld. Lof daarvoor!

De resulterende hoeveelheid onderzoeksresultaten geven voldoende inzicht om antwoord te krijgen op het belangrijkste deel van de oorspronkelijke onderzoeksvraag: in hoeverre met *bestaande* textieltechnieken composieten uit thermoplastisch tape gerealiseerd kunnen worden.

Een stap richting het tweede deel van de onderzoeksvraag zou echter wenselijk en mogelijk zijn geweest binnen de afstudeerperiode: een preliminaire indicatie/verificatie van de mogelijkheden de best gebleken *bestaande* technologie om te zetten naar een *gemodificeerde* textieltechnologie. Dit laatste is wellicht nog mogelijk na aflevering van dit afstudeerverslag, maar had iets ruimer aandacht mogen krijgen, omdat in dit deel de echte innovatie zit!

Al met al is het onderzoek van Lianne een nuttige eerste stap geweest met zinvolle resultaten, in een weinig ontgonnen gebied tussen textiel en structurele composieten, en zal dit onderzoek zeker een vervolg krijgen.

Daarnaast was het prettig met Lianne samen te werken en wensen we haar dan ook alle succes toe in haar verdere carrière!

Ferrie van Hattum

Lectoraat Lichtgewicht Construeren

Literatuurlijst

- ACMA. (2015). *Why Composites?* Opgeroepen op Oktober 15, 2015, van ACMA:
<http://www.acmanet.org/composites/why-composites>
- Alleswatersnijden. (2016). *Waterstraal snijden van Composieten*. Opgeroepen op April 7, 2016, van
 Alleswaterstraalsnijden: <http://www.alleswatersnijden.nl/materialen/79-waterstraalsnijden-van-composieten-als-glasvezel-en-carbon.html>
- Alleswatersnijden. (2016). *Waterstraal snijden van Composieten*. Opgeroepen op April 7, 2016, van
 Alleswaterstraalsnijden: <http://www.alleswatersnijden.nl/materialen/79-waterstraalsnijden-van-composieten-als-glasvezel-en-carbon.html>
- Bas. (2011). *Watersnijden*. Opgeroepen op April 7, 2016, van Infonu:
<http://wetenschap.infonu.nl/techniek/67783-watersnijden-de-techniek-van-snijden-met-water-en-abrasief.html>
- Bekke, W. (2011). *Vezels Garens Weefsels*. Enschede: Saxion Hogeschool Enschede.
- Comptape. (2016). *Comptape*. Opgeroepen op April 14, 2016, van Compositetape:
<http://www.compositetape.com/>
- Core moulding technologies. (2016). *Reaction injection molding*. Opgeroepen op Februari 15, 2016,
 van Coremt: <http://www.coremt.com/processes/reaction-injection-molding/>
- Core Moulding Technologies. (2016). *Reaction Injection Moulding*. Opgeroepen op Februari 15, 2016,
 van Core Moulding Technologies: <http://www.coremt.com/processes/reaction-injection-molding/>
- Cutcompany. (2015). *Composit*. Opgeroepen op April 7, 2016, van Cutcompany:
<http://zakelijk.cutcompany.nl/28-Composit>
- Geertsma, P. (2014, Mei 28). *Wat is teach-in Frezen*. Opgeroepen op April 7, 2016, van
 Technischwerken: <http://www.technischwerken.nl/kennisbank/techniek-kennis/wat-is-teach-in-frezen-en-wat-is-het-verschil-met-cnc-frezen/>
- Gong, R. (2015). Yarn to Fabric: Specialist fabric structures. In R. Sinclair, *Textiles and Fashion* (pp. 337-338). Cambridge: Elsevier.
- Gong, R. (2015). Yarn to Fabric: Specialist Fabric Structures. In R. Sinclair, *Textiles and Fashion* (pp. 344-345). Cambridge: Elsevier.
- Illstreet composites. (2016). *Processes available*. Opgeroepen op Februari 15, 2016, van Illstreet
 composites: <http://www.carbonfiberglass.com/Composites-Manufacturing/Composites-Manufacturing-Processes.html>
- Illstreet composites. (2016). *Processes available*. Opgeroepen op Februari 15, 2016, van Illstreet
 composites: <http://www.carbonfiberglass.com/Composites-Manufacturing/Composites-Manufacturing-Processes.html>

- ISO. (1997, Juli). Determination of Tensile properties of plastics.
- ISO. (1998, Juni). Fibre-reinforced plastic composites.
- ISO. (2001, Juni). Determination of Charpy impact properties. ISO.
- ISO. (2011). *ISO 9092:2011(en)*. Opgeroepen op Maart 18, 2016, van ISO:
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9092:ed-2:v1:en>
- Klomp, N. (2016). *Watersnijden*. Opgeroepen op April 7, 2016, van NancyKlomp:
<http://www.nancyklomp.nl/watersnijden.html>
- Linde, P. (2013). *Breien en eigenschappen*. Enschede: Saxion.
- Mao, N., & Russell, S. (2015). Fabric: Nonwoven. In R. Sinclair, *Textiles and Fashion* (pp. 307-335). Cambridge: Elsevier.
- Mather, R. (2015). Synthetic textile fibres: Polyolefin, Elastomeric and Acrylic fibres. In R. Sinclair, *Textiles and Fashion: Materials, Design and Technology* (pp. 115-138). Cambridge: Elsevier Ltd.
- Nederlands Instituut voor Lastechniek. (1999-2009). *Laskennis opgefrist*. Opgeroepen op April 7, 2016, van NIL: http://www.nil.nl/public/cms/lists/upload/40_snijden_laser_varia.pdf
- Nijssen, R. (2013). *Composieten basiskennis*. Hogeschool In Holland.
- Nijssen, R. (2013). *Compositeiten*. VKCN.
- Nuplex. (2014). *Hot-Moulding*. Opgeroepen op Februari 15, 2016, van Nuplex:
<http://www.nuplex.com/composites/processes/hot-moulding-processes>
- Nuplex. (2014). *Hot-Moulding*. Opgeroepen op Februari 15, 2016, van Nuplex:
<http://www.nuplex.com/composites/processes/hot-moulding-processes>
- OCV Reinforcements. (2008). *Twintex T PP*. Opgeroepen op April 14, 2016, van OCV Reinforcements:
http://www.ocvreinforcements.com/pdf/products/Twintex_TPP_09_2008_Rev0.pdf
- Opstall, D. v. (2014, Januari 24). *Saxion*. Opgeroepen op Mei 30, 2016, van Breien 2:
<file:///E:/mijn%20documenten/school/Jaar%202/Kwartiel%203/breien%20en%20weven/breien%20%20PMT%20kettingbreien.pdf>
- Owens Corning. (2016). *Glass Matt Reinforced Thermoplastic*. Opgeroepen op Februari 15, 2016, van Owens Corning:
http://composites.owenscorning.com/processes/Glass_Mat_Reinforced_Thermoplastic_GMT_TRE.aspx
- Owens Corning. (2016). *Glass Matt Reinforced Thermoplastic*. Opgeroepen op Februari 15, 2016, van Owens Corning:
http://composites.owenscorning.com/processes/Glass_Mat_Reinforced_Thermoplastic_GMT_TRE.aspx

- Pascoe, K. (1978). Composites. In K. Pascoe, *An Introduction to the Properties of Engineering Materials* (pp. 163-180). Springer Science & Business Media.
- Polyproducts. (2015). *Composieten*. Opgeroepen op November 11, 2015, van Polyproducts: <http://www.polyproducts.nl/composieten/>
- Polyproducts. (2015). *Composieten*. Opgeroepen op November 11, 2015, van Polyproducts: <http://www.polyproducts.nl/composieten/>
- Polyproducts. (2015). *Composieten*. Opgeroepen op November 11, 2015, van Polyproducts: <http://www.polyproducts.nl/composieten/>
- PPG industries. (2015). *Tufrov*. Opgeroepen op April 14, 2016, van PPG industries: http://www.ppgfiberglass.com/getmedia/ff2bf9eb-f368-4193-b843-3be154e30fe3/TUFROV_4599_SP.pdf.aspx
- RSC. (2015). *Composite Materials*. Opgeroepen op Oktober 15, 2015, van RSC: <http://www.rsc.org/Education/Teachers/Resources/Inspirational/resources/4.3.1.pdf>
- Saxion. (sd). *Design en technologie*. Opgeroepen op November 27, 2015, van Saxion: <https://www.saxion.nl/designentechnologie/site/over>
- Saxion. (sd). *Lectoraat Lichtgewicht Construeren*. Opgeroepen op November 28, 2015, van Saxion: <https://www.saxion.nl/designentechnologie/site/over/lectoraten/lichtgewichtconstrueren/>
- Saxion. (sd). *Lectoraat Lichtgewicht Construeren*. Opgeroepen op November 28, 2015, van Saxion: <https://www.saxion.nl/designentechnologie/site/over/lectoraten/lichtgewichtconstrueren/>
- Trotec. (2016). *Lasertypes*. Opgeroepen op April 6, 2016, van Troteclasser: <http://www.troteclaser.com/nl-NL/Service/Veelgestelde-Vragen/Pages/Lasertypes.aspx>
- Vereniging Kunststof Composieten Nederland. (2016). *Autoclaaf*. Opgeroepen op Maart 29, 2016, van Vereniging Kunststof Composieten Nederland: <http://www.vkcn.nl/over-composieten/verwerkingstechnieken/autoclaaf>
- Vereniging Kunststof Composieten Nederland. (2016). *Gesloten mal technieken*. Opgeroepen op Februari 15, 2016, van Vereniging Kunststof Composieten Nederland: <http://www.vkcn.nl/over-composieten/verwerkingstechnieken/gesloten-mal-technieken>
- Vereniging Kunststof Composieten Nederland. (2016). *GMT*. Opgeroepen op Maart 8, 2016, van Vereniging Kunststof Composieten Nederland: <http://www.vkcn.nl/over-composieten/verwerkingstechnieken/gmt>
- Vereniging Kunststof Composieten Nederland. (2016). *Handlamineren*. Opgeroepen op Februari 15, 2016, van Vereniging Kunststof Composieten Nederland: <http://www.vkcn.nl/over-composieten/verwerkingstechnieken/handlamineren>
- Vereniging Kunststof Composieten Nederland. (2016). *Nat persen*. Opgeroepen op Februari 16, 2016, van Vereniging Kunststof Composieten Nederland: <http://www.vkcn.nl/over-composieten/verwerkingstechnieken/nat-persen>

- Vereniging Kunststof Composieten Nederland. (2016). *Pultrusie*. Opgeroepen op Maart 8, 2016, van Vereniging Kunststof Composieten Nederland: <http://www.vkcn.nl/over-composieten/verwerkingstechnieken/pultrusie>
- Vereniging Kunststof Composieten Nederland. (2016). *Reaction Injection Moulding*. Opgeroepen op Februari 15, 2016, van Vereniging Kunststof Composieten Nederland: <http://www.vkcn.nl/over-composieten/verwerkingstechnieken/reaction-injection-moulding>
- Vereniging Kunststof Composieten Nederland. (2016). *SMC/BMC*. Opgeroepen op Februari 16, 2016, van Vereniging Kunststof Composieten Nederland: <http://www.vkcn.nl/over-composieten/verwerkingstechnieken/smc-bmc>
- Vereniging Kunststof Composieten Nederland. (2016). *Vezelspuiten*. Opgeroepen op Februari 15, 2016, van Vereniging Kunststof Composieten Nederland: <http://www.vkcn.nl/over-composieten/verwerkingstechnieken/vezelspuiten>
- Vereniging Kunststof Composieten Nederland. (2016). *Wikkelen*. Opgeroepen op Maart 29, 2016, van Vereniging Kunststof Composieten Nederland: <http://www.vkcn.nl/over-composieten/verwerkingstechnieken/wikkelen>
- Wegman, T. (2012, November 15). *Composiet: de doorbraak komt eraan*. Opgeroepen op November 11, 2015, van Overruimte: <http://www.overruimte.nl/2012/composiet/>
- Zwick Roell. (2016). *Testing machines*. Opgeroepen op April 13, 2016, van Zwick Roell: <http://www.zwick.com/en/products/static-materials-testing-machines/high-capacity-machines-330-2000-kn/e-series-from-330-to-2000-kn.html>

I. Bijlage 1

Bedrijfsbezoeken

Bezoek Thermo Plastic composite Research Center

Het TPRC, thermo plastic composite research center, is een onderzoeks- en ontwikkelingscentrum dat zich richt op de productiemethoden van composieten, voornamelijk voor de auto- en de vliegtuigindustrie. Bij TPRC worden innovatieve productiemethoden getest. Er worden van geweven doeken platen gemaakt, niet alleen platte platen maar ook in verschillende 3D vormen. Een voorbeeld hiervan is een bolvormige plaat. Van deze platen worden verschillende eigenschappen getest, zoals de treksterkte en de luchtdichtheid.

Op dit moment zijn ze aan het experimenteren met een robot die thermoplastische tapes legt en tegelijkertijd verwarmt, waardoor deze aan een oppervlakte worden vastgemaakt.

Er wordt bij het maken van composieten veel gebruik gemaakt van weefsels: plat-, keper- of satijnbinding. Van deze drie weefsels wordt een keper het meest gebruikt. Hierbij wordt er met garens geweven, die vervolgens worden geïmpregneerd met een hars.

Er wordt ook wel gebreid, maar dit komt niet veel voor.

Bezoek Weverij TenCate

Bij de Weverij van Ten Cate wordt geweven met dobby weefmachines. De inslagdraden worden bij deze machines ingelegd door grijpers of door lucht.

De kettingdraden worden machinaal door de schachten en door het riet gehaald. Dit wordt gedaan doormiddel van een weefschema, dat is ingevoerd in de machine. Als het riet klaar is, worden de kettingdraden vastgemaakt aan de kettingboom. Dit wordt gedaan door de garens van het riet en de garens van de kettingboom aan elkaar vast te knopen, ook dit wordt machinaal gedaan.

Het weefpatroon wordt ingesteld in de weefmachine, zo weet de machine wanneer de schachten op en neer moeten gaan. Als een kettingdraad breekt tijdens het weven, wordt de machine automatisch stil gezet. Dit voorkomt dat het hele doek weggegooid moet worden. Ook hebben sommige weefmachines een camera die fouten in het doek detecteren, na te veel fouten stopt de machine ook automatisch. Bij Ten Cate worden doeken geproduceerd voor eigen producten.

Tijdens het bezoek is er door een machinebeheerder als advies gegeven dat voor het weven met tapes is de beste mogelijkheid is om de inslag in te leggen doormiddel van grijpers, de tapes zijn te glad en te zwaar om te verplaatsen doormiddel van lucht.

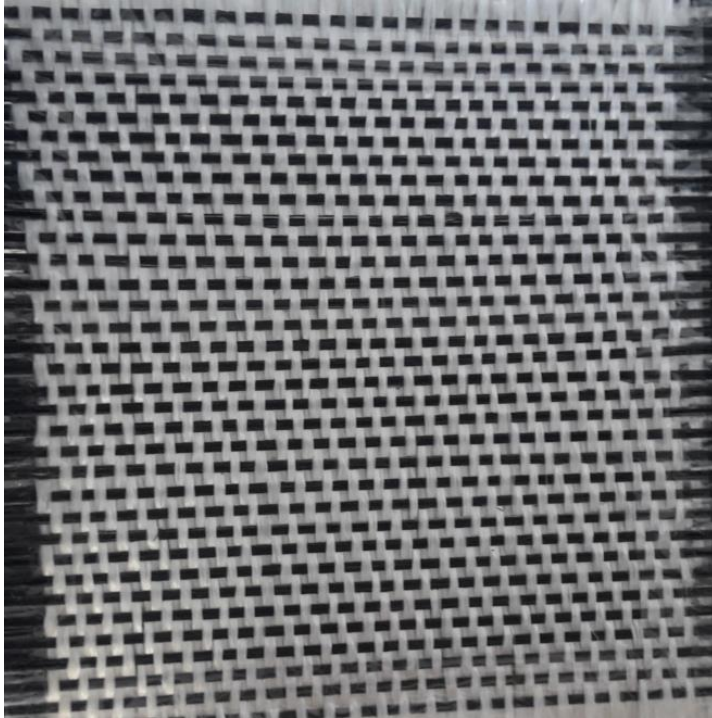
Voor de kettingdraden is het belangrijk om deze eerst voor te wikkelen, dit is nodig om het afrollen van de tapes te voorkomen. Op deze manier blijven de kettingdraden gewoon recht.

II. Bijlage 2

Foto's matten

Pp/glas

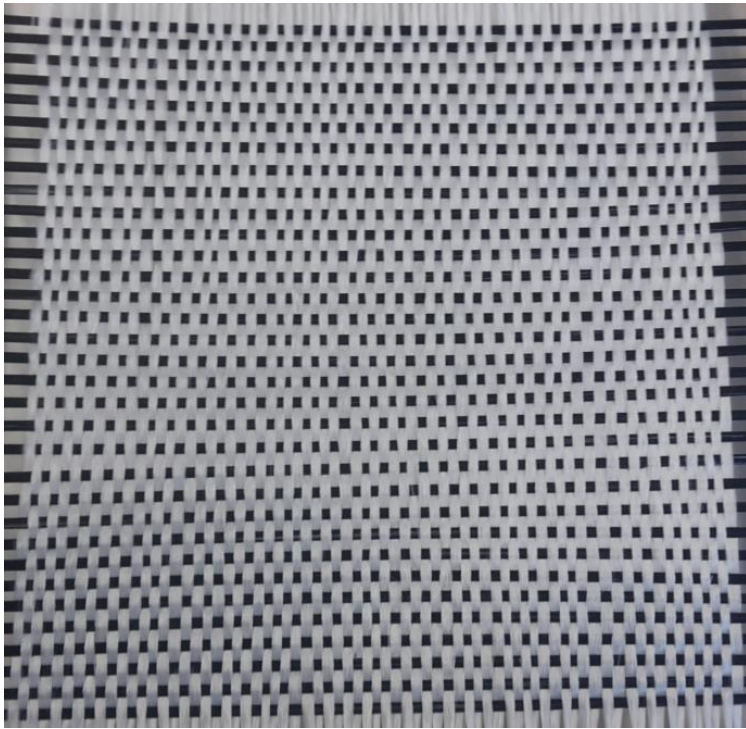
Keper



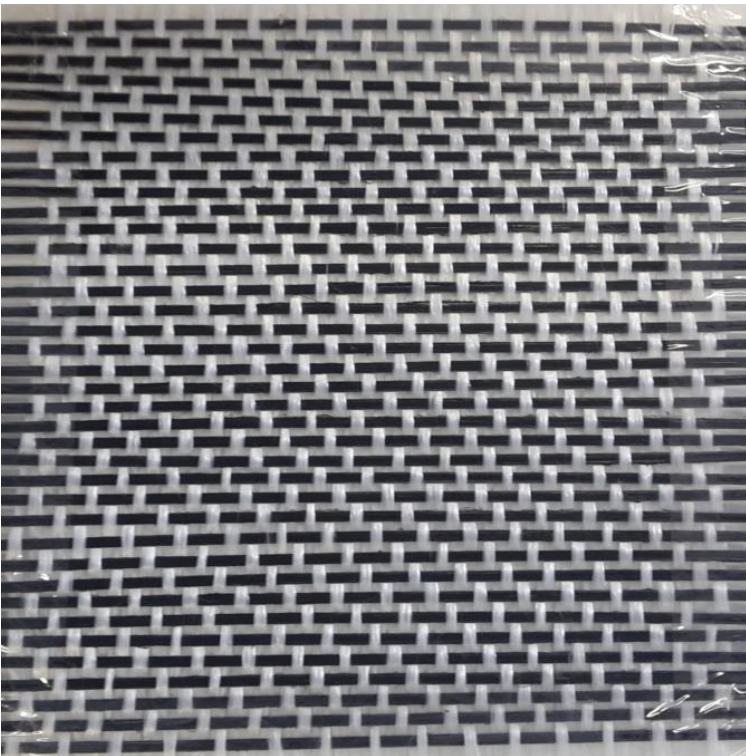
MD



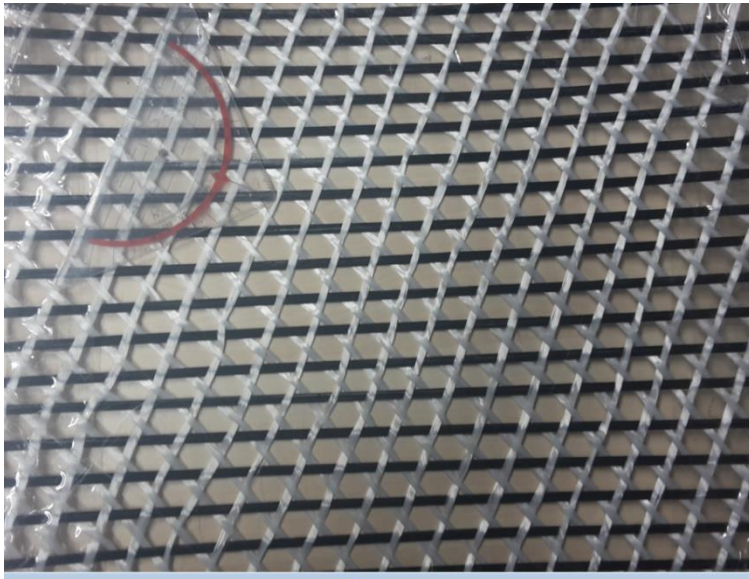
Plat



Satijn

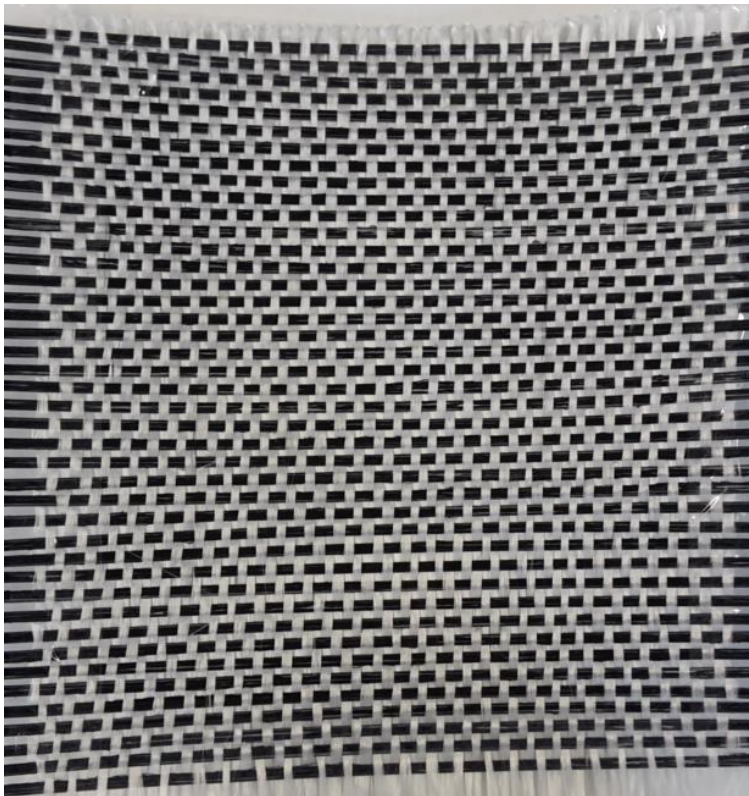


Tri-axiaal



Glas

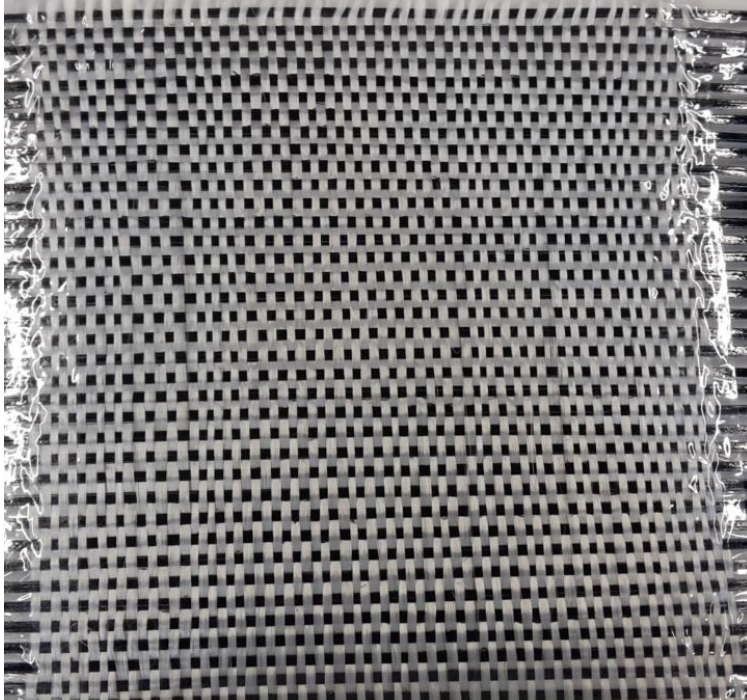
Keper



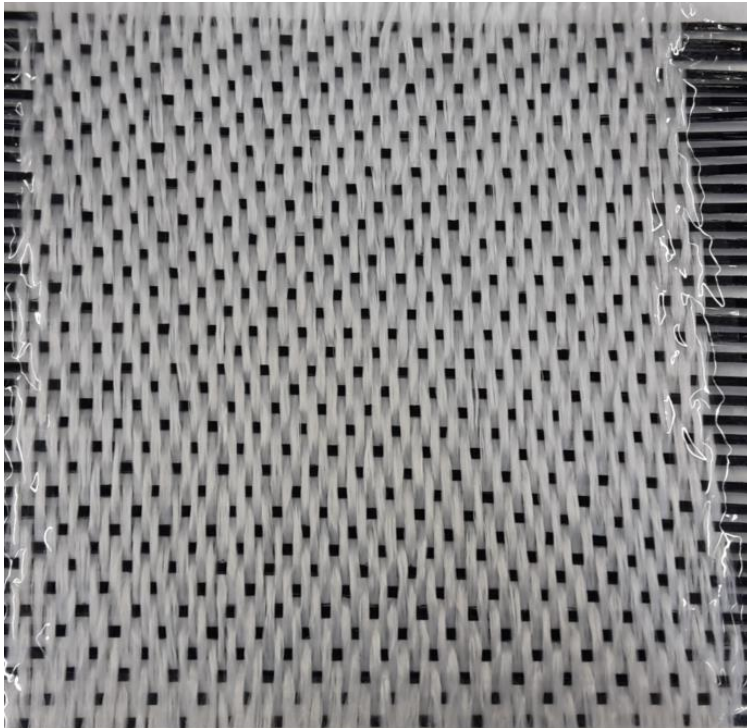
MD



Plat



Satijn

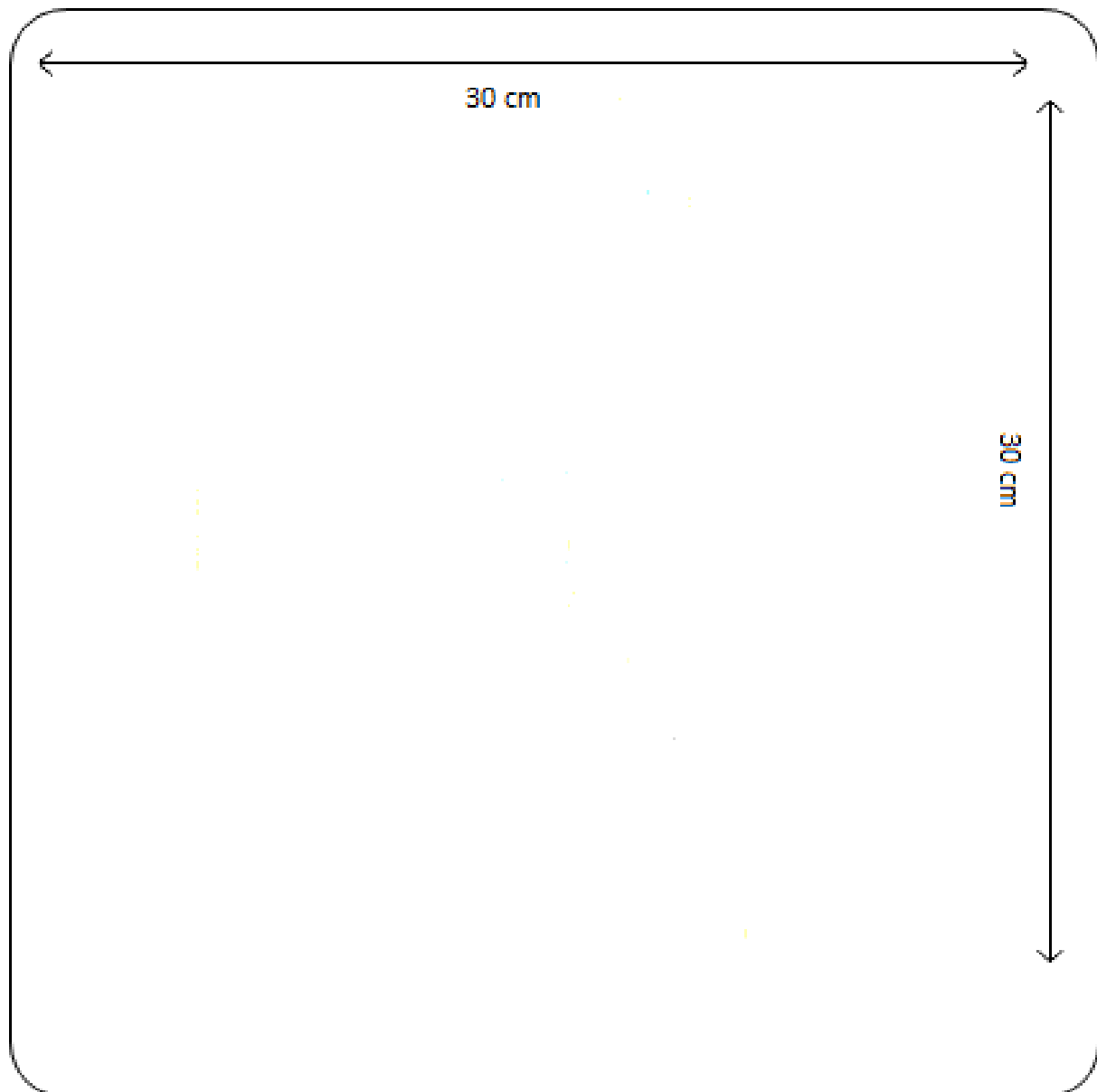


Tri-axiaal



III. Bijlage 3

Sjabloon laser



IV. Bijlage 4

Formuleblad dikte platen

Berekening volume plaat:

Formule:

$$A_p = l * b * h$$

Gegevens:

- A_p = Volume plaat (mm³)
- l = Lengte (mm)
- b = Breedte (mm)
- h = Hoogte (mm)

Berekening volume tape:

Formule:

$$A_t = l * b * h$$

Gegevens:

- A_t = Volume tape (mm³)
- l = Lengte (mm)
- b = Breedte (mm)
- h = Hoogte (mm)

Berekening volume garen:

Formule:

$$A_g = \frac{\pi}{4} * \emptyset^2 * l$$

Gegevens:

- A_g = Volume garen (mm³)
- l = Lengte (mm)
- π = Pi
- $\emptyset^2$ = diameter garen (mm)

Berekening dichtheid materiaal

Formule:

$$\rho = \frac{m}{A}$$

Gegevens:

- ρ = Dichtheid materiaal (gr/mm³)
- m = Massa (gr)
- A = Oppervlakte (mm³)

Berekening benodigd gewicht

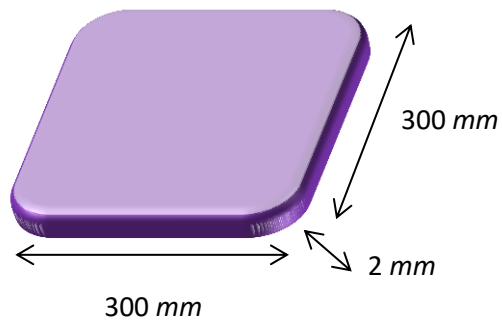
Formule:

$$G = A_p * \rho$$

Gegevens:

- G= Gewicht (gr)
- A= Volume (mm³)
- ρ = dichtheid materiaal (gr/mm³)

Uitwerking volume plaat



Formule:

$$A_p = l * b * h$$

Gegevens:

- $A = ? \text{ mm}^3$
- $l = 300 \text{ mm}$
- $b = 300 \text{ mm}$
- $h = 2 \text{ mm}$

Invullen van de formule:

$$A = 300 * 300 * 2$$

$$A = 180000 \text{ mm}^3$$

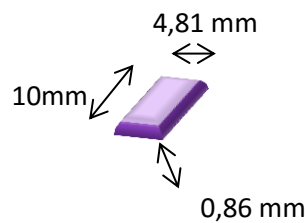
Uitwerking volume tape

Formule:

$$A_t = l * b * h$$

Gegevens:

- $A_t = ? \text{ mm}^3$
- $l = 10 \text{ mm}$
- $b = 4,81 \text{ mm}$
- $h = 0,86 \text{ mm}$



Invullen van de formule:

$$A_t = 10 * 4,81 * 0,86$$

$$A_t = 41,366 \text{ mm}^3$$

Uitwerking dichtheid materiaal

Formule:

$$\rho = \frac{m}{A}$$

Gegevens:

- $\rho = ? \text{ gr/mm}^3$
- $m = 0,04 \text{ gr}$
- $A = 41,366 \text{ mm}^3$

Invullen :

$$\rho = \frac{0,04}{41,366}$$

$$\rho = 9,669 * 10^{-4} \text{ mm}^3$$

Uitwerking benodigd gewicht:

Formule:

$$G = A_p * \rho$$

Gegevens:

- $G = ? \text{ gr}$
- $A_p = 270000 \text{ mm}^3$
- $\rho = 9,669 * 10^2 \text{ gr/mm}^3$

Invullen formule:

$$G = 9,669 * 10^{-4} * 180000$$

$$G = 174,04 \text{ gr}$$

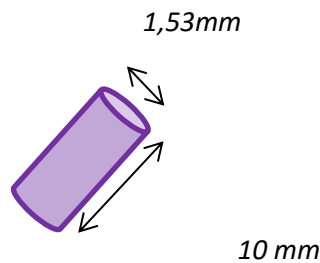
Uitwerking volume pp/glasgaren

Formule:

$$A_g = \frac{\pi}{4} * \emptyset^2 * l$$

Gegevens:

- $A_g = ? \text{ mm}^3$
- $l = 10 \text{ mm}$
- $\pi = \text{Pi}$
- $\emptyset^2 = 1,53 \text{ mm}$



Invullen formule:

$$A_g = \frac{\pi}{4} * 1,53^2 * 10$$

$$A_g = 18,3853 \text{ mm}^3$$

Uitwerking dichtheid materiaal

Formule:

$$\rho = \frac{m}{A}$$

Gegevens:

- $\rho = ? \text{ gr/mm}^3$
- $m = 0,0187 \text{ gr}$
- $A = 18,3853 \text{ mm}^3$

Invullen formule:

$$\rho = \frac{0,0187}{18,3853}$$

$$\rho = 0,001017 \text{ gr/mm}^3$$

Uitwerking benodigd gewicht

Formule:

$$G = A_p * \rho$$

Gegevens:

- $G = ? \text{ gr}$
- $A_p = (\text{mm}^3)$
- $\rho = \text{dichtheid materiaal (gr/mm}^3\text{)}$

Gewicht garen:

$$0,0187 \text{ gr/cm}$$

Dichtheid materiaal:

$$\frac{\pi}{4} 1,53^2 * 10 = 18,3853 \text{ mm}^3$$

Gewicht per mm³:

$$0,0187 \div 18,3853 = 0,001017 \text{ gr/mm}^3$$

Plat

Hoeveelheid tape in een plaat:

$$180000 * 0,31 = 55800 \text{ mm}^3$$

Hoeveelheid garens in een plaat:

$$180000 * 0,69 = 124200 \text{ mm}^3$$

Benodigd gewicht garen:

$$0,001017 * 124200 = 126,311 \text{ gr}$$

Benodigd gewicht tape:

$$9,669 * 10^{-4} * 55800 = 53,953 \text{ gr}$$

Benodigd gewicht plaat:

$$126,311 + 53,953 = 180,264 \text{ gr}$$

Satijn

Hoeveelheid tape in een plaat:

$$180000 * 0,337 = 60660 \text{ mm}^3$$

Hoeveelheid garens in een plaat:

$$180000 * 0,663 = 119340 \text{ mm}^3$$

Benodigd gewicht garen:

$$0,001017 * 119340 = 121,368 \text{ gr}$$

Benodigd gewicht tape:

$$9,669 * 10^{-4} * 60660 = 58,652 \text{ gr}$$

Benodigd gewicht plaat:

$$121,368 + 58,652 = 180,02 \text{ gr}$$

Keper

Hoeveelheid tape in een plaat:

$$180000 * 0,314 = 56520 \text{ mm}^3$$

Hoeveelheid garens in een plaat:

$$180000 * 0,686 = 123480 \text{ mm}^3$$

Benodigd gewicht garen:

$$0,001017 * 123480 = 125,579 \text{ gr}$$

Benodigd gewicht tape:

$$9,669 * 10^{-4} * 56520 = 54,649 \text{ gr}$$

Benodigd gewicht plaat:

$$125,579 + 54,649 = 180,198 \text{ gr}$$

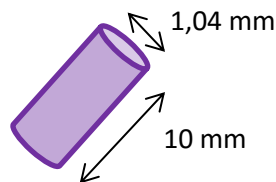
Benodigd gewicht plaat met glasgarens en thermoplastisch tape

Gewicht garen:

$$0,0120 \text{ gr/cm}$$

Dichtheid materiaal:

$$\frac{\pi}{4} 1,04^2 * 10 = 8,49 \text{ mm}^3$$



Gewicht per mm³:

$$0,0120 \div 8,49 = 0,001413 \text{ gr/mm}^3$$

Plat

Hoeveelheid tape in een plaat:

$$180000 * 0,33 = 59400 \text{ mm}^3$$

Hoeveelheid garens in een plaat:

$$180000 * 0,67 = 120600 \text{ mm}^3$$

Benodigd gewicht garen:

$$0,001413 * 120600 = 170,40 \text{ gr}$$

Benodigd gewicht tape:

$$9,669 * 10^{-4} * 59400 = 57,43 \text{ gr}$$

Benodigd gewicht plaat:

$$170,40 + 57,43 = 227,83 \text{ gr}$$

Satijn

Hoeveelheid tape in een plaat:

$$180000 * 0,32,5 = 58500 \text{ mm}^3$$

Hoeveelheid garens in een plaat:

$$180000 * 0,67,5 = 121500 \text{ mm}^3$$

Benodigd gewicht garen:

$$0,001413 * 121500 = 171,67 \text{ gr}$$

Benodigd gewicht tape:

$$9,669 * 10^{-4} * 58500 = 56,563 \text{ gr}$$

Benodigd gewicht plaat:

$$171,67 + 56,563 = 228,233 \text{ gr}$$

Keper

Hoeveelheid tape in een plaat:

$$180000 * 0,352 = 63360 \text{ mm}^3$$

Hoeveelheid garens in een plaat:

$$180000 * 0,64,8 = 116640 \text{ mm}^3$$

Benodigd gewicht garen:

$$0,001413 * 116640 = 164,81 \text{ gr}$$

Benodigd gewicht tape:

$$9,669 * 10^{-4} * 63360 = 61,62 \text{ gr}$$

Benodigd gewicht plaat:

$$164,81 + 61,26 = 226,07 \text{ gr}$$

V. Bijlage 5

Foto's geperste platen

Pp/glas

Keper



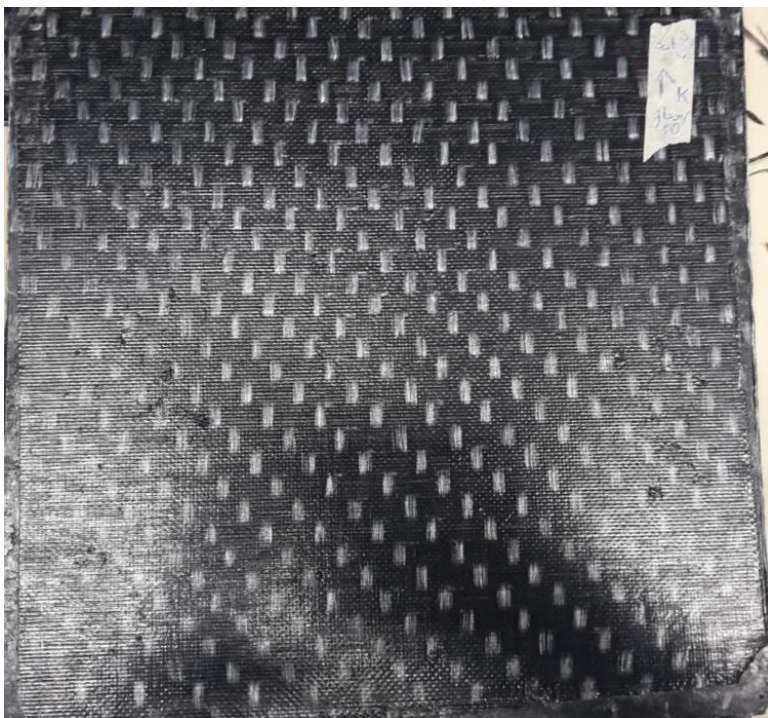
MD



Plat



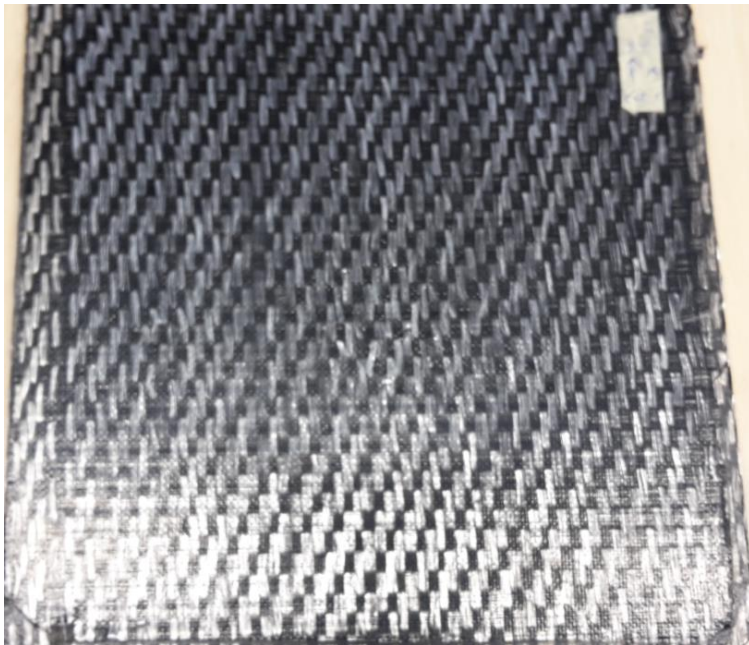
Satijn



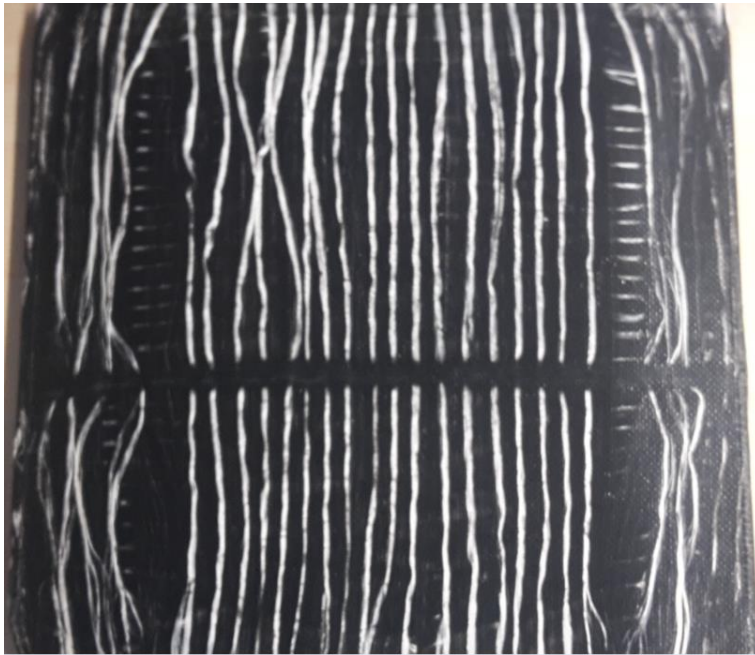
Tri-axiaal



*Glas
Keper*



MD



Plat



Satijn



Tri-axiaal



VII. Bijlage 7

Formuleblad theoretische waardes

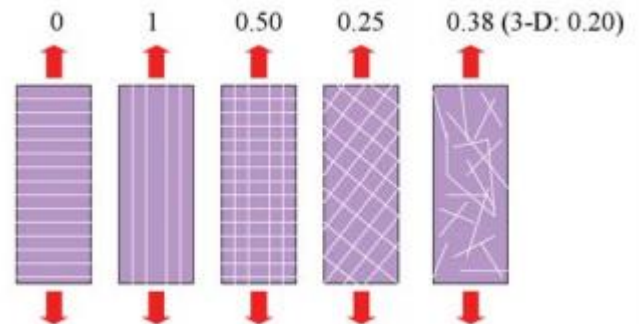
Berekenen van de Stijfheid:

Formule:

$$E_c = \eta * (V_f * E_f) + (V_m * E_m)$$

Gegevens:

- E_c = Elasticiteitsmodulus composiet (GPa)
- η = Fiber efficiency factor
- V_f = Volume fractie vezel (%)
- E_f = Elasticiteitsmodulus vezel (GPa)
- V_m = Volume fractie matrix (%)
- E_m = Elasticiteitsmodulus matrix (GPa)



Berekenen van de Spanning :

Formule:

$$\sigma = \eta * (V_f * \sigma_f) + (V_m * \sigma_m)$$

Gegevens:

- σ = Spanning (N/mm²)
- η = Fiber efficiency factor (%)
- V_f = Volume fractie vezel (%)
- σ_f = Spanning vezel (MPa)
- V_m = Volume fractie matrix (%)
- σ_m = Spanning matrix (MPa)

Berekenen van de kracht:

Formule:

$$F = A * \sigma$$

Gegevens:

- F = Kracht (N)
- A = Oppervlakte sample (mm²)
- σ = Spanning (N/mm²)

Uitwerking stijfheid van de composiet:

PP/Glas:

Formule:

$$E_c = \eta * (V_f * E_f) + (V_m * E_m)$$

Gegevens:

- $E_c = ?$ GPA
- $\eta = 50\% = 0,5$ ($0^\circ/90^\circ$ vezeloriëntatie)
- $V_f = 30\% = 0,30$
- $E_f = 70$ GPa
- $V_m = 70\% = 0,70$
- $E_m = 1$ GPa

Invullen van de formule:

$$E_c = 0,5 * (0,30 * 70) + (0,70 * 1)$$

$$E_c = 11,2 \text{ GPa}$$

Glas:

Formule:

$$E_c = \eta * (V_f * E_f) + (V_m * E_m)$$

Gegevens:

- $E_c = ?$ GPA
- $\eta = 50\% = 0,5$ ($0^\circ/90^\circ$ vezeloriëntatie)
- $V_f = 100\% = 1$
- $E_f = 70$ GPa
- $V_m = 0$
- $E_m = 0$

Invullen van de formule:

$$E_c = 0,5 * (1 * 70) + (0 * 0)$$

$$E_c = 35 \text{ GPa}$$

MD glas:

Formule:

$$E_c = 0,5 * \eta * (V_f * E_f) + (V_m * E_m) + 0,5 * \eta * (V_f * E_f) + (V_m * E_m)$$

Gegevens:

- 0,5 = De helft van de garens is glas, andere helft tape
- $E_c = ?$ GPA
- $\eta = 50\% = 0,5$ ($0^\circ/90^\circ$ vezeloriëntatie)
- $V_f = 30\% = 0,3$ (eerste reeks)
- $E_f = 70$ GPa (eerste reeks)
- $V_f = 100\% = 1$ (tweede reeks)
- $E_f = 70$ GPa (tweede reeks)
- $V_m = 70\% = 0,70$ (eerste reeks)
- $E_m = 1$ GPa (eerst reeks)
- $V_m = 0$ (tweede reeks)
- $E_m = 0$ (tweede reeks)

Uitwerking van de maximale spanning :

PP/glas

Formule:

$$\sigma = \eta * (V_f * \sigma_f) + (V_m * \sigma_m)$$

Gegevens:

- $\sigma = ? \text{ N/mm}^2$
- $\eta = 50\% = 0,5$ ($0^\circ/90^\circ$ vezeloriëntatie)
- $V_f = 30\% = 0,3$
- $\sigma_f = 2000 \text{ MPa}$
- $V_m = 70\% = 0,7$
- $\sigma_m = 30 \text{ MPa}$

Invullen van de formule:

$$\sigma = 0,5 * (0,3 * 2000) + (0,7 * 30)$$

$$\sigma = 321 \text{ N/mm}^2$$

Glas

Formule:

$$\sigma = \eta * (V_f * \sigma_f) + (V_m * \sigma_m)$$

Gegevens:

- $\sigma = ? \text{ N/mm}^2$
- $\eta = 50\% = 0,5$ ($0^\circ/90^\circ$ vezeloriëntatie)
- $V_f = 100\% = 1$
- $\sigma_f = 2000 \text{ MPa}$
- $V_m = 0$
- $\sigma_m = 0$

Invullen van de formule:

$$\sigma = 0,5 * (1 * 2000) + (0 * 0)$$

$$\sigma = 1000 \text{ N/mm}^2$$

MD glas:

Formule:

$$\sigma = 0,5 * \underset{\text{Tape}}{\eta} * (V_f * \sigma_f) + (V_m * \sigma_m) + 0,5 * \underset{\text{Glas}}{\eta} * (V_f * \sigma_f) + (V_m * \sigma_m)$$

Gegevens:

- $\sigma = ? \text{ N/mm}^2$
- $\eta = 50\% = 0,5$ ($0^\circ/90^\circ$ vezeloriëntatie)
- $V_f = 30\% = 0,3$
- $\sigma_f = 2000 \text{ MPa}$ (eerste reeks)
- $V_f = 100\% = 1$ (tweede reeks)
- $\sigma_f = 2000 \text{ MPa}$ (tweede reeks)
- $V_m = 70\% = 0,7$ (eerste reeks)
- $\sigma_m = 30 \text{ MPa}$ (eerste reeks)
- $V_m = 0$ (tweede reeks)
- $\sigma_m = 0$ (tweede reeks)

Invullen van de formule:

$$\sigma = 0,5 * 0,5 * (0,3 * 2000) + (0,7 * 30) + 0,5 * 0,5 * (1 * 2000) + (0 * 0)$$

$$\sigma = 515 \text{ N/mm}^2$$

Tri-axiaal PP/glas

Formule:

$$\sigma = \eta * (V_f * \sigma_f) + (V_m * \sigma_m)$$

Gegevens:

- $\sigma = ? \text{ N/mm}^2$
- $\eta = (0,0625 * \frac{2}{3} + 1 * \frac{1}{3}) = 0,37$ (+60°/90°/-60° vezeloriëntatie)
- $V_f = 30\% = 0,30$
- $\sigma_f = 2000 \text{ MPa}$
- $V_m = 70\% = 0,70$
- $\sigma_m = 30 \text{ MPa}$

Invullen van de formule:

$$\sigma = 0,37 * (0,30 * 2000) + (0,70 * 30)$$

$$\sigma = 243 \text{ N/mm}^2$$

Tri-axiaal Glas

Formule:

$$\sigma = \eta * (V_f * \sigma_f) + (V_m * \sigma_m)$$

Gegevens:

- $\sigma = ? \text{ N/mm}^2$
- $\eta = (0,0625 * \frac{2}{3} + 1 * \frac{1}{3}) = 0,37$ (+60°/90°/-60° vezeloriëntatie)
- $V_f = 100\% = 1$
- $\sigma_f = 2000 \text{ MPa}$
- $V_m = 0$
- $\sigma_m = 0$

Invullen van de formule:

$$\sigma = 0,37 * (1 * 2000) + (0 * 0)$$

$$\sigma = 740 \text{ N/mm}^2$$

Uitwerking van kracht:

PP/Glas:

Formule:

$$F = A \cdot \sigma$$

Gegevens:

- $F = ? \text{ N}$
- $A = 2,106 \text{ mm} \cdot 25,046 \text{ mm}$ (dikte * breedte)
- $\sigma = 321 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

Invullen van de formule:

$$F = 2,106 \cdot 24,046 \cdot 321$$

$$F = 16931,75 \text{ N}$$

Glas:

Formule:

$$F = A \cdot \sigma$$

Gegevens:

- $F = ? \text{ N}$
- $A = 1,672 \text{ mm} \cdot 24,754 \text{ mm}$ (dikte * breedte)
- $\sigma = 1000 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

Invullen van de formule:

$$F = 1,672 \cdot 24,754 \cdot 1000$$

$$F = 41388,69 \text{ N}$$

MD glas

Formule:

$$F = A \cdot \sigma$$

Gegevens:

- $F = ? \text{ N}$
- $A = 1,474 \text{ mm} \cdot 24,960 \text{ mm}$ (dikte * breedte)
- $\sigma = 515 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

Invullen van de formule:

$$F = 1,474 \cdot 24,960 \cdot 515$$

$$F = 18947,39 \text{ N}$$

Tri-axiaal PP/Glas:

Formule:

$$F = A \cdot \sigma$$

Gegevens:

- $F = ? \text{ N}$
- $A = 1,228 \text{ mm} \cdot 25,438 \text{ mm}$ (dikte * breedte)
- $\sigma = 441 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

Invullen van de formule:

$$F = 1,228 * 25,438 * 441$$

$$F = 13775,90 \text{ N}$$

Tri-axiaal glas:

Formule:

$$F = A * \sigma$$

Gegevens:

- $F = ? \text{ N}$
- $A = 0,988 \text{ mm} * 24,420 \text{ mm}$ (dikte * breedte)
- $\sigma = 740 \text{ (N/mm}^2\text{)}$

Invullen van de formule:

$$F = 0,988 * 24,420 * 740$$

$$F = 17853,95 \text{ N}$$

VIII. Bijlage 8

Testresultaten treksterkte

PP/glas

Keper

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Kracht @ Piek (N)	Theoretische kracht (N)	Treksterkte (N/mm ²)	Theoretische treksterkte (N/mm ²)	Youngs Modulus (N/mm ²)	Theoretische Youngs Modulus (N/mm ²)
1	25,10	2,03	10675,00	16355,91	209,51	321,00	4759,97	11200,00
2	24,70	2,00	9763,00	15857,40	197,63	321,00	5038,73	11200,00
3	24,53	1,93	9963,00	15197,07	210,44	321,00	5440,85	11200,00
4	25,47	2,30	9034,00	18804,50	154,21	321,00	4516,51	11200,00
5	25,43	2,27	10995,00	18530,08	190,47	321,00	4327,45	11200,00
Min	24,53	1,93	9034,00	15197,07	154,21	321,00	4327,45	11200,00
Gemiddelde	25,05	2,11	10086,00	16931,75	192,45	321,00	4816,70	11200,00
Max.	25,47	2,30	10995,00	18804,50	210,44	321,00	5440,85	11200,00
Standaard Deviatie	0,42	0,17	774,49	1624,45	22,95	0,00	439,19	0,00

MD

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Kracht @ Piek (N)	Theoretische kracht (N)	Treksterkte (N/mm ²)	Theoretische treksterkte (N/mm ²)	Youngs Modulus (N/mm ²)	Theoretische Youngs Modulus (N/mm ²)
1	24,50	1,63	5790,00	12819,14	144,99	321,00	4139,78	11200,00
2	24,53	1,43	8487,00	11260,01	241,95	321,00	7398,16	11200,00
3	24,47	1,40	9342,00	10996,82	272,70	321,00	7643,23	11200,00
4	24,47	1,53	9431,00	12017,95	251,90	321,00	6825,70	11200,00
5	24,60	1,33	9202,00	10502,48	281,25	321,00	7795,60	11200,00
Min	24,47	1,33	5790,00	10502,48	144,99	321,00	4139,78	11200,00
Gemiddelde	24,51	1,46	8450,40	11520,21	238,56	321,00	7415,67	11200,00
Max.	24,60	1,63	9431,00	12819,14	281,25	321,00	7795,60	11200,00
Standaard Deviatie	0,05	0,12	1533,01	910,00	54,62	0,00	1510,77	0,00

Plat

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Kracht @ Piek (N)	Theoretische kracht (N)	Treksterkte (N/mm ²)	Theoretische treksterkte (N/mm ²)	Youngs Modulus (N/mm ²)	Theoretische Youngs Modulus (N/mm ²)
1	25,27	2,00	8457	16223,34	167,33	321,00	4519,48	11200,00
2	26,83	2,05	10434	17655,48	189,70	321,00	4790,77	11200,00
3	25,10	1,98	9565	15953,06	192,46	321,00	5053,82	11200,00
4	26,30	1,93	8481	16293,64	167,08	321,00	4760,55	11200,00
5	25,27	1,90	9311	15412,17	193,93	321,00	5062,89	11200,00
Min	25,10	1,90	8457	15308,49	167,08	321,00	4519,48	11200,00
Gemiddelde	25,75	1,97	9249,6	16302,59	182,10	321,00	4837,50	11200,00
Max.	26,83	2,05	10434	17655,48	193,93	321,00	5062,89	11200,00
Standaard Deviat	0,77	0,06	825,38	829,39	13,68	0,00	227,39	0,00

Satijn

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Kracht @ Piek (N)	Theoretische kracht (N)	Treksterkte (N/mm ²)	Theoretische treksterkte (N/mm ²)	Youngs Modulus (N/mm ²)	Theoretische Youngs Modulus (N/mm ²)
1	25,67	2,13	11496,00	17551,35	210,25	321,00	5192,14	11200,00
2	24,80	2,10	11794,00	16717,68	226,46	321,00	5447,07	11200,00
3	24,90	2,10	9786,00	16785,09	187,15	321,00	4967,19	11200,00
4	24,83	2,08	11650,00	16578,49	225,57	321,00	5425,85	11200,00
5	24,90	2,08	11745,00	16625,23	226,77	321,00	5656,37	11200,00
Min	24,80	2,08	9786,00	16578,49	187,15	321,00	4967,19	11200,00
Gemiddelde	25,02	2,10	11294,20	16851,57	215,24	321,00	5337,72	11200,00
Max.	25,67	2,13	11794,00	17551,35	226,77	321,00	5656,37	11200,00
Standaard Deviat	0,37	0,02	850,74	399,32	17,17	0,00	264,46	0,00

Tri-axiaal

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Kracht @ Piek (N)	Theoretische kracht (N)	Treksterkte (N/mm ²)	Theoretische treksterkte (N/mm ²)	Youngs Modulus (N/mm ²)	Theoretische Youngs Modulus (N/mm ²)
1	24,48	1,50	1246,80	16193,52	33,95	243,00	831,49	8490,00
2	25,77	1,20	3032,00	13637,48	98,05	243,00	2822,62	8490,00
3	25,77	1,17	4507,00	13296,55	149,48	243,00	3172,91	8490,00
4	25,50	1,10	2904,00	12370,05	103,53	243,00	3094,68	8490,00
5	25,67	1,17	3567,00	13244,95	118,77	243,00	3066,55	8490,00
Min	24,48	1,10	1246,80	11875,25	33,54	243,00	831,49	8490,00
Gemiddelde	25,44	1,23	3051,36	13775,90	100,76	243,00	2597,65	8490,00
Max.	25,77	1,50	4507,00	17046,86	149,48	243,00	3172,91	8490,00
Standaard Deviat	0,55	0,16	1189,88	1444,68	42,36	0,00	995,96	0,00



Glas Keper

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Kracht @ Piek (N)	Theoretische kracht (N)	Treksterkte (N/mm ²)	Theoretische treksterkte (N/mm ²)	Youngs Modulus (N/mm ²)	Theoretische Youngs Modulus (N/mm ²)
1	24,90	1,60	7690,00	18198,91	193,02	456,80	5395,98	15960,00
2	24,70	1,70	6992,00	19181,03	166,52	456,80	5925,79	15960,00
3	24,70	1,70	7084,00	19181,03	168,71	456,80	5896,44	15960,00
4	24,80	1,73	8652,00	19598,55	201,66	456,80	5663,05	15960,00
5	24,67	1,63	8535,00	18368,89	212,25	456,80	6317,66	15960,00
Min	24,67	1,60	6992,00	18030,81	166,52	456,80	5395,98	15960,00
Gemiddelde	24,75	1,67	7790,60	18906,35	188,43	456,80	5839,78	15960,00
Max.	24,90	1,73	8652,00	19677,57	212,25	456,80	6317,66	15960,00
Standaard Deviatie	0,10	0,05	781,55	595,69	20,20	0,00	341,75	0,00

MD

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Kracht @ Piek (N)	Theoretische kracht (N)	Treksterkte (N/mm ²)	Theoretische treksterkte (N/mm ²)	Youngs Modulus (N/mm ²)	Theoretische Youngs Modulus (N/mm ²)
1	24,97	1,63	4929,20	20961,07	121,11	388,90	3459,83	13580,00
2	25,00	1,67	4244,40	21501,25	101,66	388,90	5436,95	13580,00
3	25,03	1,33	10727,00	17144,30	322,23	388,90	8522,14	13580,00
4	24,83	1,40	9792,00	17902,43	281,69	388,90	7550,49	13580,00
5	24,97	1,34	8628,00	17231,80	257,86	388,90	7678,41	13580,00
Min	24,83	1,33	4244,40	17144,30	101,66	388,90	3459,83	13580,00
Gemiddelde	24,96	1,47	7664,12	18948,17	216,91	388,90	6529,56	13580,00
Max.	25,03	1,67	10727,00	21501,25	322,23	388,90	8522,14	13580,00
Standaard Deviatie	0,08	0,16	2916,01	2113,26	99,28	0,00	2058,49	0,00

Plat

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Kracht @ Piek (N)	Theoretische kracht (N)	Treksterkte (N/mm ²)	Theoretische treksterkte (N/mm ²)	Youngs Modulus (N/mm ²)	Theoretische Youngs Modulus (N/mm ²)
1	24,70	1,60	6992,00	39520,00	176,92	456,80	5857,80	15960,00
2	24,73	1,70	6965,00	42041,00	165,67	456,80	5498,50	15960,00
3	24,90	1,70	8030,00	42330,00	189,70	456,80	5662,93	15960,00
4	25,00	1,67	7845,00	41750,00	187,90	456,80	5776,31	15960,00
5	24,67	1,67	8725,00	41198,90	211,78	456,80	5973,30	15960,00
Min	24,67	1,60	6965,00	39520,00	165,67	456,80	5498,50	15960,00
Gemiddelde	24,80	1,67	7711,40	41367,98	186,40	456,80	5753,77	15960,00
Max.	25,00	1,70	8725,00	42330,00	211,78	456,80	5973,30	15960,00
Standaard Deviatie	0,14	0,04	745,22	1114,45	17,15	0,00	182,30	0,00

Satijn

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Kracht @ Piek (N)	Theoretische kracht (N)	Treksterkte (N/mm ²)	Theoretische treksterkte (N/mm ²)	Youngs Modulus (N/mm ²)	Theoretische Youngs Modulus (N/mm ²)
1	24,67	1,77	8649,00	43665,90	198,07	456,80	6073,20	15960,00
2	24,80	1,73	9200,00	42904,00	214,43	456,80	6677,03	15960,00
3	24,50	1,73	9663,00	42385,00	227,98	456,80	6939,95	15960,00
4	25,00	1,77	8628,00	44250,00	194,98	456,80	6474,21	15960,00
5	24,87	1,77	8531,00	44019,90	193,80	456,80	6377,86	15960,00
Min	24,50	1,73	8531,00	42385,00	193,80	456,80	6073,20	15960,00
Gemiddelde	24,77	1,75	8934,20	43443,07	205,85	456,80	6508,45	15960,00
Max.	25,00	1,77	9663,00	44250,00	227,98	456,80	6939,95	15960,00
Standaard Deviatie	0,19	0,02	484,63	781,60	14,89	0,00	324,92	0,00

Tri-axiaal

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Kracht @ Piek (N)	Theoretische kracht (N)	Treksterkte (N/mm ²)	Theoretische treksterkte (N/mm ²)	Youngs Modulus (N/mm ²)	Theoretische Youngs Modulus (N/mm ²)
1	24,50	1,00	1258,10	18130,00	51,35	342,40	1976,30	11960,00
2	24,13	1,00	2523,60	17856,20	104,58	342,40	4050,13	11960,00
3	24,57	1,07	1652,10	19454,53	62,84	342,40	2520,60	11960,00
4	24,33	0,97	2698,50	17464,07	114,34	342,40	3954,95	11960,00
5	24,57	0,90	1692,40	16363,62	76,53	342,40	3546,15	11960,00
Min	24,13	0,90	1258,10	16363,62	51,35	342,40	1976,30	11960,00
Gemiddelde	24,42	0,99	1964,94	17853,68	81,93	342,40	3209,63	11960,00
Max.	24,57	1,07	2698,50	19454,53	114,34	342,40	4050,13	11960,00
Standaard Deviatie	0,19	0,06	616,84	1119,28	26,89	0,00	918,02	0,00

IX. Bijlage 9

Testresultaten 3 puntsbuigproef

Pp/glas

Keper kettingrichting

Test nr.	Dikte (mm)	Breedte (mm)	Buiging Modulus (N/mm ²)	Theoretische Buiging Modulus (N/mm ²)	Buigsterkte @ Piek (N/mm ²)
1	2,20	25,57	3907,74	11200,00	56,43
2	2,21	25,29	6085,31	11200,00	161,56
3	2,11	24,78	6153,18	11200,00	154,78
4	2,19	25,22	4275,02	11200,00	121,28
5	2,17	24,90	4865,63	11200,00	130,39
Min	2,11	24,78	3907,74	11200,00	56,43
Gemiddelde	2,18	25,15	5344,79	11200,00	124,89
Max.	2,21	25,57	6153,18	11200,00	161,56
Standaard Deviatie	0,04	0,32	1028,10	0,00	41,74

Keper inslagrichting

Test nr.	Dikte (mm)	Breedte (mm)	Buiging Modulus (N/mm ²)	Theoretische Buiging Modulus (N/mm ²)	Buigsterkte @ Piek (N/mm ²)
1	1,87	25,22	7701,38	11200,00	150,83
2	1,87	25,82	7594,20	11200,00	151,31
3	1,94	25,40	6224,90	11200,00	156,16
4	1,90	24,71	7473,57	11200,00	152,82
5	1,98	24,66	7776,34	11200,00	180,73
Min	1,87	24,66	6224,90	11200,00	150,83
Gemiddelde	1,91	25,16	7354,08	11200,00	158,37
Max.	1,98	25,82	7776,34	11200,00	180,73
Standaard Deviatie	0,05	0,49	641,46	0,00	12,67

MD kepperrichting

Test nr.	Dikte (mm)	Breedte (mm)	Buiging Modulus (N/mm ²)	Theoretische Buiging Modulus (N/mm ²)	Buigsterkte @ Piek (N/mm ²)
1	1,44	24,47	12759,86	11200,00	267,71
2	1,45	24,55	11712,53	11200,00	245,62
3	1,43	24,60	12937,00	11200,00	288,88
4	1,54	24,56	12937,00	11200,00	270,4
5	1,65	24,46	4866,37	11200,00	130,11
Min	1,43	24,46	4866,37	11200,00	130,11
Gemiddelde	1,50	24,53	12586,60	11200,00	240,54
Max.	1,65	24,60	12937,00	11200,00	288,88
Standaard Deviatie	0,09	0,06	3490,02	0,00	63,62

MD inslagrichting

Test nr.	Dikte (mm)	Breedte (mm)	Buiging Modulus (N/mm ²)	Theoretische Buiging Modulus (N/mm ²)	Buigsterkte @ Piek (N/mm ²)
1	1,31	24,54	1309,83	11200,00	45,88
2	1,35	24,56	2803,53	11200,00	92,63
3	1,37	24,76	1123,59	11200,00	45,45
4	1,31	24,58	1264,56	11200,00	47,79
5	1,44	24,74	819,11	11200,00	34,62
Min	1,31	24,54	819,11	11200,00	34,62
Gemiddelde	1,36	24,64	1232,66	11200,00	53,27
Max.	1,44	24,76	2803,53	11200,00	92,63
Standaard Deviatie	0,05	0,11	772,93	0,00	22,60

Plat kettingrichting

Test nr.	Dikte (mm)	Breedte (mm)	Buiging Modulus (N/mm ²)	Theoretische Buiging Modulus (N/mm ²)	Buigsterkte @ Piek (N/mm ²)
1	1,95	25,19	7653,38	11200,00	185,35
2	1,88	26,26	8458,45	11200,00	191,29
3	1,97	26,01	7640,06	11200,00	161,56
4	1,94	25,08	8167,27	11200,00	176,27
5	1,89	24,80	9028,74	11200,00	194,79
Min	1,88	24,80	7640,06	11200,00	161,56
Gemiddelde	1,93	25,47	8189,58	11200,00	181,85
Max.	1,97	26,26	9028,74	11200,00	194,79
Standaard Deviatie	0,04	0,63	584,48	0,00	13,34

Plat inslagrichting

Test nr.	Dikte (mm)	Breedte (mm)	Buiging Modulus (N/mm ²)	Theoretische Buiging Modulus (N/mm ²)	Buigsterkte @ Piek (N/mm ²)
1	1,85	25,36	6670,69	11200,00	146,76
2	1,84	25,96	6464,52	11200,00	147,32
3	1,78	26,13	7901,06	11200,00	173,64
4	1,85	25,35	7178,00	11200,00	178,98
5	1,90	26,56	5637,64	11200,00	158,57
Min	1,78	25,35	5637,64	11200,00	146,76
Gemiddelde	1,84	25,87	6770,38	11200,00	161,05
Max.	1,90	26,56	7901,06	11200,00	178,98
Standaard Deviatie	0,04	0,52	841,31	0,00	14,82

Satijn keperrichting

Test nr.	Dikte (mm)	Breedte (mm)	Buiging Modulus (N/mm ²)	Theoretische Buiging Modulus (N/mm ²)	Buigsterkte @ Piek (N/mm ²)
1	1,97	25,07	9200,22	11200,00	227,37
2	1,94	25,16	10301,42	11200,00	237,42
3	1,99	24,88	8657,96	11200,00	232,14
4	1,99	25,01	9074,34	11200,00	237,84
5	1,96	25,15	9095,57	11200,00	253,06
Min	1,94	24,88	8657,96	11200,00	227,37
Gemiddelde	1,97	25,05	9265,90	11200,00	237,57
Max.	1,99	25,16	10301,42	11200,00	253,06
Standaard Deviatie	0,02	0,12	614,80	0,00	9,67

Satijn inslagrichting

Test nr.	Dikte (mm)	Breedte (mm)	Buiging Modulus (N/mm ²)	Theoretische Buiging Modulus (N/mm ²)	Buigsterkte @ Piek (N/mm ²)
1	2,01	25,05	8874,50	11200,00	201,93
2	1,97	25,55	9109,18	11200,00	205,61
3	1,97	25,07	8545,57	11200,00	203,08
4	1,99	24,80	8186,38	11200,00	198,19
5	1,99	24,89	9720,16	11200,00	239,47
Min	1,97	24,80	8186,38	11200,00	198,19
Gemiddelde	1,99	25,07	8887,16	11200,00	209,66
Max.	2,01	25,55	9720,16	11200,00	239,47
Standaard Deviatie	0,02	0,29	581,19	0,00	16,88

Tri-axiaal kettingrichting

Test nr.	Dikte (mm)	Breedte (mm)	Buiging Modulus (N/mm ²)	Theoretische Buiging Modulus (N/mm ²)	Buigsterkte @ Piek (N/mm ²)
1	1,10	25,01	3241,23	8490,00	67,02
2	1,14	25,36	2763,86	8490,00	70,82
3	1,18	25,55	2604,03	8490,00	65,61
4	1,27	24,63	2534,85	8490,00	70,38
5	1,19	24,64	3337,13	8490,00	71,71
Min	1,10	24,63	2534,85	8490,00	65,61
Gemiddelde	1,18	25,04	2896,22	8490,00	69,11
Max.	1,27	25,55	3337,13	8490,00	71,71
Standaard Deviatie	0,06	0,42	369,77	0,00	2,64

Tri-axiaal inslagrichting

Test nr.	Dikte (mm)	Breedte (mm)	Buiging Modulus (N/mm ²)	Theoretische Buiging Modulus (N/mm ²)	Buigsterkte @ Piek (N/mm ²)
1	1,11	24,80	3692,32	8490,00	85,42
2	1,14	24,63	4152,99	8490,00	105,53
3	1,15	25,14	7028,26	8490,00	157,36
4	1,14	25,31	5178,39	8490,00	110,54
5	1,28	24,90	2236,74	8490,00	48,83
Min	1,11	24,63	2236,74	8490,00	48,83
Gemiddelde	1,16	24,96	5012,99	8490,00	101,54
Max.	1,28	25,31	7028,26	8490,00	157,36
Standaard Deviatie	0,07	0,27	1784,55	0,00	39,53

Glas

Keper kettingrichting

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Buiging Modulus (N/mm ²)	Theoretische Buiging Modulus (N/mm ²)	Buigsterkte @ Piek (N/mm ²)
1	24,47	1,82	6662,04	15960,00	108,59
2	24,75	1,70	8207,12	15960,00	149,23
3	24,70	1,70	8408,72	15960,00	149,20
4	24,88	1,82	5991,55	15960,00	102,87
5	24,78	1,72	7940,59	15960,00	112,70
Min	24,47	1,70	5991,55	15960,00	102,87
Gemiddelde	24,72	1,75	7442,00	15960,00	124,52
Max.	24,88	1,82	8408,72	15960,00	149,23
Standaard Deviatie	0,15	0,06	1058,38	0,00	22,81

Keper inslagrichting

Test nr.	Dikte (mm)	Breedte (mm)	Buiging Modulus (N/mm ²)	Theoretische Buiging Modulus (N/mm ²)	Buigsterkte @ Piek (N/mm ²)
1	1,63	25,90	10502,95	15960,00	149,62
2	1,67	24,87	9555,91	15960,00	152,34
3	1,73	24,45	8775,68	15960,00	135,45
4	1,67	24,40	10037,94	15960,00	157,30
5	1,70	24,67	8812,24	15960,00	156,87
Min	1,63	24,40	8775,68	15960,00	135,45
Gemiddelde	1,68	24,86	9536,94	15960,00	150,32
Max.	1,73	25,90	10502,95	15960,00	157,30
Standaard Deviatie	0,04	0,61	756,51	0,00	8,90

MD kettingrichting

Test nr.	Dikte (mm)	Breedte (mm)	Buiging Modulus (N/mm ²)	Theoretische Buiging Modulus (N/mm ²)	Buigsterkte @ Piek (N/mm ²)
1	1,49	24,59	7446,00	13580,00	131,89
2	1,33	24,92	12064,45	13580,00	171,09
3	1,45	24,85	11754,80	13580,00	239,21
4	1,52	25,32	9530,94	13580,00	200,52
5	1,74	24,90	2786,71	13580,00	61,68
Min	1,33	24,59	2786,71	13580,00	61,68
Gemiddelde	1,51	24,92	11116,73	13580,00	160,88
Max.	1,74	25,32	12064,45	13580,00	239,21
Standaard Deviat	0,15	0,26	3803,94	0,00	67,99

MD inslagrichting

Test nr.	Dikte (mm)	Breedte (mm)	Buiging Modulus (N/mm ²)	Theoretische Buiging Modulus (N/mm ²)	Buigsterkte @ Piek (N/mm ²)
1	1,33	25,15	1067,06	13580,00	40,87
2	1,36	24,98	1067,06	13580,00	43,24
3	1,31	25,21	1718,52	13580,00	55,48
4	1,32	24,61	1808,82	13580,00	57,51
5	1,51	24,79	339,12	13580,00	14,86
Min	1,31	24,61	339,12	13580,00	14,86
Gemiddelde	1,37	24,95	1437,37	13580,00	42,39
Max.	1,51	25,21	1808,82	13580,00	57,51
Standaard Deviatie	0,08	0,25	594,97	0,00	17,03

Plat kettingrichting

Test nr.	Dikte (mm)	Breedte (mm)	Buiging Modulus (N/mm ²)	Theoretische Buiging Modulus (N/mm ²)	Buigsterkte @ Piek (N/mm ²)
1	1,77	24,35	6562,14	15960,00	124,19
2	1,68	25,03	7893,56	15960,00	135,04
3	1,75	24,70	6773,86	15960,00	125,01
4	1,70	24,70	7369,27	15960,00	126,59
5	1,70	24,48	7228,69	15960,00	107,71
Min	1,68	24,35	6562,14	15960,00	107,71
Gemiddelde	1,72	24,65	7165,51	15960,00	123,71
Max.	1,77	25,03	7893,56	15960,00	135,04
Standaard Deviatie	0,04	0,26	522,73	0,00	9,93

Plat inslagrichting

Test nr.	Dikte (mm)	Breedte (mm)	Buiging Modulus (N/mm ²)	Theoretische Buiging Modulus (N/mm ²)	Buigsterkte @ Piek (N/mm ²)
1	1,66	24,62	7041,21	15960,00	155,39
2	1,73	24,93	6630,35	15960,00	126,25
3	1,64	25,06	7771,77	15960,00	134,51
4	1,61	24,83	8036,13	15960,00	135,73
5	1,71	24,90	8628,23	15960,00	121,38
Min	1,61	24,62	6630,35	15960,00	121,38
Gemiddelde	1,67	24,87	7621,54	15960,00	134,65
Max.	1,73	25,06	8628,23	15960,00	155,39
Standaard Deviatie	0,05	0,16	794,85	0,00	13,02

Satijn kettingrichting

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Buiging Modulus (N/mm ²)	Theoretische Buiging Modulus (N/mm ²)	Buigsterkte @ Piek (N/mm ²)
1	24,80	1,80	8561,54	15960,00	165,10
2	24,88	1,73	9609,74	15960,00	161,88
3	24,90	1,72	9555,67	15960,00	183,10
4	25,07	1,83	8322,57	15960,00	166,59
5	24,82	1,73	9177,12	15960,00	181,49
Min	24,80	1,72	8322,57	15960,00	161,88
Gemiddelde	24,89	1,76	9045,33	15960,00	171,63
Max.	25,07	1,83	9609,74	15960,00	183,10
Standaard Deviatie	0,11	0,05	581,55	0,00	9,90

Satijn inslagrichting

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Buiging Modulus (N/mm ²)	Theoretische Buiging Modulus (N/mm ²)	Buigsterkte @ Piek (N/mm ²)
1	24,91	1,77	11507,05	15960,00	157,07
2	24,91	1,77	10469,51	15960,00	202,59
3	25,13	1,77	9708,28	15960,00	148,38
4	24,61	1,75	11397,83	15960,00	180,00
5	24,87	1,73	12811,68	15960,00	164,04
Min	24,61	1,73	9708,28	15960,00	148,38
Gemiddelde	24,89	1,76	11178,87	15960,00	170,42
Max.	25,13	1,77	12811,68	15960,00	202,59
Standaard Deviatie	0,19	0,02	1171,27	0,00	21,40

Tri-axiaal kettingrichting

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Buiging Modulus (N/mm ²)	Theoretische Buiging Modulus (N/mm ²)	Buigsterkte @ Piek (N/mm ²)
1	23,88	1,07	176,02	11960,00	27,43
2	24,57	0,97	362,78	11960,00	33,22
3	24,37	1,13	346,44	11960,00	27,19
4	24,35	1,10	489,25	11960,00	28,51
5	24,10	1,07	173,66	11960,00	26,31
Min	23,88	0,97	173,66	11960,00	26,31
Gemiddelde	24,25	1,07	309,63	11960,00	28,53
Max.	24,57	1,13	489,25	11960,00	33,22
Standaard Deviatie	0,27	0,06	134,89	0,00	2,74

Tri-axiaal inslagrichting

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Buiging Modulus (N/mm ²)	Theoretische Buiging Modulus (N/mm ²)	Buigsterkte @ Piek (N/mm ²)
1	24,33	1,00	591,33	11960,00	57,21
2	24,58	1,10	303,21	11960,00	38,73
3	24,23	1,00	928,69	11960,00	80,48
4	24,20	1,05	584,34	11960,00	66,34
5	24,45	1,10	294,25	11960,00	39,75
Min	24,20	1,00	294,25	11960,00	38,73
Gemiddelde	24,36	1,05	540,37	11960,00	56,50
Max.	24,58	1,10	928,69	11960,00	80,48
Standaard Deviatie	0,16	0,05	260,84	0,00	17,81

X. Bijlage 10

Testresultaten kerfslagproef

Pp/glas

Keper kettingrichting

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Impactsterkte (J)	Impactsterkte (kJ/m ²)
1	14,60	2,16	2,40	76,10
2	14,98	2,00	2,49	83,11
3	15,79	2,05	2,83	87,43
4	14,87	2,11	2,70	86,05
5	15,46	2,02	2,72	87,10
6	15,06	2,07	2,81	90,14
Gemiddelde	15,13	2,07	2,66	84,99
Standaard deviatie	0,43	0,06	0,17	4,91

Keper inslagrichting

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Impactsterkte (J)	Impactsterkte (kJ/m ²)
1	15,87	2,15	3,29	96,42
2	15,03	2,06	3,14	101,42
3	15,86	1,99	3,18	100,76
4	14,81	1,97	2,86	98,03
5	14,49	1,97	2,79	97,74
Gemiddelde	15,21	2,03	3,05	98,87
Standaard deviatie	0,63	0,08	0,22	2,12

MD kettingrichting

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Impactsterkte (J)	Impactsterkte (kJ/m ²)
1	14,65	1,46	2,23	104,26
2	14,64	1,47	2,09	97,12
3	14,85	1,53	2,21	97,27
4	14,54	1,40	2,08	102,18
5	14,82	1,50	2,91	130,90
6	14,66	1,46	2,14	99,98
Gemiddelde	14,69	1,47	2,28	105,29
Standaard deviatie	0,12	0,04	0,32	12,85

MD inslagrichting

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Impactsterkte (J)	Impactsterkte (kJ/m ²)
1	15,12	1,49	0,33	14,65
2	14,89	1,48	0,39	17,70
3	14,87	1,47	0,49	22,42
4	14,95	1,39	0,44	21,17
5	14,81	1,42	0,50	23,78
Gemiddelde	14,93	1,45	0,43	19,94
Standaard deviatie	0,12	0,04	0,07	3,72

Plat kettingrichting

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Impactsterkte (J)	Impactsterkte in (kJ/m ²)
1	19,42	1,96	3,93	103,25
2	15,20	1,96	3,49	117,15
3	16,41	2,01	3,57	108,23
4	15,83	2,03	3,03	94,29
5	15,57	1,99	2,58	83,27
6	15,57	1,93	2,56	85,19
Gemiddelde	16,33	1,98	3,19	98,56
Standaard deviatie	1,56	0,04	0,56	13,36

Plat inslagrichting

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Impactsterkte (J)	Impactsterkte (kJ/m ²)
1	15,31	2,09	2,10	65,63
2	15,88	1,94	2,56	83,10
3	15,49	1,96	3,04	100,13
4	17,13	1,93	2,84	85,90
5	15,73	2,01	2,38	75,28
Gemiddelde	15,91	1,99	2,58	82,01
Standaard deviatie	0,72	0,07	0,37	12,83

Satijn kettingrichting

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Impactsterkte (J)	Impactsterkte (kJ/m ²)
1	14,82	2,14	3,03	95,54
2	14,95	2,19	3,55	108,43
3	14,89	2,14	3,53	110,78
4	15,11	2,04	3,09	100,25
5	14,97	2,07	3,53	113,92
6	14,86	2,06	3,21	104,86
Gemiddelde	14,93	2,11	3,32	105,64
Standaard deviatie	0,10	0,06	0,24	6,85

Satijn inslagrichting

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Impactsterkte (J)	Impactsterkte (kJ/m ²)
1	14,91	2,25	3,75	111,78
2	15,06	2,24	3,53	104,64
3	14,94	2,14	3,37	105,41
4	14,89	2,06	3,85	125,52
5	14,93	2,03	3,63	119,77
Gemiddelde	14,95	2,14	3,63	113,42
Standaard deviatie	0,06	0,09	0,17	8,13

Tri-axiaal kettingrichting

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Impactsterkte (J)	Impactsterkte (kJ/m ²)
1	14,67	1,08	0,33	20,83
2	15,06	1,18	0,50	28,14
3	14,74	1,20	0,44	24,88
4	15,80	1,16	0,43	23,46
5	15,11	1,18	0,45	25,24
6	15,26	1,17	0,43	24,08
Gemiddelde	15,11	1,16	0,43	24,44
Standaard deviatie	0,41	0,04	0,06	2,39

Tri-axiaal inslagrichting

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Impactsterkte (J)	Impactsterkte (kJ/m ²)
1	14,63	1,76	0,85	33,01
2	14,39	1,41	0,61	30,06
3	15,24	1,24	0,61	32,28
4	15,46	1,28	0,77	38,91
5	14,78	1,23	0,71	39,06
Gemiddelde	14,90	1,38	0,71	34,66
Standaard deviatie	0,44	0,22	0,10	4,09

Glas

Keper kettingrichting

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Impactsterkte (J)	Impactsterkte (kJ/m ²)
1	14,77	1,69	2,00	80,12
2	14,80	1,77	2,12	80,93
3	14,83	1,71	2,18	85,96
4	14,75	1,75	1,73	67,02
5	15,00	1,75	1,79	68,19
6	14,83	1,76	1,69	64,75
Gemiddelde	14,83	1,74	1,92	74,50
Standaard deviatie	0,09	0,03	0,21	8,89

Keper inslagrichting

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Impactsterkte (J)	Impactsterkte (kJ/m ²)
1	14,80	1,78	1,99	75,54
2	14,77	1,73	2,38	93,14
3	14,74	1,67	2,55	103,59
4	14,89	1,70	2,15	84,94
5	14,82	1,67	2,33	94,14
Gemiddelde	14,80	1,71	2,28	90,27
Standaard deviatie	0,06	0,05	0,22	10,56

MD kettingrichting

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Impactsterkte (J)	Impactsterkte (kJ/m ²)
1	14,80	1,26	1,63	87,41
2	15,43	1,47	1,91	84,21
3	14,85	1,32	1,70	86,73
4	14,90	1,28	1,41	73,93
5	14,88	1,36	1,19	58,80
6	14,91	1,36	1,62	79,89
Gemiddelde	14,96	1,34	1,58	78,49
Standaard deviatie	0,23	0,07	0,25	10,87

MD inslagrichting

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Impactsterkte (J)	Impactsterkte (kJ/m ²)
1	14,92	1,49	0,31	13,94
2	14,97	1,41	0,31	14,69
3	15,21	1,32	0,39	19,43
4	14,30	1,35	0,40	20,72
5	14,91	1,34	0,43	21,52
Gemiddelde	14,86	1,38	0,37	18,06
Standaard deviatie	0,34	0,07	0,05	3,51

Plat kettingrichting

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Impactsterkte (J)	Impactsterkte (kJ/m ²)
1	14,80	1,76	1,83	70,25
2	14,96	1,69	1,69	66,84
3	14,93	1,66	1,70	68,59
4	14,90	1,82	1,63	60,11
5	15,15	1,76	1,71	64,13
6	14,93	1,72	1,71	66,59
Gemiddelde	14,95	1,74	1,71	66,09
Standaard deviatie	0,11	0,06	0,07	3,58

Plat inslagrichting

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Impactsterkte (J)	Impactsterkte (kJ/m ²)
1	14,92	1,88	1,60	57,04
2	14,85	1,71	1,60	63,01
3	14,74	1,68	1,56	63,00
4	14,58	1,59	1,74	75,06
5	14,71	1,64	1,59	65,91
Gemiddelde	14,76	1,70	1,62	64,80
Standaard deviatie	0,13	0,11	0,07	6,58

Satijn kettingrichting

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Impactsterkte (J)	Impactsterkte (kJ/m ²)
1	14,81	1,82	1,87	69,38
2	14,94	1,86	1,79	64,42
3	14,98	1,88	2,11	74,92
4	14,88	1,82	1,79	66,10
5	15,44	1,76	1,83	67,34
6	14,81	1,78	2,10	79,66
Gemiddelde	14,98	1,82	1,92	70,30
Standaard deviatie	0,24	0,05	0,15	5,85

Satijn inslagrichting

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Impactsterkte (J)	Impactsterkte (kJ/m ²)
1	15,47	1,88	2,75	94,56
2	14,84	1,92	2,70	94,76
3	15,04	1,94	2,59	88,77
4	14,83	1,91	2,61	92,14
5	14,92	1,82	1,99	73,28
Gemiddelde	15,02	1,89	2,53	88,70
Standaard deviatie	0,24	0,04	0,28	8,01

Tri-axiaal kettingrichting

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Impactsterkte (J)	Impactsterkte (kJ/m ²)
1	14,52	1,00	0,24	16,53
2	14,63	0,97	0,19	13,39
3	14,55	0,95	0,19	13,75
4	14,57	0,88	0,16	12,48
5	14,48	0,96	0,19	13,67
6	14,66	0,92	0,17	12,60
Gemiddelde	14,57	0,95	0,19	13,74
Standaard deviatie	0,07	0,04	0,03	1,47

Tri-axiaal inslagrichting

Test nr.	Breedte (mm)	Dikte (mm)	Impactsterkte (J)	Impactsterkte (kJ/m ²)
1	14,82	1,27	0,19	10,09
2	14,50	1,14	0,29	17,54
3	14,78	1,06	0,37	23,62
4	14,78	1,07	0,43	27,19
5	14,59	0,93	0,28	20,64
Gemiddelde	14,69	1,09	0,31	19,82
Standaard deviatie	0,14	0,12	0,09	6,50

XI. Bijlage 11

Datasheet Twintex



OCV™ Reinforcements

PRODUCT INFORMATION

TWINTEX® T PP

PP Glass Fabrics

PRODUCT DESCRIPTION

TWINTEX® T PP is a fabric made of TWINTEX® roving (commingled E-glass and polypropylene filaments).

Consolidation is done by heating above melting temperature of PP matrix (180°C-230°C / 360°F-450°F) and applying a low pressure (1-30 bars), before cooling step under pressure.

According to the size of series, the product processings are:

- Vacuum moulding
- Diaphragm
- Calendering

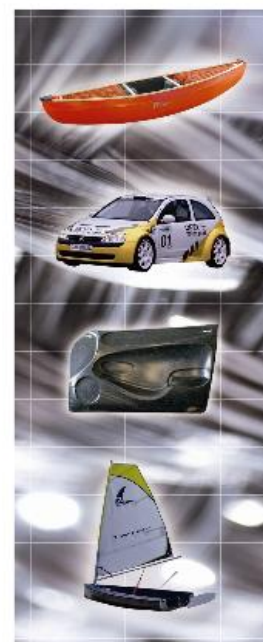
PRODUCT APPLICATION

TWINTEX® T PP is mainly used for the following applications:

Automotive – Marine – Transportation – Sports&leisure – Building & Construction..

FEATURES AND PRODUCT BENEFITS

- Ready to Use Product – The Thermoplastic Resin is inside
- Fast Processing Cycle Time and Low Pressure Moulding
- No VOC Emission and Ease of Storage conditions
- High Mechanical Properties with Impact Resistance and Weight Saving
- Recyclability



COMPOSITE MECHANICAL CHARACTERISTICS (AFTER PROCESSING)

				PP 60 1/1	PP 60 4/1
Tensile	Strength	ISO 527	MPa (psi x 10 ³)	300 (43.5)	400 / 130 (58.0 / 18.8)
	Modulus		GPa (psi x 10 ⁶)	14 (2.0)	20 / 6 (2.9 / 0.9)
Flexural	Strength	ISO 14125	MPa (psi x 10 ³)	280 (40.6)	380 / 130 (55.1 / 18.8)
	Modulus		GPa (psi x 10 ⁶)	13 (1.9)	18 / 6 (2.6 / 0.9)
Charpy impact unnotched		ISO 179	kJ/m ²	160	200 / 90
Izod impact notched		ISO 180	kJ/m ²	140	205 / 85
Glass content		in weight in volume	%	60	60
			%	35	35

- Mechanical property data developed in accordance with standard ISO specifications.
- Relative values shown are accurate to the best of our knowledge, but should not be used for design purposes since absolute values can be influenced by processing conditions.
- More specific data are available upon request.

XII. Bijlage 12

Datasheet Bondlaminates

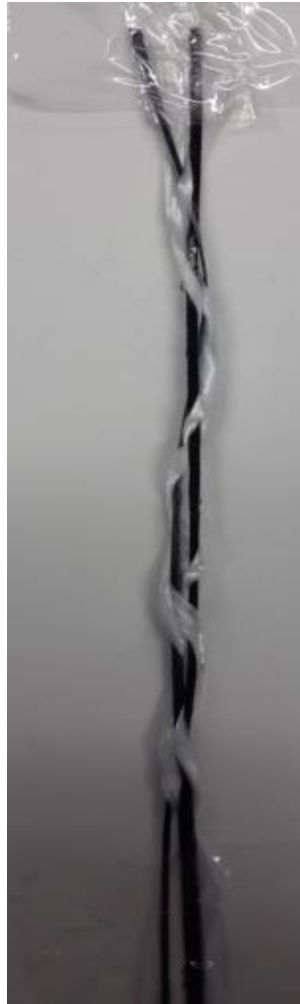


Material Data Sheet					
Tepex [®] dynalite 104-RG600(x)/47% Roving Glass – PP Consolidated Composite Laminate					
	Property	Method ISO	Units	Longitudinal	Transverse
Material	Reinforcement	Fibres Fabric Area weight Yarn Weight rate	g/m ² tex %	roving glass twill 2/2 600 1200 1200 50 50	
	Polymer	Polymer		pp	
	Laminate	Density Fibre content Thickness per layer	g/cm ³ % vol. mm	1.68 47 0.5	
Mechanical	Tensile	Modulus Strength Elongation Poisson's ratio	527-4/5 527-4/5 527-4/5 527-4/5	GPa MPa % -	20.5 400 - -
	Flexural	Modulus Ultimate stress*	178 178	GPa MPa	17.5 370 17.0 365
	Charpy impact strength unnotched	23°C -30°C	179/1eU	kJ/m ² kJ/m ²	- -
Thermal	Melting Temperature	per DSC	3146	°C	163
	Glass transition temperature	per DSC	3146	°C	-
	Heat deflection temperature	1.80 MPa	75-1/2	°C	158
	Coefficient of thermal expansion	-30°C to 23°C 23°C to 80°C	ASTM E831	E-6 1/K	-
	Relative temperature index	20.000 h	IEC 216/1	°C	-
					90

* 3-Point loading, span-to-depth ratio 16 to 1

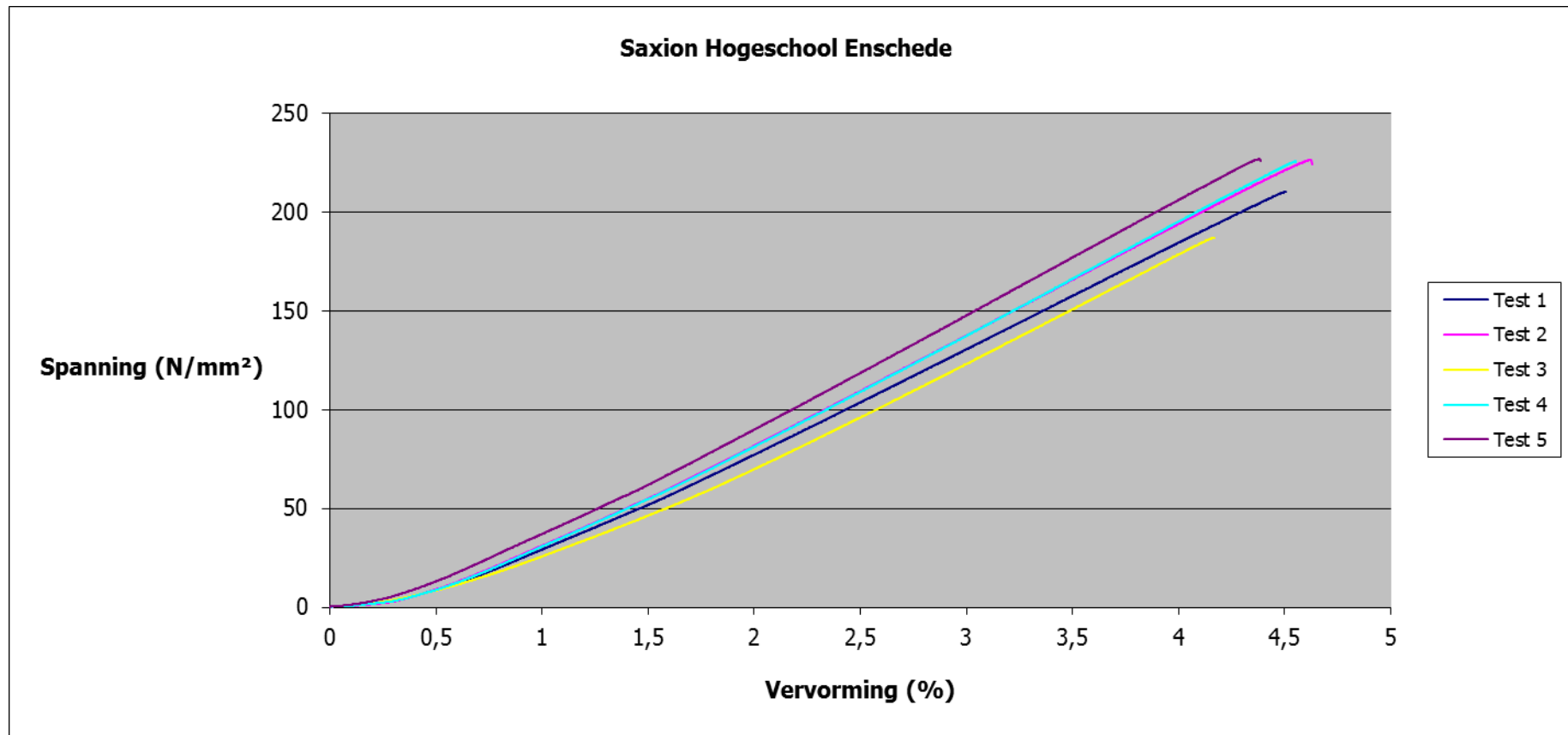
XIII. Bijlage 13

Foto's vlechten

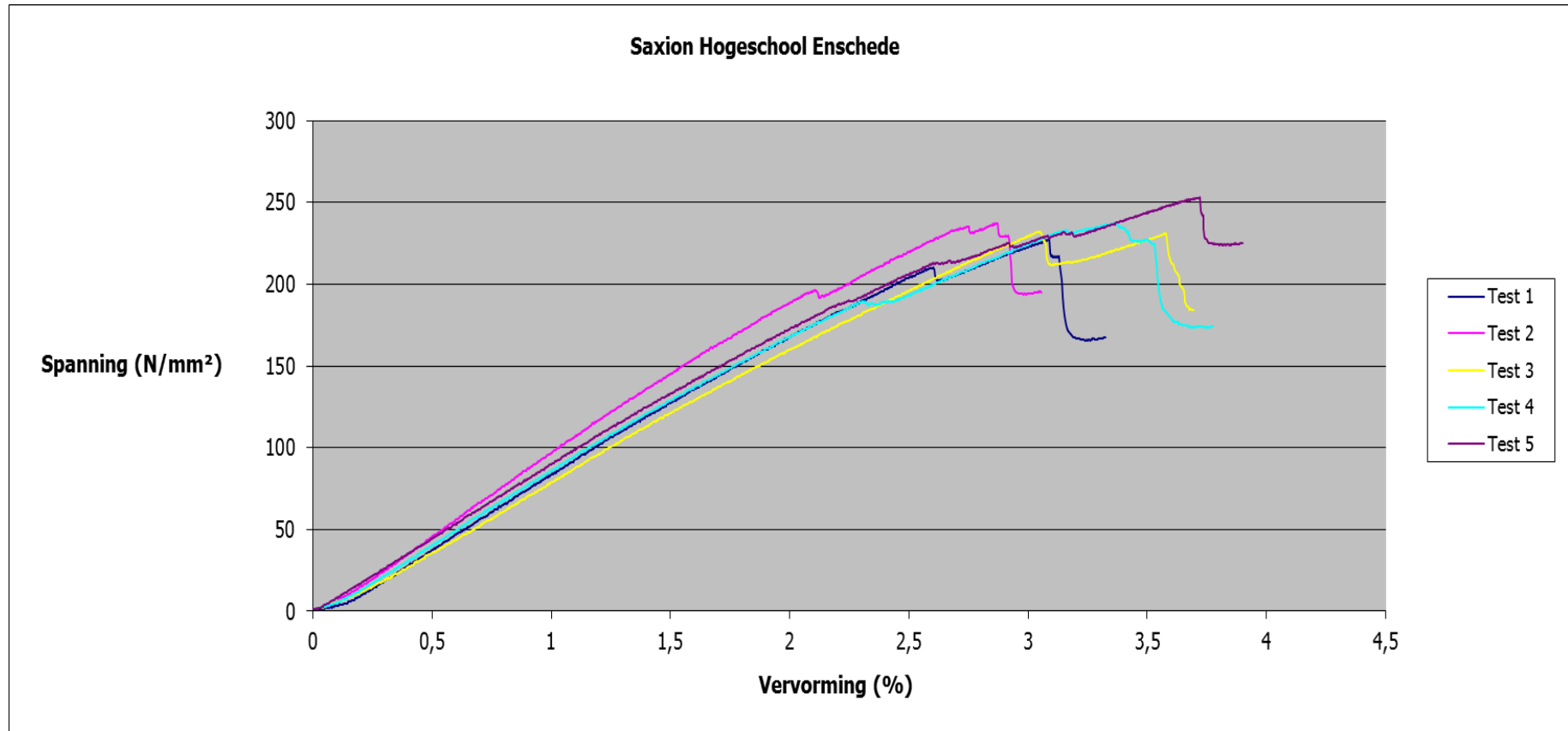


XIV. Bijlage 14

Grafieken Treksterkte

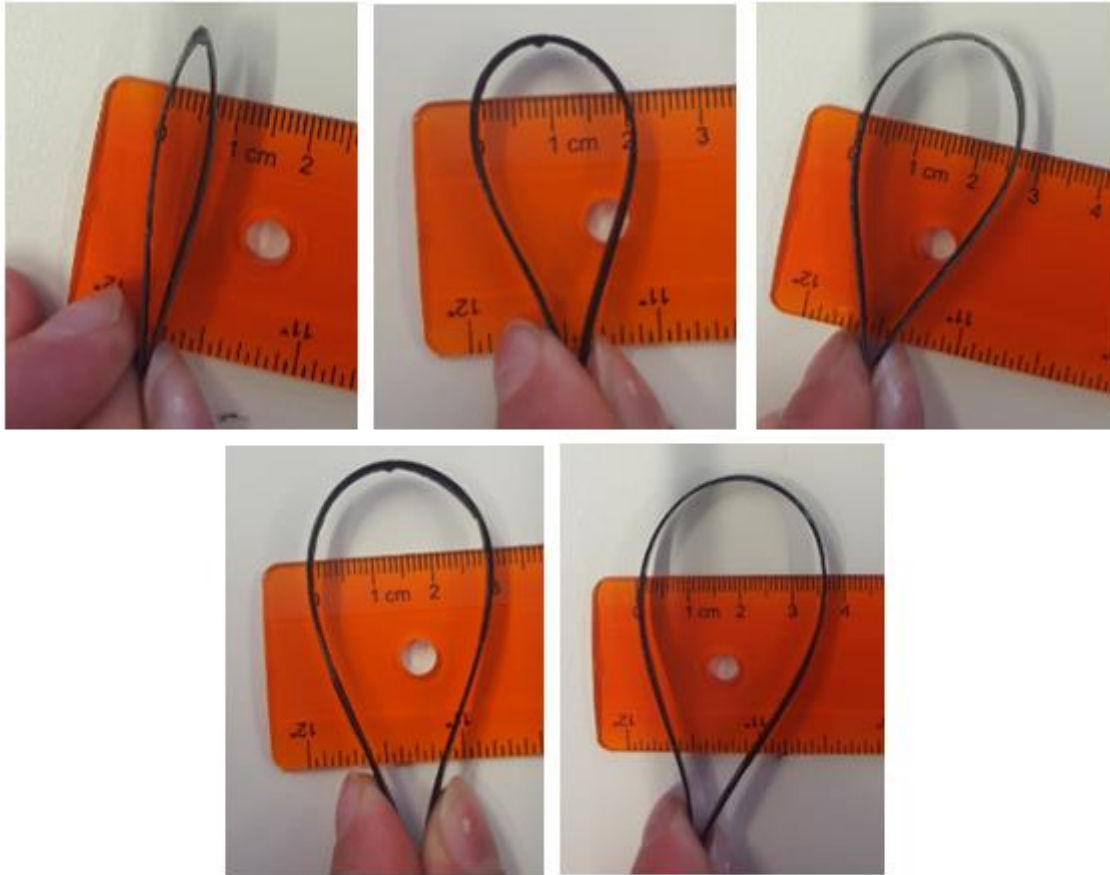


3 puntsbuigproef



XV. Bijlage 15

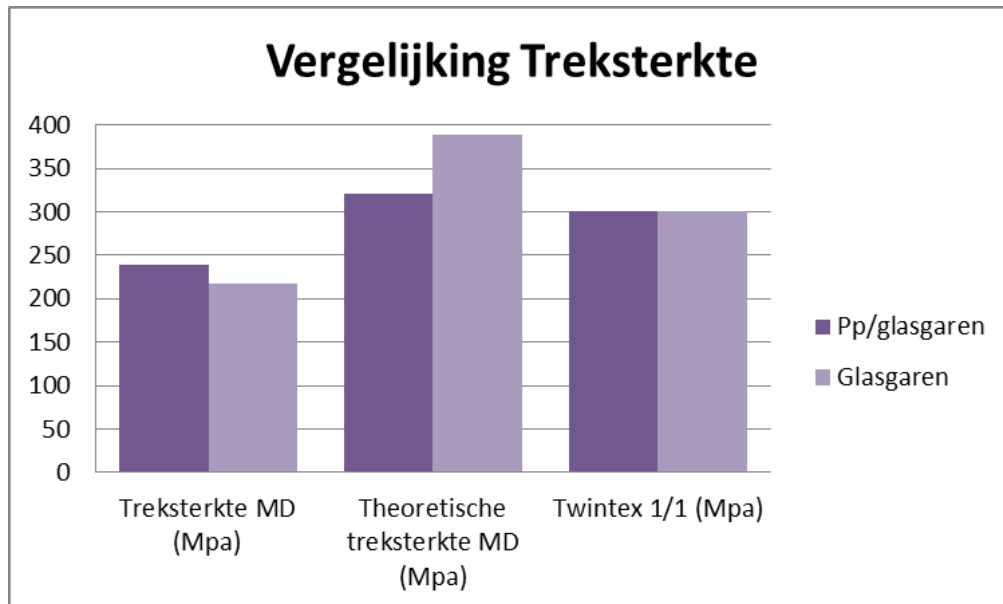
Foto's lus



XVI. Bijlage 16

Vergelijking met Twintex

Treksterkte



Buiging Modulus

