

2013

HAALBAARHEIDSONDERZOEK COMPOSITET BLADVEREN VOOR DE GCAB



A.J van der Hoek | Universiteit Twente,
Industrieel ontwerpen

Mobility Lab Twente

1/31/2013

EEN HAALBAARHEIDSONDERZOEK NAAR COMPOSIT BLADVEREN VOOR DE gCab. MET ALS
ONTWERPDOEL HET MINIMALISEREN VAN HET GEWICHT VAN DE VEERCONSTRUCTIE DOOR HET
GEBRUIK VAN COMPOSIT ALS MATERIAAL VOOR DE BLADVEREN.

Aafke Jeanine van der Hoek, s0203610

Industrieel ontwerpen

31 Januari 2013

Mobility Lab Twente

Horstring W256

P.O. Box 217

7500 AE Enschede

Examencommissie bestaand uit, H.J.M. Geijselaers, C.M. Beusenberg en L. Warnet

VOORWOORD

Als afsluiting van mijn Bachelor Industrieel ontwerpen aan de Universiteit Twente volgt een Bachelor opdracht. Gedurende mijn opleiding ben ik mij steeds meer gaan interesseren voor de technische kant van het ontwerpen. Daarom ben ik op zoek gegaan naar een meer technisch georiënteerde bacheloropdracht. Zo kwam ik in gesprek met Marc Beusenberg. Hij had een interessant project op de plank liggen. Na meerdere gesprekken volgde een opdrachtschrijving, met veel uitdagingen en voor mij onbekende vakgebieden. Voor u ligt het rapport met de resultaten van mijn bachelor opdracht.

Dit was niet gelukt zonder de hulp van mijn begeleiders, hiervoor wil ik hun graag bedanken. Marc Beusenberg voor de begeleiding op het gebied van het ontwerpproces. Laurent Warnet voor de ondersteuning, op het voor mij nieuwe vakgebied, composieten. Daarnaast zou ik ook graag Joep Tiehuis willen bedanken, voor zijn hulp bij het produceren van de mal in de metaal werkplaats. Ook gaat mijn dank uit naar de medewerkers van het lab van Productie Techniek, waar ik mocht werken aan mijn opdracht.

INHOUDSOPGAVE

voorwoord.....	3
Samenvatting	6
Summary	8
1. Inleiding.....	10
1.1 Projectkader & doelstelling	10
1.2 Actoranalyse	11
1.2.1 Opdrachtgever: Mobility Lab	11
1.2.2 Begeleiding: vakgroep Productietechniek, PT	11
1.2.3 Begeleiding: vakgroep OPM	11
1.2.3 Uitvoering: Student	11
1.2.4 Achtergrond: gConcepts (gCab)	12
2. Achtergrond informatie	13
2.1 Waarom composiet?	13
2.2 Wat zijn composieten?	13
2.3 productie	14
2.3.2 Vacuümzak	15
2.3.3 Hot press /heet persen	16
2.4 Bladveren	16
3. Ontwerpdoel	17
4. Analyse huidige ontwerp	17
4.1 Analytisch model	17
4.1.1 Veer-eigenschappen	18
4.1.2 Spanningsverloop	19
4.1.3. Materiaal & gewicht	20
4.1.4 Bevestigingspunten	20
5. Ontwerpeisen en specificaties	21
5.1 Ontwerp eisen	21
5.2 Specificaties	22
5.3 Ontwerpvariabelen	24
6. Optimaliseren bladveer zonder bevestigingspunten	25
6.1 Afmetingen	25
6.2 Materiaal	25
6.3 Gewichtsreductie	26
6.4 Veiligheidsfactor	26

6.5	Produceren	26
7.	Optimaliseren bladveer met bevestigingspunten	27
7.1	Concepten & Haalbaarheid	27
7.1.1	Concept 1; metalen toevoeging	27
7.1.2	Concept 2: doorzagen	28
7.1.3	Concept 3: rond	29
7.1.4	Concept 4: vouwen	30
7.2	Keuze concept	31
7.3	Eindconcept	32
7.4	Productie & productie techniek	33
7.5	Materiaal	34
7.6	Gewichtsreductie	34
8.	Kwaliteit, recycling & financieel	36
8.1	kwaliteit	36
8.1.1	Kwaliteit bladveer	36
8.1.2	Kwaliteit materiaal	36
8.2	Recycling	37
8.3	Financieel	37
9.	Productie in het lab	39
9.1	Productie stappen	39
9.2	Resultaat productie prototype	41
10.	Overzicht gegevens	42
11.	Aanbeveling & conclusies	44
11.1	Bladveer zonder bevestigingspunten	44
11.2	Bladveer met bevestigingspunten	45
11.3	Aanbeveling	45
12.	Evaluatie	46
13.	Bijlagen	48
13.1	Niet destructieve controle van composieten door actieve infraroodthermografie	48
13.2	Schematisch weergave van het recycling proces	49
13.3	Methode Hitachi	49
13.4	Input lasersnijder	50
13.5	Offerte bij MCTechnics	51
14.	Literatuurlijst	52

SAMENVATTING

Het Mobility Lab Twente is betrokken bij de ontwikkeling van de gCab. De gCab is een stevig, klein en volledig elektrisch voertuig voor personen- en goederenvervoer. De bladveren van de gCab zijn zware metalen onderdelen van het voertuig. Omdat het voertuig door Europese regelgeving gebonden is aan een maximaal gewicht, is het van belang om het gewicht van het voertuig te verlagen. Als het gewicht van de bladveren omlaag gebracht kan worden, dan biedt dat de mogelijkheid om de gCab te voorzien van vaste deuren. Daarnaast zou het mogelijk worden om meer personen of goederen te transporteren.

Een manier om het gewicht van de bladveren te verlagen is het gebruik van een ander type materiaal, bijvoorbeeld een composiet. Het doel van deze bachelor opdracht is het doen van een haalbaarheidsonderzoek naar composiet bladveren voor de gCab. Voor dit haalbaarheidsonderzoek is als ontwerpdoel gesteld; het minimaliseren van het gewicht van de veerconstructie door het gebruik van composiet als materiaal voor de bladveren en bevestigingspunten.

Hiervoor is eerst het huidige ontwerp van de stalen bladveer geanalyseerd (4). Vervolgens zijn op grond hiervan de ontwerpeisen (5.1) en specificaties (5.2) vastgelegd. De optimalisatie is uitgevoerd in twee fases.

Ten eerste een optimalisatie van de bladveer zonder bevestigingspunten, vergelijkbaar met een balk element. Hieruit volgde de geometrie die nodig is voor het gewenste veergedrag.

Vervolgens wordt de bladveer met de bevestigingspunten geoptimaliseerd. De bevestigingspunten blijken lastige punten om te produceren uit composiet. Zeker omdat er vanuit de opdrachtgever de eis ligt, geen wijzigingen aan te brengen in het huidige ophangingsysteem. Na de keuze voor het eindconcept is deze geproduceerd in het lab van Productie Techniek. Hier was de mogelijkheid om het product te produceren met behulp van vacuüm infusie. Hiervoor is een mal ontworpen, om de gewenste vorm te kunnen produceren. Tijdens dit proces vloeide de hars naar alle plekken van het product, alleen is er tijdens het uitharden in de oven schuim ontstaan. Er zal verder onderzoek moeten worden gedaan naar deze wijze van produceren. Hierbij zal onder anderen gelet moeten worden op de kwaliteit van het vacuüm en op de hoeveelheid hars die gebruikt wordt bij de infusie.

Aan de hand van de resultaten op dit moment lijkt deze manier van produceren potentie te hebben. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen of deze techniek toegepast kan gaan worden.

De optimalisatie is opgedeeld in twee delen: de optimalisatie van de bladveer zonder bevestigingspunten en de optimalisatie met de bevestigingspunten. Daarom volgt hieronder een puntsgewijze conclusie.

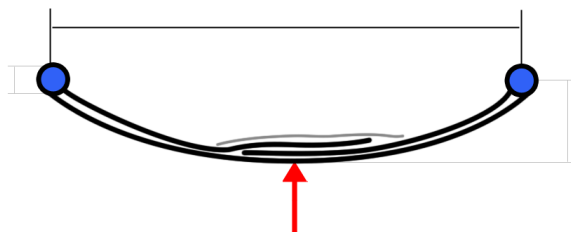
BLADVEER ZONDER BEVESTIGINGSPUNTEN Voor het produceren van de bladveer zonder de bevestigingspunten, vergelijkbaar met een balk element, blijkt composiet een goed alternatief. Het gaat hierbij alleen om een kale balk, dus zonder bevestigingspunten. Voor dit deel van de bladveer kan een gewichtsbesparing van 78 % gehaald worden ten aanzien van de metalen bladveer. Om dit te kunnen realiseren moet er gebruik worden gemaakt van Uni-directionele glasvezels. Door

gebruik te maken van de mogelijkheden op de UT is het mogelijk de balk te produceren met behulp van vacuüm infusie. Echter bij grote oplages kan gebruik gemaakt worden van de perstechniek, omdat hierbij de cyclustijd wordt verlaagd. Over deze middelen beschikt de UT helaas niet, hiervoor dient dus een extern bedrijf ingeschakeld te worden.

BLADVEER MET BEVESTIGINGSPUNTEN Er is een techniek ontworpen voor het produceren van de bevestigingspunten die potentie lijkt te hebben, gezien de resultaten in het lab. Door middel van het vouwconcept, zie figuur 1, zal het eerder genoemde bladgedeelte in één keer, samen met bevestigingspunten, geproduceerd kunnen worden. Dit concept maakt gebruik van lange stroken weefsels, die in de juiste vorm en volgorde worden gevouwen. Met dit concept, de bladveer met bevestigingspunten, is het mogelijk om een gewichtsbesparing van 70% te creëren in vergelijking met de bestaande constructie van metaal. Uit dit haalbaarheidsonderzoek blijkt dat het mogelijk is om de bladveren voor de gCab te produceren uit composiet materiaal en kan hiermee de gewenste een gewichtsbesparing gerealiseerd worden.

Wel zal er onder andere nader onderzoek gedaan moeten worden naar het productieproces van de bladveer. Tevens zal er een kostenschatting gemaakt moeten worden. Deze zal in overleg met externe partijen ingevuld moeten worden.

Kortom, het is mogelijk om de gewenste gewichtsbesparing te realiseren. Bij het doorvoeren van het eindconcept is het mogelijk om een gewichtsbesparing van 70 % te behalen. Als nader onderzoek positief uitvalt, zal in de toekomst de gCab kunnen worden voorzien van composiet bladveren.



FIGUUR 1, WEERGAVE EINDCONCEPT

SUMMARY

The Mobility Lab Twente is involved in the development of the gCab. The gCab is a firm, small and fully electrical vehicle for both passenger and cargo transport. The leaf springs of the gCab are heavy metal parts of the vehicle. Because a road legal vehicle is bound to a maximum weight by European law, it's important that the weight of the spring leafs is kept low. If the weight of the leaf springs can be reduced, this weight reduction makes it possible to add doors to the gCab or to transport more people or cargo.

One possible weight reduction technique is to switch to a new type of material, like composites. The aim of this bachelor assignment is to perform a feasibility study on composite leaf springs for the gCab. The goal hereby is to minimise the weight of the construction by using a composite material for the leaf springs and attachment points.

First, the current design of the metal leaf spring has been analysed (4). On the basis of this analysis the requirements (5.1) and specifications (5.2) has been defined. The optimisation has been carried out in two phases: firstly the beam element and secondly the attachment points. The first phase resulted in a geometry needed for the desired spring properties. The second phase was a bit of a challenge since the attachment points were difficult to make out of composite materials. The client complicated this even further by posing the restriction that the suspension system might not be altered. After the choice for the final concept, it was produced in the lab of Production Techniques. The lab offered the opportunity to produce the product with the vacuum infusion technique. First, a mold was made with the correct shape for the production process. During this process the resin flowed to all the places of the product. However, during the toughening process in the oven, foam appeared. Further investigation is needed for this production process to prevent this. Attention should be paid for the quality of the vacuum and the amount of resin used in the infusion.

The results at this moment indicate that this production process has a high potential, although further research is needed whether the technique can be applied or not.

As mentioned earlier, the optimisation has been divided in two parts: the beam and the attachment points. The conclusion follows this division:

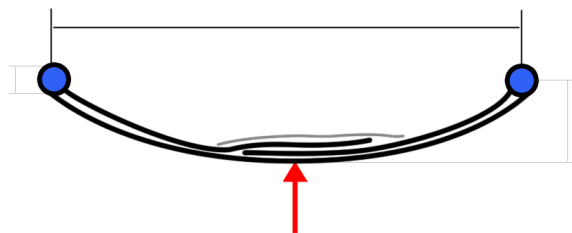
BEAM-ELEMENT --- For the production of the beam (without the attachment points), composite materials proved to be a good alternative to metal. This part of the spring leaf resulted in a weight reduction of 78% compared to the metal equivalent. In order to realise this reduction a uni-directional fibreglass should be used. In the lab of the University of Twente it is possible to make the beam with vacuum infusion. However, when produced in large quantities it is preferable to use press technology, which is significantly faster. Unfortunately, the University of Twente cannot offer this technology, so it should be outsourced to an external company.

ATTACHMENT POINTS --- Results in the lab show a promising technique to produce the attachment points in composite material as well. By means of the folding

concept (see figuur 2), the production of the attachment points can be integrated in the production of the beam itself. In this concept, long strips of fabric of the correct shape are folded in a particular order, resulting in a weight reduction of 70% compared to the metal equivalent.

The feasibility study shows that it is possible to construct the spring leaves of the gCab entirely from composites resulting in a significant weight reduction. Further research can improve the production process of the leaf spring. Furthermore, a cost estimate should be made by consulting external parties.

As a conclusion we can state that a weight reduction of 70% can be reached and that in the future the gCab can be equipped with leaf springs made of composites.



FIGUUR 2 FINAL CONCEPT

1. INLEIDING

1.1 PROJECTKADER & DOELSTELLING

Dhr. Beusenberg, medeoprichter van Mobility Lab Twente, is betrokken bij de ontwikkeling van de gCab. De gCab is een stevig, klein en volledig elektrisch voertuig. De maximum snelheid is 45 km per uur en het heeft een bereik 60 tot 120 kilometer op één acculading. Volgens gConcepts (2012) is de gCab de enige in zijn soort met een Europese typegoedkeuring en is toegelaten op de openbare weg. De gCab is schoon, veilig en geruisloos en bedoeld voor stadsvervoer over korte afstanden. Er zijn uitvoeringen voor personen- en voor goederenvervoer.ⁱ

De bladveren van de gCab zijn zware onderdelen van het voertuig. Omdat het voertuig door Europese regelgeving gebonden is aan een maximaal gewicht, is het van belang om het gewicht van het voertuig te verlagen. Momenteel bestaat het plan om de gCab te voorzien van deuren. Maar die ruimte is er niet i.v.m. het maximale gewicht. Als het gewicht van de bladveren omlaag gebracht kan worden, dan biedt dat de mogelijkheid om de gCab te voorzien van vaste deuren. Daarnaast zou het mogelijk worden om meer personen of goederen te transporteren.

Een manier om het gewicht van de bladveren te verlagen is het gebruik van een ander type materiaal, bijvoorbeeld een composiet. Het doel van deze bachelor opdracht is het doen van een haalbaarheidsonderzoek naar composiet bladveren voor de gCab. Onder begeleiding van Dhr. Warnet, van de vakgroep productietechniek, zal dit onderzoek worden uitgevoerd.

Dhr. Beusenberg begeleidt deze bachelor opdracht op het gebied van ontwerpen en kan daarnaast als opdrachtgever worden gezien. Dhr. Warnet zal deze opdracht begeleiden op het engineering vakgebied, zeker met betrekking tot de composieten. Op deze manier ontstaat er samenwerking tussen de vakgroep PT en OPM.



FIGUUR 3 gCAB, DE NIEUWE GROENE TAXI VAN NEDERLAND

1.2 ACTORANALYSE

1.2.1 OPDRACHTGEVER: MOBILITY LAB

De Mobility Lab Twente in de persoon van Marc Beusenberg zal de opdrachtgever zijn. “De Mobility Lab Twente richt zich op de vormgeving, ontwikkeling, productie, promotie en introductie van e-mobiliteitsoplossingen. De belangrijkste activiteiten betreffen:

- Onderzoek en ontwikkeling: Projecten voor en met het bedrijfsleven, overheden en andere instellingen
- Onderwijs: Projecten en cursussen voor de industrie en studenten.
- Bevordering van e-mobiliteit.

Sinds het concept van het autorijden werd uitgevonden, is elektrisch rijden overwogen. De (relatief) gemakkelijk toegang tot fossiele brandstoffen en hun hoge energiedichtheid, heeft het gebruik van verbrandingsmotoren echter doen versnellen ten nadele van elektrische motoren. Met als enige uitzondering het spoorwegennet waarop beide energievormen gebruikt worden. Maar sinds de laatste twee decennia verschijnt de elektrische auto weer op de weg en deze keer zal ze nooit meer verdwijnen.” (Mobility Lab Twente, 2012) ⁱⁱ De belangen van het Mobility Lab komen in het projectkader naar voren.

1.2.2 BEGELEIDING: VAKGROEP PRODUCTIETECHNIEK, PT

De vakgroep Productietechniek doet onderzoek naar de technische aspecten van nieuwe producten en productieprocessen. De groep richt zich op het optimaliseren van zowel het productieproces als de prestaties van lichtgewicht materialen in structurele toepassingen. De vakgroep heeft belang bij een haalbaarheidsonderzoek naar composiet bladveren. Er zal gezocht worden naar concrete toepassingen van composiet materiaal.

1.2.3 BEGELEIDING: VAKGROEP OPM

Het aandachtsgebied van de vakgroep OPM is opgedeeld in vier secties: Ontwerptechniek (OT), Productietechniek (*inclusief kunststoffen*) (PT), Productie Management (PM) en Oppervlaktetechnologie en Tribologie (OTR). Zoals hierboven staat beschreven, houdt de sectie Productie Techniek zich bezig met de vraagstukken van ontwerp, inrichting, gebruik en verzorging van de werktuigbouwkundige productiesystemen voor het voortbrengen van discrete producten. ⁱⁱⁱ Ook de vakgroep heeft belang bij een haalbaarheidsonderzoek naar composiet bladveren. Deze kennis zou een snelle implementatie van het onderdeel mogelijk kunnen maken.

1.2.3 UITVOERING: STUDENT

Jeanine van der Hoek, is een student Industrieel Ontwerpen aan de Universiteit Twente. Naast het Bachelorprogramma heeft ze een deel van haar pre-master voor werktuigbouwkunde afgerond. Ze zal tijdens deze opdracht de uitvoerende partij zijn en het haalbaarheidsonderzoek uitvoeren. Haar belang is het vergaren van kennis op een nieuw vakgebied. Daarnaast wil ze nieuwe vaardigheden en samenwerkingservaring opdoen en zelfstandig een experimenteel onderzoek opstellen.

1.2.4 ACHTERGROND: GCONCEPTS (GCAB)

gConcept (2012) beschrijft hun bedrijf als volgt: “gConcepts werkt aan praktische oplossingen voor een betere luchtkwaliteit. Het idee is ontstaan in augustus 2008 tijdens een fietstocht van Roermond naar Rome. Juist als fietser merk je hoe sterk de lucht in Europese steden vervuild is. Hoeveel mooier, schoner en rustiger zouden Florence en Rome zijn met elektrische auto’s? gConcepts laat het niet bij mooie plannen alleen, maar voert ze zelf ook uit. In september 2009 is een proef gestart met gCab, de nieuwe elektrische taxi van Nederland. Inmiddels rijden de groene taxi's in Amsterdam en Den Haag. Voor evenementen vind je ze ook in Amersfoort, Arnhem, 's-Hertogenbosch en Rotterdam.”^{iv}

2. ACHTERGROND INFORMATIE

2.1 WAAROM COMPOSITET?

Er zijn aanleidingen om aan te nemen dat composieten een uitkomst kunnen bieden als het gaat om gewichtsbesparing. Composieten staan namelijk bekend om hun grote vormvrijheid, in combinatie met een hoge sterkte en een laag gewicht. Door de grote variatie mogelijkheden in vezelrichting, weefsels en grondstoffen, is er veel ruimte om de eigenschappen van de bladveer te beïnvloeden. Naast deze bekende eigenschappen van composiet materiaal, zijn er ook voorbeelden bekend van soortgelijke producten. De Corvette C5 bijvoorbeeld, beschikt al over composiet bladveren van glasvezels om gewicht te besparen.^v Ook zijn er al bedrijven die proberen composiet bladveren in serie te produceren. Zo zette het Duitse bedrijf IFC-composite in 2004 een serie van composiet bladveren op de markt voor zware vrachtauto's. En kort geleden ook voor bestelauto's.^{vi}

Er zijn in het verleden al verschillende onderzoeken gedaan over toepassingen van composiet in de auto-industrie. Hieruit blijkt dat er met composiet een gewichtsbesparing gerealiseerd kan worden. Zo deed B.B. Deshmukh in 2011 onderzoek naar gewichtsreductie van bladveren door onderzoek te doen naar betere materialen, design optimalisatie en productieprocessen. Hij ontwierp een bladveer, die in vergelijking met een stalen bladveer 74% lichter was. Deze werden getest met behulp van UTM en met ANSYS software, de gevonden spanningen en vervormingen werden geverifieerd door middel van experimentele tests.^{vii}

Ook H.A. Al-Qureshi deed in 2001 een algemene studie over de analyse, het ontwerp en de fabricage van composiet bladveren. De testen werden experimenteel in het laboratorium uitgevoerd en gevolgd door testen op de weg. De prestatie van de composieten veer werd vergeleken met een multibladveer van staal.^{viii}

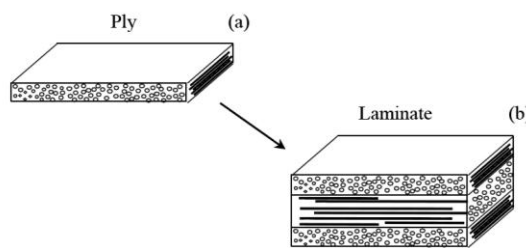
2.2 WAT ZIJN COMPOSITETEN?

In de breedste zin van het woord is een composietmateriaal een combinatie van twee of meer bestanddelen. Componenten kunnen gecombineerd worden om eigenschappen te verkrijgen die niet verkregen kunnen worden met de afzonderlijke bestanddelen.

Voor dit onderzoek zal de nadruk liggen op laminaten. Laminaten zijn stapelingen van verschillende lagen met vezels, weergegeven in figuur 4. Het laminaat in dit voorbeeld bestaat uit drie lagen, waarbij de vezels georiënteerd zijn in verschillende richtingen. Vezels kunnen zowel organisch als anorganisch zijn. Glasvezels of koolstofvezels zijn anorganische vezels. Koolstofvezels zijn bijna zuivere koolstof. Het voordeel van koolstofvezels is, dat zij een hogere stijfheid hebben en lichter zijn dan glasvezels. Daarnaast hebben ze een zeer hoge sterkte in zowel trek- en druk. Bovendien een hoge weerstand tegen corrosie, kruip, vermoeidheid en slijtage. Het nadeel van koolstofvezels is dat ze bros kunnen worden en falen bij impact.^{ix} Gezien de toepassing, mag de versterking niet lijden onder impact en bros worden. Daarom is voor dit onderzoek gekozen voor glasvezels. Tevens heeft het lab van Productie Techniek hier de beschikking over. Wat betreft de productie mogelijkheden, is het mogelijk gebruik te maken van persen en vacuüm bagging. Persen is alleen mogelijk

voor kleine balkjes, daarom wordt er vooral gebruik gemaakt van vacuüm bagging. Hierbij is er meer vormvrijheid mogelijk dan bij persen.

Naast de vezels, is er een hars nodig bij de productie van composieten. Er zal gebruik worden gemaakt van epoxy hars. Deze harsen zijn thermohardende systemen die in hun moleculen twee of meer epoxide functionele groepen bevatten. Of meer in het algemeen gezegd, ze bevatten glycidyle functionele groep.^x Deze harsen zijn geschikt voor vacuüm bagging met infusies. Daarnaast is dit type hars beschikbaar op het lab van Productie Techniek. Het gaat hier om de hars: Warm-curing epoxy system based on Araldite LY 1564 SP/Harder XB 3486 Hardener XB 3487.



FIGUUR 4 LAMINATEN, STAPELING VAN VERSCHILLENDE LAGEN ^{IX}

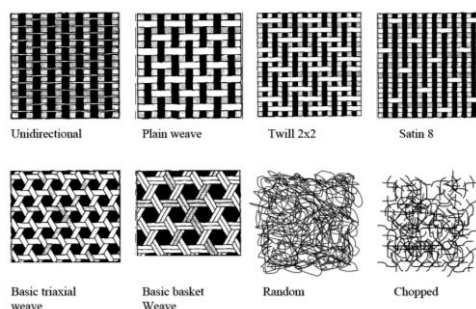
2.3 PRODUCTIE

Bij de productie van composieten heeft het fabricageproces een grote invloed op de eigenschappen van de geproduceerde structuur. Zo zal het vezelgehalte, het wel of niet insluiten van luchtballen, de mate van kristalliniteit voor semi- kristallijne thermoplasten en de positionering van de wapening beïnvloed worden door het productieproces.^{xi}

In paragraaf 2.3.2 en 2.3.3. zullen de fabricagetechnieken worden toegelicht die in het lab van Productie Techniek op kleine schaal gebruikt kunnen worden. De keuze van de fabricage techniek hangt af van het type gebruikte vezels en hars. Ook zal de keuze afhangen van de complexiteit, de grootte, de vereiste prestaties en de hoeveelheid producten die vervaardigd moet worden.

2.3.1 PREPREG MATERIALEN

Afhankelijk van de vereiste prestaties, wordt het type weefsel van de versterking gekozen. Versterkingen zijn het type vezels van de weefsels. Voor laminaten zijn de meeste versterkingen gebaseerd op bundels van continue vezels. Deze versterkingen kunnen gelegd zijn op een unidirectioneel wijze of worden geweven tot een weefsel met verschillende patronen, zie figuur 5 ^{xii}



FIGUUR 5 VERSCHILLENDE TYPE WEEFSELS ^{IX}

Het impregneren van de vezels wordt vaak bewust uitgevoerd voordat het composiet wordt gefabriceerd. Impregneren is het doordringen van de weefsels met een andere stof, in dit geval is dit de hars. In 6figuur 6 is een weefsel van glasvezel weergegeven, deze zou je in losse vezels uit elkaar kunnen trekken. Daarnaast is in figuur 7, een rol met uni-directionele glasvezels weergegeven, die geïmpregneerd is met een hars. Hierbij zijn de losse vezels met elkaar verbonden door de geïmpregneerde hars. Deze “voorverpakking” noemt men prepreg en is gericht op hoge kwaliteit toepassingen met een hoog vezelgehalte. Pre-impregnatie vermindert het handmatige proces en verbetert de vezelverdeling. Bij thermoharders wordt de hars gedeeltelijk uitgehard. Daarom wordt de prepreg bewaard bij een lage temperatuur en wordt het snel gebruikt.



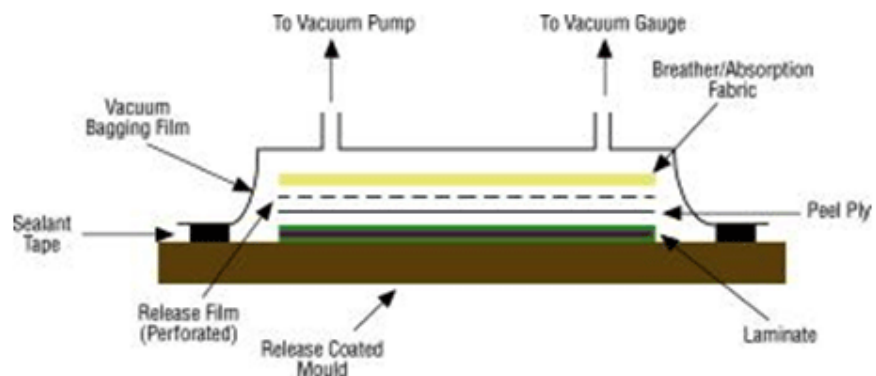
FIGUUR 6 GLASVEZELS WEEFSEL, NOG NIET GEÏMPREGNEERD



FIGUUR 7 PREPREG MET UNI-DIRECTIONELE GLASVEZELS

2.3.2 VACUÛMZAK

Vacuüm bagging is een gesloten maltechniek. Hierbij wordt de hars en de versterking met de hand aangebracht op een eenvoudige matrijs. Vervolgens wordt dit vacuüm getrokken via een rubberen zak, met een druk van 1 bar.^{xiii}

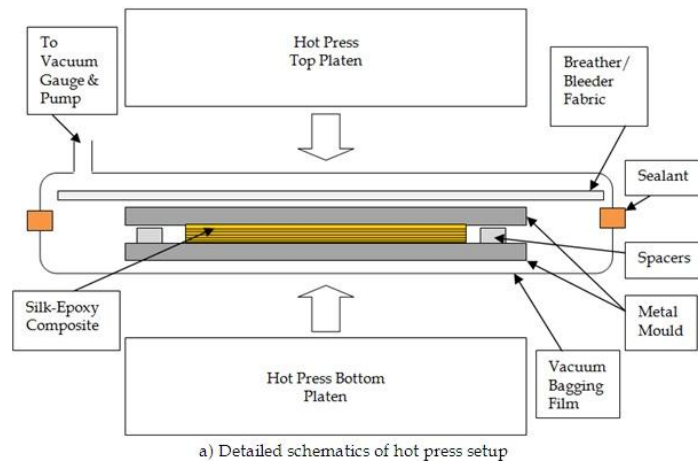


FIGUUR 8 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN VACUÛM BAGGING

2.3.3 HOT PRESS /HEET PERSEN

Om een hogere productiviteit en een goede versterking te kunnen realiseren wordt gebruik gemaakt van persen. Bij deze techniek wordt gebruik gemaakt van prepreg materiaal. Daarbij wordt er geperst op hogere temperaturen met een druk (tot 100 bar)^{xiv}

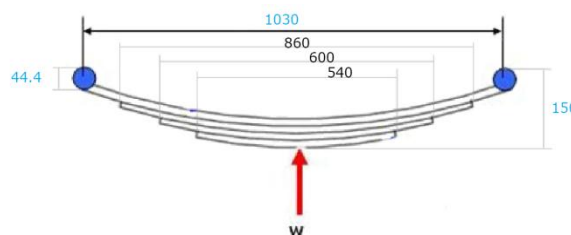
Het prepreg materiaal wordt voorverwarmd boven de smelttemperatuur, bijvoorbeeld in een infrarood oven, waarna het getransporteerd wordt naar een high-speed pers waar het snel wordt gevormd. Deze fabricagetechniek reduceert de cyclustijd.^{xv}



FIGUUR 9 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN PERSEN

2.4 BLADVEREN

Het veersysteem kan bestaan uit een enkele bladveer of uit een veerpakket. Een veerpakket zijn meerdere veren op elkaar. Het bovenste blad wordt het hoofdblad genoemd. Hoe meer bladen een veer heeft, hoe sterker en stugger deze wordt. Het midden van de bladveer wordt aan de as bevestigd en de uiteinden aan de carrosserie of chassis. Doordat de bladen doorbuigen in het midden ontstaat er een verende beweging. Een veer wordt vaak van staal gemaakt, maar men kan ook andere materialen gebruiken, bijvoorbeeld kunststof. Erg belangrijk voor de keuze van het materiaal is dat deze buigzaam moet zijn en de neiging moet hebben om naar de oorspronkelijke vorm terug te keren. Het doel van het veersysteem is om kuilen en hobbels in het wegdek zo goed mogelijk op te vangen, zodat een autorit zo comfortabel mogelijk is. Vaak wordt dit bereikt door een combinatie met dempers. Daarnaast verspreidt het pakket bladveren een zware belasting over het frame, omdat het aan 2 uiteinden van het chassis bevestigd is. Bladveren worden vooral



FIGUUR 10 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN EEN BLADVEER
AFKOMSTIG UIT DE GCAB, MATEN WEERGEGEVEN IN MM.

toegepast bij vrachtauto's en bestelbusjes die een zware lading vervoeren. Een enkele bladveer wordt soms toegepast in personenauto's. Deze bladveer is dik in het midden en loopt in een punt naar de uiteinden.^{xvi}

3. ONTWERPDOEL

Het ontwerpdoel kan omschreven worden als het minimaliseren van het gewicht van de veerconstructie door het gebruik van composiet als materiaal voor de bladveren.

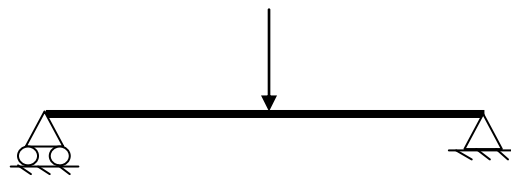
4. ANALYSE HUIDIGE ONTWERP

Om een herontwerp te kunnen maken, zal eerst de huidige constructie geanalyseerd moeten worden. Daarvoor wordt er gekeken naar verschillende punten, waaronder de veereigenschappen, het spanningsverloop, het gewicht en de bevestigingspunten. In paragraaf 4.1 volgt een puntsgewijze analyse.

4.1 ANALYTISCH MODEL

Analytisch model van de doorbuiging van een balk

Het gedrag van de bladveer zal gemodelleerd worden als een balk die aan beide kanten is opgelegd, waarbij de as van de auto in het midden van de bladveer is

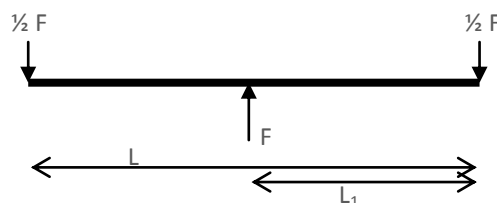


bevestigd. Vertaald naar het model, betekent dit een kracht in het midden van de bladveer. Deze kracht zal ongeveer een vierde van het gewicht van de auto zijn.

Hoewel de balktheorie is bedoeld voor dunne balken met een kleine uitwerking, zal er toch gebruik gemaakt worden van de balktheorie voor het analyseren van de bladveer. Er zijn andere analyse methodes, zoals de eindige elementen methode, maar deze zijn erg gecompliceerd; zeker als het om composieten gaat. Gezien de duur van mijn Bachelor opdracht, is er in overleg met L. Warnet, besloten deze techniek buiten beschouwing te laten.

Er bestaat, als aanvulling op de balktheorie, wel een formule/regel die het gedrag voor dunne balken kan benaderen. Helaas is die er niet voor kleine uitwijkingen. ^{xvii}

Toch zal het gedrag van de constructie worden benaderd als lineair gedrag, omdat de verhouding tussen de lengte van de balk en de breedte en hoogte veel meer is dan factor tien. Dus $b \ll L$ en $h \ll L$, waarbij b de breedte, L de lengte en h de hoogte van de bladveer.



Berekening verplaatsing

Tweemaal integreren geeft;

$$E \cdot I \cdot v'' = M(x)$$

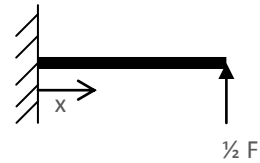
$$v'' = \frac{\frac{1}{2}F(L_1 - x)}{EI} + C_1$$

$$v' = \frac{\frac{1}{2}F\left(\frac{1}{2}L_1x^2 - \frac{1}{3}x^3\right)}{EI} + C_1x + C_2$$

(de randvoorwaarden bij $x=0$, $v'(0)=0$, $v''(0)=0$, levert $C_1=0$ en $C_2=0$)

$$v(L) = \frac{\frac{1}{2}F\left(\frac{1}{2}L_1^3 - \frac{1}{3}L_1^3\right)}{EI}$$

$$v(L) = \frac{FL_1^3}{2EI}$$



$M(x)$ = inwendig moment in de balk

E = de elasticiteitsmodulus van het materiaal

I = het traagheidsmoment van de balk, berekend ten opzichte van de neutrale lijn

Berekening Stijfheid

$$K = \frac{F}{v}$$

K = veerconstante

$$K = \frac{F}{\frac{FL_1^3}{3EI}} = \frac{3EI}{L_1^3}$$

Met $L = 2 \cdot L_1$

$$K = 2 \cdot \frac{3EI}{\left(\frac{1}{2}L\right)^3}$$

$$K = \frac{48EI}{L^3}$$

AANNAMES

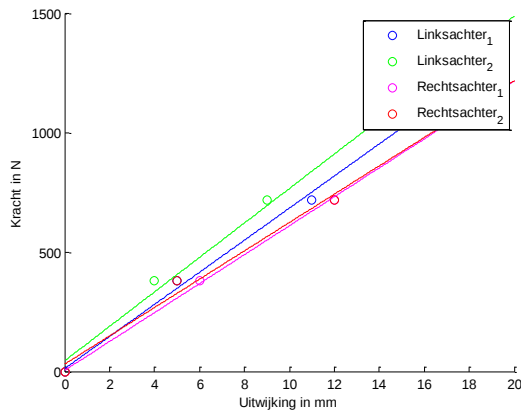
- De vervorming van de bladveer onder een transversale belasting, wordt benaderd door lineair vervormingsgedrag.

- De veerconstante wordt benaderd door de aanname dat deze constant is over de gemeten doorbuiging.

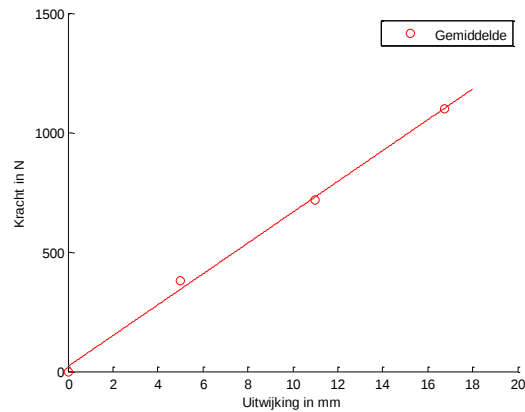
4.1.1 VEER-EIGENSCHAPPEN

Om meer te kunnen zeggen over de veereigenschappen van de bladveer, zal er gemeten moeten worden aan de bladveer die nu onder de gCab zit. Dat is op de volgende manier gedaan. Onder de as van de gCab is een object geplaatst, waardoor de banden los kwamen van de grond. Vervolgens is er een kracht aangebracht op het midden van de as. De verplaatsing ten gevolge van deze kracht is gemeten aan beide kanten van de gCab. De metingen, met drie verschillende gewichten, zijn aan beide kanten van de auto twee maal uitgevoerd. Deze meting heeft een bereik van ongeveer 1300 N, omdat het fysiek niet mogelijk was meer gewicht boven de

bladveer te plaatsen. De resultaten zijn weergegeven in de figuren 11 en 12. In de grafiek daarnaast zijn de gemiddelde waarden van metingen weergegeven. Aan de hand van de gemiddelde waarden is een veerconstante berekend, $k_{\text{gemiddelde}} = 6.9 \cdot 10^4 \text{ N/m}$. Er wordt hierbij een aanname gedaan dat de veerconstante constant is over de gemeten doorbuiging.



FIGUUR 11 MEETRESULTATEN AAN DE BLADVEER, UITWIJING UITGEZET TEGEN KRACHT



FIGUUR 12 GEMIDDELTE WAARDEN, UITWIJING UITGEZET TEGEN KRACHT

4.1.2 SPANNINGSVERLOOP

Om de maximale spanning voor de metalen bladveer te bepalen zal er gekeken worden naar de maximale doorbuiging bij het maximaal toegestane gewicht in de gCab, namelijk 275 kg. Ook al is het onwaarschijnlijk dat het gehele gewicht zich boven een bladveer bevindt, wordt deze waarde wel gebruikt voor het bepalen van de extreme waarde. Tevens wordt er in dit onderzoek alleen een statische analyse uitgevoerd. De belastingen in dynamische condities kunnen hoger uitvallen. Omdat de waarde van bijna 2700 N ruim buiten dit meetbereik valt, zal er een aanname worden gedaan. Er wordt daarom gekozen om lineaire extrapolatie toe te passen. Op deze manier kan door het extrapoleren van de grafiek, zie figuur 12, een maximale uitwijking worden bepaald.

TABEL 1: LINEAIRE EXTRAPOLATIE

Kracht	500 N	1000 N	275*9.81 N
Doorbuiging	7.5 mm	15 mm	40.5 mm

Zoals te zien valt in tabel 1, treedt er een maximale doorbuiging van 40.5 mm op. Hieronder volgen de berekeningen voor de maximale rek en spanning bij deze doorbuiging.

```

d = 0.0405
L = 1.03
E = 210e9
h = 0.008
y = 0.5*h
Yield_staal = 375.8e6    % 375,8 Mpa

r_neutraal = ((L)^2 + (4*d)^2) / (8*d)
r_max = r_neutraal + y

epsilon_max = y/r_max
sigma_max = E * epsilon_max

```

```
Veiligheids_factor = Yield_staal / sigma_max  
epsilon_max = 0.0012  
sigma_max =  $2.50 \cdot 10^8$   
Veiligheids_factor = 1.5
```

Kortom de maximale rek wordt geschat 0.12 % en de maximale spanning wordt geschat op 250 MPa, bij een doorbuiging van 0.0405 m. Hiermee komt de veiligheidsfactor van een metalen bladveer op 1.5.

4.1.3. MATERIAAL & GEWICHT

Voor de berekening van het gewicht is het volume van de bladveer nodig en de soortelijke massa van het materiaal. Uit de literatuur blijkt dat een bladveer vaak gemaakt wordt van de volgende types staal; SAE-1080, 1095, 5155-60, 6150-60 en 9250-60.^{xviii} De dichtheid van AISI 1018 is $7.7-8.03 \cdot 1000 \text{ kg/m}^3$.

De afmetingen van de metalen bladveer zijn, breedte = 0.05 m, dikte = 0.008. De bladveer bestaat uit vier bladen met een lengte van respectievelijk 1.03 m, 0.86 m, 0.60 m en 0.54 m. Dit brengt het totale volume op 0.00012 m^3 . Hiermee komt het gewicht van de bladveer op 9.33- 9.73kg

4.1.4 BEVESTIGINGSPUNTEN

Toen de gCab omhoog was gezet met behulp van een krik, was de bevestiging van de bladveren goed te zien. De bladveer moet bevestigbaar zijn op dezelfde plaatsen waar de stalen bladveer ook bevestigd wordt. De bevestigingspunten mogen aangepast worden, zolang er geen aanpassing aan het chassis gedaan hoeft te worden. Voor de afmetingen van de bevestigingspunten, zie paragraaf 5.2 Specificaties figuren 14 t/m 16.

5. ONTWERPEISEN EN SPECIFICATIES

5.1 ONTWERP EISEN

MECHANISCHE EIGENSCHAPPEN

Als eerste stap in het ontwerp wordt een composiet bladveer ontworpen die dezelfde veereigenschappen heeft als de stalen bladveer. Mogelijk wordt in een later stadium onderzocht of de eigenschappen van de veer aangepast moeten worden ten gunste van het rijcomfort, maar zonder een negatief effect voor het rijgedrag. Op dit moment is bekend dat mensen de gCab “stug” vinden. Omdat nog onbekend is of de veereigenschappen daar invloed op hebben, zal eerst gestreefd worden naar gelijke veereigenschappen in vergelijking met de metalen bladveer.

STIJFHEID Er moet een stijfheid van 6900 N/m gehaald worden, met een tolerantie van 10%.

STERKTE De sterkte van de composiet bladveer moet minimaal overeenkomstig zijn met de sterkte van de metalen bladveer.

VEILIGHEIDSFACITOR H.C. Hibbeler(2006, p. 49) schreef “Om de veiligheid te waarborgen is het noodzakelijk een toelaatbare spanning te kiezen die de uitgeoefende belasting beperkt tot een waarde die lager ligt dan de belasting die het onderdeel maximaal kan dragen.”^{xix} De redenen kunnen onderen anderen zijn; de grote variatie in mechanische eigenschappen, zoals bij vezelversterkte composieten; er kunnen onbekende trillingen, schokken of onbedoelde belastingen optreden en de voorgenomen afmeting van een constructie of mechanisme kunnen afwijken als gevolg van fouten tijdens de fabricage of montage van componenten. H.C. Hibbeler(2006, p. 49) beschreef daarvoor de volgend methode: “Een methode om de toelaatbare belasting voor het ontwerp of de analyse van een onderdeel te specificeren, maakt gebruik van een getal dat de veiligheidsfactor wordt genoemd. De veiligheidsfactor is de verhouding tussen de maximale belasting die het onderdeel kan dragen tot dit op een bepaalde manier bezwijkt en een toelaatbare belasting. De maximale belasting wordt bepaald uit experimentele beproevingen van het materiaal, en de veiligheidsfactor wordt vastgesteld op basis van ervaring, zodanig dat er rekening wordt gehouden met de onzekerheden wanneer de onderdelen aan vergelijkbare belastings- en geometrische condities worden blootgesteld.”^{xx}

Indien we alleen naar de constructie kijken en niet naar de verschillen in materialen (en bijbehorende productiemethoden), dan zou een eenzelfde veiligheidsfactor voor staal of composiet voor de hand liggen. Echter, bij het ontwerpen en construeren met composieten wordt vaak een veel hogere veiligheidsfactor gehanteerd. Dit komt omdat er beslist geen scheurtjes in het materiaal mogen ontstaan, omdat de veiligheid dan in het geding komt.

PRODUCTIE De keuze van het productieproces zal afhangen van de technieken die voor handen zijn in het lab van Productie Techniek, zoals persen, vacuüm bagging en vacuüm infusie.

ASSEMBLAGE Zie 5.2 Specificaties

MATERIAAL De composiet bladveer zal bestaan uit glasvezels en epoxy. Met de verhouding tussen de vezels en de hars zal gevarieerd worden, binnen de aangegeven grenzen. In de praktijk zal de vezel-volumefractie voor composiet op basis van unidirectionele lagen zich bevinden in het gebied van 0,5 tot 0,8.^{xxi} In het lab van Productie techniek is voor het onderzoek het volgende type epoxy hars aanwezig: warm-curing epoxy system based on Araldite LY 1564 SP/Harder XB 3486 Hardener XB 3487.

KWALITEIT De bladveer zal een bepaalde productkwaliteit moeten hebben. Er zal gekeken worden naar mogelijke manieren om deze te kunnen waarborgen. Kwaliteit is een breed begrip. In deze opdracht zal voornamelijk gekeken worden naar de reproduceerbaarheid van het product. Hoe zal de bladveer gecontroleerd worden op productiefouten en onnauwkeurigheden? Er zal gekeken moeten worden naar homogeniteit van het eindproduct. En liggen de vezels waar ze moeten liggen? Verder zal er onder andere gelet worden op: luchtinsluitingen, oppervlakte “afwerking” en mogelijke aanwezige verontreiniging. Omdat de manier van meten nog niet bekend is, zijn hiervoor nog geen randvoorwaarden vast te stellen.

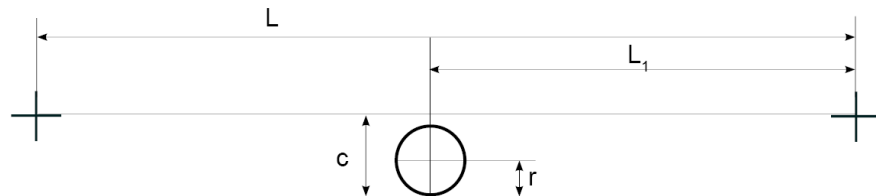
RECYCLING Een auto is opgebouwd uit verschillende materialen. Een aantal van deze materialen worden momenteel gedemonteerd bij een autodemontagebedrijf. Van daaruit gaan de materialen via een inzamelbedrijf naar een gespecialiseerd recyclingbedrijf om te worden verwerkt. De metalen bladveren zijn eenvoudig te recyclen. Voor de composiet bladveren, zal gekeken moeten worden naar hun plek in het recyclingproces. Bijvoorbeeld naar het gebruik van bio-vezels en/of bio harsen of nieuwe recyclingtechnieken van composieten.

FINANCIEEL De kostprijs moet in de buurt komen van een stalen bladveer. Stalen bladveren worden geproduceerd in duizendtallen, bij de composiet bladveer zal het gaan om tien of honderdtallen. Dit heeft grote invloed op de kostprijs. Verkoopprijs van stalen bladveren ligt tussen 170 en 475 euro inclusief 21% BTW^{xxii}. Geschat dat de verkoopprijs twee keer de kostprijs bedraagt.^{xxiii} Dan zal de kostprijs tussen de 85 en 240 euro liggen.

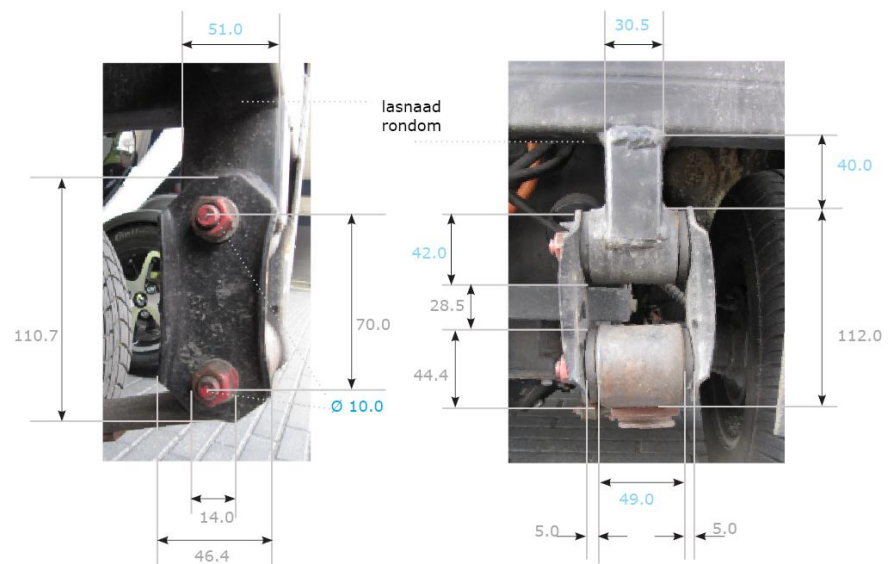
5.2 SPECIFICATIES

- De bladveer moet bevestigbaar zijn op dezelfde plaats als waar de stalen bladveer bevestigd wordt. Op dit moment zijn de stalen bladveren bevestigd zoals weergegeven in figuren 14 t/m 16. De bevestigingspunten mogen aangepast worden, zolang er geen aanpassing aan het chassis gedaan hoeft te worden. Tevens betekent dit dat er geen extra gaten geboord mogen worden of andere lasnaden mogen worden toegevoegd. Dit heeft namelijk invloed op de sterkte van het chassis. Het huidige chassis is goedgekeurd door de Rijksdienst voor het Wegverkeer (RDW). Door aanpassingen te doen, zal het chassis opnieuw gekeurd moeten worden. Dit is ongewenst, omdat het kosten met zich meebrengt en dit niet de wens is van de opdrachtgever. Alleen indien aanpassingen strikt noodzakelijk zijn, kan dit worden overlegd met de opdrachtgever.

- De composiet bladveer heeft de volgende afmetingen, weergegeven in figuur 13. Variatie in dikte en breedte van de bladveer. $L = 1.03$ m, $L_1 = 0.515$ m, $c = 0.15$ m, $r = 0.0305$ m
- Wettelijke eisen: Op basis van een review van Europese richtlijnen, kunnen we vaststellen dat geen bijzondere eisen aan bladveren worden gesteld voor voertuigen in de klasse L7e.

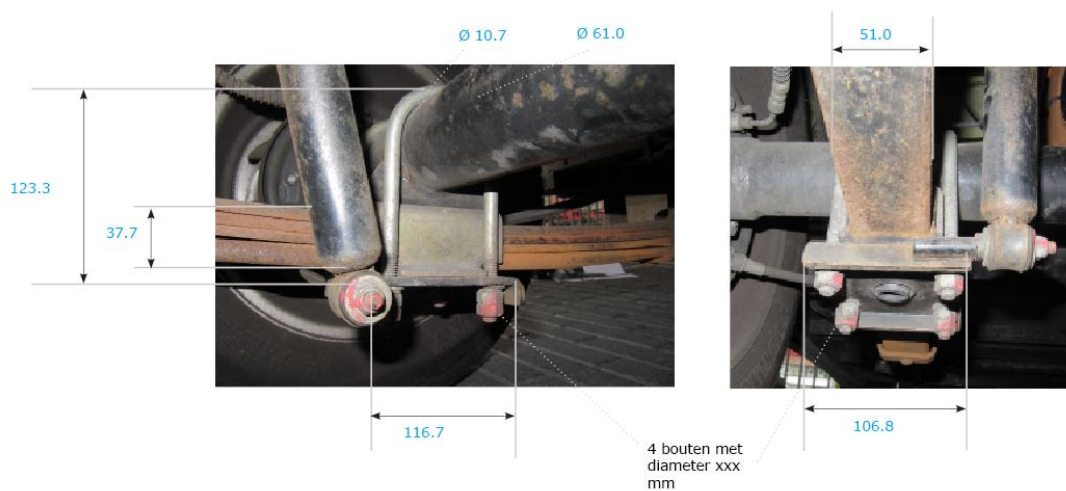


FIGUUR 13 SCHEMATISCHE WEERGAVE AFMETINGEN BLADVEER



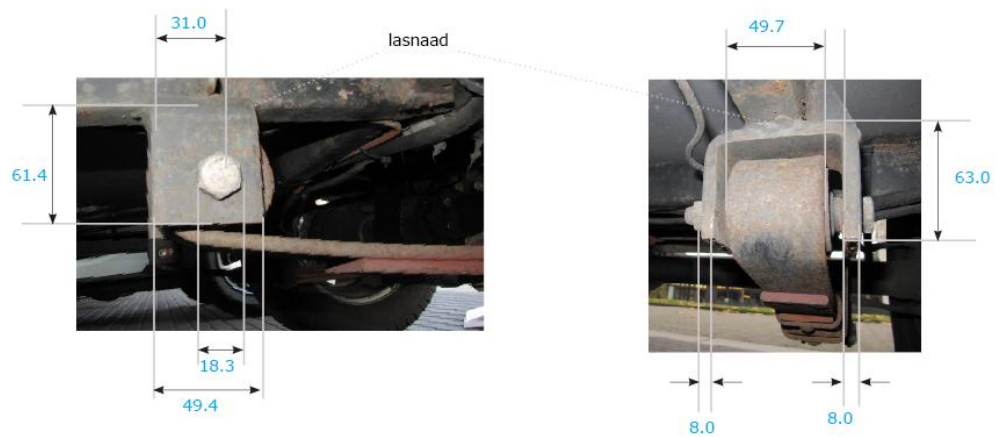
FIGUUR 14 LINKS; OPHANGING ACHTERKANT, ZIJAAANZICHT.

RECHTS; OPHANGING ACHTERKANT, ACHTERAANZICHT



FIGUUR 15 LINKS; BEVESTIGING AS, ZIJAAANZICHT.

RECHTS; BEVESTIGING AS, ACHTERAANZICHT



FIGUUR 16 OPHANINGEN VOORKANT, ZIJAAANZICHT.

RECHTS; OPHANINGEN VOORKANT, ACHTERAANZICHT

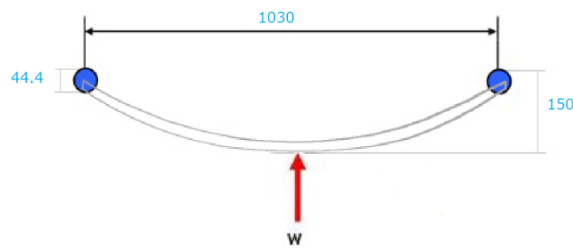
5.3 ONTWERPVARIABELEN

In het ontwerpproces worden de volgende variabelen meegenomen:

- De breedte en dikte van de mono-bladveer.
- De manier van bevestigen aan het chassis

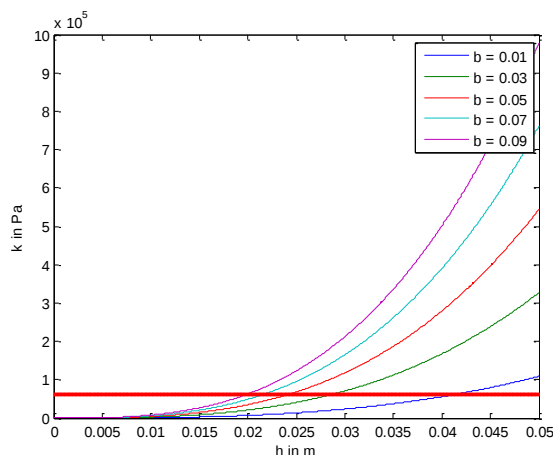
6. OPTIMALISEREN BLADVEER ZONDER BEVESTIGINGSPUNTEN

Er wordt eerst een bladveer zonder bevestigingspunten geoptimaliseerd, vergelijkbaar met een balk element. In hoofdstuk 7 volgt de optimalisatie met bevestigingspunten. En worden de resultaten van de eerste optimalisatie meegenomen. Er moet gezocht worden naar de optimale afmetingen, materiaalkeuze, vezelrichtingen en productie voor de composiet bladveer.

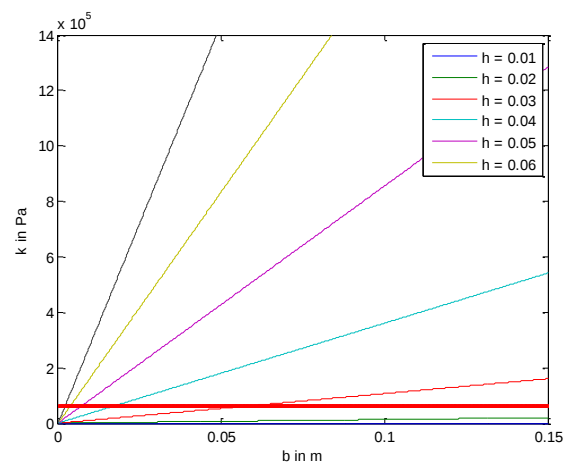


FIGUUR 17 SCHEMATISCHE WEERGAVE BLADVEER COMPOSIT

6.1 AFMETINGEN



FIGUUR 18: DE BREEDTE WORDT CONSTANT GEHOUDEN (0.01 TOT 0.09), VOOR DEZE WAARDE WORDT DE HOOGTE UITGEZET TEGEN DE VEERSTIJFHEID.



FIGUUR 19 DE HOOGTE WORDT CONSTANT GEHOUDEN (0.01 TOT 0.06), VOOR DEZE WAARDE WORDT DE BREEDTE UITGEZET TEGEN DE VEERSTIJFHEID.

De composiet bladveer zal bevestigd moeten worden onder het huidige ontwerp van de gCab. Daarom is er in eerste instantie gekeken naar een composiet bladveer met een gelijke breedte als de metalen bladveer, $b = 0.05$ m. Uit figuur 18 en 19 volgt dan de geschikte dikte van de bladveer, om zo de gewenste stijfheid te verkrijgen. Zo blijkt de dikte 0.021m te moeten zijn. Aan de hand hiervan zal gekeken worden of er een gewichtsreductie mogelijk is en of de veiligheidsfactor voldoende blijkt.

6.2 MATERIAAL

Het composiet zal moeten bestaan uit 50-60% glasvezels en 40-50% Epoxy . Op aanraden van L. Warnet is in eerste instantie gekozen voor een volume matrix van 0.5, $v_m = 0.5$ en een een volume fraction van $0.5v_f = 0.5$. Daarnaast is de mengverhouding van de epoxyhars en de harder 3:1 op gewicht.^{xxiv}

6.3 GEWICHTSREDUCTIE

Op dit moment is er dus een composieten balk met de volgende afmetingen; lengte = 1.03 m, breedte = 0.05 en dikte = 0.021 m. Het volume van de balk komt hiermee op 0.0011 m^3 . Composiet van glasvezel en epoxy, met $v_f = 0.5$, heeft een dichtheid van 1800 kg/m^3 . Door middel van de relatie tussen het volume en de dichtheid, $\text{massa} = \text{dichtheid} \cdot \text{volume}$, volgt dat de massa van de balk 2.1 kg is.

Zoals blijkt uit de analyse van het huidige ontwerp van staal, ligt de massa van de bladveer tussen de 9.3 en 9.7 kg. Het gewicht is dus gereduceerd met 7.2-7.6 kg, wat neerkomt op een gewichtsreductie van 77%-78%.

6.4 VEILIGHEIDSFACITOR

Zoals vermeld in paragraaf 5.1 worden er bij het ontwerpen en construeren van composieten veel hogere veiligheidsfactoren gehanteerd, in vergelijking met de veiligheidsfactoren van staal. De veiligheidsfactor van deze composiet bladveer, met de vermelde afmetingen, wordt als volgt berekend:

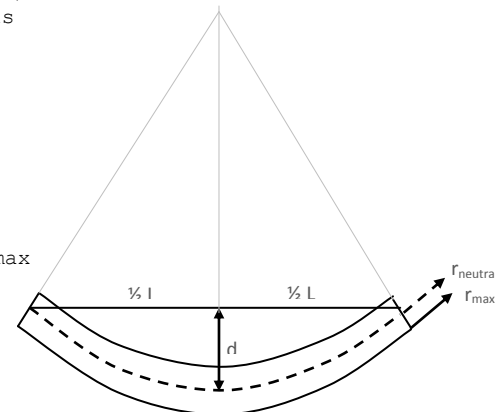
```
d = 0.0405          d = maximale doorbuiging (zie 4.1.2)
L = 1.03             L = lengte bladveer
Em = 3e9 %Pa         Em= E-modulus matrix/hars
Ef = 70e9 %Pa        Ef= E-modulus vezel
vm = 0.50            vm= percentage matrix/hars
vf = 1-vm            vf= percentage vezels
E = Em*vm + Ef*vf % 200 Gpa  E= E-modulus composiet
h= 0.021             h= hoogte van de balk
y=0.5*h              Y= neutrale lijn
Ym = 3e9 %Pa         Ym= Yield strength matrix/hars
Yf = 70e9 %Pa        Yf= Yield strength vezels
vm = 0.50
vf = 1-vm
Yield_composiet = Ym*vm + Yf*vf % 200 Gpa

r_neutraal= ((L)^2 + (4*d)^2) / (8*d)
r_max= r_neutraal + y

epsilon_max = y/r_max
sigma_max = E * epsilon_max
Veiligheids_factor = Yield_composiet / sigma_max
```

Hieruit volgt:

```
epsilon_max = 0.0031
sigma_max =  $1.14 \cdot 10^8 \text{ Pa}$  = 144 Mpa
Veiligheids_factor = 320
```



Het ontwerp is dus overgedimensioneerd, waardoor er een erg hoge veiligheidsfactor wordt gevonden. Dit wordt vaker gedaan bij producten van composiet, om te voorkomen dat kleine scheurtjes in het materiaal ontstaan en hierdoor veiligheidsrisico's kunnen veroorzaken.

6.5 PRODUCEREN

Het balkgedeelte van de bladveer zal bij voorkeur geproduceerd worden door middel van persen of vacuüm met pregreg. Dit omdat de vezels in één richting moeten liggen, oftewel uni-directioneel. Er komen voornamelijk krachten in de lengte- richting van de balk. Daarom leveren vezels over de dwarsrichting geen toevoeging aan de sterkte en stijfheid van de balk, maar zullen ze wel het gewicht van de balk verhogen. Deze gewichtstoename is niet wenselijk.

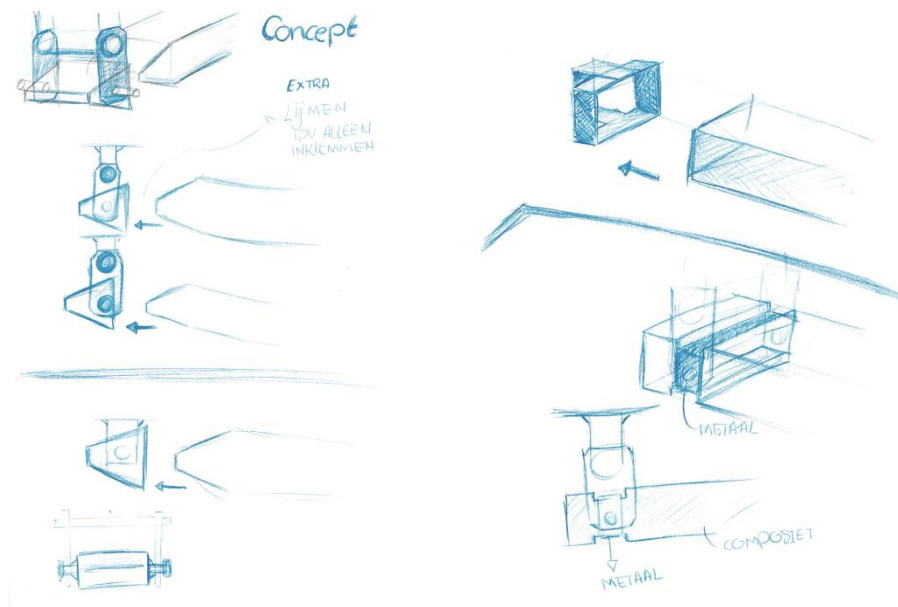
7. OPTIMALISEREN BLADVEER MET BEVESTIGINGSPUNTEN

In dit hoofdstuk volgt de optimalisatie van de bladveer met de bevestigingspunten. En zullen de resultaten uit hoofdstuk 6 worden meegenomen.

7.1 CONCEPTEN & HAALBAARHEID

Zoals gebruikelijk bij een ontwerpproces begint de basis met het maken van veel schetsen, met inachtneming van de mogelijke productieprocessen en ontwerpseisen. Door te schetsen kun je snel nieuwe ideeën overbrengen. Uit de verschillende schetsen zijn de volgende vier concepten naar voren gekomen. Hieronder worden de concepten besproken en wordt gekeken naar de haalbaarheid met betrekking tot de productie.

7.1.1 CONCEPT 1; METALEN TOEVOEGING



FIGUUR 20 SCHETSEN, CONCEPT MET METALEN TOEVOEGING. LINKS; METALEN DRIEHOEK. RECHTS; INGEKLEMD DOOR UITSPARING

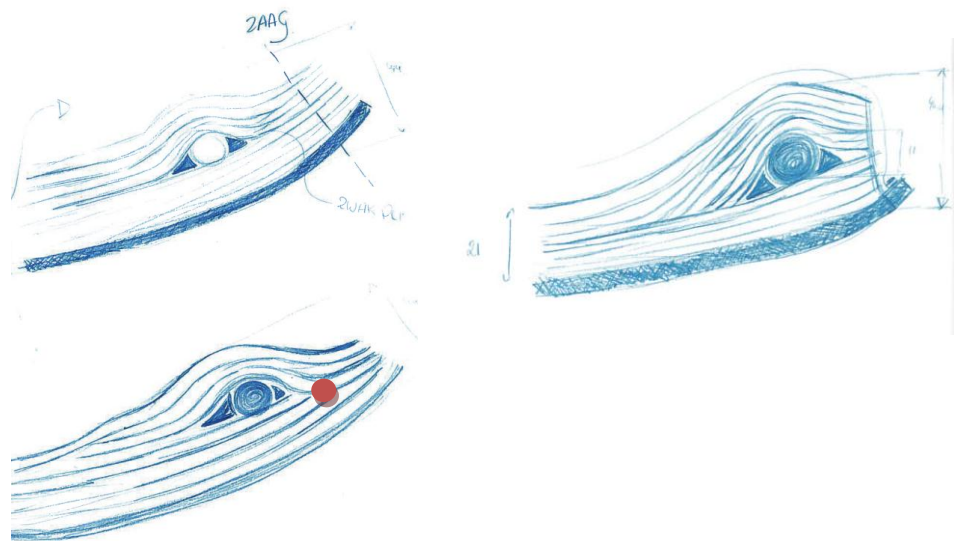
Voor dit concept zal er een rechte balk worden geproduceerd in composiet. Door middel van een metalen toevoeging zal deze bevestigd worden aan de gCab. Voor het bevestigen van de metalen toevoeging aan de composieten, mogen er geen gaten in het composietgedeelte geboord worden. Omdat elke vorm van verspaande bewerking kleine beschadigingen veroorzaken die kunnen uitscheuren.

Dit concept bestaat uit twee deelconcepten. Het eerste, weergegeven in figuur 20 (links), zal het composieten gedeelte van de bladveer door middel van een metalen driehoek ingeklemd worden. Het tweede deelconcept, weergegeven in figuur 20 (rechts), bestaat uit een metalen ring, die in een uitsparing valt in het composieten gedeelte.

HAALBAARHEID

Bij beide deelconcepten zullen er aanpassingen gedaan moeten worden aan het huidige ophangingsysteem. Wel zal de bevestiging van het ophangingsysteem aan het chassis in stand gelaten worden. Hierdoor zal de constructie nog steeds voldoen aan de gestelde eisen. Voor dit concept is de productie van het composieten onderdeel het eenvoudigst. In principe bestaat de bladveer hier alleen uit een balk met een kromming. Dit zou in het lab gemaakt kunnen worden door middel van vacuüm infusie. Op grotere schaal zal gebruik gemaakt kunnen worden van persen.

7.1.2 CONCEPT 2: DOORZAGEN



FIGUUR 21 SCHETSEN, CONCEPT

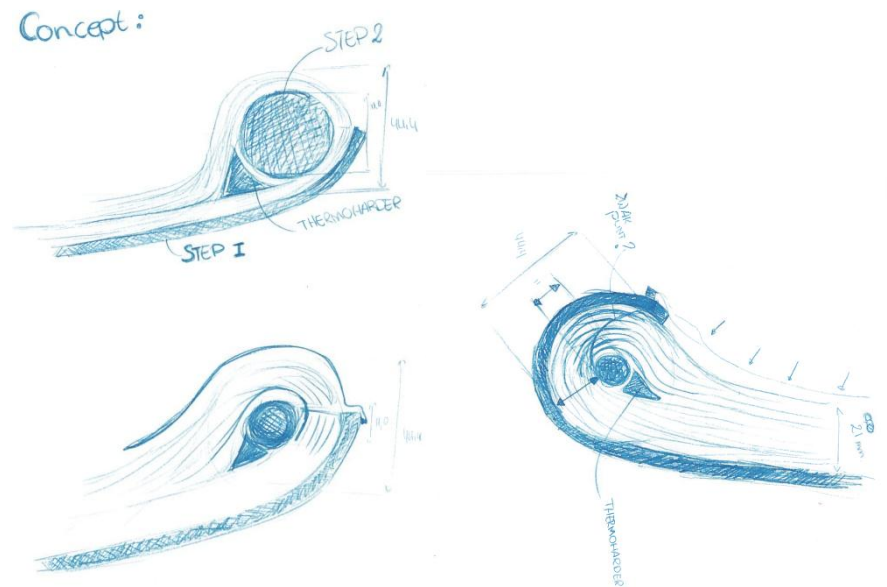
Voor dit concept is gezocht naar een oplossing zonder een metalen toevoeging, hierdoor zal de bladveer dus in één keer gefabriceerd kunnen worden. Het idee is om eerst een aantal lagen vezels in de mal te leggen, vervolgens een metalen as, waarmee de bladveer bevestigd kan worden aan het chassis. Na de as volgen weer een aantal lagen vezels, zoals weergegeven in de tekeningen. De metalen as wordt dus als het ware ingesloten tussen de lagen vezels. Er zullen extra lange vezels gebruikt worden, waardoor er een stuk composiet uitsteekt achter de as. Deze zal, nadat de vezels zijn behandeld met hars, worden ingekort.

HAALBAARHEID

Ook bij dit concept hoeven er geen aanpassingen gedaan te worden aan het huidige ontwerp van het chassis. Wel is er twijfel over de sterkte van deze oplossing. De kans lijkt aanwezig dat de lagen achter de as van elkaar zullen loslaten. Zie de rode punt in de tekeningen.

Dit concept zal in het lab gemaakt worden door middel van vacuüm infusie, met als grondplaat een gekromde plaat metaal. Er lijken geen problemen te ontstaan bij het produceren van dit concept.

7.7.3 CONCEPT 3: ROND



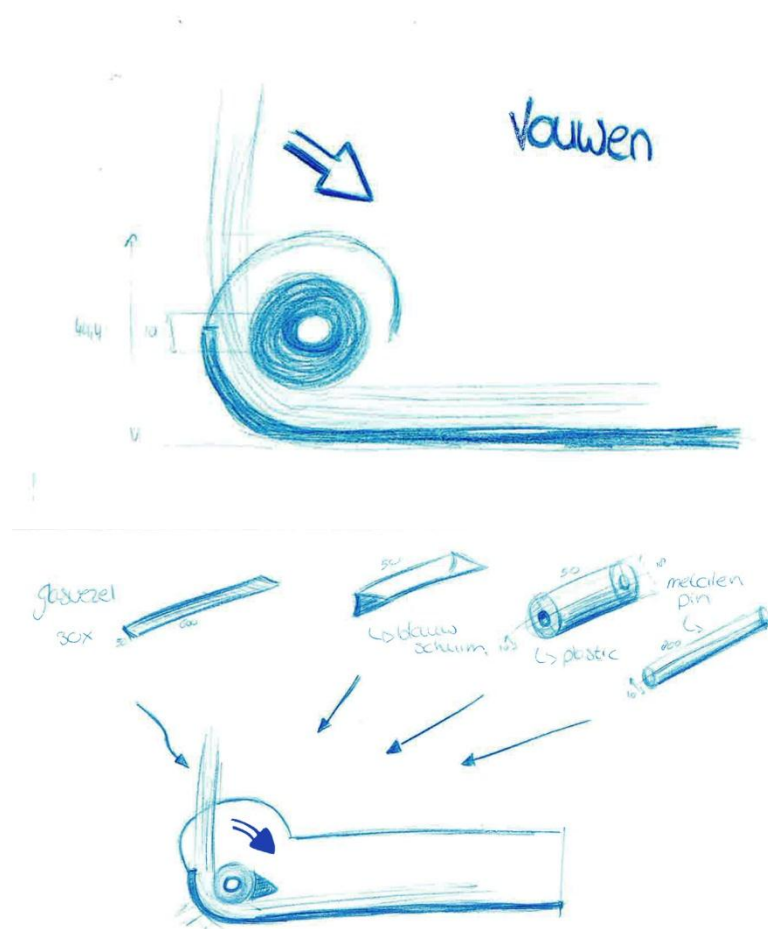
FIGUUR 22 SCHETSEN, CONCEPT MET RONDE MAL

In dit concept zal de bladveer ook in één keer worden vervaardigd uit composiet, met de nodige inserts voor de ophanging van de as. Er zal een ronde mal gemaakt worden om zo de vorm van de metalen bladveer te reproduceren. De ledige ruimte die ontstaat, zal worden op gevuld met schuim. Na de infusie zal het schuim doordrenkt zijn van hars en gewoon hard worden.

HAALBAARHEID

Net als bij Concepten 1 en 2 hoeven ook hier geen aanpassingen aan het chassis en het ophangingsysteem gedaan te worden. Alleen lijkt het helaas niet mogelijk om deze vorm op deze wijze te produceren uit composiet. Omdat de vorm zeer waarschijnlijk niet uit de mal zal komen. Bovendien gaat het zeer lastig worden om het verloop van de hars door alle vezels goed te laten verlopen. Er zal een opeenhoping van hars ontstaan in de lus van de bladveer. Om dit te voorkomen is er verder gezocht naar een andere oplossing, hieruit volgt concept 4.

7.7.4 CONCEPT 4: VOUWEN



FIGUUR 23: SCHETSEN, CONCEPT VOUWEN

Bij het laatste concept zal er, net als bij concept 3 het geval is, een mal gemaakt moeten worden waarin de vezellagen worden opgestapeld. In plaats van kortere lagen over elkaar heen te vouwen, zullen hier langere stroken gebruikt worden die worden dubbel gevouwen. Dit vouwen gebeurt om de inserts. Deze inserts zijn nodig om de bladveer te bevestigen aan het ophangingsysteem.

HAALBAARHEID

Ook bij dit concept zijn geen aanpassing aan het chassis en het ophangingsysteem nodig. Daarnaast lijkt het mogelijk, met kleine aanpassingen, om deze vorm op deze wijze te produceren. Er zal een metalen mal gemaakt moeten worden die lossend is en de hars op de juiste plaats injecteert.

7.2 KEUZE CONCEPT

In de vorige paragraaf zijn alle concepten kort besproken en beoordeeld op hun haalbaarheid met de aanwezige voorzieningen.

Concept 1 is qua productie het eenvoudigst. Wel zullen er veel aanpassingen gedaan moeten worden aan het ophangingsysteem. Dit ophangingsysteem zal worden uitgevoerd uit metaal. Dit levert extra gewicht op. Daarom is er gekozen om één van de andere concepten uit te werken. De nadruk gedurende dit onderzoek ligt op gewichtsbesparing. Daarom komen de andere concepten, met meer vormintegratie, beter in aanmerking voor de gCab.

Voor concept 2 en 3 is het niet nodig dat er aanpassingen gedaan worden aan het ophangingsysteem. Alleen blijkt de haalbaarheid van deze concepten veel kleiner met de productietechnieken die op dit moment voor handen zijn. Zo wordt bij concept 2 verwacht dat er zwakke punten ontstaan aan de uiteinden van de bladveren. Waarschijnlijk zal er bij concept 3 een slecht verloop van de hars optreden. Dit is bevestigd door L. Warnet, expert op het gebied van composieten,

Bij concept 4 hoeven er geen aanpassingen aan het huidige ophangingsysteem uitgevoerd worden. Het concept biedt ruimte voor vormintegratie en er zouden metalen inserts geïntegreerd kunnen worden. Daarnaast zal de bladveer in zijn geheel geproduceerd kunnen worden. Bovendien is het niet nodig om het ophangingsysteem aan te passen. Wel zal er een mal op maat geproduceerd moeten worden, dit zal wel extra kosten met zich mee brengen. Met inachtneming van alle voor- en nadelen van dit concept, blijkt dit concept de beste keuze te zijn. Deze wordt in paragraaf 7.3 verder uitgewerkt.

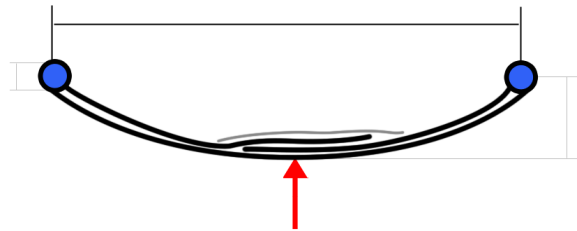
Concepten	Pluspunten	Minpunten
Concept1: Metalen toevoeging	+ Simpele vorm, eenvoudig te produceren	- Ophanging met metalen delen, extra gewicht - Geen vormintegratie
Concept 2: Doorzagen	+ geen aanpassing nodig huidig ophangingsysteem + Wel vormintegratie mogelijk	- Ontstaan mogelijk zwakke punten, uiteinde bladveer
Concept 3: Rond	+ geen aanpassing nodig huidig ophangingsysteem - Wel vormintegratie mogelijk	- Bij productie; slecht verloop van de hars bij deze vorm van de mal
Concept 4: Vouwten	+ geen aanpassing nodig huidig ophangingsysteem + Wel vormintegratie mogelijk	- mal op maat produceren, extra kosten

TABEL 2
CONCEPTEN
VERGELIJKEN,
PLUS- EN
MINPUNTEN

7.3 EINDCONCEPT

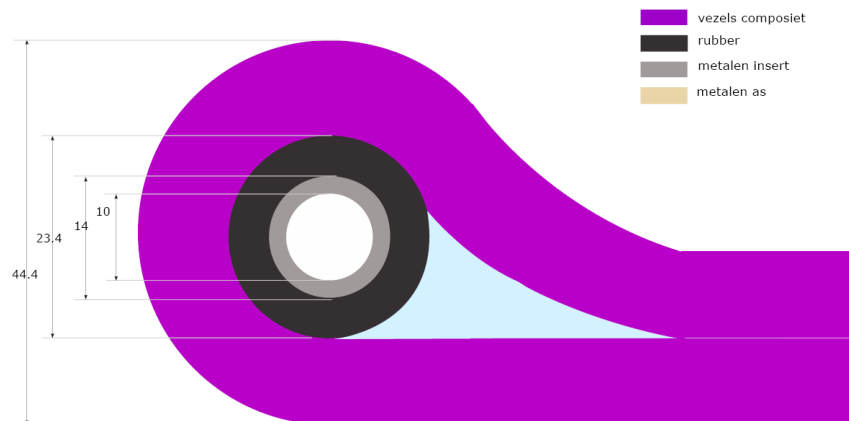
7.3.1 ONTWERP

Het vierde concept is verder uitgewerkt tot het eindconcept. Er is een mal ontworpen om één van bevestigingspunten te fabriceren. Hierover volgen later meer details in paragraaf 7.4



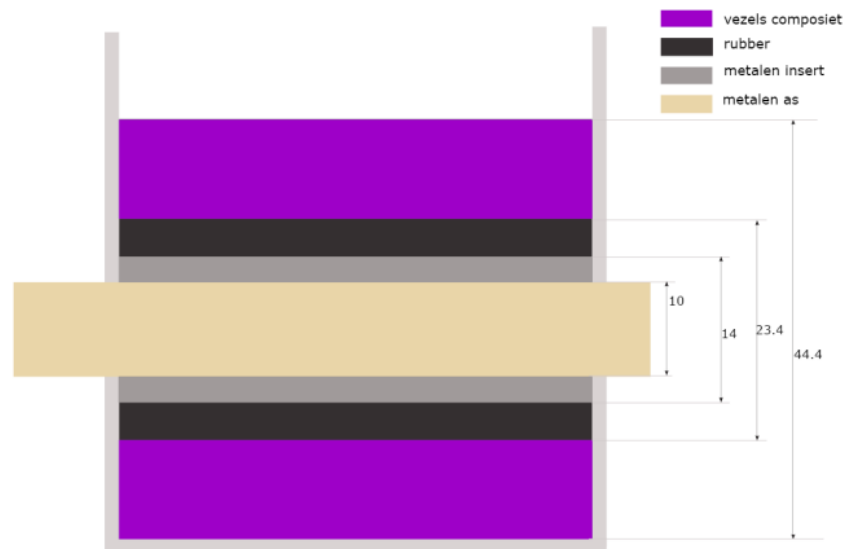
FIGUUR 24 SCHEMATISCHE WEERGAVE, EINDCONCEPT GEHELE BLADVEER

Het idee achter dit concept is het vouwen van de stroken vezels. Dit geeft een eenvoudige manier om de bladveer te produceren. Er moet een dikke laag vezels gevormd worden van 10.5 mm. Deze laag wordt om een metalen en rubberen insert teruggevouwen. Hierdoor ontstaat een balkdikte van 21 mm. Dit is de gewenste dikte, die volgt uit de optimalisatie van het “balk” element, zie hoofdstuk 6. De twee lagen worden voorbij het midden teruggevouwen zodat er een verdikking in het midden van de bladveer. Hier vallen drie lagen over elkaar. Er is alleen op dit punt een dikte gewenst van 37 mm, daarom komt er nog een extra laagje vezels boven op van 5.5 mm. Zo kan de bladveer bevestigd worden in het huidige ophangingsysteem aan de as van de gCab.



FIGUUR 25 SCHEMATISCHE WEERGAVE, ZIJAAANZICHT MAL

De stroken glasvezels worden teruggevouwen over een metalen as ($\varnothing = 10\text{mm}$), waar de inserts omheen geschoven zijn. Het gaat om de volgende inserts, een metalen busje ($\varnothing_{\text{binnen}} = 10\text{ mm}$; $\varnothing_{\text{buiten}} = 14\text{ mm}$) en een rubberen busje ($\varnothing_{\text{binnen}} = 14\text{ mm}$; $\varnothing_{\text{buiten}} = 23.4\text{ mm}$). Als de lagen vezels gevouwen worden, ontstaat er een “loze” ruimte. Deze ruimte zal worden opgevuld, door een stukje polystyreenschuim in de juiste vorm (zie figuur 25.)



FIGUUR 26 SCHEMATISCHE WEERGAVE, VOORAANZICHT MAL

7.4 PRODUCTIE & PRODUCTIE TECHNIEK

ONTWERP De bladveer zal geproduceerd worden met behulp van vacuüm infusie. In de toekomst kan er gekeken worden naar de mogelijkheid om ze te laten persen. Omdat deze techniek niet in het lab voorhanden is, zijn deze mogelijkheden niet verder gespecificeerd.

LAB In het lab is er qua persen alleen de mogelijkheid om kleine balkjes te fabriceren. Deze mogelijkheid valt dus af voor dit concept. Indien er meerdere productietechnieken beschikbaar waren geweest, zouden punten als complexiteit, grootte en vereiste prestaties moeten worden meegenomen. Het lab van Productie Techniek biedt alleen de mogelijkheid om gebruik te maken van vacuüm infusie, voor het produceren van dit product. Daarom zijn de bovenstaande punten niet allemaal meegenomen bij de keuze van het productie proces.

Er is gezocht naar een manier om deze vorm te produceren met behulp van vacuüm infusie. Hiervoor is een speciale mal ontworpen voor één van de bevestigingspunten, deze zal worden getest in het lab.

MAL De mal is laser gesneden, gevouwen, gebogen en ten slotte gelast. De mal is te zien in figuur 27. Tevens valt in bijlage 13.4 de input voor de lasersnijder te vinden. Vervolgens is er in de ronding een (busje) vast gesoldeerd. Alle lasnaden en soldeerranden moeten luchtdicht worden gemaakt, omdat de mal vacuüm gezogen moet worden.



FIGUUR 27 FOTO VAN DE MAL

7.5 MATERIAAL

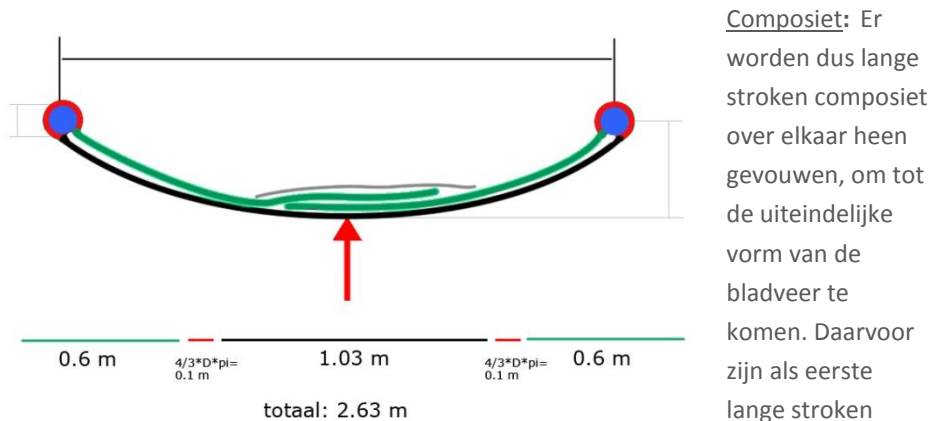
ONTWERP Net als de geoptimaliseerde balk, zal ook het bevestigingspunt gemaakt moeten worden van Uni Directionele glasvezels, UD. Omdat losse vezels in één richting niet in lagen in de vorm kunnen liggen. Ze blijven dan namelijk zeker niet parallel naast elkaar liggen. Daarom maken ze voor deze toepassingen vaak gebruik van prepreg.

LAB Er was alleen de beschikking over weefsels van glasvezels, zonder prepreg. Er is voor gekozen om deze te gebruiken, om uit te proberen of deze productietechniek zou kunnen werken.

7.6 GEWICHTSREDUCTIE

Het gewicht van de gehele bladveer zal bij dit concept opnieuw bepaald moeten worden, omdat de balk en de bevestigingspunten in één keer geproduceerd zullen worden.

ONTWERP:



FIGUUR 28 LENGTE VAN DE STROKEN VEZEL

geknipt, met de volgende afmetingen: lengte = 2.63 m, breedte = 0.05 m en dikte = 0.0105 m. Het volume van de balk komt hiermee op 0.0014 m³. Composiet van glasvezel en epoxy, met $\nu_f = 0.5$, heeft een dichtheid van 1880 kg/m³^{xxvi}. Door middel van de relatie tussen het volume en de dichtheid, massa = dichtheid * volume. Hieruit volgt dat de massa van de balk 2.6 kg is, exclusief de extra verhoging voor de bevestiging aan de as, grijs weergegeven in figuur 28. Dit zijn stroken met een lengte van 0.30 m, breedte = 0.05 m en een dikte = 0.055 m. Het volume hier van is 8.2500e-05 m³ en heeft dus een gewicht van 0.16 kg.

Metalen insert Er wordt een busje gedraaid van metaal met een binnendiameter van 10 mm en een buiten diameter van 14 mm. En een hoogte van 50 mm. Volume is; $V = (\frac{\pi}{4} * D_{\text{buiten}}^2 * h) - (\frac{\pi}{4} * D_{\text{binnen}}^2 * h) = 3.77e-06 \text{ m}^3$ Hieruit volgt een gewicht van 0.03 kg, met staal van 8.03*1000 kg/m³

Rubberen insert Er zal een rubberen busje gemaakt moeten worden. Dit kan gedaan worden in samenwerking met de vakgroep Elastomer Technology & Engineering. Er moet een mal gemaakt worden uit metaal en dan kunnen zij het rubber vulkaniseren. Er zal een buisje met de volgende afmetingen nodig zijn: een binnendiameter van 14 mm, een buitendiameter van 23.4 mm en een hoogte van

50 mm. $V = (\pi/4) * D_{\text{buiten}}^2 * h - (\pi/4) * D_{\text{binnen}}^2 * h = 1.38e-05$. Hieruit volgt een gewicht 0.02 kg, met de dichtheid van hard rubber van 1200 kg /m³.

Schuim Zoals vermeldt, wordt het loze gedeelte opgevuld met blauw schuim. Deze is handmatig in de juiste vorm geschuurd. Met een geschat gewicht van 0.008 kg.

Totaal: Het totale gewicht van de bladveer komt hiermee uit op 2.6 +0.16+0.0303+ 0.0166+ 0.008 = 2.8 kg. Dit betekent een gewichtsbesparing van 70% -71 %.

LAB:

Kunststoffen insert: In plaats van het metalen en rubberen deel, zal het prototype gemaakt worden van kunststof. Er wordt een buisje gedraaid van metaal met een binnendiameter van 10 mm en een buiten diameter van 18 mm. En een hoogte van 50 mm.

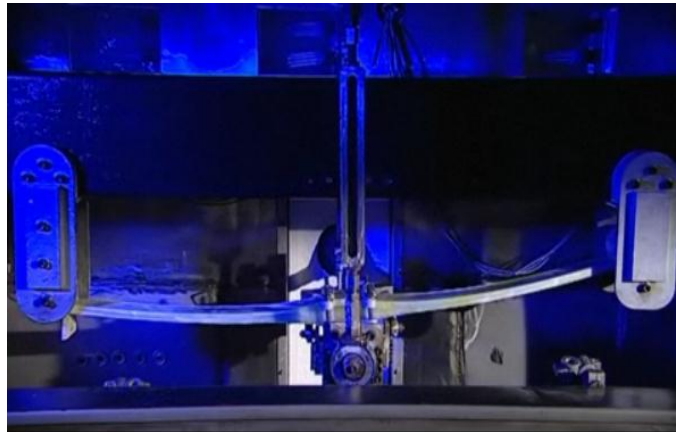
8. KWALITEIT, RECYCLING & FINANCIHEEL

8.1 KWALITEIT

De bladveer zal een bepaalde kwaliteit moeten hebben. Er zal gekeken worden naar mogelijke manieren om dit te kunnen waarborgen.

8.1.1. KWALITEIT BLADVEER

Net als een metalen bladveer, moet ook een composiet bladveer getest worden op verschillende punten. Er zal onder anderen gekeken moeten worden naar maximaal toelaatbare spanning en het veergedrag. Deze metingen beginnen vaak met eindige elementen analyses en de hiervoor bedoelde software. Omdat het lastig blijkt te zijn om van composieten passende computermodellen te maken, zullen er na deze stap, fysieke testen moeten worden uitgevoerd. Zowel in het laboratorium als in de fysieke werkelijkheid, dus gemonteerd onder de gCab.



FIGUUR 29: TESTOPSTELLING , IN GEBRUIK BIJ IF COMPOSITES

In figuur 29 zie je een voorbeeld van een testopstelling voor bladveren. Hiermee kunnen bladveren onder anderen op vermoeidheidseigenschappen worden getest. Ook wordt er gekeken of er veranderingen in het veergedrag worden waargenomen na een zeer groot aantal inwerkingen. Na de testen in deze testopstelling zullen er bladveren onder gCabs gemonteerd moeten worden, om te testen of ze in de praktijk ook voldoen.

8.8.2 KWALITEIT MATERIAAL

Voor de kwaliteit en soms ook de veiligheid van de composieten is het van essentieel belang dat fouten worden ontdekt, zoals gedeeltelijke delaminatie, porositeiten, scheurtjes en insluitingen. Om de kwaliteit te kunnen bepalen, worden op dit moment nieuwe technieken ontworpen. Zo bestudeert het bedrijf Sirris de niet-destructieve controle van composieten door actieve infraroodthermografie. In bijlage 13.1 staat de beschrijving die door het bedrijf Sirris wordt gegeven over hun techniek.

Op de volgende pagina staat in tabelvorm weergegeven wat de mogelijke controle punten zijn bij een kwaliteitscontrole van een composiet bladveer.

Controle punten	Wijze van controle
Vereiste sterkte, maximaal toelaatbare spanning	Eerst doorrekenen met eindige elementen analyse, vervolgens fysieke testen, zowel in het lab als gemonteerd onder de gCab
Vereiste stijfheid	
Veergedrag	
Controleren op productie fouten	Bijvoorbeeld door gebruik te maken van de niet-destructieve controle van composieten door actieve infraroodthermografie.
Controleren op onnauwkeurigheden	
Homogeniteit eindproduct vaststellen	
- correcte ligging van de vezels	
- hoeveelheid luchtinsluitingen	
Oppervlakte afwerking	
Verontreinigingen aanwezig	

TABEL 3: CONTROLE PUNTEN BIJ KWALITEITS-ONDERZOEK

8.2 RECYCLING

Composieten zijn vezelversterkte kunststoffen die door hun eigenschappen tegenwoordig steeds vaker met veel succes worden toegepast. Omdat thermoharders niet smelten en chemisch een hoge resistentie bezitten, was het recycleren altijd erg lastig.^{xxvii} Toch lijkt er een goede oplossing gevonden, namelijk fragmentatie. Zoals in het Metaal Magazine vermeldt staat: “Onderzoekers van Fraunhofer IBP onderzoeken momenteel of de zogeheten ‘elektrodynamische fragmentatie’ een manier om CVK-delen te herverwerken is. Hierbij wordt onder water een kortstondige, elektrische impuls opgewekt, met het effect van een TNT-explosie. Op deze manier zou het mogelijk moeten zijn om een composiet weer te scheiden in matrixdeeltjes en versterkingsvezels. Dit is ook mogelijk met een hoogtemperatuurpyrolyse, maar hiervoor is meer energie nodig.”^{xxviii} In bijlage 13.2 een schematische weergave van dit proces. Deze techniek is nog relatief nieuw en dus nog volop in ontwikkeling. Maar dit zou een mogelijkheid kunnen worden om in de toekomst de composieten te kunnen recycleren.

Daarnaast schijnt Hitachi chemical company Ltd. een manier gevonden te hebben om de harsen op te kunnen lossen, waarmee de vezel vrijkomt en hergebruikt kan worden. Composieten met natuurlijke vezels kunnen al worden gerecycled door het ontwikkelde systeem van Hitachi. Een beschrijving van deze methode is te vinden in bijlage 13.4.

8.3 FINANCIËEL

Op dit moment blijkt het helaas erg lastig om een concrete kostprijsschatting te maken. Omdat er geen marktprijzen beschikbaar zijn door grote variëteit van materialen, de opbouw van materialen en de grote verschillen in de verwerking. Omdat deze gegevens niet online beschikbaar zijn, zal er bij verschillende bedrijven die producten maken met behulp van vacuüm infusie offertes moeten worden aangevraagd. Gedurende dit project heb ik geen bedrijven kunnen vinden die producten maken, met soortgelijke afmetingen en toepassingen. Daarom zal er in het vervolgonderzoek, ook hier nadere informatie over moeten worden ingewonnen.

Wel is bekend dat er op dit moment veel nieuwe technieken worden ontworpen voor de productie van composieten. De fiberplacementmachine van NLR is hier een goed voorbeeld van. Hiermee is het mogelijk om tegen lage kosten, grote

composieten componenten in serie te produceren. Zo meldt het NLR: “Tot nog toe hielden de hoge materiaal- en productiekosten een grootschalige toepassing van dit materiaal tegen. Door automatiseringsprocessen, nieuwe robot- en slimme assemblagetechnieken zijn de kosten per ‘ kilo’ composiet de laatste jaren echter drastisch gedaald.”^{xxxix} Het NLR heeft het hier over vliegtuig onderdelen. Maar er valt wel uit te concluderen dat door nieuwe technieken, het gebruik van composieten steeds voordeliger aan het worden is. Hiermee biedt het gebruik van composiet steeds meer potentie voor de toekomst.

Ondanks dat er weinig financiële gegevens beschikbaar zijn, is er in tabel 4 een grove schatting van de kosten te vinden. Hiermee wordt inzicht gegeven in de mogelijke kostprijs. Hierbij wordt uitgegaan van een uurloon van 12 euro per uur. Dit is voor een medewerker met kennis van de productie van composiet.

De arbeidsuren zijn verdeeld in vier categorieën; voorbereiden, mal produceren, productie product en afwerking. Onder voorbereiding valt onder andere het op maat snijden van de stroken weefsel. Onder het produceren van het product valt het vacuüm baggingproces, inclusief het ontluchten van de hars en dergelijke. Er is een inschatting gemaakt van de arbeidsuren, waarbij de werknemer meerdere producten naast elkaar produceert. Bijvoorbeeld, hij snijdt de stroken voor het volgende product op maat, terwijl de hars voor het eerste product aan het ontluchten is. Dit laatste is namelijk een korte handeling, waarna een aantal uren gewacht moet worden.

**TABEL 4 BEKNOPTE
KOSTPRIJSSCHATTING**

Kostenpost	Tijd	Gewicht in kg	Kosten per eenheid	kosten
Materiaal *		2.1		
- Vezels, EWR 300		1.05	€3,16/kg	€ 3.32
- Hars, LY1564		0.79	€9,25/kg	€ 7.31
- harder, Aradur 34868**		0.27	€14,88/kg	€ 4.02
- extra producten, zoals lossingsmiddel en rubberen slangen				€ 3.00
- metaal voor de mal, plaat staal, 2mm		0.19 m ²	€ 39.1/m ^{2xxx}	€7.40
Arbeidsuren			€12/uur ***	
- voorbereiden	90 min			€ 18.0
- mal produceren	60 min			€ 12.0
- produceren product	180 min			€ 36.0
- afwerking	30 min			€ 6.0
Machine kosten & afschrijving				€ 2.0
Totaal per product				€ 99.05

* Kosten vezels, hars en harder terug te vinden in bijlage 13.5

**De mengverhouding van de epoxyhars en de harder is 3:1 op gewicht.

*** De arbeider verdient het minimumloon voor werknemers van 23 jaar en ouder. Dit komt neer op € 1.424,40 per maand per werknemer (*Rijksoverheid minimumloon 2011*).
Minimumloon werknemer: € 1.424,40 8% vakantietoeslag: €114 → 1538,40 per maand 160 uur per maand werken: 10% persoonlijke verzorging en 10% ziekteverzuim → 128 uur daadwerkelijk werken Netto loon is dus € 12 per uur per werknemer.

9. PRODUCTIE IN HET LAB

In de paragraaf 7.3 is het ontwerp besproken. Er is gekozen om alleen één van de bevestigingspunten te produceren in het lab. Dit omdat er beperkingen zijn aan de grote van het product in het lab. Daarnaast is het doel van de productie in het lab, het testen of deze manier van produceren van de bevestigingspunten werkt. Daarom is ervoor gekozen om vereenvoudigingen aan te brengen, zoals gedaan is met de inserts.

9.1 PRODUCTIE STAPPEN

MAL De mal is gemaakt in de metaalwerkplaats. Eerst met de laser gesneden en daarna gebogen. Daarna zijn de randen gelast en het busje op de juiste plaats vast gesoldeerd. Hierbij wordt goed gelet op de luchtdichtheid van de naden. Als deze niet goed gelast en gesoldeerd worden, krijg je problemen met het vacuümtrekken van de mal.



FIGUUR 30 FOTO VAN DE MAL

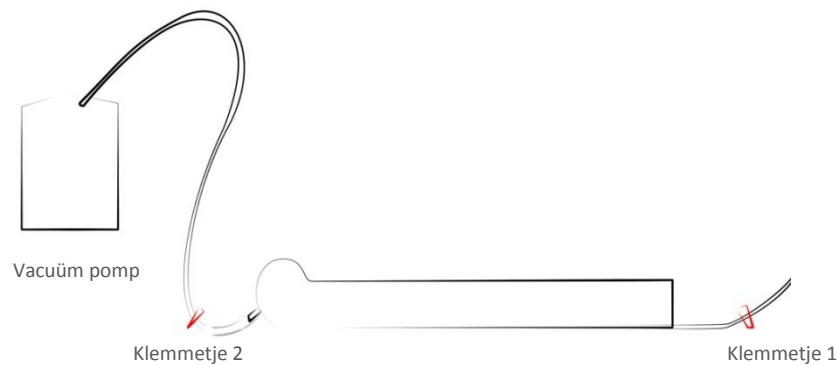
INSERT In het ontwerp zijn een metalen en een rubberen insert geplaatst in het midden van de bevestigingspunten. Helaas was niet het juiste bulkmateriaal aanwezig om een mal te kunnen maken voor het vulkaniseren van het rubber. Daarom is ervoor gekozen om de metalen en rubberen insert te vervangen door een zwarte kunststoffen insert. Hierdoor zal blijken of het mogelijk is om een insert te gebruiken bij deze techniek. Als het werkt, kan er in het vervolg gebruik worden gemaakt van de juiste metalen en rubberen inserts.

VOORBEREIDEN Het voorbereiden begint door de mal te behandelen met lossingsmiddel, dit vervolgens vijf minuten te verwarmen in een oven van ongeveer 50 graden, waarna het nog een keer wordt behandeld met lossingsmiddel. Nu is de mal klaar om gevuld te worden met lagen vezels. Door het lossingsmiddel zal het product straks goed uit de mal te halen zijn.

De vezels moeten op de juiste maat gesneden worden. Zoals eerder beschreven, wordt er gebruik gemaakt van een weefsel van glasvezel. Om alles op dezelfde maat af te snijden, is er een metalen strip in de juiste afmetingen gesneden. Voor dit prototype waren ongeveer 30 laagjes nodig. Dan is namelijk de juiste dikte bereikt om de ruimte tussen de mal en de kunststoffen insert te vullen. Kortom, er zijn 30 stroken weefsels nodig van 50 * 600 mm.

Vervolgens worden de vezels één voor één in de vorm gelegd. De vezels worden naar beneden geduwd door de kunststoffen insert, om vervolgens de metalen pin te bevestigen. Hierna kunnen de vezels gevouwen worden rond de kunststoffen insert.

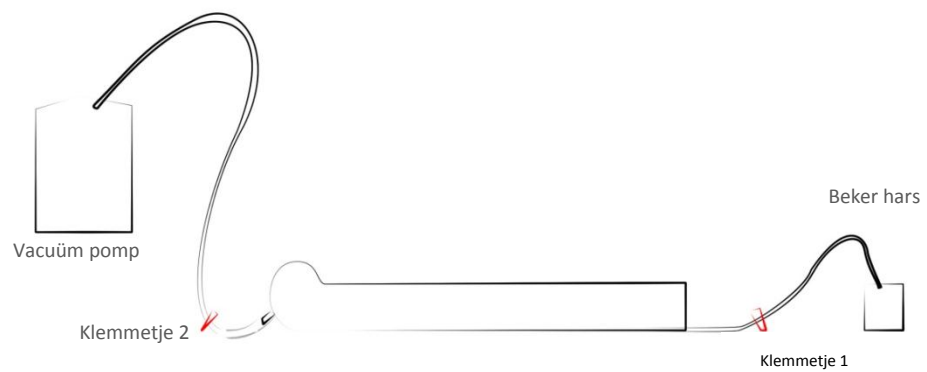
VACUÛM BAGGING Voor deze techniek is het van essentieel belang dat de mal goed vacuüm getrokken kan worden. Daarvoor worden de randen van de mal beplakt met tacky-tape en wordt er een folie over het tape geplakt. Dan is het een kwestie van het masseren van het tacky-tape zodat alle kleine gaatjes dicht gaan zitten. Doordat hier gebruik gemaakt wordt van een complexe vorm, was het lastig om het folie goed in de vorm te krijgen. Ook was het lastig om genoeg vacuüm op te bouwen. Later bleek dat dit kwam doordat er een lek zat in de gesoldeerde rand van de opening. Toen dat dicht was geplakt met tacky-tape werd het juiste vacuüm bereikt. Om te zien of de mal voldoende vacuüm getrokken kan worden, wordt het aangesloten op de vacuümpomp. Dit is weergegeven in een schematische tekening, zie figuur 31. Aan de rechterkant bevindt zich de ingang van de mal. Daar worden de slangen afgesloten met een klemmetje. De linker klem wordt open gezet en hierna wordt de mal vervolgens vacuüm getrokken. De vacuümpomp is aangesloten op een drukmeter. De mal is voldoende vacuüm als de drukmeter minder dan 0.2 bar aangeeft.



FIGUUR 31 SCHEMATISCHE WEERGAVE OPSTELLING

INFUSIE Voordat de infusie kan beginnen, moet eerst de hars ontlucht worden. Hierbij worden alle luchtbelletjes uit de hars gehaald. Deze luchtbelletjes komen anders ook in het product. En dat wil je graag voorkomen. De hars heeft ongeveer twee uur ontlucht. Vervolgens wordt de hars toegevoegd en opnieuw ontlucht, dit maal ongeveer 20 minuten.

Nu kan de infusie beginnen. De beker met hars wordt aan de ingang van het prototype gezet, zoals geïllustreerd aan de rechterkant van figuur 32. Het klemmetje 1 (rood gemarkeerd) in figuur 32, wordt opengedraaid en daarna vloeit de hars langzaam door de vezels, net zo lang totdat er hars en luchtbelletjes uit de uitgang komt. Op dat moment wordt de slang van de ingang dichtgedraaid, dus klemmetje 1. Zo kan de overvloedige hars in de mal zich verspreiden door de vezels. Vervolgens wordt ook de uitgang dichtgedraaid, klemmetje 2. Daarna kunnen de slangen achter de klemmetjes worden doorgeknipt, om vervolgens het prototype in de oven te zetten. Nu is het wachten totdat het product gereed is. Het product moet minstens een aantal uren in een oven van 50 graden Celsius staan. Om er zeker van te zijn dat de hars goed is uitgehard, heeft het product een nacht in de oven gestaan. Daarna is het uit de mal verwijderd.



FIGUUR 32 SCHEMATISCHE WEERGAVE OPSTELLING VACUÛM BAGGING

9.2 RESULTAAT PRODUCTIE PROTOTYPE

Nadat het product uit de oven is gehaald en gelost is uit de mal, werd duidelijk dat er schuimvorming was opgetreden. Dit kan verschillende oorzaken hebben. Mogelijk is er toch een lek in het vacuüm ontstaan, waardoor er lucht bij het product kon komen. Dit geeft schuimvorming als gevolg. Ook kan het mogelijk zijn dat er te weinig hars is geïnjecteerd, waardoor er niet voldoende hars tussen de vezels is gekomen.

In verband met gebrek aan tijd was het niet mogelijk om dit productieproces te herhalen. In overleg met de opdrachtgever, Marc Beusenberg, is besloten dat een student assistent aan de hand van dit rapport het productieproces gaat verifiëren. Daarbij zal hij moeten letten op de volgende punten, om in het vervolg schuimvorming te voorkomen.

Als eerste zal bij de infusie heel voorzichtig met de mal moeten worden omgegaan. Omdat er veel tacky tape is gebruikt, plakt alles aan de mal en je handschoenen vast. Het is mogelijk dat je bij het lostrekken van je handschoenen het vacuüm licht verstoord.

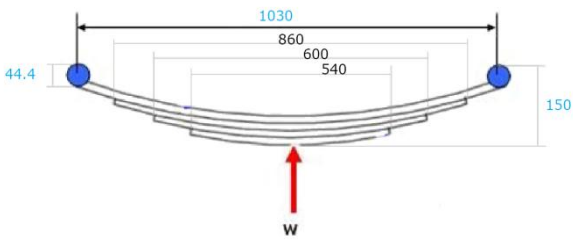
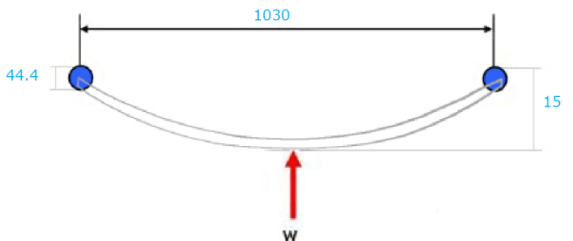
Daarnaast zal er berekend moeten worden hoeveel hars er nodig is voor een product van deze afmetingen. Zodat je zeker weet dat er voldoende hars wordt geïnjecteerd.

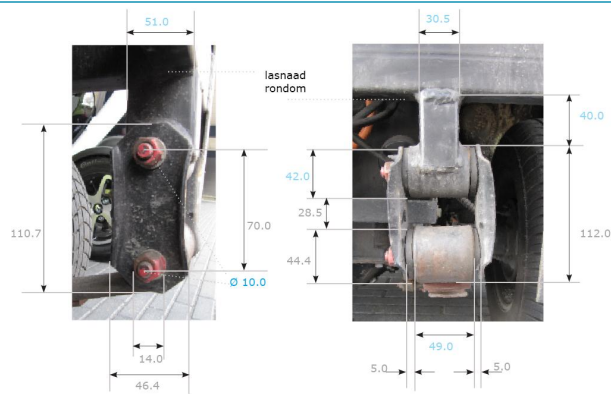


FIGUUR 33 FOTO RESULTAAT PRODUCT

10. OVERZICHT GEGEVENS

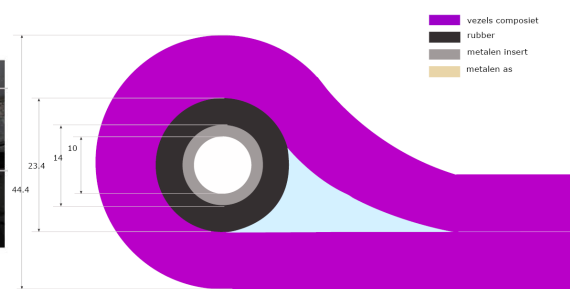
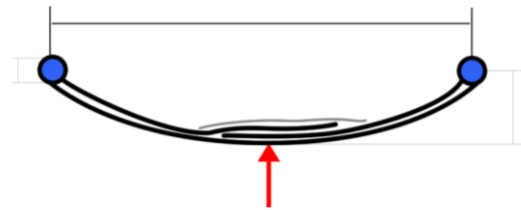
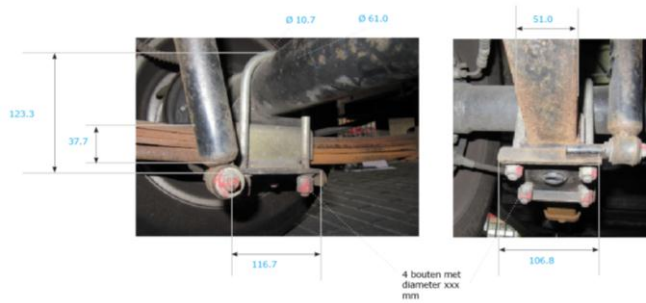
Er volgt in beknopte vorm een samenvatting van de eigenschappen van de stalen bladveer en het ontwerp van composiet. Voor de composiet bladveer zijn de gegevens van de optimalisatie met de bevestigingspunten meegenomen.

STALEN BLADVEER	COMPOSIT BLADVEER MET BEVESTIGINGSPUNTEN
Materiaal: - Type staal: SAE-1080, 1095, 5155-60, 6150-60 and 9250-60. ^{xxxxi}	Materiaal Glasvezels, EWR 300; Hars: LY1564; Harder: Aradur 34868**. Gekozen voor $vm = 0.5$ en $vf = 0.5$
- Afmetingen: breedte = 0.05 m, dikte = 0.008. De bladveer bestaat uit vier bladen van respectievelijk 1.03 m, 0.86 m, 0.60 m en 0.54 m.	- Afmetingen: breedte = 0.05 m, dikte = 0.021 m. Lengte = 1.03 m.
- Dichtheid van AISI 1018 is $7.7-8.03 \cdot 1000 \text{ kg/m}^3$. - Volume: 0.0012 m^3 - Massa: 9.33- 9.73kg	- dichtheid: 1880 kg /m^3 - volume: 0.0011 m^3 - Massa: 2.8 kg
Veerconstante : 6.9 e4 N/m	Veerconstante : 6.9 e4 N/m
E_staal= 210e9	$E_m = 3\text{e9 Pa}$ $Y_m = 3\text{e9}$
Yield_staal = 375.8e6	$E_f = 70\text{e9 Pa}$ $Y_f = 70\text{e9}$
	$vm = 0.50$ $vm = 0.50$
	$vf = 1-vm$ $vf = 1-vm$
	$E = E_m \cdot vm + E_f \cdot vf$ $Yield_{composiet} = Y_m \cdot vm + Y_f \cdot vf$
$\epsilon_{max} = 0.0012$ $\sigma_{max} = 250 \text{ MPa}$ $Veiligheids_factor = 1.5$	$\epsilon_{max} = 0.0031$ $\sigma_{max} = 1138,6 \text{ Mpa}$ $Veiligheids_factor = 320.53$
Geschatte kostprijs: tussen de 85 en 240 euro liggen.	Geschatte kostprijs: € 99.05
	



Productie

Door middel van vacuüm infusie en bijbehorende mal van metaal. Stroken weefsel worden gevouwen op onderstaande wijze.



*Alle afmetingen weergegeven in blauw mogen niet veranderd worden gedurende het ontwerpproces. De andere afmetingen mogen variëren, op voorwaarde dat er geen aanpassingen aan het chassis worden gedaan.

**De mengverhouding van de epoxyhars en de hardener is 3:1 op gewicht.

11. AANBEVELING & CONCLUSIES

Dit onderzoek bestaat uit twee delen: de optimalisatie van het “balk”element van de bladveer en de bevestigingspunten. Daarom zullen de aanbevelingen ook puntsgewijs besproken worden.

11.1 BLADVEER ZONDER BEVESTIGINGSPUNTEN

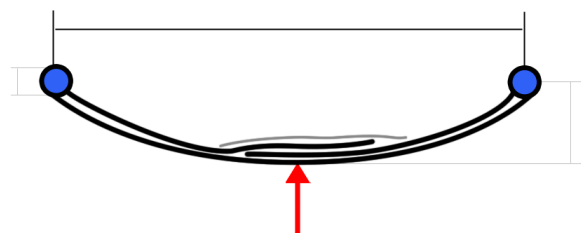
Voor het produceren van de bladveer zonder de bevestigingspunten, vergelijkbaar met een balk element, blijkt composiet een goed alternatief. Er kan een gewichtsbesparing van 78 % gehaald worden ten aanzien van de metalen bladveer. Om dit te kunnen realiseren moet er gebruik worden gemaakt van Uni-directionele glasvezels. Door gebruik te maken van de mogelijkheden op de UT is het mogelijk de balk te produceren met behulp van vacuüm infusie. Echter bij grote oplages kan gebruik gemaakt te worden van de perstechniek, omdat hierbij de cyclustijd wordt verlaagd. Over deze middelen beschikt de UT helaas niet, hiervoor dient dus een extern bedrijf ingeschakeld te worden.

11.2 BLADVEER MET BEVESTIGINGSPUNTEN

De bevestigingspunten blijken de lastigste punten te zijn om te produceren uit composiet. Zeker omdat er vanuit de opdrachtgever de eis lag, geen wijzingen te doen aan het huidige ophangingsysteem. Er is gezocht naar verschillende oplossingen en één daarvan is geprobeerd te fabriceren in het lab van Productie Techniek. De ontworpen techniek lijkt potentie te hebben, gezien de resultaten uit het lab. De hars vloeyde naar alle plekken van het product, alleen is er tijdens het uitharden in de oven schuim ontstaan.

In eerste instantie zal deze manier van produceren verder getest moeten worden. Daarbij zal gelet moeten worden op de kwaliteit van het vacuüm en op de hoeveelheid hars die gebruikt wordt bij de infusie. Aan de hand van de resultaten op dit moment lijkt deze manier van produceren potentie te hebben. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen of deze techniek toegepast kan gaan worden.

Kortom, als blijkt dat deze productietechniek voldoet aan de stijfheid en sterkte eisen die gesteld zijn aan de bladveer, zal het balkgedeelte in één keer, samen met de bevestigingspunten, geproduceerd kunnen worden.



FIGUUR 34 WEERGAVE EINDCONCEPT

Door middel van het vouwconcept, zie figuur 34 zal de bladveer eenvoudig te produceren zijn uit lange stroken vezels. Voor dit concept, de bladveer met bevestigingspunten, is het mogelijk om dan een gewichtsbesparing van 70 % procent te creëren. Uit dit haalbaarheidsonderzoek blijkt dat het mogelijk is om de bladveren van gCab te produceren uit composiet materiaal. Ook kan hiermee de gewenste gewichtsbesparing gerealiseerd worden. Wel zal er nog nader onderzoek gedaan

moeten worden op verschillende punten, met name op het bedachte procedé om de bladveren te maken. Tevens zal er een kostenschatting gemaakt moeten worden. Deze zal in overleg met externe partijen ingevuld moeten worden.

11.3 AANBEVELING.

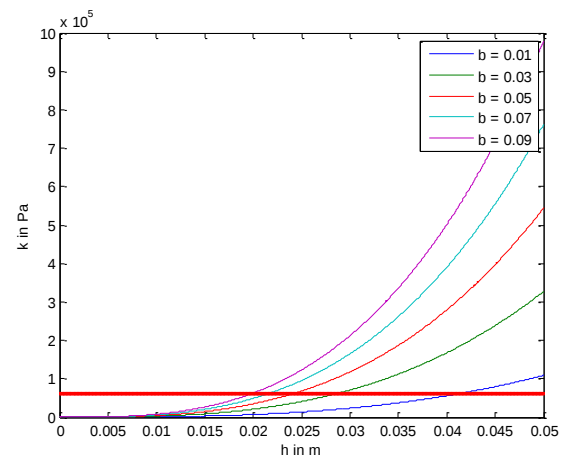
De eerste aanbeveling heeft betrekking op de productie van de bevestigingspunten. Zoals al eerder genoemd, zal hier extra onderzoek naar gedaan moeten worden. Ten eerste om de productie techniek te testen. En vervolgens zal het eindproduct bestudeerd moeten worden en zullen de mechanische eigenschappen van de composiet bladveer moeten worden onderzocht om zo te kijken of deze eigenschappen daadwerkelijk voldoen aan de gestelde eisen.

Vanuit de opdrachtgever is er ook een vraag gekomen met betrekking op de veerconstante. Op dit moment wordt ook door andere partijen onderzoek gedaan aan de gCab. Als hieruit blijkt dat er een andere veerconstante gewenst is, hoe zou deze dan geïntegreerd kunnen worden in het composiet ontwerp van de bladveer?

Door te variëren in de dikte van de composiet bladveer, kan de veerconstante gewijzigd worden. Voor dit onderzoek is de dikte van de composiet bladveer bepaald aan de hand van de veerconstante van de metalen

bladveer, $6.9 \text{ e}4 \text{ N/m}$. In figuur 35 is dat weergegeven met de rode horizontale lijn. Als de veerconstante veranderd moet worden, zal deze rode lijn naar beneden of naar boven schuiven. De nieuwe dikte van de composiet bladveer kan dan bepaald worden door het snijpunt met één van de curven te bepalen.

Een aanbeveling met betrekking tot het bevestigingssysteem, is kijken naar wat er mogelijk is om toch een verandering aan het chassis door te voeren. Er valt meer winst te behalen als je toch een aantal aanpassingen aan het chassis doorvoert. Hierdoor zal de bevestiging aan het chassis eenvoudiger worden. Tevens zal de productie van de bladveren dan vereenvoudigd kunnen worden, omdat er in dit geval geen ronde vormen geproduceerd hoeven te worden. Het produceren van een rechte balk met kromming, zou in dit geval veel eenvoudiger en dus goedkoper zijn. Er moeten dan wel de nodige aanpassingen aan het chassis gedaan worden. Op dit moment wordt er gewerkt aan een herontwerp van de hele gCab. Mogelijk dat in dit proces ruimte is om ook het chassis aan te passen.



FIGUUR 35 DE BREEDTE WORDT CONSTANT GEHOUDEN (0.01 TOT 0.09), VOOR DEZE WAARDE WORDT DE HOOGTE UITGEZET TEGEN DE VEERSTIJFHEID.

12. EVALUATIE

HOE KIJK IK TERUG OP DEZE OPDRACHT?

Gedurende deze opdracht heb ik kennis gemaakt met veel nieuwe en onbekende aspecten voor mij als ontwerper. Het was een grote uitdaging om mezelf hier wegwijs in te maken. Zo heb ik leren werken en ontwerpen met vezelversterkte kunststoffen. Het zijn materialen met veel nieuwe eigenschappen, waardoor ik het ontwerpen als interessant en uitdagend heb ervaren, maar ook als tamelijk lastig. Daarnaast heb ik kennis gemaakt met de productie van composieten en ervaring op mogen doen in het lab. Hier heb ik met behulp van vacuüm infusie zelf composieten producten kunnen maken. Ook het ontwerpen van een onderdeel van een auto was relatief nieuw voor mij. Gedurende onze opleiding ligt de nadruk vooral op kleine gebruiksvoorwerpen. Bij deze opdracht lag de nadruk meer op de functionaliteit dan op de vormgeving. Hierdoor vond ik het opstarten van het project lastiger, omdat je niet hetzelfde ontwerpproces doorloopt dan je gewend bent. Maar terugkijkend op de ontwerpstappen, bleken veel stappen overeen te komen met projecten die ik in het verleden heb gedaan. Alleen hebben de stappen nu een andere invulling gekregen. Zo werd de ideefase nu geen verzameling van vormschetsen, maar van verschillende concepten voor de ophanging van de bladveer.

Helaas heb ik gedurende de periode van mijn bachelor opdracht problemen gehad met mijn gezondheid. Hierdoor moest ik soms van mijn planning afwijken. Naar mijn mening heb ik wel geprobeerd de planning zo goed mogelijk up-to-date te houden en steeds aangepast als er dingen in het proces veranderden, of wanneer ik door omstandigheden deadlines niet haalde.

Uiteindelijk ben ik tevreden met het eindresultaat. Het onderzoek biedt nog veel mogelijkheden tot vervolgonderzoeken in de toekomst.

WELKE BESLISSINGEN HEB IK GENOMEN GEDURENDE DIT ONTWERP PROCES, WAAROM EN OP GROND WAARVAN?

In eerste instantie richtte mijn onderzoek zich vooral naar de balk van de bladveer. Naarmate het project vorderde, verschoof de nadruk van het ontwerpen van de balk naar het verder uitwerken van de bevestigingspunten.

De keuze voor het eindconcept is gemaakt op basis van de opgedane kennis en de ervaring van een expert, L. Warnet. Hij kon mij inzicht geven in wat mogelijk is in het lab van Productie techniek. Gebruikmakend van deze informatie heb ik gekozen om het vierde concept verder uit te werken en te produceren in het lab.

WAT WAREN DE VALKUILEN, WAT GING ER NIET GOED, EN WAT GING ER WEL GOED?

Achteraf gezien ben ik in het begin te veel in de theorie blijven steken, omdat ik het lastig vond om een vinger achter de principes te krijgen. Hierbij ontbrak het soms aan de nodige bronnen, waar de theorie over composieten duidelijk werd uitgelegd.

Ondanks sommige onverwachte tegenslagen, heb ik steeds mijn planning opnieuw bekeken en aanpast. Hierdoor bleef mijn planning de rode draad door mijn bacheloropdracht. Wel bleek het plannen voor de praktische uitvoering in het lab een struikelpunt. Mede door gebrek aan ervaring heb ik sommige handelingen korter ingepland, die in de praktijk langer bleken te duren.

Achteraf gezien had ik graag meer kennis opgedaan over de theorie achter composieten. Voor mijn gevoel is dat soms redelijk oppervlakkig gebleven. Door het relatieve korte tijdbestek moet je keuzes maken, wat je wel en niet kunt leren. Maar ik hoop in de toekomst meer kennis te vergaren over composieten

WAT ZOU IK VOLGENDE KEER ANDERS DOEN?

In het vervolg zou ik mij van te voren beter verdiepen in het onderwerp. Zodat je beter weet wat je te wachten staat. Al zal dit in de praktijk vaak lastig zijn, omdat je gedurende de opdracht vaak weer nieuwe ontwerpen en vakgebieden tegenkomt waar je jezelf in moet verdiepen.

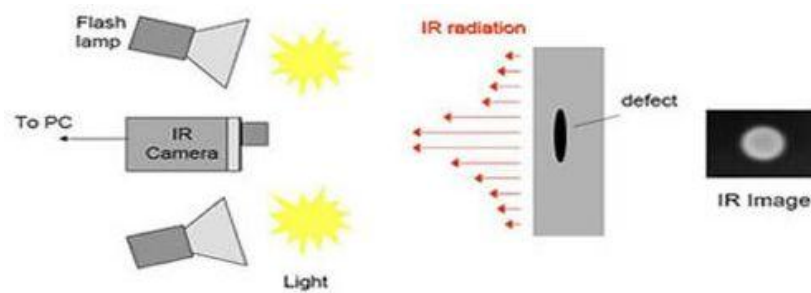
Een volgend project zal ik ook proberen om de opdracht duidelijker af te bakenen, waardoor het concreter wordt welke vragen onderzocht en beantwoord moeten worden. Voor mijn gevoel werd de opdracht steeds uitgebreider, waardoor het project op het einde redelijk omvangrijk is geworden.

Tijdens dit project heb ik de communicatie soms als lastig ervaren. In verband met drukke agenda's van begeleiders was het soms lastig om afspraken te plannen. Daarom zou ik in het vervolg, een voorstel doen om vaste voortgangsmomenten te plannen. Bijvoorbeeld eens in de twee weken op donderdagmiddag. In het begin van het project is dit overwogen en besloten af te spreken waar nodig. Achteraf gezien had ik dit liever anders gedaan. Als het niet mogelijk is om met alle betrokken partijen om tafel te zitten, zal ik in het vervolg proberen om notulen te schrijven en die naar iedereen door te sturen, zodat alle betrokken partijen van elkaars meningen en standpunten op de hoogte zijn. Daarnaast had ik op sommige momenten om meer feedback en hulp moeten vragen. Hierdoor ben ik soms te lang blijven steken op bepaalde onderwerpen.

13. BIJLAGEN

13.1 NIET DESTRUCTIEVE CONTROLE VAN COMPOSITEN DOOR ACTIEVE INFRAROODTHERMOGRAFIE

Deze techniek bestaat erin het materiaal te verwarmen en vervolgens de verspreiding van de warmte in het stuk te bestuderen en met een infraroodcamera de discontinuïteiten op te sporen die het thermisch profiel vertoont ten gevolge van de aanwezigheid van fouten.



FIGUUR 36 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE NIET-DESTRUCTIEVE CONTROLE VAN COMPOSITEN DOOR ACTIEVE INFRAROODTHERMOGRAFIE

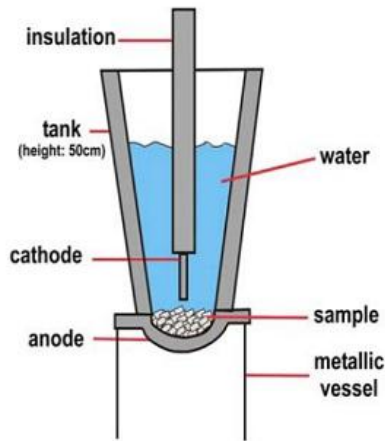
Voor dit onderzoek maakte Sirris platen van composietmateriaal die op verschillende dikten discontinuïteiten vertoonden, fouten die werden gesimuleerd met inserts van teflon. Met behulp van een halogeen- of infraroodspot met hoog vermogen (1500 W bijv.) werd gedurende zeer korte tijd – enkele tienden van een seconde – een warmtegolf door de platen gestuurd.

In sommige gevallen, wanneer de discontinuïteiten dicht bij de oppervlakte liggen bijv., zijn de fouten met het blote oog waarneembaar door gewoon het door de camera geleverde thermische beeld te bekijken.

In andere gevallen is het thermisch profiel moeilijk te lezen omdat de door het stuk gestuurde flash wel een hoog vermogen heeft maar slechts van zeer korte duur is. Om in deze gevallen dieper liggende fouten te detecteren, bestudeert Sirris niet meer het ogenblikkelijke beeld maar de evolutie in de tijd van het thermische beeld op bepaalde punten. De gegevens worden digitaal verwerkt door middel van een Fouriertransformatie, waardoor een amplitude en een defasering van het signaal worden verkregen, die het mogelijk maken anders onzichtbare kleine fouten op te sporen.

xxxii

13.2 SCHEMATISCH WEERGAVE VAN HET RECYCLING PROCES



FIGUUR 37 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN RECYCLING PROCES

c

hema van de fragmentering van composieten. Het geschiedt onder water. Enkele procesparameters: spanning 70 kV tot 500 kV, stroom tussen 10 kA tot 20 kA, impulsenergie tussen 10 J/cm tot 100 J/cm, vermogen tussen 100 MW tot 1,5 GW en een ontlaadtijd tussen 150 ns tot 400 ns (illustratie: Cleansky)^{xxxiii}

13.3 METHODE HITACHI

“In de Hitachi methode wordt bij een temperatuur van 190 graden Celcius en zonder hoge druk de hars opgelost. Als katalysator om het proces op gang te brengen worden twee componenten gebruikt die ook in de voedselverwerkende industrie worden gebruikt. (Tripotassium Fosfaat en Benzyl alcohol) . Hars, vezels, vulmiddelen, metalen inserts, etc worden hierdoor

gescheiden en behouden. Het gehele proces neemt tussen de 5 en 20 uur in beslag, afhankelijk van de dikte van het element. Ook heeft de wijze waarop het element oorspronkelijk is geproduceerd invloed op de duur.

Bij deze manier van recycling is het niet noodzakelijk dat het product eerst verbrijzeld of kleingemaakt wordt zodat kan worden gesteld dat het een schone manier van recyclen is; zonder stof. Het heeft dus ook arbotechnisch vele voordelen. Als voorbeeld is een veiligheidshelm genomen en de foto's spreken voor zich.



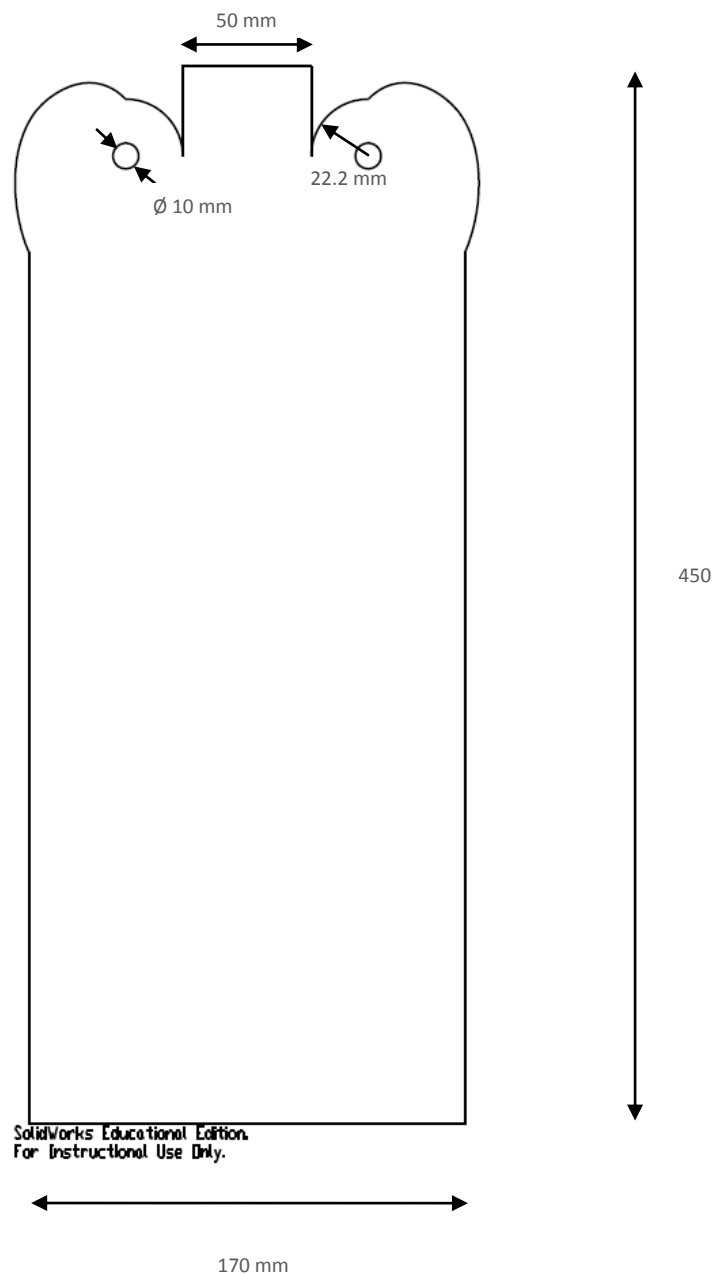
FIGUUR 38 VOORBEELD VAN DE METHODE HITACHI

Op dit moment is deze methode in Nederland nog niet beschikbaar, maar de verwachting is dat met de steeds bredere toepassingen van composieten dit slechts een kwestie van tijd is. De lange levensduur van composieten is er de oorzaak van dat er nog onvoldoende te recyclen materiaal beschikbaar is.”^{xxxiv}

Helaas er op de site van het bedrijf geen artikel over te vinden, of alleen aanwezig in het Japans, daarom is er volstaan met gegevens verstrekt door een andere partij over het bedrijf.

Kortom er bestaan verschillende mogelijkheden om composieten te recyclen. Alleen staan veel van deze technieken nog in de kinderschoenen. Wel zou er in de toekomst nog meer onderzoek gedaan kunnen worden naar bio-vezels en bio-matrix.

13.4 INPUT LASERSNIJDER



13.5 OFFERTE BIJ MCTechnics

Beste J. van der Hoek,

Zoals aan de telefoon besproken, stuur ik u hieronder de prijzen van epoxyhars en glasweefsel. Wat betreft de hars zijn dat de prijzen welke aangerekend werden aan de Universiteit van Twente in 2011, voor het glas is het een actuele prijs:

LY1564: €9,25/kg

Aradur 3486: €14,88/kg

EWB 300 (= ruw glasweefsel): €3,16/kg

De prijs van glas wordt steeds in kg uitgedrukt.

Mvg,

Kristof Debaetselier
Technical Product Engineer
Tel: +32 (0)4 379 51 01
Fax: +32 (0)4 379 65 96

Gsm : +32 (0)497 85 16 69

Rue de Maestricht 88
B-4600 Visé

14. LITERATUURLIJST

-
- ⁱ gConcepts, Den Haag, www.gconcepts.eu, datum van raadplegen: 5-09-2012
- ⁱⁱ Mobility Lab Twente, Enschede, mobilitylabtwente.nl/het-lab, datum van raadplegen: 5-09-2012
- ⁱⁱⁱ Utwente, Enschede, www.utwente.nl/ctw/opm, datum van raadplegen: 5-09-2012
- ^{iv} gConcepts www.gconcepts.eu, datum van raadplegen: 5-09-2012
- ^v Wikipedia, en.wikipedia.org/wiki/Corvette_leaf_spring, datum van raadplegen: 16-11-2012
- ^{vi} IFComposite, Haldensleben(DE), www.ifc-composite.de, datum van raadplegen: 30-11-2012
- ^{vii} B.B.Deshmukh 1*, Dr.S.B.Jaju (2011). *Design and Analysis of Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) Leaf Spring*
- ^{viii} H.A. Al-Qureshi (2001). *Automobile leaf springs from composite materials*
- ^{ix} Composites, www.compositesaustralia.com.au/glass-and-carbon-fibre, datum van raadplegen: 10-11-2012
- ^x MC Technics, Brussel, www.mctechnics.com, datum van raadplegen: 07-01-2013
- ^{xi} L. Warnet & R. Akkerman, (2011-2012) *Composites Course*.
- ^{xii} L. Warnet & R. Akkerman, (2011-2012) *Composites Course*.
- ^{xiii} L. Warnet & R. Akkerman, (2011-2012) *Composites Course*.
- ^{xiv} L. Warnet & R. Akkerman, (2011-2012) *Composites Course*.
- ^{xv} L. Warnet & R. Akkerman, (2011-2012) *Composites Course*.
- ^{xvi} Macrco VW, <http://www.marcovw.nl/Motor/Vering/vering.htm>, datum van raadplegen: 14-09-2012
- ^{xvii} R.C. Hibbeler (2008). *Mechaniscs of materials (7e editie)*. New Jersey:Pearson Prentice Hall
- ^{xviii} H.A. Al-Qureshi (2001). *Automobile leaf springs from composite materials*
- ^{xix} R.C. Hibbeler (2006). *Sterkteleer (2nd Revised edition)*. Pearson Education
- ^{xx} R.C. Hibbeler (2008). *Mechaniscs of materials (7e editie)*. New Jersey:Pearson Prentice Hall
- ^{xxi} L. Warnet & R. Akkerman, (2011-2012) *Composites Course*.

^{xxii} Bladverenshop, Hengelo, www.bladverenshop.nl, datum van raadplegen: 13-10-2012

^{xxiii} Business Opportunities, www.business-opportunities.biz/2006/01/27/determining-a-plan-for-setting-prices, datum van raadplegen: 13-10-2012

^{xxiv} Wilsor, www.wilsor.nl/produkten/epoxyhars.htm, datum van raadplegen: 23-01-2013

^{xxv} Net Composites, www.netcomposites.com/calculators/volume-weight-fractions, datum van raadplegen: 22-11-2012

^{xxvi} Net composites, www.netcomposites.com/calculators/volume-weight-fractions, datum van raadplegen: 22-11-2012

^{xxvii} Composietgevels, www.composietgevels.nl/2011/08/22/composiet-recycling-nieuwe-mogelijkheden, datum van raadplegen: 16-11-2012

^{xxviii} Metalen magazine, www.metaalmagazine.nl/nieuws/id14395-recycling-composieten-via-fragmentatie.html, datum van raadplegen: 16-11-2012

^{xxix} NLR, Amsterdam, wp.nlr.nl/2012/07/19/fibre-placement-machine-nlr-zorgt-voor-doorbraak-composieten, datum van raadplegen: 16-11-2012

^{xxx} www.themetalstore.co.uk/products/2-0mm-thick-mild-steel-sheet, datum van raadplegen: 23-01-2013

^{xxxi} H.A. Al-Qureshi (2001). *Automobile leaf springs from composite materials*

^{xxxii} Sirris, Brussel, www.sirris.be/newsItem.aspx?id=13778&LangType=2067, datum van raadplegen: 16-11-2012

^{xxxiii} Metaal magazine, www.metaalmagazine.nl/nieuws/id14395-recycling-composieten-via-fragmentatie.html, datum van raadplegen: 16-11-2012

^{xxxiv} Composiet gevels, www.composietgevels.nl/2011/08/22/composiet-recycling-nieuwe-mogelijkheden, datum van raadplegen: 16-11-2012