

In dit verslag wordt het materiaalgebruik bij de productie van individuele steunzolen behandeld. Na een uitgebreide inleiding wordt het inhoudelijke verslag gestart met de analyses betreffende de huidige productiesituatie. Het blijkt dat er zeer inefficiënt gebruik wordt gemaakt van het beschikbare materiaal. Het Cradle to Cradle ontwerpprincipe biedt mogelijkheden om de impact van het materiaalgebruik op het milieu te verlagen, terwijl er een positieve impuls gegeven wordt op economisch vlak.

"VERWERKING VAN RESTMATERIAAL ONTSTAAN BIJ DE PRODUCTIE VAN INDIVIDUELE STEUNZOLEN"



Verslag
Door Jurrit Heerink

Bacheloropdracht
Industrieel Ontwerpen
Universiteit Twente

Opdrachtgever PLT Products

"VERWERKING VAN RESTMATERIAAL ONTSTAAN BIJ DE PRODUCTIE VAN INDIVIDUELE STEUNZOLEN"

Jurrit Heerink
s1254413

Bacheloropdracht
Industrieel Ontwerpen
Universiteit Twente

Begeleider (1): Tom Vaneker
Begeleider (2): Matthijn de Rooij

Opdrachtgever: PLT Products
Begeleider: Rick Broshuis

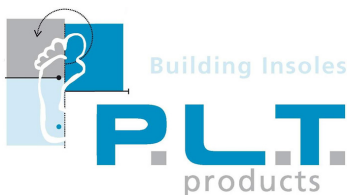
Datum van oplevering: 01-02-2015
Datum van presentatie: ...-...-

VOORWOORD

Dit verslag beschrijft het ontwerpproces van de bacheloropdracht van Jurrit Heerink, uitgevoerd bij PLT Products. De bacheloropdracht is uitgevoerd in de periode van december 2014 tot mei 2015. Via Marijn Bults ben ik in contact gekomen met PLT Products, Podotherapie Leestproductie Twente. Dit verslag beschrijft het proces dat is doorlopen om het materiaalgebruik meer duurzaam te laten plaatsvinden.

Ik wil graag iedereen bedanken die betrokken is geweest bij deze bacheloropdracht. Speciaal wil ik een aantal mensen bedanken die mij hebben geholpen bij het doorlopen van het proces. Ten eerste PLT Products, die mij de vrijheid gaf om dit proces te uit te voeren naar eigen inzicht. Rick Broshuis, voor de goede algehele begeleiding en ondersteuning. Emil Garritzen, voor de ondersteuning bij de vertaling van een theoretisch model naar een model dat te produceren is in de praktijk en voor het stimuleren van het inzicht in het streven naar een eenvoudig functionerend product. Tanja Scheelhaase, voor de hulp in het inzicht bieden in het Cradle to Cradle ontwerpprincipe, wat mij houvast heeft geboden in het ontwerpproces.

Deze opdracht is uitgevoerd in samenwerking met PLT Products en Universiteit Twente.



**UNIVERSITEIT
TWENTE.**

INHOUDSOPGAVE

	Samenvatting	8			
	Summary	8			
1	INLEIDING		4	UITVOERING C2C DESIGN	
A	Opdrachtgever	11	A	Verhogen efficiëntie materiaalgebruik	
B	Aanleiding	11	i	Efficiënter gebruik huidige blokken	24
C	Visie opdrachtgever	12	ii	Probleemstelling	24
D	Opdrachtoomschrijving	12	iii	Besparing materiaalkosten	24
E	Opbouw verslag	12	iv	Besparing afvalkosten	25
2	HUDIGE PRODUCTIESITUATIE		v	Inleiding ontwerp dynamische mal	26
A	Productieproces	14	vi	Analyses dynamische mal	26
B	Materiaal	14	vii	Programma van eisen dynamische mal..	28
C	Vervaardiging EVA	14	iix	Schetsen inklemmingsmethodes	30
i	Chemisch		ix	Conceptfase	32
ii	Fysisch		x	Conceptkeuze	36
D	Materiaaleigenschappen	16	xi	Evaluatie testmodel	38
i	EVA		xii	Eindconcept	40
ii	Realux		B	Volume verkleinen restmateriaal	
E	Productieaantallen	16	i	Verwachte opbrengsten shredder	44
F	Volume EVA	17	ii	Typen shredders	44
G	Afvalkosten	18	iii	Bepalende eigenschappen	
i	Huidig		verkleiners	46	
ii	Toekomstig		iv	Gebruikers	46
H	Conclusies huidige productiesituatie	19	v	Opdrachtgever	47
3	CRADLE TO CRADLE DESIGN		vi	Plaatsing shredder	47
A	Inleiding Cradle to Cradle design	20	vii	Gebruiksscenario	48
B	Voordelen PLT Products	21	iix	Omgeving	48
C	Levenscycli	21	ix	Programma van eisen shredder	48
D	Mogelijkheden geboden door C2C	22	x	Beoordeling shredders	50
E	Conclusies C2C Design	23	xi	Evaluatie shredders	50
			C	Scheiden restmateriaal	
			i	Scheidingsmethoden	51
			ii	Keuze scheidingsmethode	52
			iii	Kosten	52
			D	Recycling EVA	
			i	Valorisatie van materialen	54
			ii	Toepassing: Geluidsisolatie	54
			iii	Programma van eisen lijmtipe	55
			vi	Keuze lijmtipe	57
			vii	Productieproces	57

E	Biologisch afbreekbare restmaterialen	58
F	Vervanging door een thermoplastisch materiaal	59
G	Wijzigen productiemethode	60
H	Reverse distributie	61

5 RESULTATEN C2C DESIGN

A	Verhogen efficiëntie materiaalgebruik	62
B	Volume verkleinen restmateriaal	62
C	Scheiden restmateriaal	62
D	Recycling EVA	63

6 UITLEIDING

	Conclusie & aanbevelingen	
A	Verhogen efficiëntie materiaalgebruik	64
B	Volume verkleinen restmateriaal	64
C	Scheiden restmateriaal	64
D	Recycling EVA	64
E	Biologisch afbreekbare restmaterialen	65
F	Vervanging door een thermoplastisch materiaal	65
G	Wijzigen productiemethode	65
H	Reverse distributie	65
	Nawoord	67
	Referenties	68

7

BIJLAGEN

A	Eigenschappen EVA	2
B	Productieaantallen	3
C	Productieaantallen per productieweek	4
D	Productieproces	5
E	Experiment vulgraad	7
F	Berekeningen materiaalgebruik restmateriaal ..	8
G	Typen modellen	9
H	Maattekeningen mallen	10
I	Kostenbesparing materiaalgebruik	12
J	Efficiëntie shredder	13
K	Arbeidskosten naar positionering shredder ..	14
L	Sfeercollage shredder	15
M	Interview productiemedewerker	16
N	Interview opdrachtgever	17
O	Toetsing programma van eisen mal	18
P	Offertes shredders	20
Q	Programma van eisen shredders	24
R	Break-even analyse shredder	26
S	Berekeningen scheidingsmethode	27
T	Praktijktest scheidingsmethode	28
U	Verantwoording lijmkeuze	29

SAMENVATTING & SUMMARY

SAMENVATTING

In dit verslag wordt het materiaalgebruik bij de productie van individuele steunzolen behandeld. Na een uitgebreide inleiding wordt het inhoudelijke verslag gestart met de analyses betreffende de huidige productiesituatie. Conclusies worden getrokken met betrekking tot het huidige materiaalgebruik. Bij het huidige productieproces, het frezen, wordt zeer inefficiënt gebruik gemaakt van het beschikbare materiaal. Na deze analyses gestart met het ontwerpen vanuit het Cradle to Cradle ontwerpprincipe. Vanuit dit ontwerpprincipe worden acht aangrijpingspunten behandeld waarbij het materiaalgebruik gewijzigd kan worden om de negatieve impact te reduceren tot een minimum terwijl een positieve impuls op economisch vlak wordt geleverd. Het eerste onderwerp start vanuit het verhogen van de efficiëntie waarmee het huidige materiaal wordt gebruikt (A.). Een product wordt ontworpen waarmee de vrijheid in geometrie van materiaalgebruik wordt geboden. Alvorens het vrijgekomen restmateriaal kan worden hergebruikt, moet het volume worden verkleind (B.) en de verschillende typen materialen gescheiden (C.). Offertes zijn geleverd van verschillende typen shredders en granulatoren. Een keuze voor een shredder is gemaakt op basis van een programma van eisen. Er is een methode voorgesteld om het materiaal te scheiden. Door de lijmlaag tussen de gebonden materialen te verhitten, verliest de lijmlaag zijn bindingskracht. Nadat het materiaal in volume is verkleind door het te shredden kan het worden hergebruikt (D.). Een toepassing is gezocht in geluidsisolatiemateriaal. Alvorens het toegepast kan worden zal het materiaal moeten worden gebonden. Een lijmtipe en bijbehorende productiemethode is gevonden in een contactlijm. Hoofdstukken 4.E, F, G en H zijn minder diepgaand uitgewerkt, er worden voornamelijk onderzoeken geciteerd. Hierbij wordt gericht op het verhogen van de biologische afbreekbaarheid van het materiaal (E.), het vervangen van het materiaal door een thermoplastisch materiaal (F.), het wijzigen van de productiemethode van frezen naar 3D printen (G.) en het opzetten van distributiekkanalen om het gebruikte product te recyclen (H.). De resultaten uit dit hoofdstuk worden samengevat weergegeven in hoofdstuk 5. Hieruit worden conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek getrokken. Het proces wordt schematisch weergegeven in figuur 1. In het verslag wordt teruggevalen op dit figuur om weer te geven waar in het ontwerptraject de ontwikkelingen plaatsvinden.

SUMMARY

In this essay the material use in the product of individual footsoles is described. After an extensive introduction, the contentual essay starts off with analysis of the current productionconditions. Conclusions are drawn on the current use of materials. In the current manufacturing process of milling, the use of available materials is extremely inefficient. As a result of the drawn conclusions, the decision was made to focus on a designprinciple called Cradle to Cradle design. The target is to decrease environmental impact while a positive boost on economic level is delivered. Eight points of action are drafted based on the Cradle to Cradle principle. The points of action start with making more efficient use of the available materials (A.). A product is designed that encourages te use of different sorts of geometry of the materials. Prior to the reuse of the materials, the residual materials have to be shredded (B.) and segregated (C.). Quotations of shredders and granulators are evaluated and a choice has been made for a shredder based on a system of requirements. A method has been proposed to separate the different types of residual materials. By increasing the temperature of the adhesive layer, the valency will decrease. After shredding, the product can be used again in the application in different products (D.). An application has been found in sound insulation. Before it can be used as sound insultion, the residual materials must be bonded. An adhesive and corresponding manufacturing method is found in a contact adhesive. Chapters 4.E, F, G and H are covered less extensively, and mostly preliminary studies are cited. The focus will be on increasing the biological degradability of the materials (E.), replacing the materials by a thermoplastic (F.), changing the production method of milling to 3D printen (G.) and setting up distribution channels in order to recycle the used product (H.). The results of this chapter will be described briefly in chapter 5. Conclusions are drawns and recommedations are done for further research. The process is shown schematically in figure 1. In this essay, this figure will be used to map the developments in the design process.

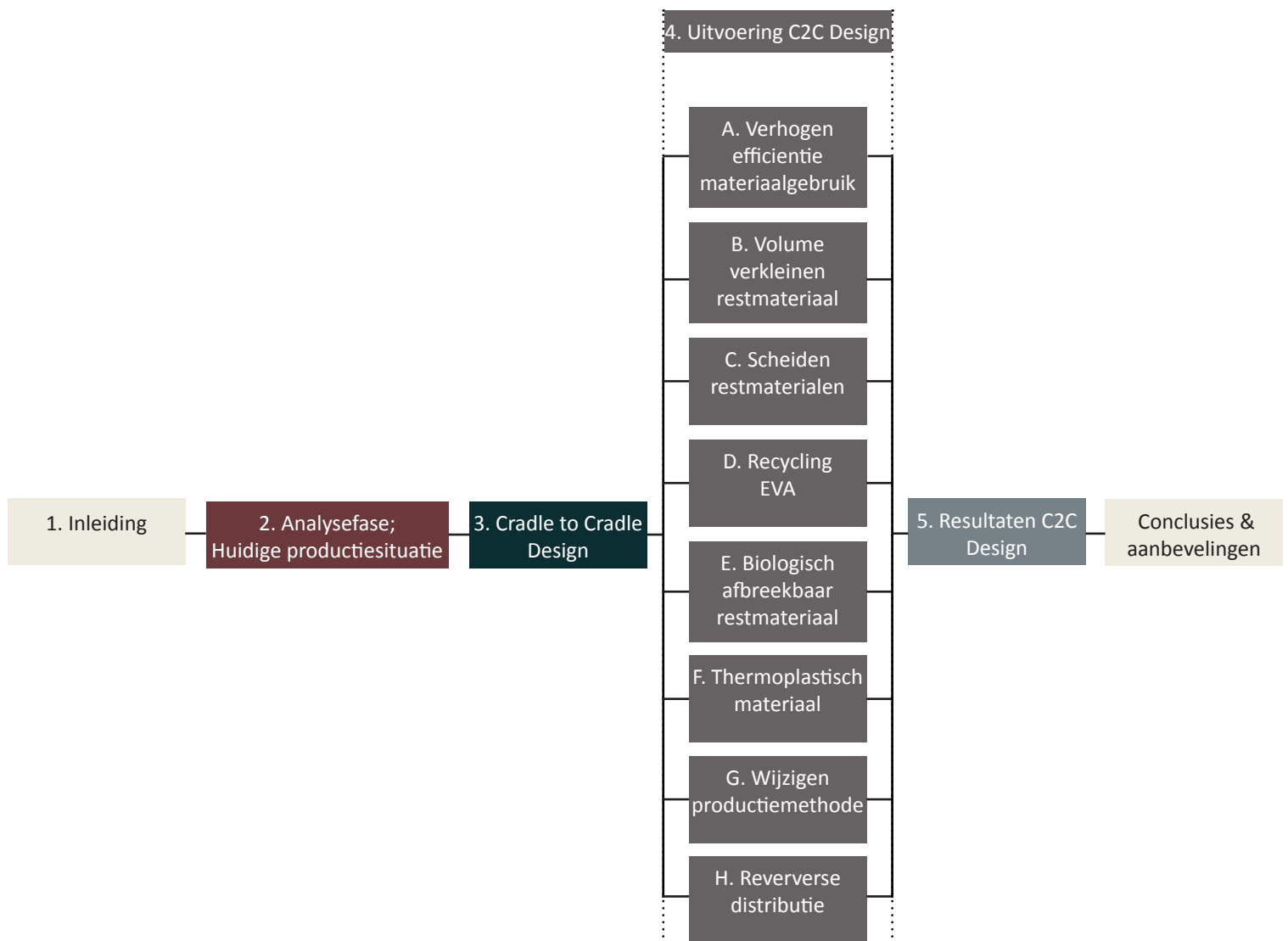


Fig. 1 - Schematische weergave opbouw verslag

1. INLEIDING

Dit verslag beschrijft het verloop van de bacheloropdracht uitgevoerd door Jurrit Heerink in opdracht van PLT Products. Het verslag wordt inhoudelijk opgedeeld in vijf delen. Er wordt gestart met een beschrijving van de aanleiding van de start van deze bacheloropdracht en een korte beschrijving van het doorgelopen proces. Hoofdstuk twee beschrijft de huidige productiesituatie. Hierna is ervoor gekozen om te ontwerpen naar een ontwerpprincipes genaamd Cradle to Cradle. Dit zal worden toegelicht in hoofdstuk drie. De uitvoering van het Cradle to Cradle ontwerpprincipes en de resultaten hiervan worden beschreven in respectievelijk hoofdstuk vier en vijf.

i Opdrachtgever

De bacheloropdracht wordt in opdracht van PLT Products te Haaksbergen uitgevoerd. PLT Products is een innovatief bedrijf met jarenlange ervaring in de productie van individuele steunzolen. Tot op heden is de verkoop van de steunzool het grootste wederkerende verkoopproduct van PLT Products. Het bedrijf breidt de laatste jaren steeds meer uit naar andere markten, die hoofdzakelijk aansluiten bij hun expertise in de productie. Er wordt tevens binnen de productie van de individuele steunzolen uitgebreid, met de aanschaf van twee volautomatische freesmachines.

Naast de productie van uitgangsmateriaal naar eindproduct, levert PLT Products meetapparatuur op het gebied van podotherapie om de bestanden te verkrijgen die worden vertaald naar een eindproduct. Een onderdeel van PLT Products is de merknaam 'FITS your feet'. Volledig afgewerkte, op maat gemaakte slippers worden met behulp van 3D-meetapparatuur geleverd aan consumenten.

PLT Products is hiermee een zeer innovatief bedrijf dat nieuwe innovaties op de markt zet, voornamelijk op het gebied van podotherapie. Dit heeft PLT Products een 79e plaats in de MKB Innovatie top 100 heeft opgeleverd in 2014¹.

ii Aanleiding

Bij de productie van individuele steunzolen ontstaat een grote hoeveelheid restmateriaal. Circa 90 procent van het onbewerkte materiaal gaat verloren (zie Hoofdstuk 2 - Huidige productiesituatie). Bij de volautomatische productie van de steunzolen nemen de restproducten een groter volume in dan bij de (deels) handmatige productie van de steunzolen. Dit roept de vraag op vanuit PLT Products om een product te ontwikkelen dat het volume kan verkleinen van het restmateriaal. Het verkleinen van het eindproduct heeft verschillende voordelen voor PLT Products. Door het eindproduct te verkleinen neemt het materiaal minder volume in op de werkvloer en in opslag. Door het volume van het restmateriaal te reduceren worden kosten bespaard op de verwerking van het restmateriaal. De kosten van de verwerking van het restmateriaal zijn namelijk direct afhankelijk van het ingenomen volume van het restmateriaal. Wereldwijd wordt er niets gerecycled van het restmateriaal dat

ontstaat bij de productie van individuele steunzolen. De relatief grote hoeveelheid aan restmateriaal dat ontstaat bij de productie staat gelijk aan een enorme verspilling van energie. Een groot deel van de opdracht wordt gewijd aan het opstellen van een structurele aanpak om de impact op het milieu per steunzool te verlagen.

Er is een aantal doelen gesteld door de opdrachtgever over het verwachte resultaat van deze bacheloropdracht. Het directe doel is laten afnemen van het volume dat wordt ingenomen door het restmateriaal. Het volume dat wordt ingenomen door afvalcontainers op de werkvloer is namelijk erg groot. Het tweede doel is het verminderen van de totale verwerkingskosten van het restmateriaal. Wekelijks wordt een container gelegeerd van 5.000 liter, wat een kostenpost van 159 euro per week oplevert (zie Hoofdstuk 2.G - Afvalkosten). Als derde doel moet de totale verrichtte arbeid worden verminderd. Door het materiaal in mindere mate te laten opstapelen, hoeft het minder vaak van de werkplaats naar de container te worden verplaatst. De productiecycclus wordt op deze manier minder vaak doorbroken en er kan een meer constante productie plaatsvinden. In de huidige productiesituatie wordt niets gerecycled van het restmateriaal. Het restmateriaal wordt door een afvalverwerker afgevoerd om het te verbranden voor energiewinning. Het laatste doel is om de duurzaamheid van het bedrijf als geheel te verhogen door het analyseren van mogelijkheden van het recycelen van het restmateriaal.

Samengevat zijn de hoofddoelen, gesteld door de opdrachtgever (in volgorde van relevantie):

1. Afname volume restmateriaal
2. Kostenreductie verwerking afvalmateriaal
3. Verkorten productiecycclus
4. Verhogen duurzaamheid

1. INLEIDING

iii Visie opdrachtgever

De opdrachtgever ziet het probleem voornamelijk ontstaan doordat het volume van het restmateriaal toeneemt. Het toenemende volume bij de volautomatische productie van de individuele zolen vergroot dit probleem. De opdrachtgever kijkt oplossingsgericht naar een verwerkingsmethode in de vorm van een shredder om het beoogde doel te realiseren, maar staat open voor andere methodes om het probleem op te lossen.

iv Opdrachtoomschrijving

De initiële opdracht omvatte het ontwerpen van een verwerkingsmechanisme dat het volume van het restmateriaal verkleint. Een zeer uitgebreide analyse zou resulteren in het ontwerp van een shredder. Een relatief klein deel van de opdracht zou worden besteed aan een onderzoek naar het vervolg van de verwerking van het restmateriaal, waaronder de recycling van de kunststoffen restproducten. Na een aantal algemene analyses is echter gebleken dat de uitvoering van deze opdracht verder reikt dan het ontwerpen van een shredder. De efficiëntie van het materiaalgebruik bleek schrikwekkend laag te liggen, vooral als de huidige productiemethode wordt doorgezet. Na analyses betreffende de huidige productiesituatie is gebleken dat het probleem niet opgelost wordt door het verkleinen van het volume. Het probleem moet bij de oorzaak moet worden aangepakt. Een gesprek met Cradle to Cradle docente Tanja Scheelhaase gaf de doorslag voor de keuze om deze bacheloropdracht uitgebreid te wijden aan het verlagen van de impact op het milieu door de productie van de steunzolen, terwijl de doelen van PLT Products eveneens in acht worden gehouden.

De huidige opdracht is opgesteld vanuit de onderliggende gedachte om op korte termijn geld te besparen op materiaal- en afvalverwerkingskosten en op lange termijn een meer duurzaam product neer te zetten. De invulling van deze opdracht is na een aantal weken gerealiseerd, waar een analyse van afvalverwerkingssystemen aan vooraf is gegaan. De invulling van PLT Products bleek een van de eerste stappen in de goede richting te zijn. De vraag van PLT Products, het implementeren van een shredder in de productiecyclus, wordt op deze manier alsnog gerealiseerd. De hoofddoelen zijn bijgesteld.

Uit analyses bleek dat er zeer inefficiënt gebruik werd gemaakt van het beschikbare materiaal. Hieruit is geconcludeerd dat het hoofddoel hierop wordt gericht. Het hoofddoel is het besparen op materiaalkosten. Ten tweede wordt er bespaard op afvoerkosten van het restmateriaal, met behulp van de implementatie van een shredder. Het volume van het restmateriaal wordt eveneens gereduceerd, het derde doel. De impact op het milieu wordt in dit verslag opgedeeld in twee factoren, waaronder de totale uitstoot aan broeikasgassen en de totale energieproductie. Om de impact op het milieu als gevolg

van het gebruik van de hoeveelheid materiaal toetsbaar te maken wordt het er gebruik gemaakt van een CO₂-equivalent. De totale uitstoot aan broeikasgassen wordt verwerkt in deze CO₂-equivalent². Het totaal aan vrijgekomen CO₂ en andere gassen wordt omschreven in kilogram CO₂e. Door te bepalen hoeveel kg CO₂e per kg EVA geproduceerd wordt, kan de totale hoeveelheid aan broeikasgassen worden bepaald.

Naast de totale uitstoot aan broeikasgassen is het van belang om de totale energieproductie mee te nemen in het onderzoek dat wordt gegenereerd bij de productie van de steunzolen. Dit zal alleen van toepassing zijn wanneer de productiemethode wijzigt.

Samengevat zijn de herziene doelen als volgt omschreven:

1. Afname materiaalkosten
2. Afname afvoerkosten
3. Afname volume restmateriaal
4. CO₂e-uitstoot reduceren tot een minimum
5. Onderzoek naar mogelijkheden om het productieproces duurzamer te laten plaatsvinden

v Opbouw verslag

Het inhoudelijke verslag start met het behandelen van verschillende analyses betreffende de huidige productiesituatie in hoofdstuk 2. Hierbij worden het productieproces, materiaaleigenschappen en -gebruik, productiemethoden en -aantallen achtereenvolgens behandeld.

Hoofdstuk 3 behandelt het Cradle to Cradle ontwerpprincipe. De voordelen van Cradle to Cradle Design worden uiteengezet en de keuze voor het ontwerpen vanuit dit ontwerpprincipe wordt beargumenteerd.

In hoofdstuk 4 wordt een realistisch meerjarig plan behandeld dat aangeeft hoe de impact op het milieu van de productie van de steunzolen daadwerkelijk kan worden verlaagd aan de hand van het omschreven ontwerpprincipe. Het plan bestaat uit acht stappen om op termijn het materiaalgebruik te reduceren tot theoretisch nul procent. De eerste vier stappen zijn uitgewerkt tot een dusdanig niveau dat het een sterke houvast biedt om de stappen te realiseren op relatief korte termijn. De laatste vier stappen zijn een theoretische beschrijving van ontwikkelingen op meer innovatieve gebieden. Deze onderdelen worden niet uitgewerkt in dit onderzoek, maar kort wordt aangegeven waar en hoe deze onderdelen worden gerealiseerd.

De gerealiseerde stappen starten met het verhogen van de efficiëntie van het gebruik van het huidige materiaal (hoofdstuk 4.A). Een functioneel prototype van een gedetailleerd concept is gerealiseerd wat het mogelijk maakt om de efficiëntie van het materiaalgebruik te verhogen. Het volume van het restmateriaal wordt vervolgens verkleind met behulp van

een shredder waarvan offertes en een aanbeveling worden geleverd (hoofdstuk 4.B). Alvorens het geshredderd wordt, zal het materiaal gescheiden moeten worden. Een conceptidee is opgesteld van een scheidingsmethode welke het mogelijk maakt dat het materiaal kan worden gescheiden (hoofdstuk 4.C). Vervolgens is gezocht naar mogelijkheden om het restmateriaal toe te passen in andere producten, waarbij een type lijm wordt gezocht waarmee het materiaal gebonden kan worden (hoofdstuk 5.D).

Voor de realisatie van de vervolgstappen om de impact op het milieu te verlagen, is PLT Products afhankelijk van externe partijen. Voor de volledigheid van het verslag worden deze onderdelen kort onder de loep genomen. Hieronder vallen het vervangen van het materiaal door een thermoplast, onderzoek naar biologisch afbreekbaar restmateriaal, het wijzigen van de productiemethode en het retourneren van het eindproduct om te recycelen.

Hoofdstuk 4 bestaat daarmee uit de volgende delen:

- A. Verhogen efficiëntie materiaalgebruik
- B. Volume verkleinen restmateriaal
- C. Scheiden materialen
- D. Recycling EVA
- E. Biologisch afbreekbare restmaterialen
- F. Vervanging door een thermoplastisch materiaal
- G. Wijzigen productiemethode
- H. Reverse distributie

In hoofdstuk 5 zullen de verwachte resultaten worden uiteengezet en teruggekoppeld naar de opgestelde herziende doelen.

In hoofdstuk 4.A wordt een positieve bijdrage geleverd aan het realiseren van de eerste vier hoofddoelen. Door efficiënter gebruik te maken van het materiaal zullen materiaal- en afvoerkosten afnemen. Door het afnemen van het totale volume aan materiaal, zal het volume aan restmateriaal eveneens afnemen.

Het derde hoofddoel, 'Afname volume restmateriaal', wordt gerealiseerd in hoofdstuk 4.B.

Het scheiden van het materiaal, wat wordt behandeld in hoofdstuk 4.C, is noodzakelijk om het materiaal te hergebruiken.

Het hergebruiken van het materiaal wordt behandeld in hoofdstuk 4.D. In hoofdstuk 4.D wordt daarmee bijgedragen aan hoofddoel 4: het reduceren van de CO₂e-uitstoot.

Hoofdstukken 4.E, F, G en H dragen bij aan het invullen van hoofddoel 5, het onderzoek naar mogelijkheden om het productieproces duurzamer te laten plaatsvinden.

In hoofdstuk 4.E worden biologisch afbreekbare restmaterialen behandeld. Hoofdstuk 4.F behandelt beschikbare

thermoplastische materialen. In hoofdstuk 4.G wordt het productieproces 3D-printing als vervanger van de huidige productiemethode behandeld.

2. HUIDIGE PRODUCTIESITUATIE

PLT Products is sinds Augustus 2000 een specialist op het gebied van zolenvervaardiging. In het proces van zolenvervaardiging maakt PLT Products onderdeel uit van het productieproces. Het uitgangsmateriaal in de vorm van blokken EVA wordt geleverd door twee externe partijen. De zolen kunnen volledig worden afgewerkt tot bruikbare steunzolen door PLT Products. PLT levert steunzolen aan podotherapeuten door heel Nederland. PLT Products levert tevens halffabrikaten. Onafgewerkte zolen worden naar podotherapeuten verzonden om daar afgewerkt te worden tot eindproduct. De blokken EVA worden geleverd door twee bedrijven genaamd ParoMed en Medical Leather. ParoMed is tevens leverancier van productie-apparatuur. Twee numeriek aangestuurde freesmachines, genaamd paroContour C12 en C18, zijn geleverd door ParoMed. Met deze apparatuur zijn benodigheden als software en mallen meegeleverd.

A. PRODUCTIEPROCES

Het uitgangsmateriaal wordt aangeleverd zoals omschreven in hoofdstuk 2.B - Materiaalgebruik. Dit materiaal wordt opgespannen in een mal op de C12 of C18 freesmachine, zoals te zien in figuur 2.1. Deze freesmachines zijn specifiek ontworpen voor de toepassing van het zolenfreen. De mallen zijn afgestemd op de geometrie van de blokken EVA die door ParoMed wordt geleverd. De software en de mallen die worden gebruikt om te frezen zijn afgestemd op het uitgangsmateriaal en wordt eveneens door ParoMed geleverd. Een voorbeeld van een mal die gebruikt wordt bij de productie op de NC-freesmachines is te zien in figuur 2.8. Nadat het uitgangsmateriaal is gefreesd wordt het overgedragen aan de medewerkers die verantwoordelijk zijn voor het slijpen van de zolen. Met behulp van een schuurband, specifiek ontworpen voor deze toepassing, worden de onderzijde en de randen geschuurd en afgewerkt (zie figuur 2.2). De zolen worden afgedekt met verschillende typen materiaal, specifiek aangepast op elk type zool, zoals te zien in figuur 2.3. De afdekklagen worden gelijmd op de gefreesde zolen (zie figuur 2.4). Uiteindelijk wordt het materiaal voor een laatste keer bijgewerkt met behulp van een schuurmachine.

B. MATERIAAL

Uitgangsmateriaal EVA en Realux

Onder uitgangsmateriaal wordt het materiaal met geometrie verstaan wat wordt ingevoerd in de freesmachines. De hoofdleverancier van het materiaal is het bedrijf ParoMed, gestationeerd nabij München. De verschillende uitgangsmaterialen van de steunzolen worden onderverdeeld naar eigenschappen en samenstelling. Het materiaal waaruit de blokken zijn gefabriceerd bestaat uit ethyleen-vinylacetaat (EVA). De eigenschappen van het materiaal EVA zijn afhankelijk van het percentage vinylacetaat dat verwerkt is in het materiaal. De typen EVA worden onderverdeeld in hardheden van 15 tot 70 Shore A. De eigenschappen van het EVA worden weergegeven in bijlage A.

Een aantal typen blokken wordt geleverd met een Realux-onderlaag. De exacte hoeveelheden geproduceerde maten in 2014 zijn te vinden in bijlage B. Het totaal aan geproduceerde steunzolen met Realux onderlaag staat zo goed als gelijk aan het aantal geproduceerde steunzolen zonder Realux onderlaag. Een aantal blokken wordt geproduceerd van een ander materiaal zoals kurk. Dit aandeel is zo klein dat dit niet meegenomen wordt in het onderzoek (kleiner dan één procent).

Er wordt onderscheid gemaakt tussen twee typen geometrie van uitgangsmaterialen waar de steunzolen uit worden vervaardigd. Model P heeft een afgeronde vorm, zoals te zien in figuur 2.5. Model T heeft een rechthoekige vorm, te zien in figuur 2.6.

Tegenwoordig wordt 75 procent van de steunzolen geproduceerd op blokken model P. 25 procent wordt dus geproduceerd op model T. Het aandeel geproduceerde steunzolen op model T is aan het stijgen. De grote afmetingen van dit blok geeft de vrijheid om alle maten en afmetingen van de zolen te produceren op deze geometrie. Dit was hoofdzakelijk de reden dat PLT Products uitsluitend producten met deze hoofdvorm wilde gaan produceren. Gedurende de bacheloropdracht is het inzicht ontstaan bij PLT Products dat dit niet de meest efficiënte productiemethode wat betreft het materiaalgebruik.

Met het oogpunt op eenduidigheid is gedurende de analyses aangehouden dat in de huidige situatie 75 procent op model P en 25 procent op model T wordt geproduceerd. Er wordt vanuit gegaan dat het plan wordt gerealiseerd om alles op Model T te gaan produceren.

C. VERVAARDIGING EVA

i Chemisch

Het hoofdbestanddeel van de schoenzolen bestaat uit ethyleen vinylacetaat (EVA). EVA wordt vervaardigd uit twee stoffen, etheen (C_2H_4) en vinylacetaat ($C_4H_6O_2$)³⁸. Door het proces van polymerisatie binden de twee molecuulformules. Hierbij ontstaat



Fig. 2.1, 2.2, 2.3 en 2.4 (v.l.n.r.) - Productieproces

het polymeer ethyleen-vinylacetaat, wat geïllustreerd wordt in figuur 2.9. Tussen de vinylacetaat-groepen zullen crosslinks ontstaan door de toevoeging van een oxidegroep (RO), wat wordt weergegeven in figuur 2.10. Een waterstof-atoom vanuit de CH_2 -groep zal zich binden aan de oxidegroep. Het resultaat is een los hydroxyl en een CH-groep binnen het vinylacetaatmolecuul. De CH-groepen zullen zich binden aan elkaar. Op deze manier ontstaan cross-links, die een sterke verbinding vormen tussen de lange polymeerketens.

EVA is dus in feite poly-ethyleen (PE) met een bepaald percentage vinylacetaat (VA)³⁸. De percentages VA verschillen in de delen van de steunzolen, afhankelijk van de functionaliteit en daarmee de vereiste mechanische eigenschappen van het onderdeel. Het aandeel VA varieert van 10 tot 40 procent, en het aandeel PE daarmee van 60 tot 90 procent.

ii Fysisch

Het toevoegen van vinylacetaat aan etheen vindt plaats onder bepaalde omstandigheden die gecreëerd worden in een enorme machine. Verschillende variabelen zoals de temperatuur en druk worden hierin geoptimaliseerd, wat van grote invloed is op de kwaliteit van het EVA. Bij verschillende omstandigheden veranderen de eigenschappen van het EVA, waaronder de hardheid en elasticiteit. Het resultaat van dit proces is een prop die direct meerdere malen gewalst wordt. Door deze prop aan EVA meerdere malen te walsen, wordt het materiaal evenredig verdeeld over het oppervlak. Dit komt ten goede aan de uniformiteit van de eigenschappen van het materiaal. Het gewalste EVA wordt gesneden in gelijke stroken. Deze

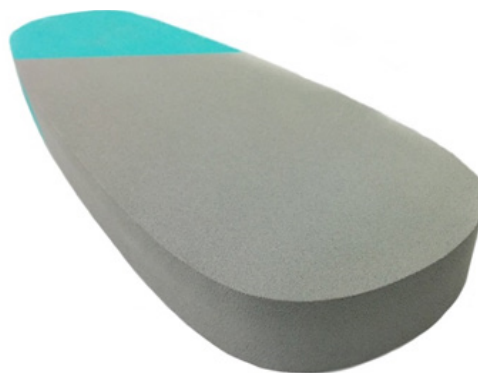


Fig. 2.5 – Uitgangsmateriaal EVA, Model P

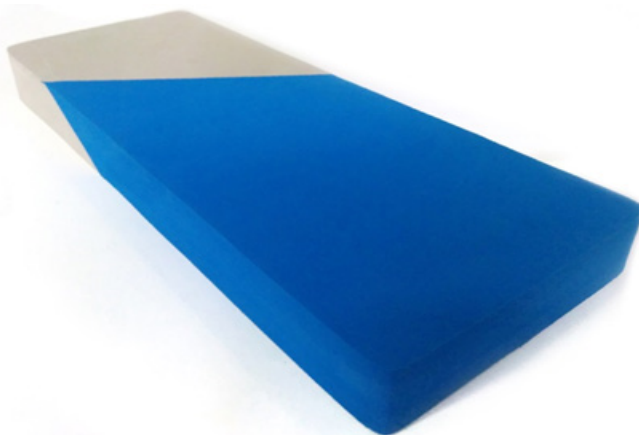


Fig. 2.6 – Uitgangsmateriaal EVA, Model T

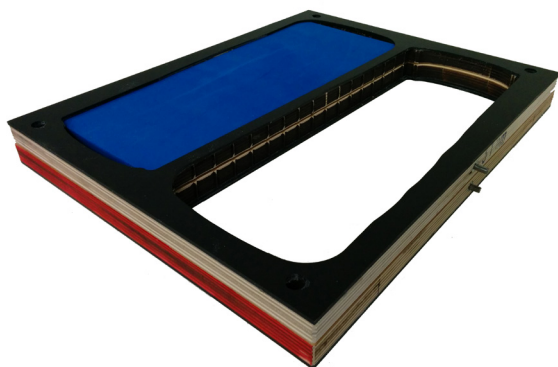


Fig. 2.8 – Mal freesmachine, model T

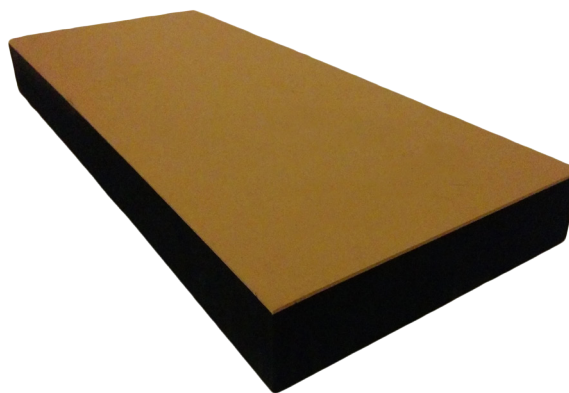


Fig. 2.7 – Uitgangsmateriaal Realux onderlaag

2. HUIDIGE SITUATIE

stroken worden opgestapeld, om vervolgens onder hoge druk samengeperst te worden door een hydraulisch aangedreven persmachine. Het vervaardigde product bestaat uit platen met afmetingen die klaar zijn voor transport naar bedrijven die het materiaal importeren. De vervaardiging van EVA vindt plaats in India en Spanje. Het EVA wordt in platen ingekocht door de bedrijven ParoMed en Medical Leather, die leveren aan PLT Products. Een beeldend verslag van het fysische productieproces is stap voor stap weergegeven in bijlage D.

Veruit het grootste deel van het EVA wordt zo geproduceerd. Uit dit vervaardigde plaatmateriaal wordt de geometrie van model P en model T verkregen. Model P wordt vervaardigd door het plaatmateriaal te ponsen. De platen worden dusdanig geponst dat er zo weinig mogelijk materiaal verloren gaat. De geometrie van model T wordt verkregen door de platen te zagen. Hierbij gaat nauwelijks tot geen materiaal verloren.

D. MATERIAALEIGENSCHAPPEN

i EVA

Het materiaal EVA biedt veel voordelen voor de toepassing in steunzolen. Het kunststof heeft een bepaalde dichtheid, die niet te hoog ligt. Door het variëren in de verhouding ethyleen/vinylacetaat zijn de eigenschappen eenvoudig aanpasbaar naar de kwaliteitseisen waaronder de mate van elasticiteit en demping³⁸. EVA is een goede isolator, thermisch en elektrisch. Het uitgangsmateriaal is mechanisch goed te bewerken met verschillende productiemethoden, en er kunnen eenvoudig verschillende kleuren op toegepast worden. De inkoop prijs van het uitgangsmateriaal is relatief laag. Het materiaal is niet giftig en laat niet of nauwelijks geuren achter². Door de combinatie van al deze eigenschappen wordt het EVA gebruikt in de productie van steunzolen, maar ook in andere toepassingsgebieden als kabelisolatie, tassen en hardloopschoenen².

Het materiaal EVA is een thermoharder. De verbindingen tussen de ketens (cross-links) zorgen ervoor dat het materiaal bij verhitting niet is om te smelten. Dit houdt in dat het materiaal niet volledig recyclebaar is.

ii Realux

De onderlaag van de zool bestaat uit een thermoplastische elastomeer, genaamd Realux (zie figuur 2.13). Het materiaal is een composiet van het elastomeer systereenbutadieen-rubber en butadieen-rubber.

De onderlaag voorkomt dat het EVA slijt op korte termijn. De onderlaag wordt toegepast bij circa de helft van alle zolen die geproduceerd worden. Het materiaal wordt voornamelijk in Nederland toegepast als onderlaag bij steunzolen. In andere landen wordt dit materiaal niet toegepast bij de productie van



Fig. 2.11 – Restmateriaal en steunzool na freesbewerking, Model P

steunzolen. Realux is slijpbaar en verlijmbaar, breekt niet, vraagt weinig onderhoud en is slijtvast. Realux is relatief hoog elastisch, waardoor het zich aanpast aan de binnenschoen. Door deze eigenschap wordt een optimale pasvorm bereikt³. Het materiaal Realux is een thermoharder⁴.

Het aandeel geproduceerde steunzolen met Realux is aan het afnemen. Wegens het relatief totale lage volume aan Realux ten opzichte van EVA, in combinatie met de afnemende aantallen steunzolen met Realux onderlaag, wordt in het verslag toegespijst op het EVA.

E. PRODUCTIEAANTALLEN

Het aantal verkochte paren steunzolen wordt geanalyseerd over het productiejaar 2014. Aan de hand van deze aantallen, en het verwachte afnamepatroon van PLT wordt een schatting gemaakt van de toekomstige productieaantallen.

Er kan geconcludeerd worden dat er een totaal van circa 65.000 paar is geproduceerd over het jaar 2014. De huidige productie ligt daarmee gemiddeld moment rond de 1250 stuks per week. De piek rond de laatste maanden ontstaat doordat veel mensen het eigen risico hebben gebruikt. Door in de laatste maanden van het jaar steunzolen te declareren, hoeft de consument niks te betalen. De afname ligt als gevolg hiervan lager in de eerste maand van het jaar.

PLT Products verwacht dat, als gevolg van het afvallen



Fig. 2.13 - Realux

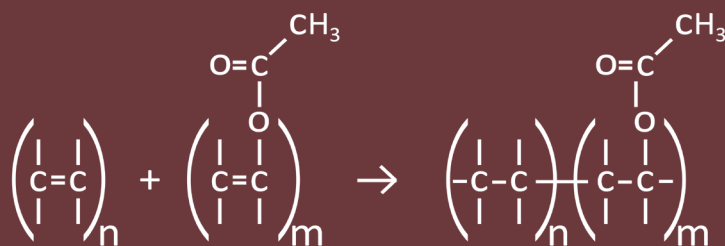


Fig. 2.9 – Polymerisatie vervaardiging EVA

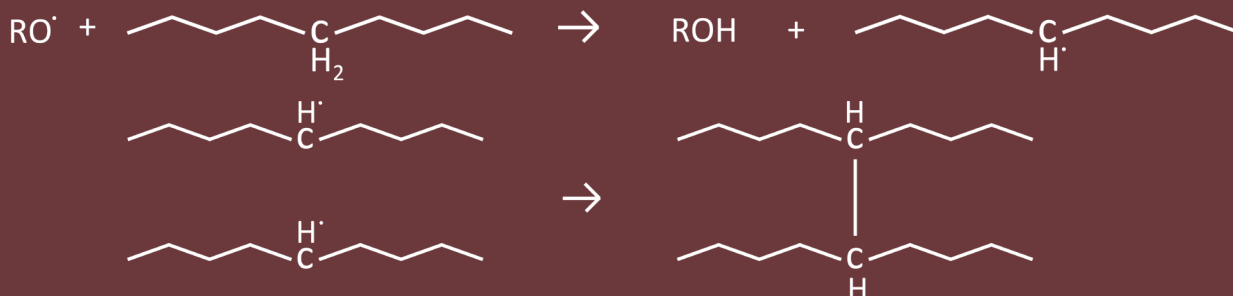


Fig. 2.10 – Oxidatieproces vervaardiging EVA

van een grote afnemer, de productie in de eerste maanden van 2015 afneemt met circa 20 procent. Onderhandelingen zijn echter gaande met meerdere nieuwe partijen en de verwachting is dat de productieaantallen zullen toenemen met circa 20 procent ten opzichte van 2014 vanaf productieweek 15. Hiermee wordt een gemiddelde van 1369 paar per week bereikt, en een totale productie van circa 71.200 paar. De exacte productieaantallen per productieweek zijn te vinden in bijlage C.

F. VOLUME EVA

Het totale verwerkte volume aan EVA wordt bepaald aan de hand van het volume aan EVA dat voor één product gebruikt wordt.

Er wordt verschil gemaakt tussen twee situaties, de huidige productiesituatie en de toekomstige productiesituatie. In de huidige productiesituatie wordt 75 procent op model P geproduceerd en 25 procent op model T. Er wordt aangenomen dat er in de toekomstige productiesituatie enkel wordt geproduceerd op model T, wegens de voordelen die het oplevert in productievrijheid, zoals omschreven in hoofdstuk 2.B.

Door het totale volume EVA van een gemiddelde zool te bepalen, kan worden berekend hoe groot het percentage is wat daadwerkelijk wordt vertaald van uitgangsmateriaal naar steunzool. Met behulp van deze gegevens kunnen conclusies worden getrokken met betrekking tot de efficiëntie van het materiaalgebruik.

Om het volume te bepalen dat de verschillende uitgangsmaterialen en de steunzolen innemen, zijn 3D CAD-modellen gemodelleerd. De afmetingen en oppervlaktes van de modellen van de uitgangsmaterialen Model P en Model T zijn te vinden in bijlage G.

Een zool is gemodelleerd aan de hand van een bestaand model, met een gemiddeld profiel. Alhoewel er het meest geproduceerd wordt op maat 39, ligt de mediaan van de verschillende maten op maat 40 (zie bijlage B). Het 3D CAD-model van de steunzool zoals te zien in figuur 2.14 geeft een benadering van de realiteit gebaseerd op een bestaand model, maat 40. Deze benadering is voldoende nauwkeurig om een

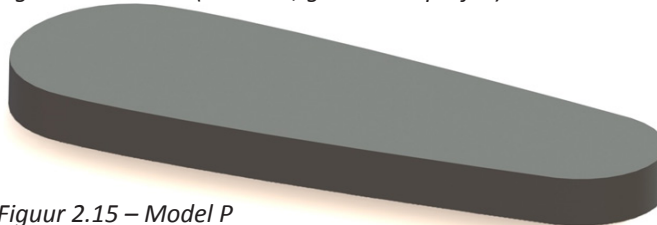
schatting te kunnen maken van de verwachte efficiëntie van het materiaalgebruik. De totale hoeveelheid aan afvalproductie, gecreëerd door het gebruik van EVA wordt uiteindelijk bepaald om een beeld te schetsen van de omvang van het probleem. De exacte berekeningen zijn te vinden in bijlage F.

Het volume dat de zolen per stuk innemen (gemiddelde afmetingen, maat 40) staat gelijk aan 0,1043 liter. Het volume dat model P inneemt per stuk staat gelijk aan 1,075 liter. Het volume dat wordt ingenomen door model T staat gelijk aan 1,392 liter.

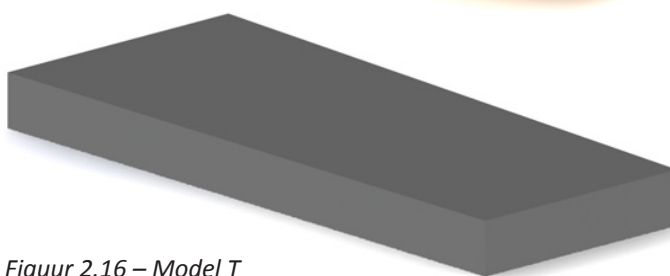
De efficiëntie van het materiaalgebruik staat gelijk aan



Figuur 2.14 – Zool (maat 40, gemiddeld profiel)



Figuur 2.15 – Model P



Figuur 2.16 – Model T

2. HUIDIGE SITUATIE

de verhouding tussen het volume van de zool en het volume van het uitgangsmateriaal. Wanneer enkel wordt geproduceerd op Model P, staat dit gelijk aan een gemiddelde efficiëntie van het materiaalgebruik van 9,70 procent. Wanneer er enkel wordt geproduceerd op Model T, dan staat de gemiddelde efficiëntie van het materiaalgebruik gelijk aan 7,49 procent, wat gelijk staat aan de efficiëntie van het materiaalgebruik in de toekomstige situatie. In de huidige situatie, waarbij 75 procent op model P en 25 procent op model T wordt geproduceerd, staat dit gelijk aan 9,15 procent. Dit houdt in dat het totale volume van het restafval verhoogd wordt met een percentage van 18,1 procent wanneer in plaats van de huidige situatie uitsluitend Model T wordt gebruikt.

In de huidige productiesituatie staat het totale volume aan gebruikt EVA gelijk aan 2.885 liter per week. Dit komt overeen met een totaal volume van circa 150.000 liter per jaar. Met een gemiddelde dichtheid van 220 liter/m³ (zie bijlage A) houdt dit dus in dat er circa 33.000 Kg EVA per jaar wordt gebruikt door PLT Products.

In de toekomst wordt verwacht dat de wekelijkse productie toeneemt tot gemiddeld 1.369 paar, zoals beschreven in hoofdstuk 2.E. Het totale volume dat per week geproduceerd wordt bij een verwachte productie van 1.369 stuks en gebruik van model T komt neer op circa 3.800 liter aan EVA. Per jaar staat dit gelijk aan bijna 200.000 liter EVA.

Dit vertaalt zich in een totaal gewicht van circa 43.600 Kg. Om de impact op het milieu meetbaar te maken, wordt gebruik gemaakt van de omschreven CO₂-equivalent, wat wordt uitgedrukt in Kg CO₂ per Kg EVA. De totale CO₂-productie van PLT Products, enkel toe te kennen aan het gebruik van EVA stond gelijk aan zo'n 73.000 Kg CO₂ per jaar. Wanneer in de toekomst enkel wordt geproduceerd op Model T, dan zal de totale

hoeveelheid aan CO₂-productie gelijk zijn aan circa 96.000 kg. Alle berekeningen zijn te vinden in bijlage F.

G. AFVALKOSTEN

i Huidig

De afvalkosten worden bepaald door de totale hoeveelheid volume aan restmateriaal dat wordt geproduceerd bij de productie van de steunzolen.

Het ingenomen volume wordt bepaald door het netto volume aan restafval dat het product inneemt. Het restmateriaal wordt afgenomen in volumes van 3.000 en 5.000 liter per week, wat respectievelijk 95 en 159 euro kost.

Op het moment is er sprake van een wekelijkse afvalproductie van circa 5.000 liter in totaal. De jaarlijkse afvalkosten bedragen in totaal circa 8.270 euro wanneer er op huidige manier wordt geproduceerd.

ii Toekomstig

De afvalkosten die voortvloeien uit het materiaalgebruik zijn afhankelijk van het volume dat het materiaal in totaal inneemt. De wekelijkse productie aan netto afval ligt voor model P op het moment op 2.426 liter.

Wanneer er in de toekomstige situatie enkel op model T wordt geproduceerd, ligt het volume van het restmateriaal ligt op 3.527 liter. Hierbij wordt uitgegaan van een situatie waarbij het restmateriaal 100 procent efficiënt gestapeld wordt in de afvalcontainer. Uiteraard is dit in de praktijk niet het geval, en bevinden zich veel loze ruimtes gevuld met lucht tussen de blokken. In de huidige situatie wordt het materiaal relatief efficiënt gestapeld. Dit is toe te schrijven aan de productie die deels handmatig plaatsvindt. De grote delen van het startmateriaal worden handmatig geknipt in stukken, waardoor deze niet significant veel extra ruimte innemen. In de toekomst zal dit niet meer handmatig gebeuren en zullen de grootste blokken veel ruimte innemen. In figuur 2.17 is het restproduct te zien nadat het machinaal gefreesd is.

Om te bepalen wat het volume is dat een product inneemt, wordt een tiental steekproeven uitgevoerd waarbij een aantal gefreesde modellen T willekeurig in een vast volume wordt gedeponeerd. Hierbij wordt een percentage verkregen wat de verhouding volume EVA tot het totale volume beschrijft. Een doos met een volume van 276,7 liter wordt meerdere malen (n=10) gevuld op een manier waarop de container ook gevuld wordt. Foto's van de gevulde en ongevlude doos zijn te zien in figuur 2.18. De resultaten zijn te vinden in bijlage E.

Het rendement waarmee de container gevuld wordt met EVA is vastgesteld op 41,5 procent. Dit houdt in dat 41,5 procent van het totale volume wordt ingenomen door het EVA. Dit wordt de vulgraad genoemd. Wanneer wordt uitgegaan van dezelfde vulgraad blijkt dat op het moment 6.325 liter aan EVA



Fig. 2.17 - Restmateriaal

wordt geproduceerd per week. Zoals gesteld valt dit iets lager uit in de praktijk omdat grote delen van het startmateriaal handmatig worden geknipt. Het totale volume dat wordt ingenomen door het restmateriaal zal in de toekomstige situatie neerkomen op circa 8.200 liter per week.

In de praktijk komt dit minimaal neer op een uitbreiding van één afvalcontainer van 5.000 liter, naar circa 8.000 liter. De jaarlijkse kosten voor het wekelijks afnemen van een afvalcontainer van 3.000 liter staat gelijk aan circa 4.940 euro. De jaarlijkse kosten aan restmateriaal nemen hierdoor toe met dit bedrag, waardoor de totale jaarlijkse kosten uitkomen op 13.140 euro.



Fig. 2.18 - Experiment 'efficiëntie stapelen'

2.H CONCLUSIES HUIDIGE PRODUCTIESITUATIE

De voorgaande analyses waren een duidelijke eye-opener en een omslagpunt in het onderzoek.

Voorgaande analyses hebben inzicht geboden in het materiaalgebruik en de ecologische impact van het materiaalgebruik, uitgedrukt in een CO₂ voetafdruk. Hierbij werd duidelijk dat er zeer inefficiënt gebruik wordt gemaakt van het materiaal, en dat door te variëren in modeltypes deze efficiëntie van het materiaalgebruik verhoogd kan worden. Door enkel te produceren op model T zal het materiaalgebruik in totaal met circa 18 procent toenemen.

Na de realisatie van het inefficiënte materiaalgebruik werd duidelijk dat met het toepassen van een shredder niet een oorzaak, maar een gevolg zou worden aangepakt. Er is gezocht naar een ontwerpprincipe dat op een kostenefficiënte manier de ecologische impact kan verlagen.

De focus zal niet meer liggen op de shredder, maar zal onderdeel worden van een plan om het product en de productiemethoden aan de hand van het Cradle to Cradle principe 'beter' te maken. Aan de hand van dit principe zal op een kostenefficiënte manier het product op een meer milieuvriendelijke manier kunnen worden geproduceerd.

3. CRADLE TO CRADLE DESIGN

Het is van belang om verder te kijken dan de invulling van de opdracht met behulp van de toepassing van een shredder, om zo een breder beeld te krijgen van het probleem dat is ontstaan bij de productie van de steunzolen. De oorzaak van het probleem is namelijk een verlies van gemiddeld bijna 92 procent van het startmateriaal. Om een gestructureerde aanpak te verkrijgen wordt ontworpen vanuit een bestaande ontwerpmethode: het Cradle to Cradle ontwerpprincipe. Hiervoor is gekozen om, vanuit een bredere kijk op het ontwerpen het ontstane probleem op een andere manier wil op te lossen. Hierdoor worden minder efficiënte processen niet alleen minder slecht, maar kan er een product ontworpen worden dat intrinsiek goed is.

Het Cradle to Cradle principe wordt allereerst in het algemeen beschreven. De huidige levenscyclus van het product wordt vervolgens geanalyseerd. Er wordt beargumenteerd wat de voordelen zijn voor PLT Products om het Cradle to Cradle ontwerpprincipe toe te passen op het productieproces. Vervolgens worden alle mogelijkheden behandeld die een mogelijke meerwaarde hebben voor dit productieproces. De mogelijkheden worden uitgebreid behandeld in hoofdstuk 4. Per mogelijkheid wordt de meest realistische en economisch aantrekkelijke aanpak gekozen en onderbouwd.

A. INLEIDING CRADLE TO CRADLE DESIGN

Het product en het huidige productieproces heeft een duidelijke negatieve impact op het milieu, doordat het product veel materiaal bij de productie gebruikt. Dit materiaal wordt vervolgens direct uit zijn levenscyclus onttrokken door het te door het te verbranden met als doel energiewinning.

Het Cradle to Cradle ontwerpprincipe is gebaseerd op het leveren van een positieve impuls rond economische, ecologische en sociale aspecten van het menselijke ontwerp en het gebruik van producten of diensten (MBDC LLC, 2012)⁵. Het doel is het verbeteren van de manier waarop we producten maken, gebruiken en hergebruiken binnen de technische en biologische cyclus. Het Cradle to Cradle principe is gebaseerd op de volgende drie pijlers⁵:

1. Elimineer het concept van afval

In de natuur bestaat het idee van afval niet. Al het materiaal is voedingsstof van een ander organisme of systeem. De gebruikte materialen worden over en over herbruikt als input voor een andere cyclus, namelijk de technische cyclus of de biologische cyclus (zie figuur 3.1). De gebruikte materialen en producten moeten veilig zijn. Praktijkgerichte voorbeelden zijn het ontbreken van giftige stoffen in de steunzolen en het voorkomen dat schadelijke stoffen in de natuur terechtkomen. Materialen en producten moeten een nalatenschap hebben die economisch rendabel, milieuvriendelijk en rechtvaardig zijn.

2. Gebruik duurzame energie

De bron van energie is van groot belang. Energie gebruiken dat is gehaald uit hernieuwbare en milieuvriendelijke bronnen, is van het grootste belang voor een doeltreffend ontwerp.

Onder deze vernieuwbare bronnen valt energie gewonnen uit zon, wind, waterkracht, biomassa, geothermische energie en waterstofcellen.

3. Prijs diversiteit

Gebruik sociale gelijkheid om de relaties tussen de activiteiten en de belanghebbenden te begeleiden. Stimuleer de deelname van het personeel in onderzoeksprojecten en het ontwerpen van creatieve oplossingen. Technologische diversiteit is leidend voor innovatie. Bekijk verschillende opties in het zoeken naar creatieve oplossingen.

Voornamelijk de eerste pijler van Cradle to Cradle ontwerpprincipe is relevant voor de invulling van deze opdracht. Om het algemene doel te behalen, moeten echter alle pijlers worden meegenomen in het onderzoek.

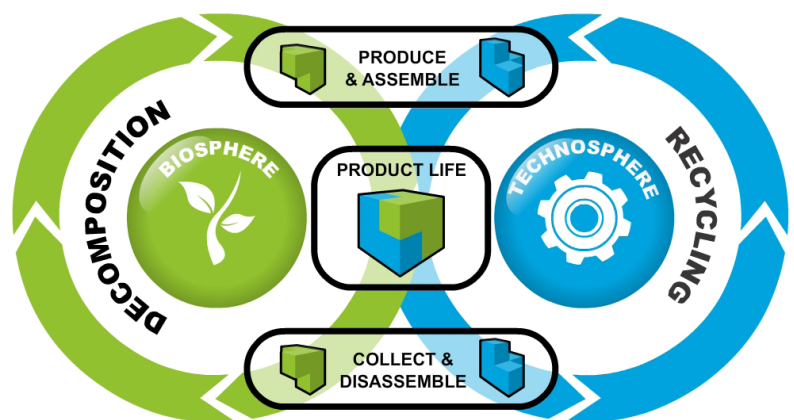


Fig. 3.1 - Biologische en technische cyclus C2C⁶

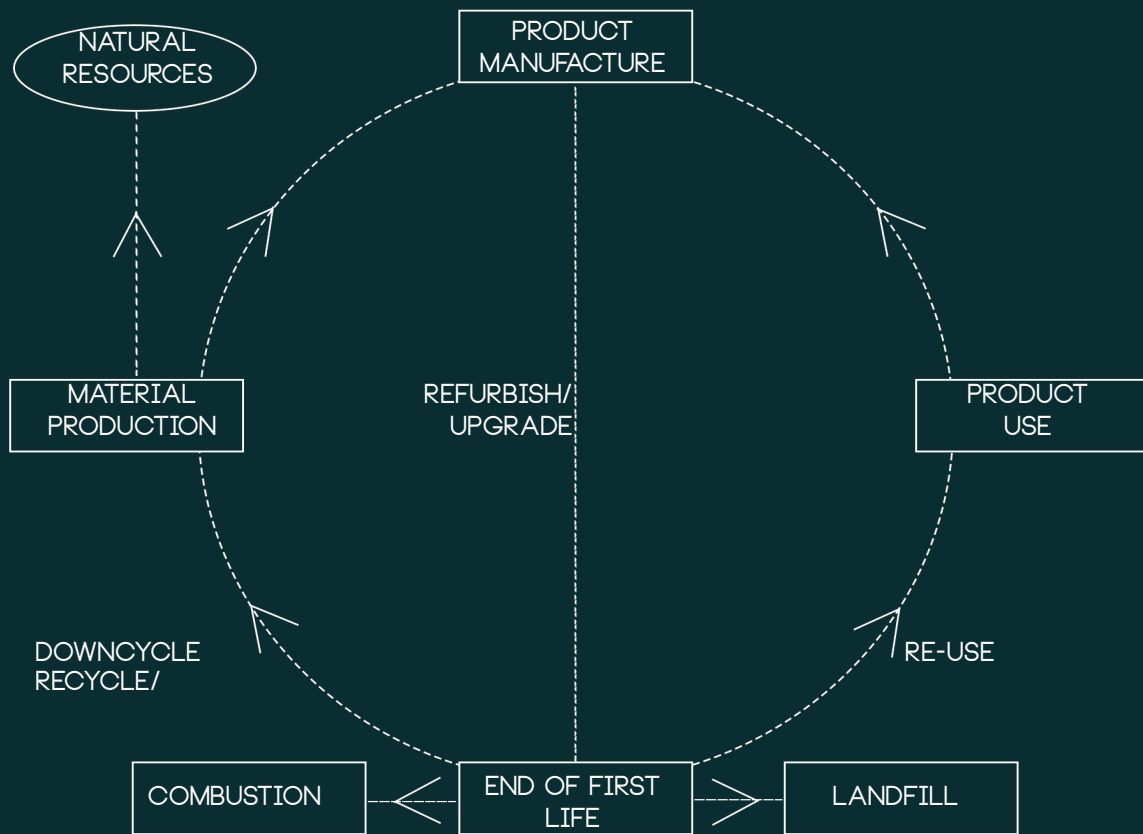


Fig. 3.2 – Levenscyclus steunzool⁷

Er worden doelen gesteld waar naar gestreefd wordt om die op de lange termijn te behalen. Acties worden overwogen en voorgesteld om op korte termijn door te voeren. Hierdoor kunnen stap voor stap de lange termijndoelen worden behaald. Op deze manier wordt het realiseren van deze doelen realistischer. Het resultaat van het ontwerpen vanuit het C2C ontwerpprincipe is een stappenplan om op lange termijn het gestelde doel te behalen. Als algemeen doel van het toepassen van het C2C principe wordt gesteld: het leveren van een positieve impuls rond economische, ecologische en sociale aspecten met de productie en verkoop van de steunzolen. Dit sluit aan bij de opgestelde hoofddoelen van deze opdracht.

B. VOORDELEN PLT PRODUCTS

De realisatie van het ontwerpen vanuit het Cradle to Cradle principe heeft een meerwaarde voor PLT Products om meerdere redenen. Het plan en de uitvoering ervan kunnen bijdragen aan het innovatieve imago dat PLT Products de afgelopen jaren heeft opgebouwd. PLT Products probeert eveneens een imago als duurzaam bedrijf neer te zetten. Met een productieproces waarbij 92 procent van het startmateriaal wordt verbrand is dit niet mogelijk. Doordat het bedrijf zich onderscheidt van de concurrentie door voorop te lopen in het duurzame productieproces is sprake van productdifferentiatie. Als er afnemers zijn die hoge waarde schenken aan het kopen van een duurzaam product, is het mogelijk dat PLT Products hiermee wordt verkozen boven de concurrentie. Dit zou de afname en daarmee de omzet kunnen verhogen. De aanpassingen kunnen ook directe financiële voordelen opleveren zoals het verlagen van de materiaalkosten door efficiënt gebruik van materiaal, verlagen van de afvoerkosten van het restmateriaal en mogelijke opbrengsten uit re- of

downcycling van de restmaterialen.

Samenvattend zijn de voordelen voor PLT Products;

- Verhogen innovatief imago
- Verhogen duurzaam imago
- Productdifferentiatie
- Directe financiële voordelen
- Volumereductie afvalmateriaal

C. LEVENSCYCLUS

De steunzolen die geproduceerd worden, hebben een levenscyclus die niet ophoudt na de verkoop van de steunzool. Er zijn vele manieren waarmee het product opnieuw gebruikt kan worden. In dit hoofdstuk wordt de levenscyclus van de steunzool geanalyseerd. De levenscyclus wordt geanalyseerd aan de hand van figuur 3.2.

Het materiaal wordt geproduceerd uit de bronnen etheen en vinylacetaat. Etheen wordt voornamelijk verkregen uit aardolie⁸ (Natural resources). Door vinylacetaat aan etheen toevoegen wordt etheen vinylacetaat verkregen, zoals beschreven in hoofdstuk 2.C. De totale energie, nodig om het materiaal te vervaardigen ligt tussen de 75 en 82.8 MJ/Kg⁹. De ecologische voetafdruk ligt op maximaal 2.1 kg CO₂ per Kg geproduceerd EVA⁸. Vervolgens wordt het product geproduceerd in de werkplaats van PLT Products (Product manufacture). Bij de productie ontstaan twee stromen van het materiaal, namelijk het product en het restmateriaal. Het product wordt gebruikt door de consument (Product use) om het vervolgens door de gebruiker bij het afval te deponeren (End of first life). Vervolgens wordt dit materiaal verbrand of gestort. Bij de productie ontstaat een aandeel aan restmateriaal dat in de huidige productiesituatie circa 92 procent bedraagt van het totaal aan materiaal zoals is toegelicht in hoofdstuk 2.H. Dit deel wordt na productie afgevoerd om

3. C2C DESIGN

verbrand te worden, en wordt deels omgezet in energie.

De ladder van Lansink (figuur 3.3) biedt leidraad in het (globaal) beoordelen van vormen van afvalverwerking. Het geeft een beeld van de mogelijkheden die er zijn om het afval op een zo duurzaam mogelijke manier te verwerken. Hieruit blijkt dat het winnen van energie uit restafval door verbranding geen duurzame manier van afvalverwerking is.

D. MOGELIJKHEDEN GEBODEN DOOR C2C DESIGN

Wanneer naar de praktijk gekeken wordt, zijn veel stappen mogelijk die gezet kunnen worden om het materiaalgebruik en de impact op het milieu te reduceren tot een minimum. Deze stappen kunnen niet in één keer gezet worden. Het is een proces waar PLT Products zich in de loop der tijd mee bezig zal moeten blijven houden. De stappen worden afzonderlijk uitgediept met concrete voorbeelden en praktijkgerichte oplossingen.

Alle mogelijkheden die in lijn liggen met C2C Design worden geanalyseerd. Vervolgens wordt gekeken (in overleg met PLT Products) welke mogelijkheden het meest realistisch en economisch verantwoord zijn.

De volgende mogelijkheden in het Cradle to Cradle ontwerpproces zijn geanalyseerd:

A. Verhogen efficiëntie materiaalgebruik

Uit de Ladder van Lansink blijkt dat het efficiënt gebruik maken van het materiaal de eerste en belangrijkste stap is die genomen zal moeten worden. Preventie van het ontstaan van restmaterialen heeft uiteraard hoogste prioriteit.



Fig.3.3 – Ladder van Lansink - De Afvalhiërarchie¹⁰

B. Volume verkleinen restmateriaal

Het shredden of granuleren van het materiaal is noodzakelijk voor het hergebruik van het materiaal. De geometrie van het uitgangsmateriaal na de freesbewerking is niet herbruikbaar in andere producten. Wanneer het materiaal gegraneerd is, kunnen thermoplasten omgesmolten worden tot een nieuw product en thermoharders een mogelijke functie vinden in een nieuw product. Het materiaal neemt eveneens minder volume in, wat het transport vergemakkelijkt en afvoerkosten vermindert.

C. Scheiden materialen

De helft van het restmateriaal bevat een realux onderlaag. Om het materiaal effectief te recyclen, zal het gescheiden moeten worden.

D. Restmaterialen toepassen in andere producten (Downcycling)

Zolang het huidige productieproces in stand blijft zal restmateriaal blijven ontstaan. Om deze reden wordt er gezocht naar een oplossing om het restmateriaal te downcyclen. Met downcycling wordt bedoeld dat het materiaal in zijn huidige fysische toestand wordt hergebruikt in een ander product, met een andere functie. Hierdoor blijft het materiaal circuleren in de technische cyclus.

E. Vervangen materiaal door een thermoplast

Er wordt op vele gebieden onderzoek gedaan naar een thermoplastische vervanger van ethyleen-vinylacetaat. Wordt een dergelijke vervanger gevonden en toegepast in de productie van de steunzolen, dan zal dit een stimulans bieden aan de duurzaamheid van het product. Er zal nauwelijks materiaal verloren gaan bij de productie, doordat het restmateriaal omgesmolten kan worden tot nieuw bruikbaar uitgangsmateriaal. Huidige producten en bedrijven die zich specialiseren in het vinden van thermoplasten worden in kaart gebracht.

F. Biologisch afbreekbare restmaterialen

Er zijn kunststoffen op de markt die biologisch afbreekbaar zijn. Door een biologisch afbreekbaar materiaal toe te passen kan het materiaal in de biologische cyclus terechtkomen wanneer het materiaal geen toepassing meer kan vinden in de technische cyclus. Het concept van afval wordt hiermee geëlimineerd. Bedrijven die zich specialiseren in biologisch afbreekbaar materiaal en de typen materialen worden in kaart gebracht. Onderzoek op het gebied van biologisch afbreekbaar EVA wordt kort behandeld.

G. Wijzigen productietechniek

Bij de toepassing van de huidige productietechniek frezen gaat altijd materiaal verloren. Een realistische vervanger van deze productietechniek is het 3D-printen van steunzolen.

Er wordt geanalyseerd wat het materiaalverlies is bij deze productietechniek, en ontwikkelingen worden in kaart gebracht. Omdat er in dit geval sprake is van de toepassing van een andere productietechniek wordt naast het materiaalgebruik tevens gekeken naar het energiegebruik van deze productietechniek.

H. Reverse distributie

Om naar minimaal materiaalverlies te streven kan het gebruikte product worden ingezameld om gerecycled te worden. Op het moment is dit niet waardevol, omdat het EVA niet wordt hergebruikt. Wordt er gebruik gemaakt van een ander thermoplastisch materiaal dan is het meer waardevol om dit materiaal in te zamelen om het te recyclen.

Stap één tot en met vier worden in dit onderzoek uitgediept. Innovatieve oplossingen worden gezocht op deze mogelijkheden. Het realiseren van stap 5 tot en met stap 8 vergt diepgaande onderzoeken die niet uitvoerig binnen dit ontwerptraject worden behandeld. Bestaande onderzoeken zullen kort worden behandeld en interessante bedrijven die onderzoek doen op de betreffende gebieden zullen worden genoemd.

E. CONCLUSIES C2C DESIGN

Er is besloten om aan de hand van de opgestelde mogelijkheden van het C2C ontwerpprincipe te gaan ontwerpen. De voordelen voor PLT Products zijn uiteengezet. De stappen waarin het gerealiseerd kan worden zijn genoemd. In komend hoofdstuk worden de voorgestelde stappen uitgediept. Wanneer we het ontwerpproces bekijken aan de hand van figuur 1, zijn de inleiding, analysefase en de inleiding in het Cradle to Cradle ontwerpprincipe behandeld. De uitvoering van het C2C ontwerpprincipe wordt behandeld in deel 4.

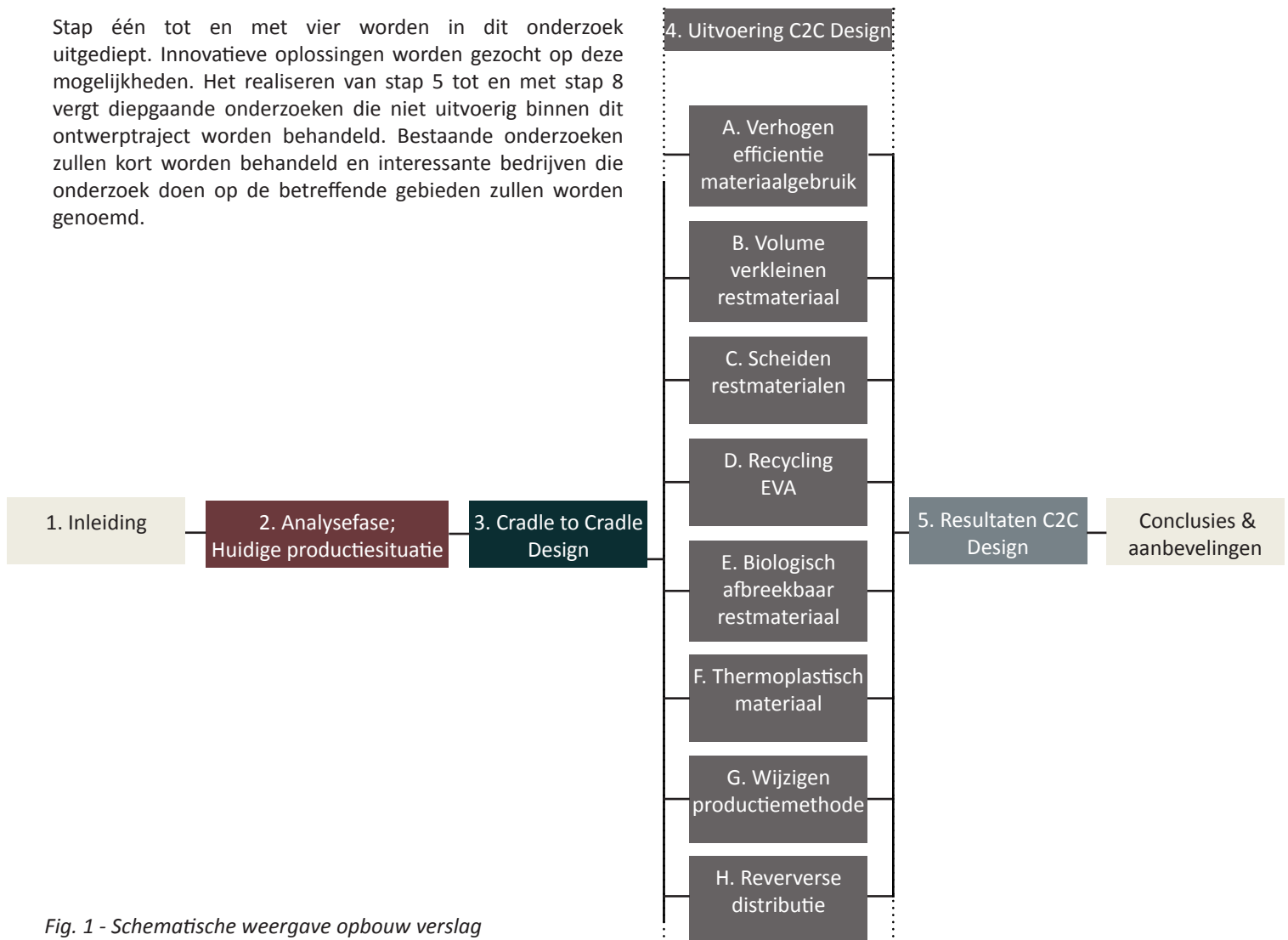


Fig. 1 - Schematische weergave opbouw verslag

4. UITVOERING C2C

A. VERHOOGING EFFICIËNTIE MATERIAALGEBRUIK

Er wordt zeer inefficiënt energie gewonnen uit het verbranden van een kunststof. Op deze manier gaat veel energie verloren die is gestoken in de winning van het materiaal, ongeacht welk kunststof wordt gebruikt. Dat vervolgens 92 procent van het materiaal bij de productie verloren gaat, is natuurlijk zeer inefficiënt. Het is zaak om preventief het materiaalgebruik te reduceren, door het materiaal efficiënter te gaan gebruiken. Er wordt geanalyseerd wat de mogelijkheden zijn om het materiaal zo efficiënt mogelijk te kunnen gebruiken. Er zijn modellen beschikbaar bij de leverancier die een kleiner volume innemen. Er wordt geanalyseerd hoe deze modellen het best kunnen worden toegepast. Vervolgens zullen de knelpunten in kaart worden gebracht. Er zijn immers redenen waarom deze methodes nog niet worden toegepast. Een product wordt ontworpen dat de mogelijkheid biedt tot het geven van vrijheid in materiaalgebruik. Hierdoor wordt een grote bijdrage wordt geleverd in het realiseren van de hoofddoelen.

i Efficiënter gebruik modeltypes

Met de aanschaf van de huidige freesmachines (C12 en C18), is PLT Products gebonden aan deze productiemethode. Hetzelfde geldt voor de verschillen in geometrie van EVA die beschikbaar zijn. Het is mogelijk om de inkoop aan te passen op de variatie in de maten van de zolen van de consumenten. PLT Products gaat geen bewerkingen uitvoeren op het EVA om zelf het uitgangsmateriaal te vervaardigen, reden waarom enkel toegespitst wordt op de variaties in het gebruik van de beschikbare te leveren modeltypes.

De modellen worden in verschillende vormen geleverd. In totaal betreft dit 8 verschillende typen modellen. De modellen P1, P2 en P3 (in vervolg Px genoemd) en P1B, P2B en P3B (in vervolg PxB genoemd) beschikken over een geometrie die afgerond is aan de voor en achterzijde. De modellen PxB hebben een aflopend oppervlak (zie figuur 4.A.1). Hierdoor ontstaat een lage voorzijde en een hoge achterzijde (zie figuur 4.A.2). Naast de modellen P zijn ook de vierhoekige modellen T beschikbaar. Alle verschillende typen uitgangsmateriaal zijn te vinden in bijlage G.

De betreffende modellen PxB worden vervaardigd door deze allereerst over de te splitsen in het horizontale vlak met behulp van een lasersnijder (zie figuur 4.A.1). Hierdoor ontstaat het aflopende deel van de modellen PxB. Vervolgens worden de modellen geponst vanaf de bovenzijde om de afgeronde geometrie te verkrijgen. Op deze manier gaat er minder materiaal verloren tijdens het freesproces.

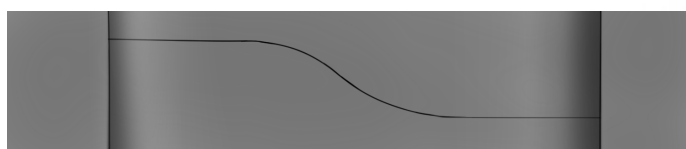


Fig. 4.A.1 - Overlappende zolen

ii Probleemstelling

Het uitgangsmateriaal met geometrie wordt geplaatst in houten omhulsels zoals te zien in Figuur 4.A.3. Voor elk type geometrie wordt een ander type mal gebruikt waarin het uitgangsmateriaal ingeklemd wordt. Dit betreft acht verschillende typen mallen voor de verschillende hoofdvormen. Alle producten dienen voorzien te kunnen worden met een Realux onderlaag. Hierdoor worden de producten 1,5 millimeter hoger. Voor modellen inclusief Realux onderlaag is er een aparte mal beschikbaar. In totaal komen we hiermee uit op 16 verschillende typen mallen.

Er moet 30 paar tegelijk geproduceerd kunnen worden op de mallen. Daarom moet er minimaal 30 paar mallen voor de verschillende modellen beschikbaar zijn. Dit houdt in dat 480 mallen beschikbaar moeten zijn wanneer op alle verschillende typen geproduceerd wordt. Het is geen optie om een dergelijke hoeveelheid mallen te gebruiken in de productie. De veelvoud aan mallen is te groot om overzichtelijk op te slaan in de werkplaats. Wegens productie-eenvoud wordt op het moment enkel gewerkt met de blokken P3 en T5, de blokken met de grootste beschikbare afmetingen.

De prijzen van de modellen zijn afhankelijk van het volume dat wordt ingenomen door het materiaal. De prijzen van de verschillende modellen zijn eveneens te vinden in bijlage F. De prijzen en het volume van de modellen PxB zijn beide het laagst. Het is een logische keuze om te produceren op deze modellen.

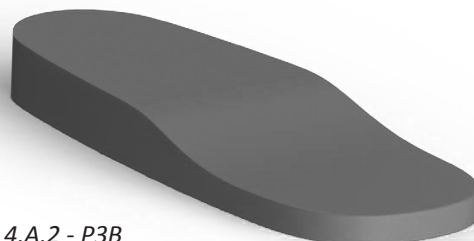


Fig. 4.A.2 - P3B

Er is bepaald tot welke maat er minimaal geproduceerd kan worden op de modellen PxB. Kleinere maten van de steunzolen betekent namelijk dat er op modellen geproduceerd kan worden met kleinere afmetingen. Afhankelijk van de hoogte van de voetboog kan op de aflopende blokken geproduceerd worden. De vrijheid in de keuze van het blok biedt de mogelijkheid om te variëren in het gebruik van de blokken, en deze af te stemmen op de afmetingen van de steunzolen. Er wordt aangenomen dat tot en met maat 36 op de modellen P1B kan worden geproduceerd. Maten 37 tot en met 44 kan geproduceerd worden op model P3B. Tot en met maat 47 kan worden geproduceerd op deze blokken.

De vrijheid van het gebruik van verschillende modellen wordt ingeperkt als ervoor wordt gekozen om mallen aan te schaffen waarbij enkel op de aflopende blokken geproduceerd kan worden. De hoogte van de voetboog kan dusdanig afwijken van de standaardprofielen waardoor er in extreme gevallen niet op de aflopende blokken geproduceerd kan worden. De huidige productietechniek biedt niet de vrijheid in het gebruik van verschillende geometrie van uitgangsmateriaal.

Wil PLT Products in de toekomst meer gaan besparen op materiaal- en afvoerkosten, dan wordt geadviseerd om nieuwe mallen te ontwikkelen en te produceren die te gebruiken zijn voor verschillende typen modellen. Wanneer dergelijke mallen te gebruiken zijn in het huidige productieproces, biedt dit vrijheid in het materiaalgebruik.

De ontwikkeling van dergelijke mallen kunnen veel



Fig. 4.A.3 - Mallen startmateriaal

voordelen opleveren voor PLT Products. Bij de productie van de steunzolen levert dit uiteraard een besparing van materiaal- en afvalkosten op. Er wordt een kleinere hoeveelheid aan restmaterialen geproduceerd. Dit draagt bij aan het C2C-ontwerpprincipe, en levert een lager volume aan restmateriaal op de werkvloer op. Aangezien er nog geen dergelijk gespecialiseerde mallen op de markt zijn, zou PLT Products kunnen overwegen om de mallen te verkopen aan concurrenten.

Samengevat valt het kostenvoordeel voor PLT onder de volgende onderdelen:

1. Besparing materiaalkosten
2. Besparing afvalkosten
3. Lagere productie restmaterialen
4. Verkoop mallen aan derden

iii Besparing Materiaalkosten

De prijzen van de typen modellen zijn van veel variabelen afhankelijk. Er is gebruik gemaakt van gestandaardiseerde prijzen om een inschatting te kunnen maken van de materiaalkosten. De prijzen van de verschillende modellen zijn opgesteld met behulp van Norbert Mollenkamp, productiemanager bij PLT Products, eveneens te vinden in bijlage G.

Op het moment worden de producten tot en met maat 42 op model P3 geproduceerd. Zeker 34.000 paar werd in 2014 geproduceerd op het model P3. Vanaf maat 43 wordt geproduceerd op model T5. Circa 11.200 werd geproduceerd op model T5. Het aandeel onafgewerkte zolen is in dezelfde verhouding geproduceerd. De totale materiaalkosten in aanschaf komen hiermee in theorie uit op 391.576 euro per jaar voor het huidige productieproces (zie bijlage I).

Wordt er tijdens inkoop onderscheid gemaakt tussen de verschillende maten, dan zullen de materiaalkosten significant lager uitvallen. Circa 3.250 modellen kunnen worden geproduceerd op model P1B. Het grootste aantal zolen kan geproduceerd worden op model P2B, met een totaal van circa 37.820. Plus minus 4.000 paren vallen onder model P3B. Vanaf maat 48 moet op model T5 geproduceerd worden. Slechts 248 modellen zouden op model T5 geproduceerd moeten worden. In totaal komen de kosten van de aanschaf van het EVA in deze situatie uit op 287.796 euro per jaar.

iv Besparing Afvalkosten

Wanneer het netto restvolume van de modellen wordt bepaald, zal duidelijk worden dat er significant lager volume aan restafval ontstaat bij deze productieaantallen op de aangewezen modellen. Het netto volume aan afval dat ontstaat per week zal dalen van 3.028 liter naar 1.746 liter per week. Dit houdt een reductie van de afvalproductie in van circa 42 procent. Een overzicht van de besparing op afvalkosten is eveneens te vinden in bijlage I.

4. UITVOERING C2C

v Inleiding ontwerp dynamische mal

Er wordt een voorstel gedaan voor een nieuw type mal die de vrijheid biedt in het gebruik van verschillende geometrie van de modellen. Om een ontwerp te maken van een mal die compatibel is voor meerdere modellen wordt een standaard ontwerpproces doorlopen. De huidige mallen, freesmachines en eisen en wensen van de gebruikers worden geanalyseerd. De belangrijkste conclusies uit de analyses worden benoemd. Het programma van eisen volgt uit verschillende analyses. Concepten zijn opeenvolgend aan elkaar doorontwikkeld, door leermomenten van vorige concepten mee te nemen in volgende concepten. De keuze tussen drie conceptringingen wordt gebaseerd op de toetsing van een programma van eisen. De mal wordt herontworpen tot een dusdanig niveau waarmee kan worden aangetoond dat het mogelijk is om meerdere verschillende afmetingen te produceren op één mal. Een prototype van een model wordt getest en resultaten worden geëvalueerd. Er is voor gekozen om een prototype te ontwerpen en achteraf in de praktijk te testen.

Om de voorgenoemde voordelen te kunnen realiseren, wordt er een concept van een nieuw type mal ontworpen. Deze mal dient gebruikt te kunnen worden voor meerdere modellen. Zoals in hoofdstuk 4.A.iii is beschreven, wordt de grootste besparing gerealiseerd door voornamelijk te produceren op de aflopende modellen (PxB).

Er wordt vooralsnog enkel onderscheid gemaakt tussen twee verschillende mallen voor model P en model T. Voor beide typen mallen wordt eenzelfde ontwerpproces doorlopen. De gebruikte technieken kunnen worden toegepast voor beide typen mallen. De nadruk op de uitwerking van de functionele mallen zal liggen op model P. Een vergelijkbare mal kan ontworpen worden voor model T. Een herontwerp van de model T mallen is nog steeds interessant, wegens de productievrijheid die hiermee wordt gecreëerd in het gebruik van de blokken. Bepaalde zolen met extreme afmetingen kunnen namelijk niet op model P gefreesd worden.

De keuze had gemaakt kunnen worden om krachten en resonantie te meten op de mal en daarmee rekening te houden in het ontwerpproces. Dit is niet gedaan omdat de krachten en resonantiefrequenties op de mal van teveel variabelen en onbekenden afhangen. Variaties in afmetingen van de voetbogen, geometrie van het uitgangsmateriaal, materiaalgebruik, maten van de zolen enzovoort hebben invloed op de kracht die wordt uitgeoefend op de mal. Het meenemen van deze factoren neemt veel tijd in beslag, waardoor ervoor is gekozen om te evalueren na het opstellen van een concept en functioneel prototype.

vi Analyses dynamische mal

Huidige mallen

De huidige mallen bestaan uit twee delen (zie figuur 4.A.5). De geometrie van het uitgangsmateriaal wordt geplaatst in de vorm van het onderste deel (zie figuur 4.A.7). Het uitgangsmateriaal wordt hierdoor geklemd in de mal. Het bovenste deel van de mal wordt hierna geplaatst op het bovenste deel van het uitgangsmateriaal (figuur 4.A.5). Het multiplex frame realiseert de inklemming over de horizontale assen. Op de boven- en onderzijde is een kunststoffen plaat gelijmd die voorkomt dat het uitgangsmateriaal beweegt over de verticale as.

Zoals te zien in figuur 4.A.6 bevatten alle hoeken van de mallen een cilindervormige opening. Kunststoffen cilinders, die bevestigd zijn aan de freestafel, worden door deze opening geschoven. Inklemming van de mal in het horizontale vlak wordt hierdoor gerealiseerd. Een metalen pin in de zijdes van de mallen zorgt ervoor dat beide zijdes de mogelijkheid hebben om ingeklemd te worden over de verticale as (zie figuur 4.A.6 (Links)).

Een kunststoffen schuif wordt over de metalen pinnen heen geklemd om verschuiving over de verticale as te voorkomen (zie figuur 4.A.6 (Rechts)). In bijlage H zijn maattekeningen te vinden betreffende de gemeten maten van het bovenaanzicht van model P en model T.

Doordat de mallen symmetrisch zijn in het horizontale vlak, kunnen de mallen tweezijdig gebruikt worden. Door de mallen in hun geheel om te draaien, en op eenzelfde manier in te klemmen op de freesmachines, ontstaat de mogelijkheid om de zolen tweezijdig te frezen. Dit is een sterk productvoordeel voor het gebruik van mallen in plaats van concurrerende opspanningsmethoden zoals vacuümvormen. Op het moment wordt op de mallen nog niet tweezijdig gefreesd. Het zal dan ook geen harde eis worden om dit te realiseren in het herontwerp van de mallen, maar het moet in de toekomst mogelijk zijn om dit te realiseren.

Met het gebruik van de huidige mallen gaan echter ook complicaties gepaard. Doordat de mallen soms niet perfect

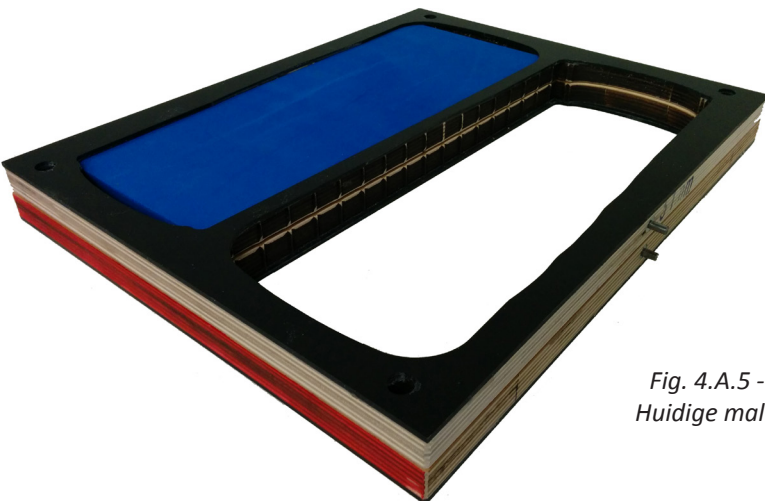


Fig. 4.A.5 -
Huidige mal

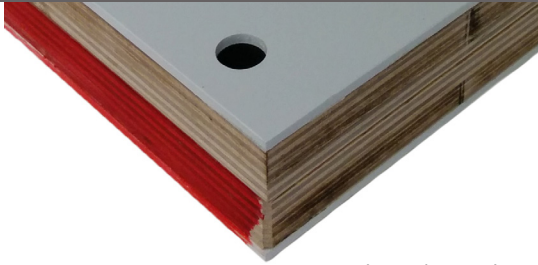


Fig. 4.A.6 - Opspanningspunten 1 (Links) en 2 (Rechts)

aansluiten op de hoofdvorm van het uitgangsmateriaal, wordt het uitgangsmateriaal niet goed ingeklemd en heeft de zool bewegingsruimte, wat ten koste gaat van de nauwkeurigheid van het freesproces. Het komt voor dat het uitgangsmateriaal hierdoor gaat resoneren door de druk van de freesboor.

De houten mallen kosten 90 euro per stuk in aanschaf.

Freemachines

Twee freesmachines zijn aangeschaft waarop geproduceerd wordt. PLT Products is hiermee gebonden aan deze productiewijze. Dit brengt verschillende eisen met zich mee. Er is een bepaalde afstand vrij tussen de mallen. De mallen mogen niet breder ontworpen worden dan deze vrije afstand. Een overzicht van de vrijheid van het gebruik van deze maten is te vinden in bijlage H. Hierin worden relevante afmetingen van onderdelen weergegeven waarmee inklemming gerealiseerd op de freestafels. Bij voorkeur blijft de breedte van de mal gelijk aan de huidige breedte, zodat een aanpassing van de desbetreffende opspanningsmethode kan worden voorkomen. De maximale hoogte van het te ontwerpen product is afhankelijk van het bereik van de punt van de freesboor (zie figuur 4.A.10). De hoogte van de mal kan worden vergroot tot maximaal 50 millimeter.

De freesmachines zijn dusdanig geprogrammeerd dat altijd vanaf het middelste punt van het uitgangsmateriaal wordt gefreesd. Om te voorkomen dat de freesmachines op een andere wijze moeten worden geprogrammeerd,

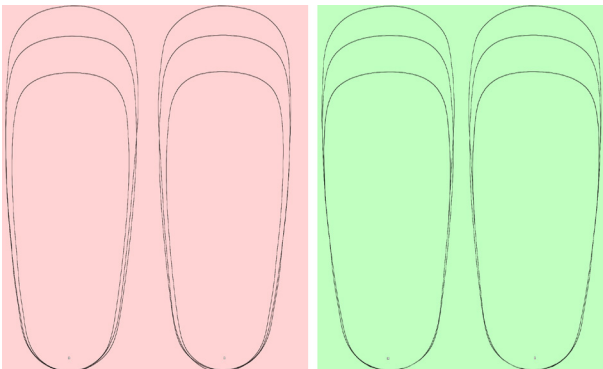


Fig. 4.A.8 - Omtrek model Px(B) (links oud, rechts nieuw)

moeten de blokken EVA in alle gevallen worden gecentreerd in de mal. Er wordt gefreesd met een tegenlopende frees met een diameter van 6 millimeter (figuur 4.A.10).

Huidige typen modellen

De blokken die tegenwoordig gebruikt worden voor model P hebben een omtrek over het horizontale vlak dat overeenkomt voor de modellen Px en Px(B) (zie figuur 4.A.8, links). De boven- en onderzijde hebben bijna dezelfde geometrie. De omtrek van de boven- en onderzijde komen enkel voor model P1(B) niet volledig overeen met de modellen Px(B). Er is bij de leverancier Paromed gevraagd wat de mogelijkheden zijn in de variatie van de afmetingen van de geometrie van deze blokken. De blokken worden op het moment geponst, met een bepaalde vorm. Paromed gaat in de nabije toekomst de blokken lasersnijden. Hierdoor kan het mogelijk zijn om de geometrie aan te passen, waardoor de afmetingen van deze blokken meer overeenkomen voor de verschillende blokken (zie figuur 4.A.8, rechts). De exacte afmetingen, prijzen en produceerbare maten op elk model van de EVA-blokken model Px(B) en model T zijn te vinden in Bijlage G.

vii Programma van eisen dynamische mal

De nieuwe mal moet voornamelijk aan functionele eisen voldoen. Deze eisen zijn vervaardigd op grond van analyses van de huidige productiemethode in combinatie met gesprekken met productiemanager Norbert Mollenkamp. De functionele beperkingen worden voornamelijk opgelegd door de huidige freesmachines die zijn afgestemd op de huidige mallen. De

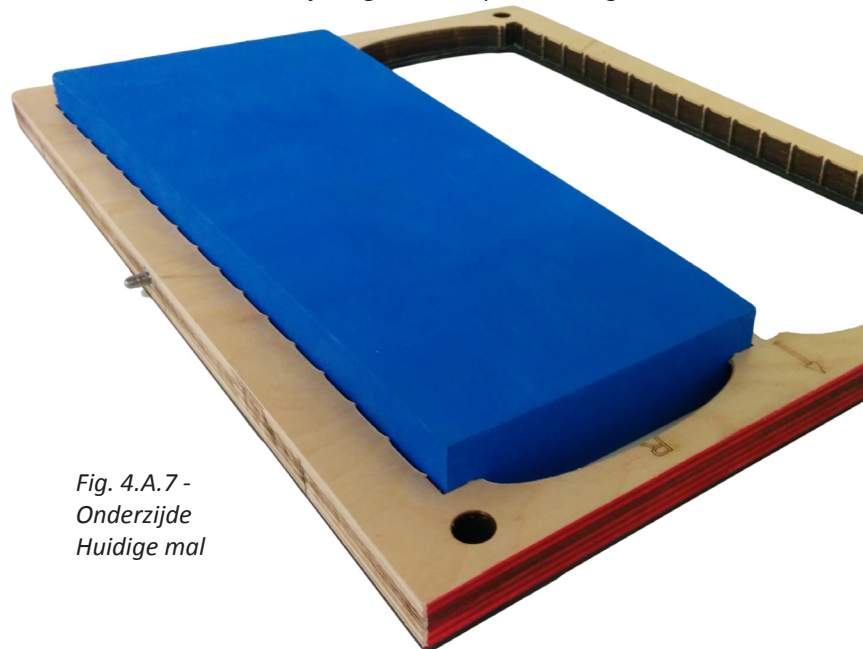


Fig. 4.A.7 - Onderzijde Huidige mal

4. UITVOERING C2C

functionaliteit in gebruik moet gelijk zijn aan de functionaliteit van de huidige mallen.

De hoofdfunctie van de mal is de inklemming in alle zes vrijheidsgraden. De inklemming wordt onderverdeeld in de inklemming van de geometrie van de modellen in de mal en inklemming van de mal op de freestafel. De inklemming van de mal op de freestafel wordt bereikt door de mallen in alle vier de hoeken vast te zetten in een kunststoffen cilinder, waardoor alle vrijheidsgraden behalve de verticale translatierichting worden vastgezet. Twee zijdes worden ingeklemd in de verticale richting waarna de mal volledig is ingeklemd (zie figuur 4.A.9).

De geometrie van het EVA zal ingeklemd moeten worden in de mallen. Er zijn drie afmetingen van de omtrek beschikbaar voor model P waarin wordt gevarieerd in het horizontale vlak (zie figuur 4.A.8, links). De inklemming voor deze afmetingen moet gerealiseerd kunnen worden. Dit wordt gedefinieerd als het trapsgewijs instellen van de mal in de lengterichting. Er wordt als wens gesteld dat dit traploos gerealiseerd dient te worden, omdat het in de toekomst mogelijk zou kunnen zijn om te variëren in de afmetingen van de blokken.

De inklemming over de verticale as van de geometrie in de mal dient eveneens variabel gerealiseerd te worden. Hierbij geldt echter een grotere differentiatie van maten, doordat er in sommige gevallen een Realux onderlaag wordt bevestigd aan de onderzijde. Om deze reden is de wens

opgesteld om dit traploos te laten plaatsvinden.

Voor een herontwerp van model P geldt dat er gevarieerd moet kunnen worden in de afzonderlijke inklemming van de hoogte van de voor- en achterzijde van de modellen.

Wanneer er wordt gefreesd op de mal, mag het uitgangsmateriaal niet vervormen onder de druk van de freesboor, waardoor de oppervlakenauwkeurigheid achteruit gaat. Een ondersteuning over de verticale as en inklemming in het horizontale vlak moet dit voorkomen.

Wanneer de freesboor in aanraking komt met de mal, bijvoorbeeld door een modelleerfout van de zool, moet de freesboor bruikbaar blijven. Het materiaal waaruit het product bestaat zal moeten bestaan uit te frezen materialen.

Uiteraard moet het product het niet begeven onder de krachten waaraan het product wordt blootgesteld tijdens het freesproces. Het product en het te frezen materiaal mogen niet resoneren tijdens het freesproces. Het komt voor dat het materiaal gaat resoneren onder invloed van de variabele kracht die de freesboor levert in combinatie met de rotatiefrequentie.

De totale opspanningstijd mag hoger zijn dan de huidige opspanningstijd van de blokken. Dit mag echter niet te veel vertraging in de complete cyclus opleveren. Om verhoging van arbeidstijden te minimaliseren en gebruiksgemak te verhogen wordt de eis gesteld dat het inklemmen en loshalen beide maximaal tien seconden per paar mag innemen.

Het product moet het mogelijk maken om een volumereductie van het restafval te kunnen realiseren van 25

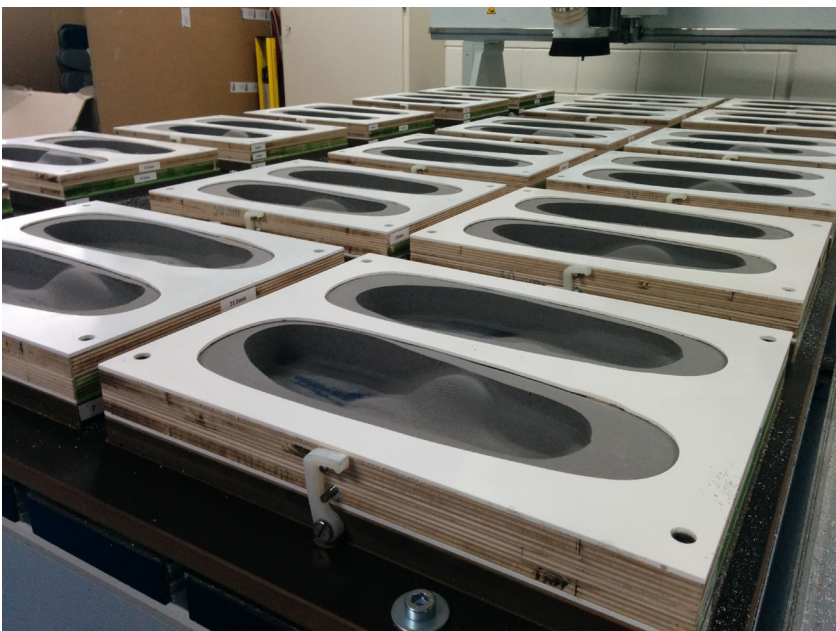


Fig. 4.A.9 - Opspanning freesmachine



Fig. 4.A.10 - Freeskop en -boor

procent ten opzichte van het toekomstige productieproces. In het huidige productieproces ontstaat circa 6.325 liter aan restmateriaal dat wordt ingenomen in de afvalcontainer. Met een reductie van restmateriaalproductie van 25 procent, komt het ingenomen volume in de afvalcontainer neer op circa 4.744 liter. Hiermee wordt een uitbreiding van 5.000 liter naar 8000 liter voorkomen.

De kostenreductie aan materiaalkosten die opgeleverd moet minimaal gelijk zijn aan 15 procent.

De eisen en wensen betreffende Model T komen grotendeels overeen met de eisen en wensen betreffende Model P. Het enige verschil is het ontbreken van de eis 'Hoogte voor- en achterzijde afzonderlijk in te stellen'. Model T wordt niet geleverd als blok met een aflopende zijde. Om deze reden hoeft Model T niet afzonderlijk in te stellen zijn in de verticale richting.

De toetsbare eisen worden gewogen in mate van relevantie. De weging van de eis of wens staat achter de eis of wens in het volgende programma van eis en is te vinden in bijlage O onder de kolom 'waarde'. De weging is verdeeld op een schaal van één tot drie, waarbij één de laagste mate van relevantie inhoudt, en drie de hoogste. De weging van de eisen en wensen zijn besproken met de opdrachtgever. Aan eisen waarop de concepten niet zijn getoetst, omdat dit niet mogelijk was of omdat alle concepten er aan voldoen, is geen waarde toegekend.

Programma van eisen mal model PX(B)

Inklemming mal op freestafel

1. Inklemming in alle zes vrijheidsgraden op de freestafel
2. Met de huidige cilinders op de freesmachines moeten de mallen vastgezet kunnen worden.
3. Met de verticale inklemmingsmethode op de freesmachines moeten de mallen kunnen worden vastgezet.

Inklemming geometrie modellen in mal

4. Inklemming van de geometrie van de modellen in de mal in alle zes vrijheidsgraden.
5. Het product moet bruikbaar zijn voor de huidige modellen van van het uitgangsmateriaal.
6. Trapsgewijs per model in te stellen in de lengterichting. (2)
(wens: traploos)
7. Trapsgewijs per model in te stellen in hoogterichting. (2)
(wens: traploos)
8. Hoogte voor- en achterzijde afzonderlijk in te stellen. (3)

9. Het te frezen product mag op geen manier kunnen vervormen onder de druk van de freesboor tijdens het freesproces. (3)

Huidige freesproces

10. Het product moet met het huidige freessysteem te gebruiken zijn.
11. De EVA-blokken moeten worden gecentreerd over het horizontale vlak van de mal.
12. De freesboor moet bruikbaar blijven nadat deze met de mal in aanraking komt.
13. Het product mag het niet begeven onder de krachten waaraan deze aan blootgesteld wordt tijdens het freesproces. (3)
14. Het product en de het te frezen materiaal mogen niet resoneren in gebruik.
15. Het product moet minimaal twee jaar mee kunnen gaan voor het product het begeeft. (3)
16. Wens: Het te frezen product moet tweezijdig gefreesd kunnen worden.

Financiële eisen

17. Het product moet een volumereductie van het restafval afkomstig uit het freesproces kunnen realiseren van 25 procent.
18. Het product moet een kostenreductie van 15 procent op de materiaalkosten kunnen realiseren. (3)

Gebruikerseisen

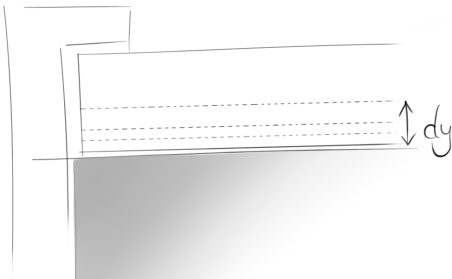
19. Bedieningstijd opspanning: 10 seconden per paar. (3)
20. Bedieningstijd loshalen: 10 seconden per paar. (3)

4. UITVOERING C2C

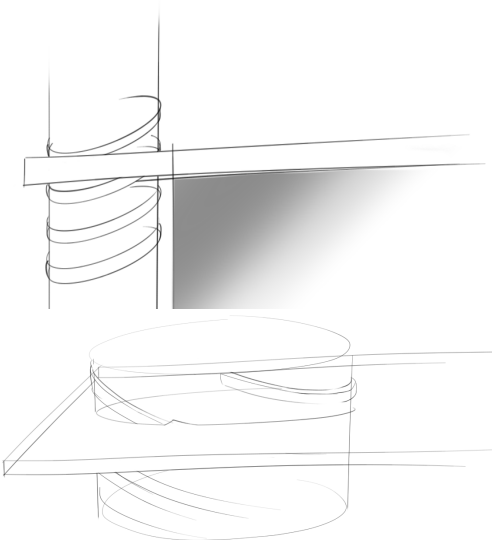
iix Schetsen inklemmingsmethodes

Er zijn vele manieren om materialen op te spannen en in te klemmen. Vele schetsen en ideeërtingen zijn geanalyseerd om tot drie concepten te komen. Een greep uit de selectie is hier afgebeeld. Onderstaand zijn inklemmingsmethoden afgebeeld om een variabele inklemming te realiseren in hoogterichting. Op de volgende pagina zijn inklemmingsmethoden afgebeeld om inklemming een variabele inklemming te realiseren in het horizontale vlak.

- 1 Er kan voor worden gekozen om te wisselen van schuif met een andere dikte (dy) in plaats van het verhogen en verlagen van eenzelfde schuif.

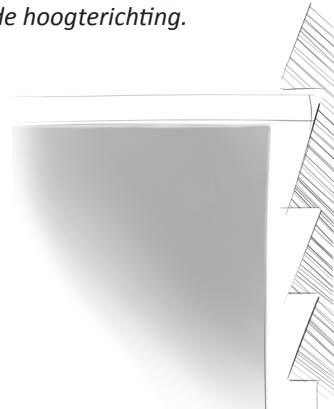


- 2 Een bout- en moerconstructie zou uitkomst kunnen bieden in het vrij instellen van de hoogte van inklemming.

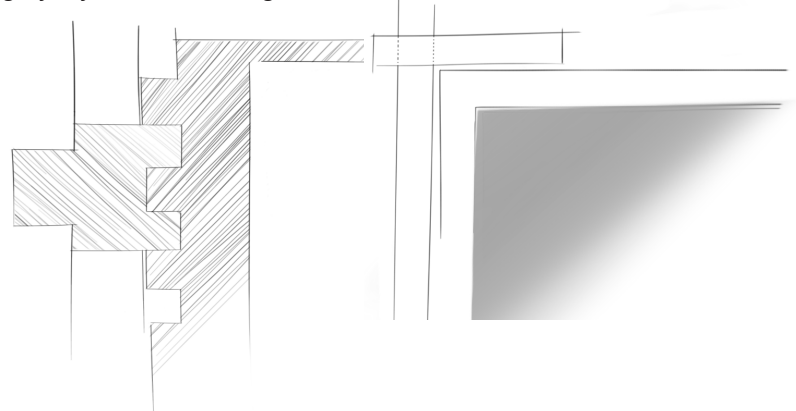


SCHETSEN INKLEMMING HOOGTERICHTING IN FRAME

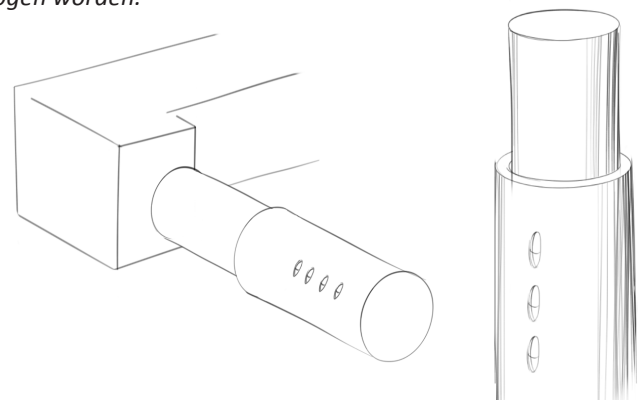
- 3 Door de schuif te laten vallen binnen de wiggen van een elastische zijkant, kan trapsgewijs ondersteuning worden geboden aan de schuif in de hoogterichting.



- 4 Een pin kan beweging in de hoogterichting voorkomen. Door met behulp van een losneembare pin de hoogte in te klemmen, kan het mogelijk zijn om inklemming te realiseren.

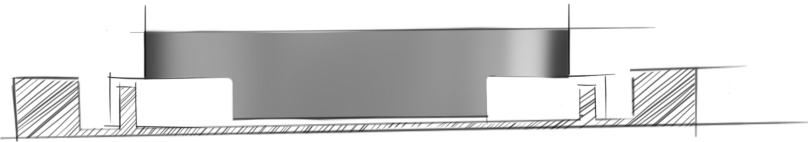


- 5 Binnen de binnenste cilinder zit een veer die pinnetjes door de buitenste cilinder heen drukt. Door op deze, als rondjes afgebeelde, pinnen in te drukken, is de weg vrij voor de buitenste cilinder en kan deze lineair bewogen worden.

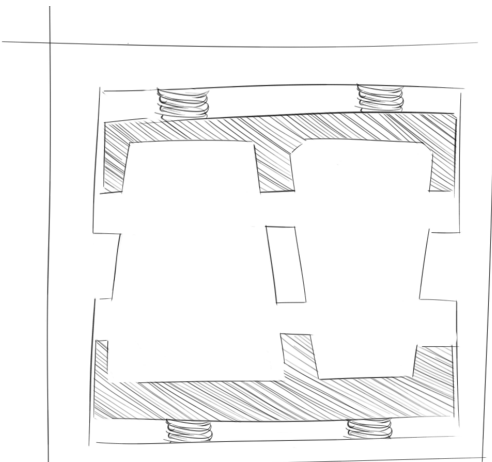


SCHETSEN INKLEMMING LENGTERICHTING IN FRAME

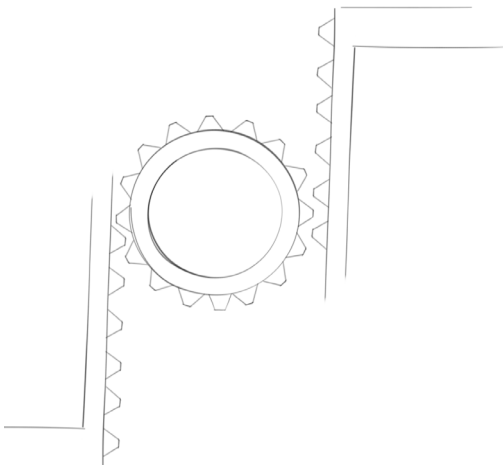
- 1 *Blokken kunnen verplaatst worden over een frame, waarbij het uitgangsmateriaal wordt geklemd door de blokken.*



- 2 *Met veren kan kracht gezet worden op het uitgangsmateriaal waardoor inklemming in horizontale richting wordt gerealiseerd.*



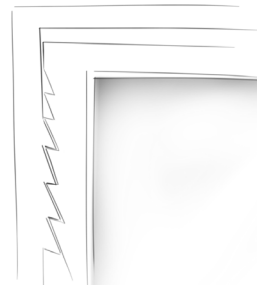
- 3 *Door een tandwiel te plaatsen tussen de twee zijdes die inklemming over horizontale as realiseren, is het mogelijk om het blok te allen tijde te centreren.*



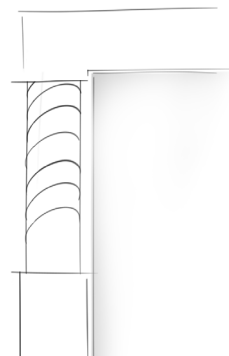
- 4 *Spanbanden zouden door een veerconstructie aangetrokken kunnen worden waardoor twee zijdes gelijkmatig naar elkaar toegetrokken kunnen worden.*



- 5 *De zijden worden doorgedrukt tot ze in een volgende wig vallen. Hierbij worden ze geklemd over de horizontale assen.*



- 6 *Door een schroefverbinding aan te draaien zou de mal in lengterichting traploos verstelbaar kunnen worden ingesteld.*



4. UITVOERING C2C

ix Conceptfase

Een aantal concepten is ontworpen waarbij verschillende opspanningsmethodes en klemmethodes zijn toegepast. In de beschrijving wordt verwezen naar nummers. Het nummer genoteerd voor het stuk tekst correspondeert met de afbeelding waarbij het nummer genoteerd staat op de rechter pagina. Dit geldt voor alle concepten in dit hoofdstuk. Er wordt onderscheid gemaakt tussen het opspannen van de geometrie in de mal, het opspannen van de mal op de freestafel en het uitspannen van de geometrie van het model uit de mal.

Concept 1

Het eerste concept is ontworpen door aanpassingen te verrichten op de inklemmingsmethode van de huidige mallen. De modellen worden geklemd tussen twee delen, een boven- en onderzijde. De inklemming over de horizontale as wordt gerealiseerd in het onderste deel van de mal. Inklemming over de verticale as wordt gerealiseerd in het bovenste deel van de mal.

Opspanning geometrie model in mal

- 1 De inklemming over de horizontale assen, in het onderste deel van de mal, wordt gerealiseerd door de twee zijdes (groen) naar elkaar toe te bewegen.
- 2 De geometrie van het uitgangsmateriaal (rood) wordt gecentreerd doordat er gebruik wordt gemaakt van een tandwiel. Op het moment dat de zijdes het EVA insluiten, wordt het tandwiel vastgezet met behulp van een inklemmingsconstructie. De gele schuif wordt hierbij aangedrukt en valt op de tanden van het tandwiel, waardoor het tandwiel geklemd wordt en de zijdes niet meer kunnen bewegen.
- 3 Wanneer het uitgangsmateriaal is ingeklemd in horizontale richting, wordt het bovenste deel van de mal over het uitgangsmateriaal geschoven, zoals te zien in de doorsnede (3).
- 4 Het bovenste deel van de mal wordt bovenop het uitgangsmateriaal gezet.
- 5 Een schuif wordt aangedrukt die valt onder de wiggen in het bovenste deel van de mal. Doordat de schuif onder een wig valt, wordt de schuif ingeklemd tussen het EVA en de wig. Op deze manier wordt het materiaal ingeklemd in verticale richting.

Opspannen mal op freestafel

Het opspannen op de freestafel gebeurt op dezelfde wijze als in het huidige opspanproces. Openingen in het frame worden over de cilinders op de freestafel worden geschoven (opspanningpunt 1, figuur 4.A.6). De horizontale inklemming vindt plaats door eveneens gebruik te maken van het huidige

opspanningsproces, door de pinnen aan de zijdes van de mal in te klemmen in kunststoffen schuiven bevestigd aan de freestafel (zie figuur 4.A.9). Het uitspannen van de mal gebeurt in tegengestelde volgorde.

Uitspannen geometrie model uit mal

- 6 Het uitspannen van de geometrie van het model vindt plaats door allereerst de bovenzijde van de mal te ontdoen van het geheel door deze simpelweg omhoog te bewegen. Hiermee zit de geometrie enkel nog ingeklemd in de onderzijde van de mal. De inklemming over horizontale as kan ontdaan worden door de gele schuif (2) weer naar zijn beginpositie te schuiven. De inklemming in verticale as wordt ontdaan door de bovenzijde om te draaien. Door de elastische zijde naar buiten te drukken heeft de groene schuif vrij baan. De schuif kan weer naar in beginpositie worden gezet, in de uiterste stand naar boven.

Ontwerpproces 1

Met weinig handelingen wordt het materiaal ingeklemd. Hierdoor zou in theorie het uitgangsmateriaal in een kort tijdsbestek op- en uit te spannen zijn. Het bood inzicht in onconventionele inklemmingsmethodes. Uit het 3D-geprintte zichtmodel (zie figuur 4.A.14) bleek dat dit concept veel nadelen met zich meebracht. Veel onderdelen hebben diktes van enkele millimeters. Het is gebleken dat dit onvoldoende ondersteuning biedt, mocht er op gefreesd worden. Een volgend concept moet meer solide worden ontworpen. Er is hierna tevens besloten enkel nog te richten op model P, waarbij de blokken symmetrisch uitgelijnd zijn en de blokken minder ruimte innemen dan de blokken van model T. Er is uit analyses immers gebleken dat met de variatie in het gebruik van model P de grootste besparing in volume en kosten oplevert. Het werd duidelijk dat er vanuit een nieuw concept een mal ontwikkeld moet worden. De behoefte aan een minder gecompliceerde mal ontstaat.



Fig. 4.A.14 - Zichtmodel concept 1

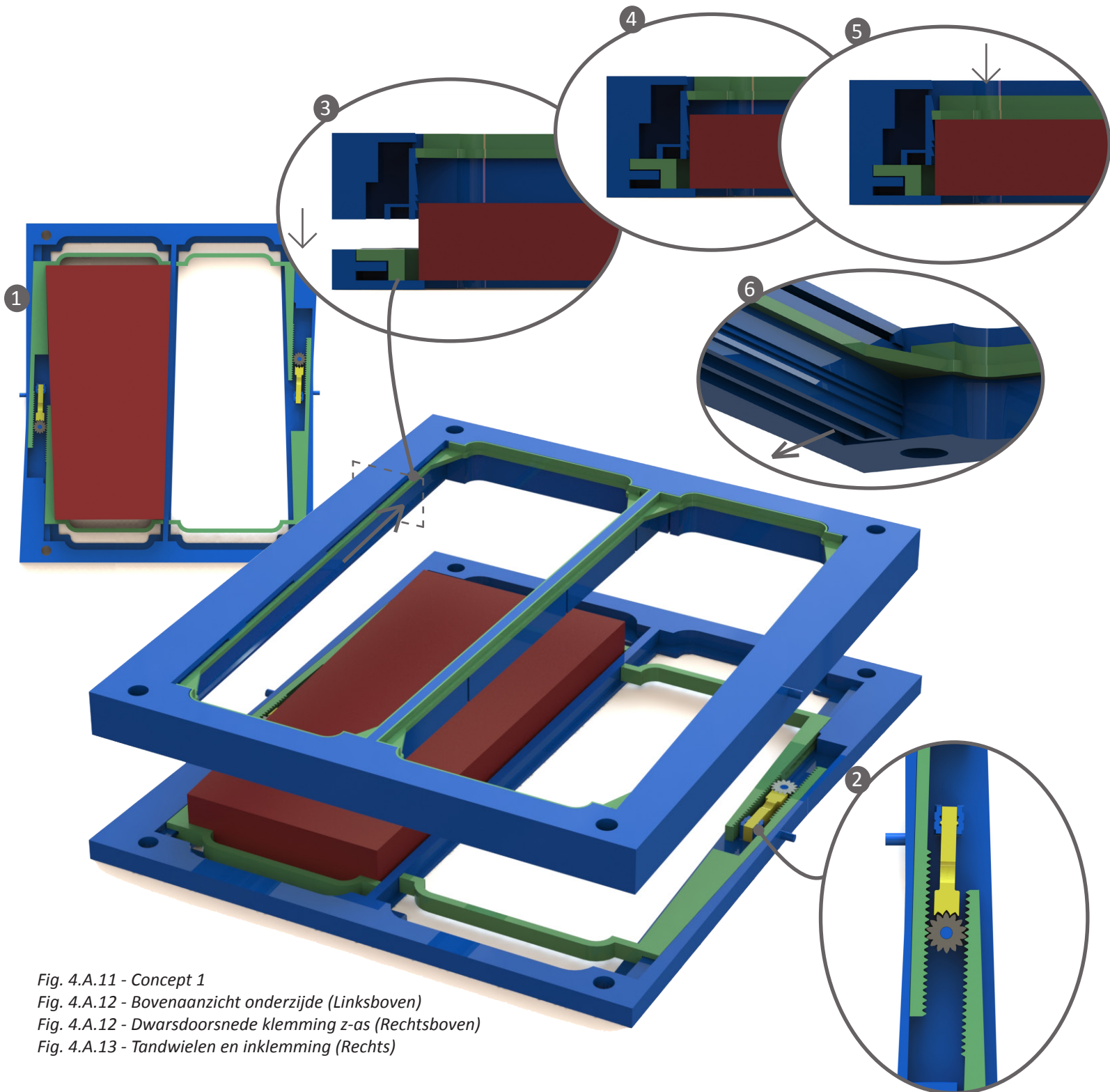


Fig. 4.A.11 - Concept 1

Fig. 4.A.12 - Bovenaanzicht onderzijde (Linksboven)

Fig. 4.A.12 - Dwarsdoorsnede klemming z-as (Rechtsboven)

Fig. 4.A.13 - Tandwielen en inklemming (Rechts)

4. UITVOERING C2C

Concept 2

Concept twee bevat geen afzonderlijke onder- en bovenzijde, zoals in het ontwerp van de huidige mallen. Dit concept heeft twee zijdes (groen) die verplaatst kunnen worden in horizontale richting, en een schuif die verplaatst kan worden in verticale richting (zie figuur 4.A.18).

Opspanning geometrie model in mal

De zijdes (groen) worden gepositioneerd naar de afmetingen van de in te voeren geometrie van het uitgangsmateriaal. Drie standen maken het onderscheid tussen de modellen P1, P2 en P3. De zijdes worden vastgezet door middel van een pin. Deze pin wordt vanaf de zijkant in het frame geschoven. Hierdoor wordt translatie in het horizontale vlak voorkomen. Na het vastzetten van de zijdes door middel van de pinnen, wordt de geometrie van de modellen in de mal geplaatst. De zijdes worden geleid in spiebanen.

De zijdes worden gecentreerd door een tandwiel dat beide zijdes verbindt.

De inklemming in verticale richting vindt plaats door fixatie van twee afzonderlijke schuiven (3), die over de verticale as in banen wordt geleid. De schuiven worden over de spiebanen heen geschoven tot het uitgangsmateriaal bereikt. Het uitgangsmateriaal wordt aan beide zijdes afzonderlijk ingeklemd door deze schuiven.

De schuiven worden vastgezet door pinnen (geel) die door de groene onderdelen heen worden geschoven. Hierbij wordt voorkomen dat de schuiven over de verticale as kunnen transleren.

Opspannen mal op freestafel

De mal wordt evenals concept 1 op de reguliere wijze opgespannen (zie concept 1).

Uitspannen geometrie model

Nadat het materiaal is gefreesd, kan de bovenste schuif losgehaald worden door de gele pin (4) uit het frame te schuiven. Vervolgens kan de schuif (3) omhoog worden gehaald. De zijdes behoeven enkel losgehaald te worden op het moment dat er wordt gewisseld van geometrie van het model. Hierbij worden alle vier de pinnen (1) uit het frame van de mal geschoven, waarna de zijdes vrij te bewegen zijn.

Ontwerpproces 2

Concept 2 is ontwikkeld om het aantal onderdelen en complexiteit van het ontwerp te verlagen.

De horizontale inklemming met behulp van de zijdes wordt met vier handelingen ingeklemd, nadat de zijdes zijn gepositoneerd op de afmetingen van het model met één handeling. Een totaal van vijf handelingen is vereist om inklemming te bewerkstelligen in het horizontale vlak. De inklemming over de verticale as wordt per zijde met twee handelingen bewerkstelligd, namelijk het positioneren van de schuif (3) en het vastzetten van de schuif (4). Het is echter onwaarschijnlijk dat met slechts één ondersteuningspunt voldoende ondersteuning wordt geboden om inklemming in verticale richting te bewerkstelligen.

Een volgend concept is ontworpen om het aantal handelingen te verkleinen waarmee de inklemming over de horizontale as wordt bewerkstelligd, en om extra ondersteuningspunten te realiseren in de inklemming in verticale as.

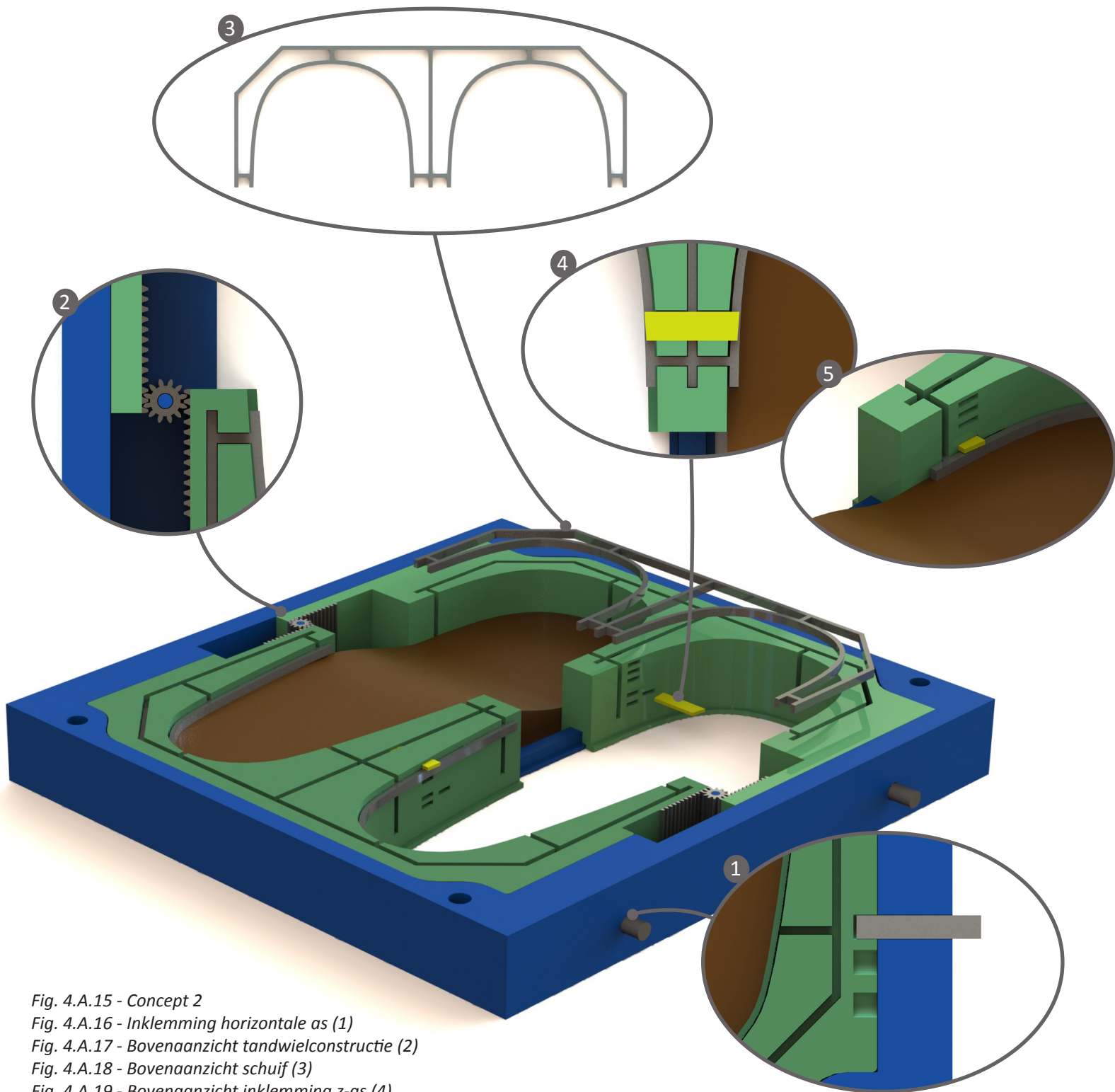


Fig. 4.A.15 - Concept 2

Fig. 4.A.16 - Inklemming horizontale as (1)

Fig. 4.A.17 - Bovenanzicht tandwielconstructie (2)

Fig. 4.A.18 - Bovenanzicht schuif (3)

Fig. 4.A.19 - Bovenanzicht inklemming z-as (4)

Fig. 4.A.20 - Inklemming verticale-as (Rechts)

4. UITVOERING C2C

Concept 3

Concept drie is dusdanig ontworpen dat met een vereenvoudigd model de gebruikstijd zou kunnen worden verkort. Het is dus zaak om het aantal handelingen te verkleinen. Ten tweede is het van belang om het aantal ondersteuningspunten te vergroten om inklemming te realiseren in het verticale vlak.

Opspanning geometrie model in mal

- 1 De zijdes (groen) worden geklemd door een klemmende verbinding op het frame. De zijdes beschikken over een inkeping, het frame (blauw) beschikt over een geometrie die een klemmende verbinding realiseert met de inkepingen in de zijdes.
- 2 De inklemming in het horizontale vlak ontstaat doordat de inkepingen in drie situaties passen op de geometrie van het frame. Hierbij wordt weer onderscheid gemaakt tussen de lengtes van de modellen P1, P2 en P3. Wanneer de zijdes in de correcte positie in het frame staan, kan de geometrie van het model worden geplaatst in de mal.
- 3 Er wordt gewisseld tussen posities door de zijdes in hun geheel te ontdoen van het frame, en te plaatsen op een ander deel van het frame. De schuiven (rood, (2)), zitten altijd in de mal tijdens gebruik.
- 4 De schuiven zitten in de uiterste verticale positie wanneer het model wordt ingevoerd. Het model wordt schuin ingevoerd in de mal.
- 5 De klemming in verticale richting ontstaat doordat de bouten worden aangedraaid. De bouten zitten op een vaste positie in de mal. Moeren zijn bevestigd aan de schuiven (rood). Door de bouten te roteren zullen de moeren over de verticale as transleren. Wanneer alle bouten worden aangedraaid zal dit resulteren in de inklemming van het model in de verticale richting.

Opspannen mal op freestafel

De mal wordt evenals concept 1 en 2 op de reguliere wijze opgespannen (zie concept 1).

Uitspannen geometrie model

- 4 Het model wordt uit de mal gehaald door de bouten aan te draaien. Hierdoor transleren de moeren in positieve verticale richting. De schuiven bewegen hierdoor eveneens omhoog. Hierdoor is geometrie van het model te verwijderen uit de mal.

x Conceptkeuze

De drie concepten worden getoetst aan het programma van eisen om te zien waar de concepten goed en minder goed op scoren. Een overzicht van de eisen en de scores is te vinden in

bijlage O. De concepten worden getoetst op de eisen waarin de concepten meetbaar verschillen ten opzichte van elkaar.

De eerst toetsbare eis 'Trapsgewijs per model in te stellen in de lengterichting', heeft als wens om de inklemming in lengterichting traploos te laten plaatsvinden. Dit is enkel het geval in concept 3, waardoor dit concept het best scoort op deze eis (eis 6).

Het tandwiel in concept één is bijna traploos vast te zetten in het horizontale vlak. Om deze reden scoort dit concept het best op het realiseren van een inklemming in lengterichting (eis 7).

De voor en achterzijde zijn voor concept 2 en 3 afzonderlijk in te stellen in de verticale richting. Dit geldt niet voor concept 1.

Het vervormen van het uitgangsmateriaal onder de druk van de krachten die ontstaan tijdens het freesproces, vindt het meest waarschijnlijk plaats in concept 1. De klemming in het horizontale vlak vindt niet plaats over de gehele zijde, maar enkel in het onderste deel van de mal (zie figuur 4.A.11). Hierdoor wordt de kans groter geacht dat het uitgangsmateriaal gaat transleren aan de bovenzijde van de mal. Concept 2 heeft slechts één inklemmingspunt om translatie in verticale richting te voorkomen.

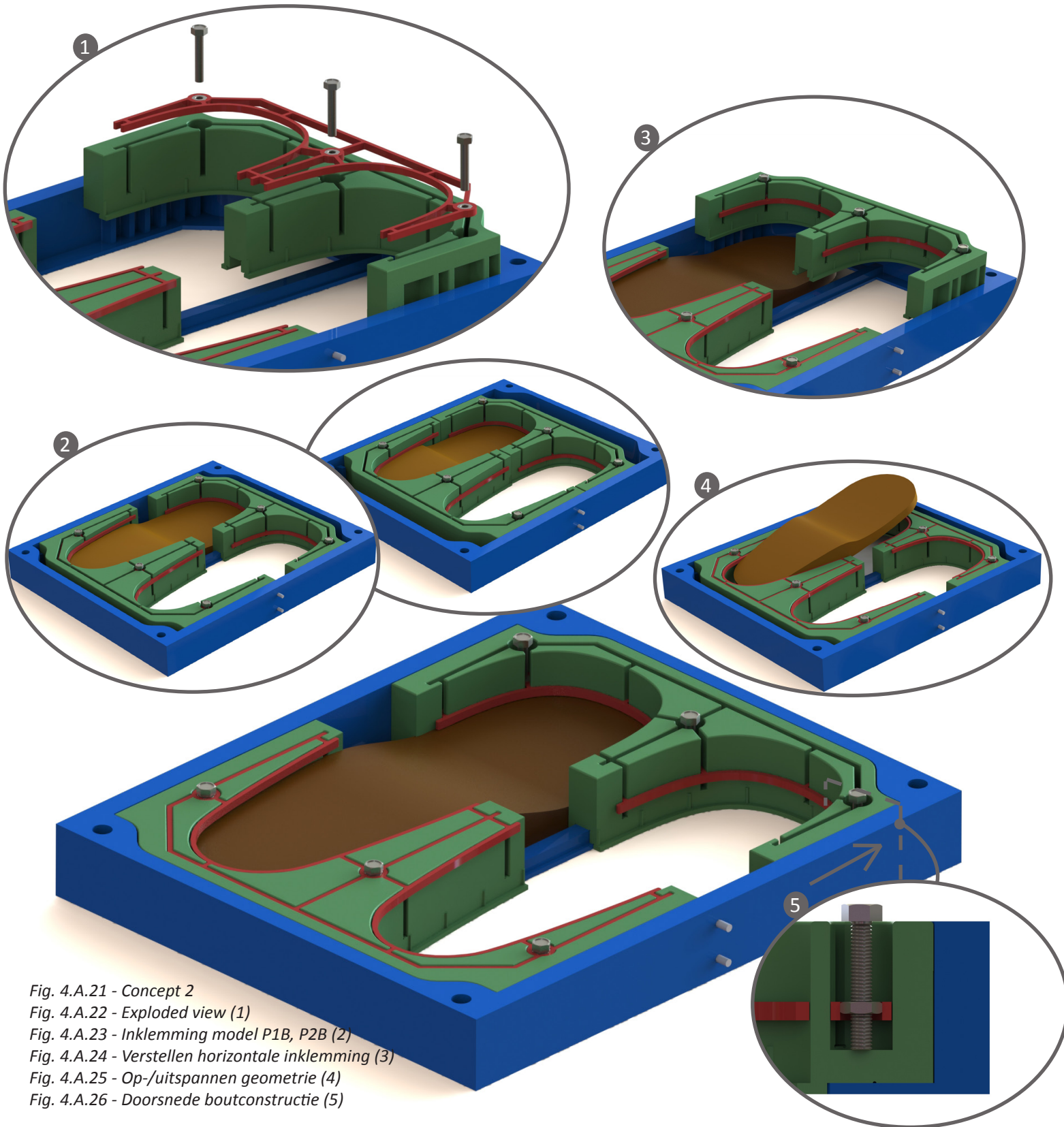
Concept 1 bevat veel onderdelen met een klein volume. Het is onzeker hoe het product zal reageren op het freesproces, maar de verwachting is dat enkele onderdelen het snel zullen begeven in concept 1.

Het is lastig te beoordelen hoe lang het product mee zal gaan. Concept 1 bevat echter veel onderdelen met een klein volume. Dit in tegenstelling tot concepten 2 en 3 waarbij de onderdelen een groter volume innemen of van standaard onderdelen gefabriceerd kunnen worden. Om deze reden scoort concept 1 slechter op deze eis dan de concepten 2 en 3.

Om de gebruikstijd toetsbaar te maken wordt de gebruikstijd gedefinieerd als het aantal handelingen dat verricht moet worden om inklemming te realiseren. Het aantal handelingen benodigd om inklemming te realiseren in het horizontale vlak, ligt hoog voor concept 2, omdat alle pinnen (zie figuur 4.A.16) afzonderlijk losgehaald en vastgezet moeten worden.

Het aantal handelingen om inklemming te realiseren in het verticale vlak ligt veruit het hoogst voor concept 3. Dit komt doordat de bouten (1) niet allemaal stuk voor stuk kunnen worden aangedraaid en teruggedraaid. Doordat deze in contact staan met elkaar door een (licht elastische) schuif, moeten deze stukje bij beetje worden aangedraaid. Dit vergt natuurlijk erg veel handelingen.

Resumerend kan gezegd worden dat in totaal concept 3



4. UITVOERING C2C

het best scoort wanneer alle eisen in acht worden genomen. In bijlage O wordt het totaalplaatje van eisen, hun toegekende waarde en de score per concept weergegeven.

Ontwerpproces 3

Aangezien het een ontwerpproces betrof, en de concepten opeenvolgend aan elkaar zijn ontworpen, was dit resultaat te verwachten. Met deze toetsing is echter wel aangetoond dat het derde concept daadwerkelijk beter scoort op de opgestelde eisen dan het eerste concept.

xi Evaluatie testmodel

Er is een functioneel prototype ontworpen en geproduceerd waarop een evaluatie is uitgevoerd. Voordat het functionele prototype is ontworpen, is een evaluatieproces opgesteld.

Het testmodel is geëvalueerd op twee afzonderlijke onderdelen. Het eerste onderdeel richt zich op het beantwoorden van het verschil in nauwkeurigheid van het freesproces ten opzichte van het huidige freesproces. Hierbij wordt de dikte van de zool op twee plekken gemeten, en vergeleken met de dikte van de zool gefreesd op een normale mal.

Het tweede onderdeel van de evaluatie betreft het verschil in gebruik van geometrie van de modellen. Hierbij wordt toegespitst op het gebruik van model P1B.

1. Verschilt de nauwkeurigheid van het oppervlak van de bovenzijde van de steunzool ten opzichte van het oppervlak van de bovenzijde van de steunzool gefreesd op een normale mal?
2. Hoe reageert model P1B op het niet volledig overeenkomen van de geometrie van de onderzijde?

Uitvoering

Het uitgangsmateriaal wordt in een patroon gefreesd, waarbij het freespatroon van de steunzool een grote uitwijking heeft. Twee punten op de steunzool worden gemeten bij de podotherapeut. Deze punten liggen op het voorblad en op de hiel. Bij de ingevoerde steunzool ligt het punt op het voorblad op 1,5 millimeter en bij de hiel op 4 millimeter. Het resultaat van de freesbewerking zal worden vergeleken met het resultaat dat wordt verkregen op de huidige mallen.

Het model wordt getest op de freesmachines. Wegens tijdgebrek en het feit dat de freesmachines zo goed als continu aan staan, is het niet mogelijk geweest om een erg intensieve test uit te voeren. Er is besloten om één maal twee zolen produceren op het functionele prototype en het resultaat te vergelijken met twee zolen geproduceerd op een normale mal.

Testmodel

Er is geproduceerd op een functioneel testmodel (zie figuur 10.A.28). Een vereenvoudigd model is ontworpen om een aantal testen op te verrichten. Hierbij zorgen vier I-balken voor de inklimming van de zijdes. Er wordt gebruik gemaakt van een dergelijke geometrie omdat balken met een I-profiel torsie en verplaatsing tegengaan. De inklemming in het verticale vlak wordt nagebootst naar concept 2. Er worden drie opspanningspunten gerealiseerd per zijde omdat hiermee de inklemming in concept 3 op een vereenvoudigde manier wordt nagebootst. Het vereenvoudigd model wordt volledig geprint met de SLS-printer, aanwezig bij PLT Products.

Resultaten

1. Het gemeten voorblad is 1,5 millimeter dik. De dikte op de positie van de hiel is 4,0 millimeter. Dit komt overeen met de diktes van het model gefreesd op de reguliere mal en de verwachte diktes met een nauwkeurigheid van 0,05 millimeter.
2. Op het tweede onderdeel kan snel antwoord gegeven worden. Er kan niet worden geproduceerd op model P1. Dit heeft als reden dat de omtrek te veel uitwijkt van het reguliere patroon. Dit komt mede door de onnauwkeurigheid van het printproces. Wanneer druk wordt gezet op het model, schiet deze uit het frame.



Fig. 4.A.27 - Evaluatie testmodel

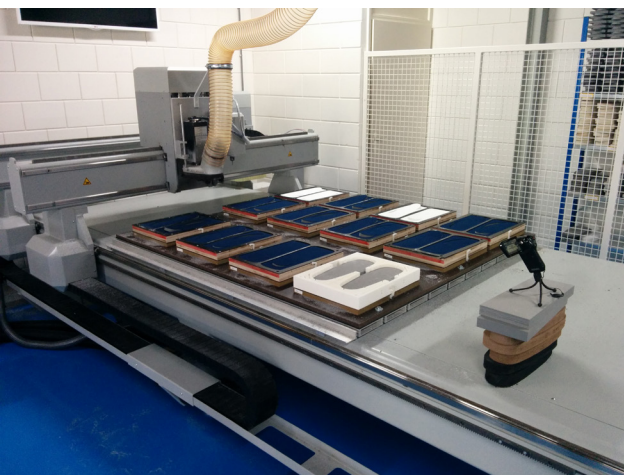


Fig. 4.A.27 - Opspanning testmodel

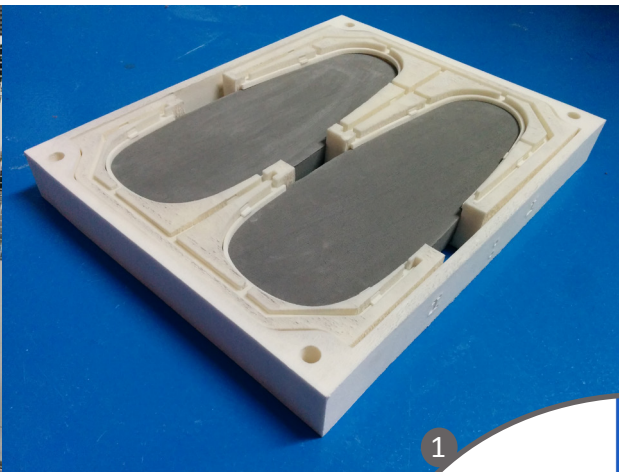


Fig. 10.A.28 - Functioneel testmodel

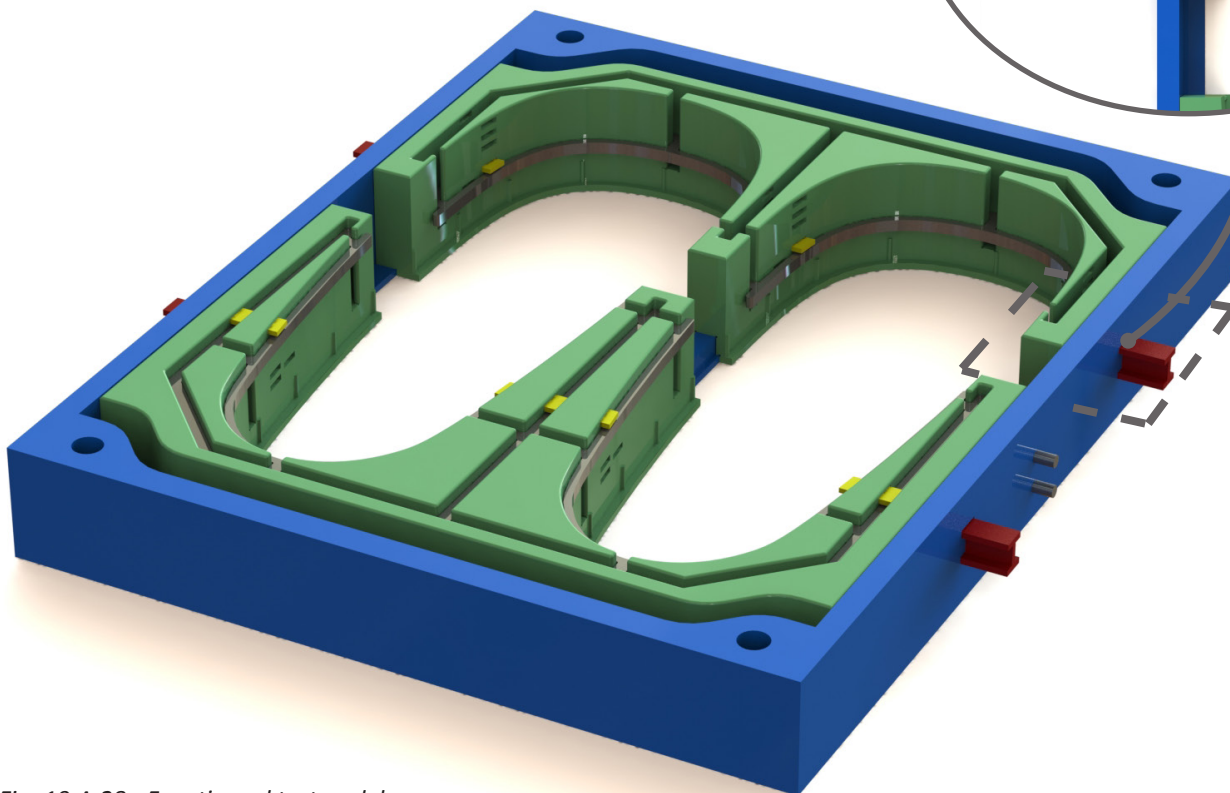
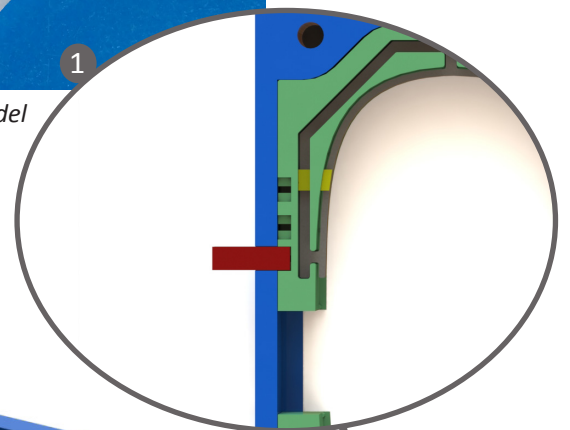


Fig. 10.A.28 - Functioneel testmodel

4. UITVOERING C2C

x Eindconcept

Er is besloten een ontwerp van een mal te maken die voldoet aan alle eisen, behalve het verstellen in horizontale richting. Dit heeft als reden dat PLT Products hiermee onafhankelijk is van de levering van de producten met een verschil in omtrek (zie figuur 4.A.8). Uit de evaluatie is gebleken dat de omtrek van het model P1 niet voldoende overeenkomt met de omtrek van de geometrie van de aangepaste mal. Dit houdt in dat hier niet op gefreesd kan worden.

Het eindconcept berust grotendeels op een nogmaals vereenvoudigd model van concept 3. Het eindconcept bestaat uit drie verschillende mallen, model P1, P2, P3. Met de implementatie van dit concept wordt voldaan aan de aanbeveling op korte termijn. Er is een laatste aanpassing gemaakt in de opspanningsmethode over de verticale as.

Opspanning geometrie model in mal

1 De geometrie van het uitgangsmateriaal wordt ingevoerd in het frame van de mal. De omtrek van het uitgangsmateriaal komt volledig overeen met de omtrek van de mal waar het materiaal in geklemd wordt. Hierdoor wordt de geometrie ingeklemd in beide horizontale translatierichtingen en alle drie rotatierichtingen.

2 De schuiven vallen in de geleiding van het frame en worden aangedrukt tot ze steunen op het uitgangsmateriaal. Per schuif worden drie bouten in het frame gedraaid. De schuiven worden ingeklemd tussen de bouten en het uitgangsmateriaal. Het uitgangsmateriaal wordt tussen de schuiven en het frame ingeklemd in de verticale translatierichting.

Opspannen mal op freestafel

De mal wordt opgespannen op de freestafel via de reguliere opspanningswijze, waarbij gebruik wordt gemaakt van de bestaande opspanningspunten.

Uitspannen geometrie model

De geometrie is uit de mal te halen door de zes bouten los te draaien. Vervolgens kunnen de schuiven losgehaald worden en het product uit de mal gehaald worden.

productiewijze

Frame

Het frame wordt uit een multiplex plaat met een dikte van 50 millimeter gefreesd. De zijdes worden op de correcte afmetingen gezaagd. Vervolgens wordt het bewerkt met een 5-assige NC-freesmachine, waar PLT Products over beschikt. Afgezien van

de opspanpunten aan de zijdes kan dit model volledig gefreesd worden vanaf de bovenzijde. Er is in het ontwerp rekening gehouden met de afmetingen van een freesboor met een diameter van 6 millimeter.

Schuiven

De schuiven aan de onder- en bovenzijde worden geproduceerd van 5 millimeter dik polypropyleen kunststof. Deze worden gelasersneden. Dit wordt uitbesteed aan derden.

Moerconstructie

2 Er wordt zo veel mogelijk gewerkt met gestandaardiseerde onderdelen. Zo wordt standaard M6 bout aangedraaid om de schuiven naar beneden te draaien (zie figuur 4.A.31) in een moer. 3 Een M6 moer wordt vastgezet in het frame met behulp van een 3D-geprinte constructie. De twee delen van deze constructie worden in elkaar gedrukt, met een moer ertussen. Dit onderdeel wordt in zijn geheel in het frame gedraaid volgens een M12 profiel. De twee inkepingen in de bovenzijde van de constructie zijn het punt waaraan gedraaid kan worden om de moerconstructie in het frame te draaien.

Deze onderdelen zullen worden geprint met behulp van de beschikbare SLS-printer. Het materiaal waar deze 3D-printer gebruik van maakt is het kunststof PA 650.

Deze moerconstructie wordt in het frame geschroefd met een standaard M12-profiel. Het inwendige schroefdraad dient getapt te worden in het frame. Dit is eveneens een standaard profiel (M12, met een spoed van 1,75 mm). Bij voorkeur wordt dit machinaal getapt, eveneens op de 5-assige freesmachine.

Opspanpunt

4 Het opspanningspunt (zie figuur 4.A.33) van de huidige mallen kan worden gebruikt voor de nieuwe mallen. Deze bevestigingspunten kunnen worden gedemonteerd uit de huidige mallen. Door het falen of kapotfreen van de huidige mallen zijn er veel mallen overgebleven, waar dit materiaal van recycled kan worden. Het bevestigingspunt van de mallen bestaat uit twee metalen onderdelen. Het ene onderdeel wordt in het frame geschroefd met een M10 profiel. Een intern schroefdraad wordt eveneens in dit deel van het multiplex getapt, bij voorkeur machinaal (M5, spoed 0,8 mm). De pinnen die de bevestiging realiseren worden op hun beurt in dit onderdeel geschroefd, met een M5 profiel.



Fig. 4.A.29 - Eindconcept

Fig. 4.A.30 - Inklemming model P3B (1)

Fig. 4.A.31 - Inklemmingsconstructie (2)

Fig. 4.A.32 - Moerconstructie (3)

Fig. 4.A.33 - Opspanningspunt 2 (4)

4. UITVOERING C2C

B. VOLUME VERKLEINEN RESTMATERIAAL

Het is van groot belang om het volume te verkleinen van het restmateriaal. Door dit te realiseren wordt er bespaard op kosten die worden gemaakt op de verwerking van het restmateriaal. Om het te materiaal te re- of downcyclen is het tevens van belang het materiaal te shredden. Het verkleinen van het volume kan op meerdere manieren worden gerealiseerd. Er wordt allereerst geanalyseerd wat de meerwaarde van een shredder zal zijn. De jaarlijkse besparingen op afvalkosten zullen in kaart worden gebracht. Vervolgens worden verschillende verwerkingsmethodes en de eigenschappen geanalyseerd. Een programma van eisen is opgesteld om houvast te bieden in het aanvragen van offertes. De eigenschappen van de verschillende verwerkingsmethodes zullen tegen elkaar worden afgewogen en er zal geconcludeerd worden met een aanbeveling voor de aanschaf van een type shredder.

i Verwachte opbrengsten shredder

De verwachte opbrengsten van een shredder zijn afhankelijk van het volume dat op het moment wordt ingenomen door het restmateriaal. Het totale netto volume dat het restmateriaal inneemt in de ligt in de huidige situatie op 2.885 Liter per week (zie bijlage F). Het totale volume van het restmateriaal zal in de toekomst liggen op 3.812 Liter wanneer het productieproces niet wordt gewijzigd. In de afvalcontainer zal dit 8.200 Liter innemen, omdat de vulgraad gelijk is aan 41,5 procent. Het volume kan in de meest ideale situatie dus gereduceerd worden met 4.388 Liter. Dit zal het geval zijn als er helemaal geen lucht meer tussen het restmateriaal aanwezig is, maar alles is gevuld met het restmateriaal. Uiteraard is dit ook niet het geval na het shredden van het restmateriaal. Afhankelijk van de grootte van het restmateriaal neemt het ingenomen volume in de afvalcontainer van het gereduceerde materiaal af.

Door het restmateriaal te verkleinen in steeds kleinere stukken wordt het verband tussen de grootte van het eindproduct en de verkregen efficiëntie van het stapelen

bepaald. Een doos met een volume van 21,6 Liter is gevuld met stukken restmateriaal dat is verkleind tot bepaalde maximale afmetingen. De doos werd gevuld met stukken EVA met maximale afmetingen van 20, 40, 60 en 80 mm in doorsnede. Uit vier metingen wordt een lineair verband verkregen tussen de afmetingen van het restmateriaal en het percentage ingenomen volume van het restmateriaal ten opzichte van het gehele volume. In Bijlage J zijn de exacte meetwaarden te vinden die zijn verkregen uit deze proef. Een realistische schatting van de grootte van het eindproduct is een maximale afmeting van ongeveer 60 mm na het shredden. Bij dusdanige maximale afmetingen is er sprake van een efficiëntie van het vullen van de afvalcontainer van circa 80 procent. Hierbij wordt dus 80 procent van het totale volume ingenomen door het EVA, en bestaat de rest van het volume uit lucht. Er is bepaald dat de kosten van het verwerken van het restmateriaal overeen zullen komen met 13.140 euro op jaarbasis (zie hoofdstuk 2.G), bij een productie van 3.527 liter restmateriaal EVA per week. Bij een vulgraad van 80 procent levert dit een totaal ingenomen volume op van circa 4.408 liter restmateriaal per week op in de afvalcontainer. Hiermee wordt een uitbreiding van een afvalcontainer van 5.000 liter naar 8.000 liter voorkomen. Dit realiseert een besparing op afvalkosten van circa 4.940 euro op jaarbasis.

ii Typen shredders

Het restmateriaal zal verwerkt moeten worden. Er zijn drie typen shredders die geschikt zijn om kunststoffen te verwerken. Afhankelijk van de grootte van het te verwerken restmateriaal wordt het type shredder bepaald. De verschillende typen shredders bestaan uit shear shredders, granulatoren en hamermolens. Binnen deze categorieën bestaan vele verschillende uitvoeringen, afhankelijk van de groottes van het restmateriaal, te verwerken hoeveelheden en de grootte van het eindproduct na het shredden. Het restmateriaal dat vrijkomt



Fig. 4.B.1 - Verkleind restmateriaal

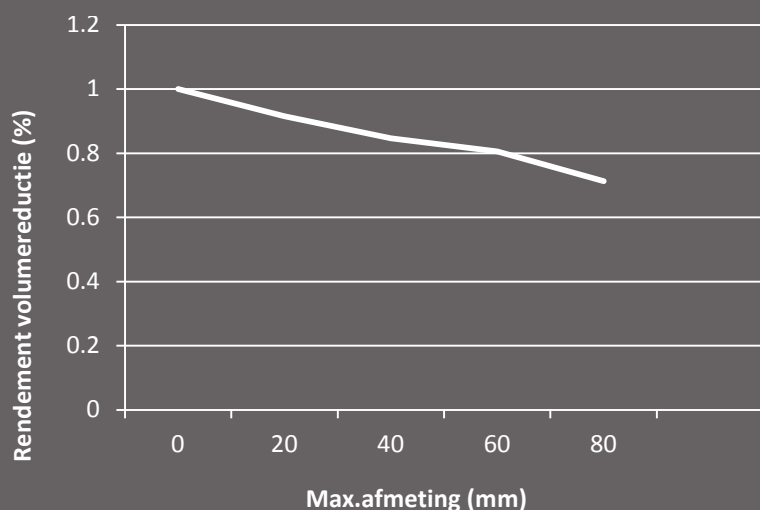


Fig. 4.B.2 – Efficiëntie shredder naar grootte eindproduct



Fig. 4.B.3 - 4.B.5 - Shear shredder, messenbed, messen¹¹

bij het freesproces heeft te grote afmetingen om verwerkt te worden door een hamermolen. De werking van shear shredders en granulatoren wordt om deze reden uitgebreider uitgewerkt ten opzichte van de werking van hamermolens.

Shear shredders

De shear shredders worden in grote mate toegepast in de verwerking van sterk elastisch materiaal, waaronder vele typen kunststoffen. Zoals de naam doet vermoeden wordt het restproduct belast op pure shear stress (afschuifspanning). Een as wordt door een motor aangedreven met een lage snelheid en hoge torsiebelasting. Aan de as zitten meerdere 'messen' bevestigd, die door rotatie een snijdende beweging maken. Door de hoeken van de messen niet parallel aan elkaar te plaatsen, maar een constante afstand te houden tussen de contactpunten, wordt de shredder niet eenmalig hoog belast, maar wordt de belasting gespreid. De hoeken en enkele variaties van de messen worden weergegeven in figuur 4.B.5. Door de hoge torsie en lage snelheid worden de materialen naar binnen 'getrokken'. De hoeken aan de roterende messen grijpen de restmaterialen aan. De restmaterialen worden gesneden door de het vlak tussen de messen. De shear shredders bestaan in uitvoeringen van één-, twee-, drie- en vier-assige shredders. Bij gebruik van meerdere assen draaien de assen in tegengestelde richting.

Eén-assige shredders schrapen materiaal van het product af, tot het volledig is verwerkt. Het grote voordeel van een één-assige shredder is dat het geleverde eindproduct heel regelmatig is. Doordat de geometrie van het eindproduct regelmatig is, neemt het eindproduct na shredden minder ruimte in beslag. De kosten van dit type shredder variëren van 20.000 tot 400.000¹³ euro. Het model wat in aanmerking zou kunnen komen voor het shredden in deze toepassing ligt tussen 20.000 en 30.000 euro. Een voorbeeld van het messenbed van een één-assige shredder is te zien in figuur 4.B.6.

De twee-assige shredder is de standaard als het gaat om het type shear shredders (zie figuur 4.B.3). Bij de twee-assige shredder draaien twee assen in tegengestelde richting.

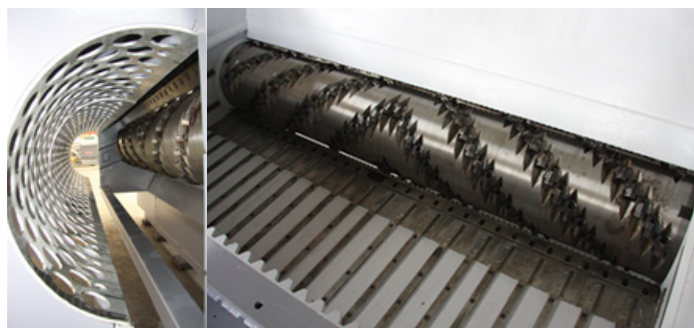


Fig. 4.B.6 - één-assige shredder¹²

De kosten van een twee-assige shredder, geschikt voor deze toepassing, liggen ongeveer tussen de 10.000 en 25.000 euro.

Een drie-assige shredder wordt vaak toegepast als het materiaal een bepaalde maximale grootte mag hebben. De hoofdfunctie van de derde as is voornamelijk het transport van het restmateriaal. Drie-assige shredders bevatten altijd een zeef, waar de grootte van het eindproduct door wordt bepaald. Het restmateriaal wordt door een extra as, inclusief messen, teruggevoerd naar het messenbed. Hierdoor treedt er geen capaciteitsverlies op.

Een vier-assige shredder wordt enkel gebruikt voor materiaal met een heel groot volume. De vier assen zorgen voor een verdubbeling van de capaciteit ten opzichte van twee-assige shredders. De capaciteit en de bijkomende kosten liggen ver buiten het bereik van het te verwerken restmateriaal. Met behulp van een granulator wordt het materiaal van een al relatief klein formaat naar een nog kleiner formaat een gebracht. Het resultaat wordt het granulaat genoemd. Afgezien van het messenbed, is de werking van een granulator vergelijkbaar met de werking van een shredder. Het granulaat wordt vervaardigd doordat vlakke messen op afschuifkrachten het product in stukjes 'snijdt'. Het messenbed is te zien in figuur 4.B.9. Een granulator levert een constant eindproduct van 6 tot 15 mm² (zie bijlage P). Het eindproduct van de granulator is ter grootte van een formaat van korrelgrootte dat te gebruiken is om te recycelen. De kosten van een granulator zijn vergelijkbaar

4. UITVOERING C2C

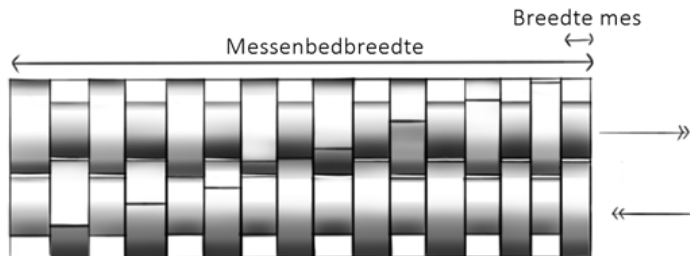


Fig. 4.B.7 - Messenbed

met de kosten van een shredder. Een granulator moet worden geleverd met een ventilatiesysteem, waardoor een granulator meer ruimte inneemt op de werkvloer dan een shredder.

iii Bepalende eigenschappen shredders

Grootte eindproduct

De grootte van het eindproduct wordt bepaald door de breedte van de verschillende messen en de afstand tussen de hoeken van de roterende snijbladen (zie figuur 4.B.7). Het restmateriaal wordt aan beide zijdes van de snijbladen gesneden. De maximale afmetingen van het eindproduct zijn in het geval van één hoek dus de volledige omtrek van het mes, en breedte van het mes (zie figuur 4.B.5).

Capaciteit

Onder de capaciteit van de shredder wordt het te verwerken massa per uur verstaan. De capaciteit van de shredder is van veel factoren afhankelijk. Bepalende factoren zijn het vermogen, de breedte van het messenbed, maar met name de gewenste grootte van het eindproduct.

Onderhoud

Na verloop van tijd ontstaat er speling tussen de messen, net zoals er speling ontstaat tussen de messen van een schaar. Het is noodzakelijk om deze speling minstens elk jaar te minimaliseren. Dit kan gerealiseerd worden door met een speciale tool de afstand tussen de messen terug te draaien. Mocht dit niet gebeuren, dan kan er insluiting optreden. De assen en de messen ondervinden hierdoor hoge belasting op plekken waar dit niet gewenst is. Het verhelpen van dit brengt zeer hoge kosten met zich mee. Op korte termijn betekent dit ook dat er capaciteitsverlies optreedt doordat het restmateriaal tussen de messen terecht komt in plaats van dat materiaal gesneden wordt. De messen moeten worden geslepen na omstreeks vijf jaar, afhankelijk van de intensiteit van het gebruik. In totaal kost het zo'n drie weken voor de messen zijn geslepen en de shredder weer te gebruiken is. De totale jaarlijkse onderhoudskosten worden door De Jong Recycling Solutions geschat op 500 euro per jaar.

Extra opties

Trechter

De trechter bestaat uit het volume waarin het uitgangsmateriaal kan worden gedeponeerd. De trechter maakt het tot op zekere hoogte mogelijk om materiaal op te slaan tot het verwerkt wordt. Piekbelastingen kunnen hierdoor opgevangen worden.

Vulband

De trechter kan ook niet éénmalig volledig gevuld worden, om er vervolgens bij weg te lopen. Wanneer de trechter overmatig gevuld wordt, treedt er brugvorming op aan de zijdes van de messenbedden. Het materiaal kan aangevoerd worden door een band die het materiaal aanvoert van een opslagpunt naar de shredder. Dit wordt gebruikt wanneer de input moet worden verdeeld over een langere tijd, en het materiaal in grote mate opgeslagen ligt. Doordat materiaal zich ophoopt aan de randen kan het materiaal niet naar de binnenzijde worden vervoerd, en kan het restmateriaal niet worden geshred. De kosten van een vulband liggen op circa 10.000 euro¹⁴.

Zeef

Het is mogelijk om een zeef te plaatsen onder het messenbed van de shredder. De diameter van de gaten van de zeef zijn bepalend voor de grootte van het eindproduct. Als het materiaal niet door de zeef past, wordt het nogmaals meegenomen door de hoeken in het messenbed en nogmaals een keer van boven naar onder door de shredder heen gehaald. Een voorbeeld van een zeef is weergegeven in figuur 4.B.8. Grofweg komt de toepassing van een zeef in de praktijk komt dit neer op een verhoging van de prijs met een factor twee. Het toepassen van een zeef bij een twee-assige zeef levert grofweg een verlaging van de capaciteit op van 40 procent. De kosten van het toepassen een zeef liggen op circa 10.000 euro¹⁴.



Fig. 4.B.8 - Zeef¹⁴

iv Gebruikers

Om de eisen en wensen van de gebruikers in kaart te brengen is een face-to-face interview gehouden met de productiemedewerker die verantwoordelijk is voor het gebruik van alle freesmachines, en dagelijks met deze machines werkt. De voornaamste conclusie is dat de productiemedewerker wenst de shredder te plaatsen in de opslagruimte. Het is gewenst om vanuit de afvalcontainers het materiaal rechtstreeks in een

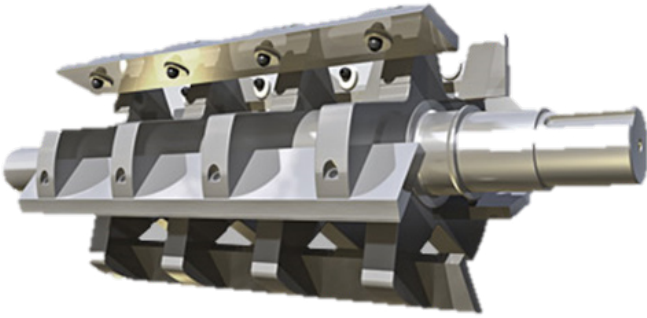


Fig. 4.B.9 - Messenbed granulator¹⁵

shredder te kunnen deponeren. Het volledige interview is te vinden in Bijlage J – Interview productiemedewerker.

v Opdrachtgever

De eisen en wensen van de opdrachtgever worden eveneens duidelijk in kaart gebracht door een interview. Samenvattend kan gezegd worden dat het budget rond de 15.000 euro ligt. De investering zal na vier jaar terugverdiend moeten zijn. Het complete interview is te vinden in Bijlage K – Interview opdrachtgever.

vi Plaatsing shredder

De plaatsing van het product is bepalend voor verschillende eisen waaronder voornamelijk de gebruikswijze en afmetingen. In figuur 4.B.10 is een plattegrond te zien van de werkplaats en opslagruimte.

In figuur 4.B.10 zijn twee mogelijke posities afgebeeld van de shredder (blauw). Er zal een keuze gemaakt moeten worden waar de shredder gepositioneerd gaat worden. Positie 1 is gelegen tussen de nieuwe freesmachines. In de figuren worden de maximale afmetingen afgebeeld van de shredder. Deze positie is geïnitieerd doordat vanuit de werkbank de restproducten direct gedeponereerd kunnen worden in de shredder. Positie 2 is gelegen in de opslagruimte. De positionering van de shredder in de opslagruimte is geopperd door werkplaatsmedewerker Haiko tijdens het interview naar aanleiding van de gebruikersanalyse. Beide posities brengen voor- en nadelen met zich mee. De voor- en nadelen worden tegen elkaar afgewogen. De voordelen van beide posities ten opzichte van de andere positie worden in kaart gebracht. De maximale afmeting van positie 1 in de werkplaats zijn circa 1,2 bij 1,2 meter, met een maximum van 1,5 vierkante meter. Wanneer de shredder in de opslagruimte wordt gepositioneerd mogen de maximale afmetingen 1,5 x 3 meter, met een maximum van 4,5 meter. Dit betreft de gehele installatie.

Het verschil in arbeidskosten is bepalend voor de afweging in de positie van de shredder. Bij een andere positie

van de shredder komt een andere afvoercyclus kijken die mogelijk significant meer tijd, en dus meer kosten in beslag neemt. De totale cyclustijd ligt hoger wanneer de shredder wordt gepositioneerd in de werkplaats, omdat de gebruiker het materiaal meteen toedient aan de shredder, wat tijd kost. Er wordt aangenomen dat deze functie door een vulband met een trechter in de opslagruimte kan worden overgenomen. Is er geen sprake van de toepassing van een vulband, dan zal de cyclustijd hoger liggen. De reden hiervan is dat elk product afzonderlijk moet worden gedeponereerd in de shredder. In dit geval heeft het geen meerwaarde om de shredder in de opslagruimte te positioneren. Om te kijken wat op de lange termijn meer kostbaar is wordt een rentabiliteitsanalyse opgesteld om te bepalen op welk moment van tijd een shredder met een vulband, gepositioneerd in de opslagruimte, meer oplevert dan een shredder zonder vulband, gepositioneerd in de werkplaats. De eenmalige kosten van een vulband bedragen circa 10.000 euro, terwijl het verschil in arbeidskosten minimaal is (zie bijlage I - Arbeidskosten positionering shredder). Na 12 jaar zal pas de rentabiliteitsdrempel (break-even punt) zijn bereikt. De berekeningen berusten op grove schattingen, maar worden enkel gebruikt als houvast om een inschatting te kunnen maken van arbeidskosten. Gesteld kan worden dat de hoge investeringskosten van een vulband niet opwegen tegen



Fig. 4.B.10 - Plattegrond werkplaats PLT Products

4. UITVOERING C2C

de voordelen die het met zich meebrengt. Er is voor gekozen om de shredder in de werkplaats te plaatsen.

vii Gebruiksscenario

Nu de positie van de shredder is bepaald kan een beeld geschetst worden van de gebruikssituatie. De shredder zal geplaatst worden tussen beide freesmachines in. Het restmateriaal komt direct vrij bij de freesmachines. Een kleine afstand zal overbrugd moeten worden vanuit één van de twee freesmachines om het restmateriaal te deponeren in de shredder. Het restmateriaal zal in de trechter worden gedeponeerd. Achttien paar dient weggegooid te kunnen worden zonder de cyclus op te houden. De volgende cyclus van de tweede freesmachine begint 45 minuten later, waarbij het restmateriaal weer in de shredder gedeponeerd zal worden.

ix Omgeving

Om een beeld te schetsen van de omgeving is een sfeercollage gemaakt. Het doel van de sfeercollage is het benadrukken van vorm-, kleur- en materiaalgebruik. Alhoewel deze vormgevingskenmerken niet relevant zijn voor het ontwerp van de shredder, kan hierdoor bij de afwerking rekening gehouden worden om zo aan te sluiten op de vormgevingskenmerken van de werkplaats. De sfeercollage is te vinden in bijlage J.

ix Programma van eisen shredder

Nu verschillende typen shredders, eisen en wensen van de belanghebbenden en de omgevingsfactoren zijn geanalyseerd, wordt een programma van eisen en wensen opgesteld waaraan de shredder aan zal moeten voldoen.

Verantwoording programma van eisen

1. Er is gebleken uit gesprekken met de opdrachtgever dat er een budget van omstreeks 15.000 euro beschikbaar voor een shredder (zie bijlage N).
2. Uit het interview met de opdrachtgever is gebleken dat het break-even punt maximaal op omstreeks vier jaar na aanschaf mag liggen. Dit komt overeen met een netto besparing van 3.750 euro op jaarbasis.
3. In de werkplaats is het beschikbare oppervlak beperkt. Circa 1,5 m² is beschikbaar voor de shredder.
4. Er is niet meer ruimte beschikbaar dan 1,4 meter in breedte (of lengte).
5. Om het gebruiksgemak te verhogen en cyclustijden te verlagen is een lage invoerhoogte gewenst.
6. Bij een theoretische volumereductie van 39 procent wordt een uitbreiding van 5.000 Liter restafval voorkomen.
7. Laag energieverbruik is gewenst. Met een energieverbruik

van 10 kWh zijn de jaarlijkse energiekosten gelijk aan circa 1.400 euro.

8. Achttien paar steunzolen kunnen tegelijkertijd vrijkomen. Het volume van 36 stuks uitgangsmateriaal model T komt overeen met 46,37 Liter (zie Hoofdstuk 8 - Volume EVA). Er is gebleken dat, wanneer het materiaal wordt opgestapeld, het EVA 41,5 procent inneemt van de beschikbare ruimte. Het totale volume van de trechter komt hierdoor uit op 112 Liter.

9. De capaciteit wordt uitgedrukt in de massa dat per uur verwerkt kan worden door de shredder. Aan de hand van de piekbelasting wordt de minimale capaciteit bepaald. Beide freesmachines hebben een cyclustijd van circa 90 minuten. Achttien paar restmateriaal van model T5 dient verwerkt te kunnen worden binnen 45 minuten, voor de volgende cyclus op de tweede freesmachine begint. De massa van 46,37 Liter restmateriaal staat gelijk aan 16,18 Kg, bij een dichtheid van 0,349 Kg/Liter (zie Bijlage A). Elk drie kwartier moet dus 16,18 Kg EVA verwerkt kunnen worden. Dit staat gelijk aan 21,57 Kg/h.

10. Het starten van de shredder mag niet te veel tijd in beslag nemen. Wanneer deze opstarttijd laag is, kan de shredder meerdere malen per dag aan- en uit worden gezet.

12. Hoe kleiner het eindproduct, hoe dichterbij het eindproduct bij een toepassing in re- of downcycling kan komen. Wordt het materiaal gebruikt als opvulling, dan neemt het meer volume in per vierkante meter als het materiaal van een kleiner formaat is.

13. Wanneer het materiaal beschikt over een constante geometrie neemt het materiaal een kleiner volume per vierkante meter in wanneer het wordt gebruikt bij een toepassing in re- of downcycling.

De eisen worden gewogen in mate van relevantie. De weging wordt aangegeven in het programma van eisen met een cijfer na de eis of wens. De weging is verdeeld op een schaal van één tot vijf, waarbij één de laagste mate van relevantie inhoudt, en vijf de hoogste mate van relevantie. Een cijfer 0 houdt in dat de eis niet meetbaar is, of gelijk is voor alle shredders. De weging van de eisen en wensen zijn besproken met de opdrachtgever. Hiervoor geldt dat een lage aanschafprijs en besparing van groot belang waren. Daarnaast bleek van groot belang de cyclustijden van het freesproces niet te verhogen. De capaciteit en trechtergrootte zijn belangrijke factoren hierin.

*Eisen**Financieel*

1. De aanschafprijs van het product is maximaal 15.000 euro (5)
2. De netto besparing moet minimaal 3.750 euro op jaarbasis bedragen (4)

Omgeving

3. Het product mag maximaal 1,5 m² oppervlak innemen op de werkvloer (2)
4. De maximale horizontale afmeting van het product mag maximaal 1,4 meter bedragen (2)
5. De invoerhoogte van het product mag maximaal 1,6 meter zijn (1)

Technische specificaties

6. Het product moet een volumereductie van het restmateriaal opleveren van minimaal 40 procent (5)
7. Het energieverbruik mag maximaal 10 kWh bedragen (3)
8. Het product moet een minimale trechtergrootte hebben van 112 Liter (4)
9. De capaciteit van de shredder moet minimaal 22 Kg/h bedragen (5)

Gebruiker

10. Het product moet binnen twee minuten gebruiksklaar zijn (2)
11. De veiligheid van de gebruikers en derden mag op geen enkele manier in het beding worden gesteld (0)

Recycling

12. De maximale afmetingen van het eindproduct mogen gemiddeld maximaal circa 20 mm in diameter bedragen (2)

*Wensen**Financieel*

1. De aanschafprijs van het product is minimaal 12.000 euro
2. De besparing van de afvalkosten moet netto minimaal €4.500 euro per jaar bedragen

Omgeving

3. Het product mag maximaal 1,2 m² oppervlak innemen op de werkvloer
5. De invoerhoogte van het product mag maximaal 1,4 meter zijn

Technische specificaties

6. Het product moet een volumereductie van het restmateriaal opleveren van minimaal 50 procent
7. Het energieverbruik mag maximaal 5 kWh bedragen
9. De capaciteit van de shredder moet minimaal 40 Kg/h bedragen

12. De maximale afmetingen van het eindproduct mogen gemiddeld maximaal circa 8 mm in diameter bedragen (afmetingen granulaat)
13. Het eindproduct moet beschikken over een constante geometrie (lees: granulaat) (4)

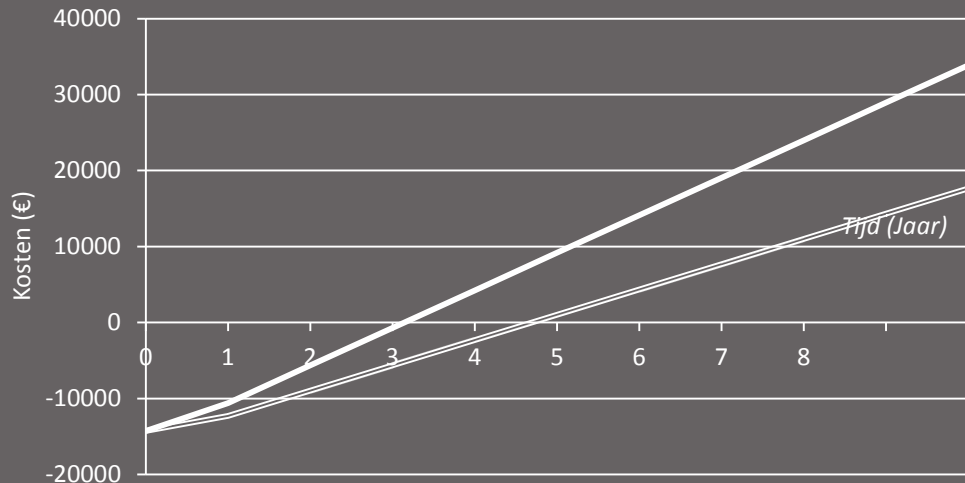


Fig. 4.B.11– Break-even plot shredder A27, te leveren door Kusters Recycling Solutions



Fig. 4.B.12 – Shredder type A27

Er zijn offertes van verschillende typen shredders aangevraagd bij verschillende partijen. Eén-assige shredders, twee-assers, een twee-asser met zeef en een granulator is meegenomen in de afweging voor de aanschaf van een type shredder. De offertes zijn te vinden in Bijlage L - Offertes shredders.

x Beoordeling shredders

In Bijlage Q is de volledige beoordeling van de verschillende shredders te vinden. Wanneer uitsluitend naar de cijfers wordt gekeken wordt hierbij duidelijk dat de shredder A27 occasion, te leveren door de Kusters Recycling, het hoogst scoort (zie figuur 4.B.12).

Dit komt met name door de relatief lage aanschafprijs van de A27 ten opzichte van de capaciteit van de shredder en de grootte van het eindproduct. De paroCut valt als enige andere shredder binnen het budget dat ter beschikking is gesteld. De paroCut scoort echter niet goed op capaciteit en trechtergrootte. De paroCut beschikt over een capaciteit van circa 50 Kg/uur. Dit zou voldoende moeten zijn om het materiaal te verwerken binnen één cyclus. De trechtergrootte is echter niet voldoende groot om het al het rest materiaal op te slaan dat vrijkomt bij één freescyclus. Met een trechterinhoud van 200 Liter en een capaciteit van 100 Liter per uur voldoet de A27 wel aan de gestelde eisen.

De Satrind HP10 occasion heeft de beschikking over een capaciteit van 100 Kg/uur. De grootte van het eindproduct is ook relatief klein, doordat deze shredder de beschikking heeft over een zeef. De hoge kosten van een zeef worden gedrukt doordat het een occasion betreft. De aanschafprijs ligt met circa 22.400 echter nog beduidend hoger dan de shredder type A27 met een aanschafprijs van circa 14.300 euro.

Het eindproduct van het restmateriaal na het shredden heeft niet de constante geometrie van een granulaat. Dit zou betekenen dat het niet waarschijnlijk is dat het restproduct

na shredden direct in aanmerking komt voor recycling. Er is gewoonweg niet voldoende oppervlak en budget beschikbaar voor het toepassen van een granulator.

Er wordt aanbevolen de shredder type A27 aan te schaffen bij Kusters Recycling Solutions. Wil PLT Products het restmateriaal hergebruiken, dan zal het granuleren moeten worden uitbesteed aan derden of een groter budget beschikbaar worden gesteld.

xi Evaluatie shredder

Een break-even analyse is opgesteld om de verwachte besparingen op afvoerkosten uit te zetten tegen de kosten. In deze analyse zijn de besparing op afvalkosten, energiekosten, onderhoud en aanschafkosten verwerkt. Hieruit wordt duidelijk dat als deze factoren zijn meegenomen, de shredder zijn investering heeft 'terugverdiend' in besparingen op afvalkosten tussen 3 en 3,5 jaar na aanschaf. Dit wordt weergegeven in figuur 4.B.11 als de solide lijn.

De kanttkening moet worden gemaakt dat de analyses betreffende volumes en materiaalgebruik gebaseerd zijn op de toekomstige situatie, waarbij enkel wordt geproduceerd op model T. Wordt de productie aangepast, door te produceren op andere modellen, dan zal een nieuw break-even plot gemaakt moeten worden. Afhankelijk van het materiaalgebruik kan worden bepaald wat de opbrengsten zullen zijn. Stel dat het materiaalgebruik volgens hoofdstuk 4.A.iii wordt gereduceerd tot 1746 Liter per week, betekent dat er een totaal volume aan 1282 Liter per week aan restmateriaal ontstaat. Dit neemt ongeveer 3.100 Liter per week in in de meest ideale situatie. Aangenomen dat met het toepassen van de shredder het volume in de afvalcontainers kan reduceren van 5.000 Liter naar 3.000 Liter per week, dan staat de jaarlijkse besparing gelijk aan 3328 euro op jaarbasis. Op de wijze heeft de investering zich na 4,5 tot 5 jaar 'terugverdiend'.

4. UITVOERING C2C

C. SCHEIDEN RESTMATERIAAL

Het aandeel aan steunzolen met een Realux onderlaag is op dit moment 50 procent ten opzichte van de steunzolen zonder Realux onderlaag. Om het EVA te kunnen hergebruiken is het noodzakelijk om de Realux onderlaag van het EVA te scheiden. Het materiaal EVA is vastgelijmd aan de Realux onderlaag met een contactlijm. Een aantal manieren wordt geanalyseerd om de materialen te scheiden. Het is niet mogelijk de lagen handmatig, door fysieke kracht, van elkaar te scheiden. Er zijn twee opties om materialen in het algemeen te scheiden. Het product kan gedurende de productie dusdanig aangepast worden zodat het gemakkelijker te scheiden is, of het materiaal kan gescheiden worden door een extra handeling toe te voegen na de productie van het product. Het materiaal wordt ingekocht bij leveranciers, waardoor PLT Products geen mogelijkheden heeft om het materiaal aan te passen om het materiaal gemakkelijk te scheiden. Daarbij komt dat de Realux onderlaag in zijn functie als steunzool de eigenschap moet hebben om niet los te geraken van het EVA. Om deze redenen wordt ervoor gekozen om het materiaal te scheiden na de productie. Dit houdt in dat er een extra handeling wordt toegevoegd na het freesproces waarmee het restmateriaal wordt gescheiden.

Er zijn geen scheidingsmethodes ontwikkeld om dit specifieke materiaal te scheiden. Om deze reden worden drie opties overwogen om het materiaal te scheiden. Drie scheidingsmethodes worden voorgesteld. Aan de hand van een geprojecteerd kostenplaatje wordt de keuze gemaakt voor één van deze processen.

i Scheidingsmethoden

Afschuren

Door de Realux onderlaag tegen een schuurband te houden wordt het mogelijk om het gruis dat hierbij vrijkomt te scheiden van het EVA. In figuur 4.C.1 wordt een mogelijk voorbeeld weergegeven van een methode waarop dit

(semi-)geautomatiseerd kan plaatsvinden. De cilinders zijn elektrocilinders. Door zwaartekracht worden de blokken restmateriaal aangevoerd vanuit een kolom waarin ze door een werkplaatsmedewerker geplaatst worden (1) Vervolgens worden ze door de elektrocilinder (2) vooruit geduwd met een diepte van 1,5 millimeter, de dikte van de Realux onderlaag. Met een volgende elektrocilinder (3) wordt het resterende EVA in een bak geduwd.

Er zit een aantal zwaarwegende nadelen hieraan verbonden. Er komt veel gruis bij vrij wat niet in z'n geheel kan worden opgevangen. Dit gruis is afkomstig van de onderlaag. Er gaat hierbij dus relatief veel materiaal verloren, wat niet gewenst is. De schuurband zal relatief snel slijten en moeten worden vervangen. Er zal veel energie in het afschuren van het materiaal moeten worden gestopt, en het materiaal zal niet met hoge nauwkeurigheid vrijkomen. De verwachting is dat dit een proces is wat veel tijd inneemt per scheidingscyclus.

Zagen

Het is mogelijk om de onderlaag te scheiden van het EVA door het met een (lint)zaag te splitsen. Een voorbeeld van deze scheidingsmethode is afgebeeld in figuur 4.C.2 De toevoer vindt eveneens plaats door middel van zwaartekracht (1). Een kolom gevuld met de blokken EVA. Stuk voor stuk worden de blokken gesplitst door kracht te zetten op de lintzaag met behulp van een lineaire drukcilinder (2). Het restmateriaal wordt geleid door een constructie, waardoor het restmateriaal gelijkmatig wordt gesplitst. Het materiaal wordt gesplitst door de lintzaag en gescheiden opgevangen. De nadelen die hierbij komen kijken zijn vergelijkbaar met de nadelen die wegen voor het afschuren van de onderlaag. Het splitsen gaat eveneens niet nauwkeurig, waardoor materiaal verloren gaat. Er blijft altijd een residu achter van EVA op de Realux onderlaag. Daarbij komt dat het

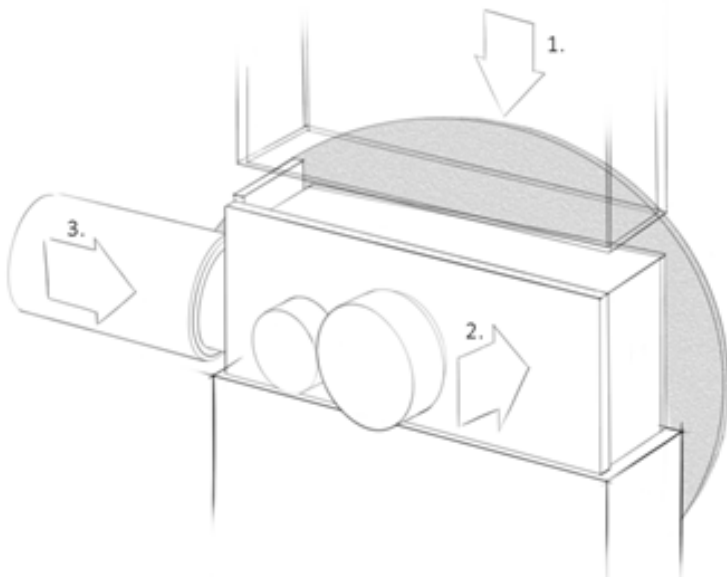


Fig. 4.C.1 - Schematisch voorbeeld scheidingsmethode 'afschuren'

4. UITVOERING C2C

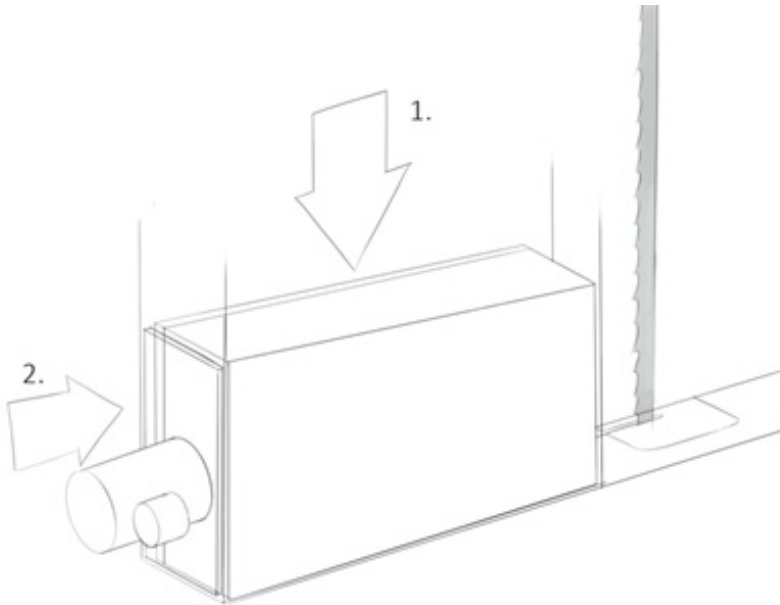


Fig. 4.C.2 - Schematisch voorbeeld scheidingsmethode 'zagen'

lastig zal zijn om alle stukken Realux te verwijderen in het zaagproces. Het restmateriaal heeft niet altijd een constante geometrie. In dit scheidingsproces is het van groot belang om de onderlaag door druk continu zo dicht mogelijk bij de zaag te houden. Doordat het restmateriaal is gefreesd, heeft het niet de constante geometrie van het uitgangsmateriaal. Doordat vooral op smalle stukken restmateriaal geen druk gehouden kan worden, is de kans groot dat niet alle delen van het Realux worden gescheiden van het EVA.

Verhitten

Na het verhitten van de onderlaag werd duidelijk dat de tussenliggende lijm zijn bindingskracht verliest wanneer de lijm wordt verwarmd tot een bepaalde temperatuur. Nadat de lijm deze temperatuur heeft bereikt, kan de Realux onderlaag worden gescheiden van het EVA. Een voorbeeld van een dergelijk scheidingsmethode is weergegeven in figuur 4.C.3. Het materiaal kan worden verhit door het restmateriaal op een verwarmde plaat te leggen, waarbij de Realux onderlaag contact maakt met een verwarmingsplaat (1). De aanvoer wordt eveneens bewerkstelligd door middel van zwaartekracht. Een kolom wordt gevuld met het restmateriaal, waarvan de Realux onderlaag aan de onderzijde zit. De onderlaag wordt verhit door een verwarmde plaat (3). Nadat het materiaal gedurende een bepaalde tijd is verwarmd, heeft de lijm een temperatuur bereikt waarna het zijn bindingskracht verliest. Het materiaal wordt door een drukcilinder tegen een verwarmd mes gedrukt (2). Door het materiaal vervolgens met een pelmechanisme

uit elkaar te trekken zal het mogelijk zijn om de materialen te scheiden. De lijm is het minst goed bestand tegen afpelkrachten. De onderlaag wordt gescheiden van de bovenlaag opgevangen. Het materiaal wordt zeer zuiver uit elkaar getrokken. Het gescheiden materiaal dat is verkregen door het restmateriaal te verhitten en handmatig te splitsen is te zien in figuur 4.C.4 en 4.C.5.

ii Keuze scheidingsmethode

Er wordt een afweging gemaakt tussen de verschillende scheidingsmethoden gebaseerd op de wegende voor- en nadelen. Het afschuren van het materiaal wordt niet realistisch geacht, aangezien de Realux onderlaag zeer slijtvast is. Het zou naar schatting veel energie, tijd en materieel vergen om de onderlaag af te schuren. De nauwkeurigheid van een dergelijke lintzaag ligt naar schatting relatief laag. Doordat een deel uit het uitgangsmateriaal is weggefreest, is het lastig om een continue druk te houden op het materiaal. Door de freesbewerking en het uitsnijden van de steunzolen zal de onderlaag een andere geometrie hebben dan vooraf. Hierdoor zal met een hoge marge moeten worden gezaagd. De verwachte efficiëntie van het materiaalgebruik van het splitsen na verhitting ligt hoger dan bij de scheidingsmethoden afschuren en zagen. Naar verwachting gaat er meer materiaal verloren wanneer het materiaal wordt afgeschuurd en gezaagd. Het eindproduct kan zeer zuiver uit elkaar getrokken worden nadat het is verhit (zie figuren 4.C.4 en 4.C.5). Om deze reden wordt deze scheidingsmethode gekozen om uit te werken. Een beeld van de bijkomende kosten wordt geschetst.

iii Kosten

De kosten die gemoeid gaan met deze scheidingsmethoden

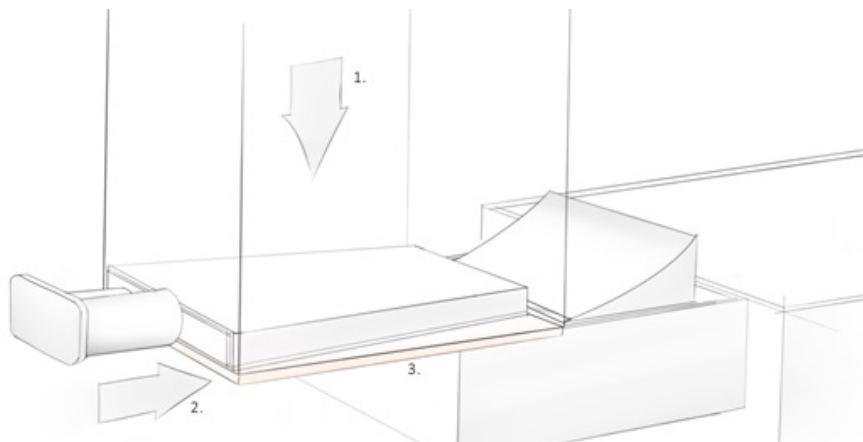


Fig. 4.C.3 - Schematisch voorbeeld scheidingsmethode 'verhitten'

worden uiteengezet. De kosten worden onderverdeeld in productiekosten, arbeidskosten en eenmalige kosten.

Productiekosten

De wederkerende productiekosten zijn afhankelijk van het energieverbruik van het systeem. Enkele berekeningen met betrekking tot warmte-overdracht kunnen een schatting geven van de totale jaarlijkse energiekosten.

Realux is een styreen butadieen rubber/butadieen rubber compound. Er zijn geen exacte materiaalgegevens beschikbaar van het materiaal Realux. Een vergelijkbaar materiaal is gevonden in het materiaal styrieen butadieen rubber. Van dit rubber worden de uiterste thermische eigenschappen genomen om een schatting te kunnen maken van de totale hoeveelheid aan energie die nodig is om de lijmverbinding te verbreken. De lijmverbinding verliest zijn bindingskracht bij 110 graden Celcius¹⁶. Hieruit kunnen de totale kosten per jaar bepaald worden en de hoeveelheid tijd dat het kost om het materiaal te splitsen. Een inschatting van de energiekosten wordt gemaakt omdat de verwachting is dat dit scheidingsproces hoge energiekosten met zich mee kan gaan brengen.

De totale hoeveelheid aan energie benodigd om het materiaal te splitsen staat gelijk aan circa 10.500 Joule (zie bijlage S). Dit is de benodigde hoeveelheid energie om de de lijm een temperatuur van 110 graden te laten bereiken. De totale warmtestroom van de binnenzijde naar de bovenzijde staat gelijk aan 800 Watt. Hierbij wordt aangenomen dat de verwarmingsplaat een temperatuur van 150 graden Celcius kan bereiken, en de initiële temperatuur 18 graden is. Aangenomen dat de warmtestroom constant blijft over tijd, geldt hiermee dat de benodigde tijd om de lijm te verwarmen tot 110 graden Celcius gelijk staat aan 13 seconden. De energiekosten worden bepaald door de hoeveelheid elektrische energie in kilowattuur te bepalen. Mocht er sprake zijn van 100 procent efficiëntie, dan staat het verbruik per stuk gelijk aan 0,0289 kilowattuur¹⁷. In totaal houdt dit dus een jaarlijks energieverbruik in van 91

euro. Uiteraard is er geen sprake van 100 procent efficiëntie bij dergelijke warmte-overdragende systemen. De kosten zijn echter zo laag uitgevallen dat, al is sprake van slechts 10 procent efficiëntie, de jaarlijkse kosten aan energieverbruik nog steeds onder 1.000 euro zullen uitvallen.

Arbeidskosten

De arbeidskosten zijn afhankelijk van de benodigde tijd om het materiaal te scheiden en het mens-uurtarief. Hierbij is het van belang om te bepalen hoeveel tijd het in beslag neemt om het materiaal te kunnen scheiden. Volgens berekeningen kost het circa 13 seconden om het materiaal te verhitten tot de lijmverbinding zijn kracht verliest (zie bijlage S). Deze berekeningen zijn vergeleken met in de praktijk uitgevoerde testen. De resultaten van deze testen zijn te vinden in bijlage T. Een plaat wordt op een temperatuur van graden 150 celsius gehouden, met een nauwkeurigheid van 5 graden Celcius. Na een periode van verhitting van het restmateriaal van respectievelijk 12, 14 en 16 seconden wordt een poging gedaan de materialen te scheiden. Hieruit wordt duidelijk dat het circa 16 seconden in beslag neemt om het materiaal volledig te kunnen splitsen (zie bijlage T). Met een mens-uur tarief van 17.14 euro (zie Bijlage K) en een totaal van 71.200 paren (zie hoofdstuk 2.E), zal het totaal aan arbeidskosten minimaal uitkomen op circa 11.000 euro per jaar als er continu een medewerkers aanwezig moet zijn bij het scheidingsproces (zie bijlage T).

Eenmalige kosten

De wederkerende arbeidskosten zijn zeer hoog. Een (semi-) geautomatiseerd scheidingsproces zal ontwikkeld en geproduceerd moeten worden om deze kosten te drukken. De eenmalige kosten zullen hoog zijn. De verwachting is echter dat de kosten lager zullen uitvallen dan de totale arbeidskosten na een periode van enkele jaren.



Fig. 4.C.4 - Realux onderlaag na verhitting en splitsing

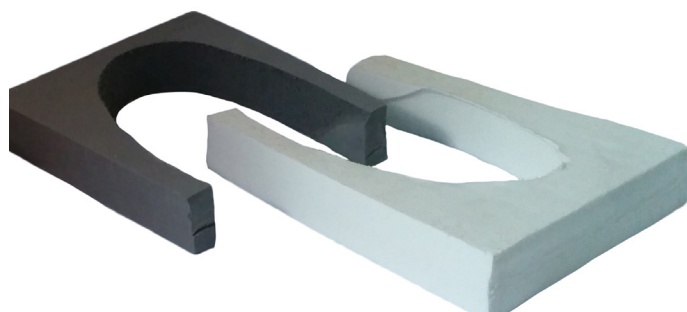


Fig. 4.C.5 - EVA restproduct na verhitting en splitsing

4. UITVOERING C2C

D. RECYCLING EVA

Nadat het materiaal gescheiden, geshred en gegraneleerd is, is het product klaar om hergebruikt te worden in andere producten. In dit hoofdstuk worden mogelijkheden van recycling overwogen. Er is geen sprake van vervuiling van het eindproduct, omdat het product direct na productie wordt verwerkt. Het granulaat kan worden hergebruikt zonder het te zuiveren, mits de juiste toepassing kan worden gevonden. Er zijn drie middelen om kunststofafval te beheren¹⁸. Het eerste middel is de valorisatie van materialen of producten. Dit houdt in dat het EVA verwerkt wordt in andere producten nadat het is geshred, ook wel downcycling genoemd. Thermoharders kunnen ook chemisch gerecycled worden. Met behulp van verschillende technieken als pyrolyse en hydrolyse kunnen composieten worden hergebruikt. Met behulp van deze processen kan maximaal 30 procent van het startmateriaal worden hergebruikt¹⁸. De derde en laatste recyclingmethode is energetische valorisatie door verbranding. Door het materiaal te verbranden kunnen bijvoorbeeld stoomturbines worden aangedreven om stroom op te wekken. Op dit moment gebeurt dit met het materiaal. De twee laatstgenoemde recyclingmethodes (chemische recycling en valorisatie door verbranding) zijn inefficiënt of relatief kostbaar. Mechanische recycling heeft een lagere impact op het milieu en is minder kostbaar. Het materiaal behoudt zijn waarde, doordat het materiaal in zijn huidige fysieke toestand als EVA wordt hergebruikt. Om deze reden wordt er beoordeeld of en hoe het materiaal mechanisch gerecycled kan worden.

i Valorisatie van materialen

Om een grotere variëteit aan toepassingen te creëren is het van belang om het materiaal te kunnen binden om plaatmateriaal te kunnen vervaardigen dat toegepast kan worden in een veelvoudigheid aan toepassingsgebieden. Door het materiaal te verkleinen tot een diameter van 6 millimeter wordt tot 95 procent van het materiaal opgevuld (zie hoofdstuk 4.B.ii). Wanneer het materiaal wordt gegraneleerd met een maximale afmeting heeft van 6 millimeter en een constante geometrie bevat, is dit een realistisch startmateriaal om te kunnen binden tot plaatmateriaal. Een logische keuze is de binding door middel van een lijmtipe. Het plaatmateriaal kan worden vervaardigd door een lijm toe te voegen aan het gerecyclede EVA, om vervolgens onder druk verlijmd te worden tot nieuw plaatmateriaal.

Om een type lijm te vinden om het materiaal te binden wordt achtereenvolgens het substraat, de aanbrengingsrestricties en de gebruikseisen in kaart gebracht¹⁹. Met het substraat wordt het te verlijmen materiaal bedoeld, in dit geval het EVA. Onder aanbrengingsrestricties vallen de beperkingen die meekomen bij het aanbrengen van het materiaal. De gebruikseisen zijn de eisen waaraan het materiaal moet voldoen in gebruik. Aan de hand van deze gegevens wordt bepaald welk soort lijmreactie geprefereerd wordt voor deze toepassing. Is de lijmreactie bepaald, dan kan worden bepaald welk type lijm met bepaalde eigenschappen, gebaseerd op de geïnventariseerde restricties en eisen.

Er kan gezegd worden dat EVA in zijn meest onbewerkte vorm al een veelvoud aan toepassingen kan vervullen. Voorbeelden van toepassingen kunnen zijn:

1. Valbescherming
Yoga-matten²⁰
Valmatten²¹
2. Straatmeubilair
Speeltoestellen²²
Banken
3. Opvulmateriaal
Autostoelen²³
Dakbedekking
Zitzakken²⁴
Boeien
4. Isolatiemateriaal
Thermische isolatie
Geluidsisolatie

Er wordt voor gekozen om een toepassing te zoeken in geluidsisolerend materiaal. Deze toepassing lijkt interessant om meerdere redenen. Een introductie in typen geluidsisolatie is noodzakelijk om deze redenen te beschrijven. Door de keuze voor de toepassing in geluidsisolatie moet men zich niet gelimiteerd voelen in het zoeken van toepassingen voor het gedowncycled product. Dit wordt enkel als houvast genomen in de lijmkeuze.

ii Toepassing: geluidsisolatie

Er wordt onderscheid gemaakt tussen luchtgeluid en contactgeluid³⁹. Luchtgeluid is afkomstig van een bron die rechtstreeks de lucht in trilling brengt. De weerstand van het overbrengen van het geluid is frequentieafhankelijk en wordt gemeten als het logaritme van de verhouding tussen de waarde gemeten aan de inputzijde en de waarde aan de outputzijde. Dit wordt uitgedrukt als de volgende formule: $R = \log(W1/W2)$ ³⁹ (zie figuur 4.D.1).

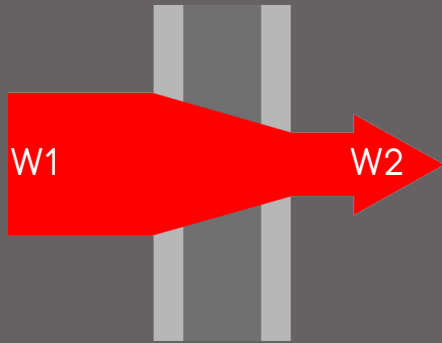


Fig. 4.D.1 - Luchtgeluid

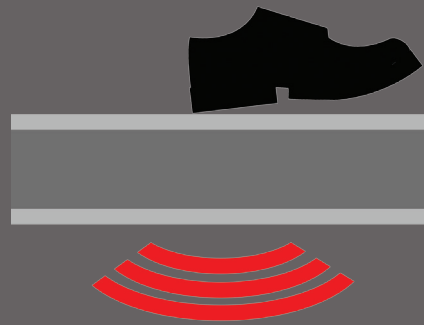


Fig. 4.D.2 - Contactgeluid

Contactgeluid is direct afkomstig van een constructie die in trilling wordt gebracht door een bron. De trillende constructie brengt vervolgens de lucht weer in trilling (zie figuur 4.D.2).

EVA wordt al veelvuldig toegepast in het toepassingsgebied van geluidsisolatie. De prijzen per vierkante meter zijn relatief hoog, met prijzen die oplopen tot 100 euro per vierkante meter, met een dikte van 10 mm²⁵. Hoge volumes kunnen afgezet worden doordat per stuk een relatief hoog volume gemoeid gaat. Plaatmateriaal van 1000 x 1000 x 10 mm kan worden vervaardigd. Het materiaal kan aangebracht worden op vloeren of muren in gebouwen. Het wordt ook veelvuldig toegepast op schepen, waarbij de contact- en luchtgeluiden afkomstig van de motor worden gedempt worden door de binnenzijde van de behuizing volledig te bekleden. Uit onderzoek van B. F. Tutikiana et al. (2012)⁴⁰ blijkt dat met behulp van gerecycled EVA de mate van contactgeluid en luchtgeluid kunnen worden gereduceerd wanneer het EVA wordt toegevoegd aan beton. Uit een onderzoek van Kim K.-W. et al. (2009)⁴¹ blijkt eveneens dat EVA, mede door haar mate van dynamische stijfheid een positieve bijdrage levert aan contactgeluiddemping. In het onderzoek wordt geconcludeerd dat, naarmate de dynamische stijfheid in (MN/m³) afneemt, de mate van geluidsisolatie toeneemt.

Om een type lijm of kit te bepalen worden het substraat, de aanbrengingsrestricties en de gebruikseisen vastgelegd. De verwerkingwijze wordt eveneens bepaald. Dit proces van lijmtypenbepaling is bepaald aan de hand van een document van Vereniging lijmen en kitten (2010)²⁶ en adhesives.org (2014)²⁷.

iii Programma van eisen lijmtypen

Substraat

Het substraat bestaat uit het restmateriaal verkregen uit het shreddingsproces. Er kan voor worden gekozen om het materiaal na het shredden nogmaals te laten granuleren. Bij voorkeur heeft dit materiaal de een afmeting van enkele millimeters (tot 6 millimeter) in diameter en een relatief constante geometrie, wat wordt gezien als granulaat. Bij een constante grootte van het granulaat van 10 millimeter is er sprake van een efficiëntie van het vullen van het plaatmateriaal met EVA van circa 95 procent (zie hoofdstuk 4.B.ii). Dit wordt aangenomen als realistisch aandeel EVA ten opzichte van

Fig. 4.D.3 - Isomat TS EVA geluidsisolatie²⁵

het aandeel lijm. Vijf procent van het plaatmateriaal zal dus bestaan uit een lijm. De geometrie verschilt tussen de stukken en de lijm zal de ruimtes tussen het EVA moeten vullen, zoals te geïllustreerd in figuur 4.D.4. De chemische en fysische eigenschappen van het EVA zijn omschreven in bijlage A.

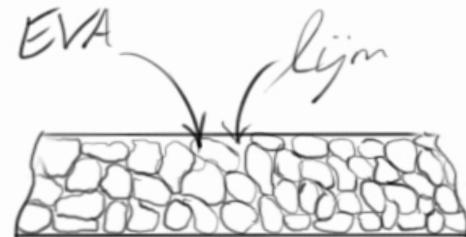


Fig. 4.D.4 - Doorsnede verlijmd EVA

Aanbrengingsrestricties

Het te verlijmen oppervlak moet droog, vrij van stof, olie en andere onzuiverheden zijn. Binnen de toepassing van geluidsisolatie is met name sprake van trek- en afpelkrachten bij aanbrenging. De lijmverbinding mag niet bezwijken onder deze krachten. De kritieke afpelkracht van lijmen ligt lager dan de kritieke trekkracht van de lijm doordat de kracht over een kleiner oppervlak wordt verdeeld (zie figuur 4.D.5).

Het materiaal wordt aangebracht onder vloeren en op muren in verschillende afmetingen en verschillen in geometrie. Om deze reden moet het materiaal te bewerken zijn door de gebruiker. Hiervoor moet het gebruik van een cirkel- of handzaag uitkomst kunnen bieden. Het materiaal moet enigszins elastisch zijn om tijdens het aanbrengen het gebruiksgemak te verhogen. Een elasticiteitsmodulus tussen 100 en 400 MPa is gewenst. Een lage dichtheid van het materiaal heeft de voorkeur bij het aanbrengen van het materiaal. De platen van 1000 x 1000 x 10 mm mogen maximaal 5 Kg wegen, zodat deze gemakkelijk te tillen en verplaatsen zijn. Dit komt

4. UITVOERING C2C

overeen met een dichtheid van 500 Kg/m^3 . Omdat het EVA met een gemiddelde 95 procent van het totale volume in zal nemen, mag de lijm een zeer hoge dichtheid hebben, tot 5.820 Kg/m^3 .

Gebruikseisen

Uit onderzoek van Kim K.-W. et al. (2009) blijkt dat de weerstand tegen contactgeluid toeneemt naarmate de dynamische stijfheid afneemt. Een meerwaarde zal zijn dat de dynamische stijfheid af zal nemen na binding met behulp van een lijm. De dynamische stijfheid van de lijm zal in ieder geval gelijk moeten zijn aan de dynamische stijfheid van concurrenten²⁸, wat voor een dikte van 20 mm gelijk staat aan circa 11 MN/m^3 .

De lijm mag niet brandgevoelig zijn. Bij de toepassing in vloeren en muren van gebouwen mag het materiaal geen vlam kunnen vatten.

Het product mag niet plastisch vervormen tijdens het gebruik. Dit houdt in dat de lijm niet mag bezwijken onder de drukkrachten die overeenkomen bij normaal gebruik.

Om te kunnen concurreren met de concurrentie, moet de prijs van het eindproduct laag liggen. Vijf procent van het eindproduct bestaat uit lijm. Het totale volume van de lijm in het eindproduct is gelijk aan 0,5 liter. Er wordt gesteld dat

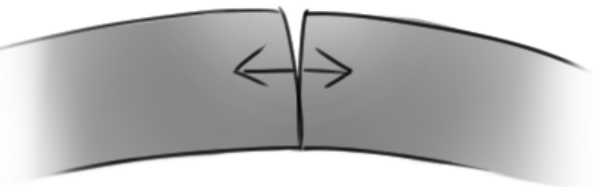


Fig. 4.D.5 - Afpelkracht op plaatmateriaal

de inkoopkosten van de lijm per product niet hoger mogen zijn dan vijf euro, waarmee we uitkomen op een richtprijs van maximaal 10 euro per liter.

Het eindproduct moet een strak en glad oppervlak hebben, zodat andere materialen als tapijt en karpet hierop aangebracht kunnen worden. Dit houdt in dat de visco-elastischeiteit niet te hoog mag zijn, zodat alle delen van het plaatmateriaal gevuld zullen zijn met de lijm. De sterkte van de lijm is over het algemeen afhankelijk van de gebruikstemperatuur (3M, 2010). Het temperatuurstoepassingsbereik moet minstens liggen tussen -20 en 60 graden. Hierdoor faalt het product niet bij het ondergaan van extreme omstandigheden, bijvoorbeeld bij de opslag van het product.

Het hoofddoel van het recycleren van het EVA is het verlagen

van de totale CO_2 -equivalent van de uitstoot van alle gassen. De CO_2 -equivalent van de totale hoeveelheid aan schadelijke gassen die gepaard gaat met de productie van het materiaal moet in zijn geheel lager uitvallen dan de CO_2 -equivalent van de energie winnen uit verbranding van het EVA. Een meerwaarde zal zijn om een Cradle to Cradle certified lijm te vinden.

Samengevat zijn de totale eisen:

1. Het materiaal ethyleen vinylacetaat moet te binden zijn
2. Afpelkracht groter dan $0,5 \text{ N/m}$
3. Trekkracht groter dan 50 MN/m^2
4. Viscositeit lager dan $10^3 \text{ Pa}\cdot\text{s}$
5. Dynamische stijfheid lager dan 11 MN/m^3
6. Waterafstotend
7. Elasticiteitsmodulus tussen 100 en 400 MPa
8. Brandgevoeligheid laag
9. Inkoopprijs lager dan 10 euro per Liter
10. Temperatuurstoepassingsbereik tussen -20 en 60 graden
11. Uithardingstijd minder dan 10 minuten
12. Lage CO_2 -coëfficiënt

Om een keuze te maken voor een type lijm worden alle lijmtypen beoordeeld. Er wordt een aantal lijmen gekozen die zijn gekozen uit alle beschikbare lijmtypen (FME CWM, 2008)²⁹. De lijmen waarmee de betreffende rubbers en elastomeren zijn te verlijmen zijn onder elkaar gezet. De lijmen die niet voldeden aan de eerste eisen, inclusief verantwoording, zijn weergegeven in Bijlage U.

Twee lijmtypen die interessant blijken, zijn contactlijmen en siliconenlijmen. Algemene voor- en nadelen van deze typen worden afgewogen. Specifieke eigenschappen worden naderhand vergeleken met het programma van eisen, aangezien deze per lijmsoort verschillen.

iv Contactlijmen

Contactlijmen zijn gebaseerd op rubbers (meestal polychloropreen) en daarom blijvend elastisch. Deze rubbers worden opgelost in organische oplosmiddelen of water. Anorganische oplosmiddelen mogen niet worden toegepast voor industriële doeleinden wegens vrijkomende broeikasgassen.

Afbindmechanisme

De lijm wordt aangebracht op het EVA. Het oplosmiddel verdampt. De wachttijd voor de verdamping is afhankelijk van de temperatuur en de lijmdikte. Na verdamping van het oplosmiddel wordt er druk uitgeoefend op de lijmverbinding,

waardoor de rubberdeeltjes vernetten.

Eigenschappen

- Sterk elastisch
- Schokbestendig
- Hoge cohesie in de lijmfilm
- Bestand tegen water, zuren en loog
- Temperatuurstoepassingsbereik tussen -40 en 120 graden Celcius.
- Valt in de lagere prijsklassen

Toepassingen

Oplosmiddellijmen worden veelvuldig toegepast in het verlijmen van plaatmateriaal. Daarnaast is het geschikt voor het gebruiken voor het verlijmen van laminaat-, decor- en harde houtvezelplaten, van multiplex, fineerplaten, metalen platen, rubber, leer en textiel (3M, 2010). Er wordt eveneens een contactlijm gebruikt bij de binding van de Realux onderlaag met het EVA.

Nadelen

Contactlijmen hebben een wachttijd van minimaal 10 minuten bij 20 graden. Dit is dus niet de totale uithardingstijd, maar enkel de tijd die de lijm in beslag neemt om het oplossingsmiddel te laten verdampen. Het materiaal wordt vervolgens nog geperst. Na het persen is de lijm direct op sterkte. Mocht er voor worden gekozen om te werken met een organisch oplossingsmiddel, dan is dit middel brandbaar.

v Siliconenlijmen

Siliconenlijmen worden voornamelijk gebruikt als afdichtingskit en voor het lijmen van glas. De lijmen zijn zeer elastisch en zeer sterk.

Afbindmechanisme

De lijm hardt uit bij kamertemperatuur, waarbij vocht uit het materiaal en de lucht aanwezig moeten zijn. Door het proces van polymerisatie van water dat reageert met de silicone ontstaat de lijmverbinding. Het toevoegen van een extra component dat werkt als versneller van uithardingstijd is optioneel. Wordt er gewerkt met een eencomponentenlijm dan is de uithardingstijd zeer hoog, met één tot twee millimeter per dag.

Eigenschappen

- Sterk elastisch
- Hoge afpelsterkte
- Hoge treksterkte
- Groot temperatuurstoepassingsgebruik

- Viscositeit is regelbaar

Toepassingen

Uiteenlopende materialen, zoals rubber, hout, kurk, hardkunststof, leer en flexibele schuimen kunnen onderling worden verlijmd. Ook kunnen deze materialen op ondergronden, zoals hout, beton, steen, metalen en diverse kunststoffen worden verlijmd.

Nadelen

De prestaties van deze lijm liggen erg hoog. Helaas liggen hiermee de kosten ook hoger dan de reguliere lijmen. Daarnaast ligt de uithardingstijd hoog, voornamelijk bij de ééncomponentenvariant.

vi Keuze lijmtipe

Gezien de hoge prijs per liter van de siliconenlijmen, wordt er gekozen voor de toepassing van een contactlijm ter binding van het EVA. Uit de selectie van 3M wordt een keuze gemaakt voor een contactlijm die voldoet aan alle eisen. Het type SW 1300L bindt rubbers. De viscositeit van het type SW 1300L ligt tussen 250 en 1000 Pa*s³¹. De uithardingstijd ligt op 8 minuten³⁰. De kosten van het materiaal komen uit op circa 7,2 euro per Liter³². De invloed van de lijm op de dynamische stijfheid en elasticiteit zullen na het samenstellen van het plaatmateriaal moeten worden vastgesteld. Het temperatuurstoepassingsbereik ligt tussen -20 en +150 graden Celcius³⁰. Hiermee voldoet het type SW 1300L aan de meeste eisen die zijn opgesteld. Enkel de CO₂-coëfficiënt is onbekend.

vii Productieproces

Het materiaal zal onder druk moeten worden gebonden. Hiervoor is het noodzakelijk om een productieproces te starten vergelijkbaar met het productieproces van spaanplaten. Dit is niet behandeld in het onderzoek.

4. UITVOERING C2C

E. BIOLOGISCH AFBREEKBAAR RESTMATERAAL

Het materiaal EVA wordt onttrokken uit de technische cyclus wanneer het is (op)gebruikt als gedowncycled materiaal. Na deze toepassing is het materiaal dus alsnog een afvalmateriaal waar inefficiënt energie uit wordt gewonnen door het te verbranden. Door materiaal te gebruiken dat biologisch afbreekbaar is, wordt het overgezet van de technische cyclus naar de biologische cyclus (zie hoofdstuk 3.A). Doordat het materiaal biologisch afbreekbaar is, is het mogelijk de materialen te verspreiden en door micro-organismen te laten opnemen in de natuur, waardoor er door planten energie uit wordt gewonnen.

Een biologisch afbreekbaar polymeer wordt gedefinieerd door de American Society for Testing and Materials als een polymeer dat afbreekt door toedoen van micro-organismen als bacteriën, schimmels en algen (G. Swift, 1993)³³.

Het verhogen van de biologische afbreekbaarheid kan plaatsvinden op twee manieren. De eerste manier is het uitgangsmateriaal te vervangen door een biologisch afbreekbaar uitgangsmateriaal. Hierdoor is het vrijgekomen restmateriaal eveneens biologisch afbreekbaar. Ten tweede kan de biologische afbreekbaarheid van het EVA worden verhoogd door er een fysisch proces op te laten plaatsvinden.

i Biologisch afbreekbaar restmateriaal

De ontwikkelingen van biologisch afbreekbare materialen staat nog in de kinderschoenen. Er zijn enkele partijen die biologisch afbreekbare materialen ontwikkelen.

Het bedrijf Synbra Technologies heeft een biodegradable en thermoplastisch materiaal ontwikkeld genaamd 'Biofoam'³⁴ dat vergelijkbare mechanische eigenschappen heeft met EPS (expanded polystyrene). Het materiaal is opgebouwd uit aardappelzetmeel. Dit materiaal is niet toe te passen in de productie van steunzolen vanwege de mechanische eigenschappen die niet op alle fronten overeenkomen ten opzicht van het EVA. Het weergeeft wel de komende ontwikkelingen op het gebied van biologisch afbreekbare materialen en de stijgende vraag naar dergelijke materialen.

ii Verhogen biologische afbreekbaarheid EVA

C.G. Mothé en M. Tavares (1997)³⁵ hebben zich gericht op het verhogen van de biologische afbreekbaarheid specifiek van het materiaal EVA dat ontstaat bij de steunzolenproductie. De temperatuur wordt verhoogd tot 340 en 470 graden. Door een polysacharide toe te voegen aan het EVA blijkt uit thermische analyse dat de biologische afbreekbaarheid toeneemt van het materiaal (C.G. Mothé, 1997). De massa van het materiaal neemt versneld af vanaf een temperatuurverhoging

van 340 graden. Het materiaal is voortijdig geshred tot een granulaat. Hiermee is aangetoond dat door het verhogen van de temperatuur en het toevoegen van een polysacharide, het proces van biologische afbreking versneld plaatsvindt. Het is economisch momenteel echter niet haalbaar om dit proces op grote schaal toe te passen. Praktijkgerichte ontwikkelingen zijn om deze reden niet ontwikkeld op dit gebied.

4. UITVOERING C2C

F. VERVANGING DOOR EEN THERMOPLASTISCH MATERIAAL

Het elastomeer EVA is een thermoharder. Dit betekent dat het materiaal niet kan worden omgesmolten om vervolgens om te vormen tot nieuw uitgangsmateriaal. Dus waarom wordt een thermoplast gebruikt voor de productie waarbij zoveel restmateriaal ontstaat? Afgezien van de specifieke eigenschappen van het ethyleen-vinylacetaat hebben thermoharders over het algemeen een aantal eigenschappen ten opzichte van thermoplasten die de toepassing van een thermoharder in dit geval aantrekkelijk maakt. De verschillen tussen thermoharders en thermoplasten worden kort uiteengezet en bedrijven die onderzoek doen op dit gebied worden genoemd.

i Voordelen thermoharders

De verschillen tussen thermoharders ten opzichte van thermoplasten zijn over het algemeen:²³

- Lagere temperatuurgevoeligheid
- Resistent tegen oplosmiddelen
- Hogere oppervlaktehardheid
- Minder elastisch
- Smelt niet
- Brandt pas bij zeer hoge temperaturen
- Brosser en stijver
- Lagere uitzettingscoëfficiënt

Ondanks dat deze eigenschappen gelden voor thermoharders, wordt door veel bedrijven gezocht naar vervangers van thermoharders door thermoplasten. De waarde van een thermoplast boven een thermoharder wordt steeds sneller erkend door bedrijven.

ii Praktijkgericht onderzoek

Poly Terra Innovation is een bedrijf dat zich heeft gespecialiseerd in het ontwikkelen van thermoplastische foams. Ondanks dat het materiaal thermoplastisch is, kunnen alsnog hoge kwaliteitseisen worden bereikt. De Omnipur lijn biedt perspectief in de toepassing van thermoplastische kunststoffen binnen de steunzoolproductie. De Omnipur lijn wordt al toegepast binnen de productie van schoenzolen⁴². PTI is C2C gecertificeerd.

De producten genaamd Omnipur MB 261 en MB 262 zijn materialen van het type foam dat vergelijkbare mechanische eigenschappen heeft in vergelijking met EVA⁴².

DSM Engineering heeft een serie aan thermoplastische materialen ontwikkeld genaamd de Arnitel VT series. Deze materialen zijn zeer geschikt voor outdoor kleding, zolen en mogelijk ook voor steunzolen. Volledige datasheets zijn beschikbaar. DSM is eveneens C2C gecertificeerd.

4. UITVOERING CO₂C

G. WIJZIGEN PRODUCTIEMETHODE

Er gaat zeer veel materiaal verloren met de huidige productiemethode, tot 92 procent van het startmateriaal (zie hoofdstuk 2.F). Er zijn opties overwogen om dit materiaalverlies te reduceren. De hoofdreden van het materiaalverlies ligt echter bij de productiemethode. In het huidige productieproces wordt het uitgangsmateriaal gefreesd. Met deze productiemethode wordt materiaal weggehaald om een hoofdvorm te creëren. Andere productiemethoden bouwen materiaal op, in plaats van het afbreken van materiaal om een hoofdvorm te verkrijgen. Een realistische vervanger van de huidige productiemethode frezen, is het 3D-printen van de steunzolen. Met behulp van een SLS-printer (Selective Laser Sintering) wordt in de nabije toekomst al 15 procent van de totale steunzolenproductie geprint bij PLT Products. De zolen worden geproduceerd van het materiaal PA 650. Er wordt kort behandeld was de ecologische impact van deze productiemethode is en of dit een realistische vervanger is van de huidige productiemethode.

Ecologische impact

Tijdens het 3D-print proces wordt een volume gevuld met het materiaal PA 650 in poedervorm. Het product wordt in lagen opgebouwd. Per laag wordt het materiaal verhit met behulp van lasers, waardoor het poeder een vaste vorm aanneemt. Bij het gebruik van deze methode wordt er gebruik gemaakt van 20 procent van de totale hoeveelheid materiaal. De overige 80 procent kan hergebruikt worden door het opnieuw in te voeren in te voeren in het beschikbare volume. Het materiaal ondervindt kwaliteitsverlies naarmate het vaker wordt hergebruikt. Op deze manier kan het poeder toch vijf tot acht maal hergebruikt worden voor de productie van steunzolen. Hierna heeft het materiaal een dusdanige kwaliteitsverlies geleden waardoor het materiaal niet te hergebruiken is. Dit resulteert in een materiaalverlies van circa 20 procent in het volledige proces van SLS-printen van de steunzolen. In dit geval zou er sprake zijn van een totale massa aan PA 650 van circa 8540 Kg (zie figuur 4.G.1).

Ten opzichte van het huidige productieproces wordt er efficiënter gebruik gemaakt van het beschikbare materiaal. Bij het frezen wordt in het huidige productieproces 9,2 procent van het uitgangsmateriaal daadwerkelijk gebruikt in het product (zie hoofdstuk 2.F). De maatstaf voor de ecologische belasting veroorzaakt door materiaalgebruik is de CO₂-equivalent van het materiaal. De CO₂-equivalent van het PA 650 ligt op maximaal 8,38 kg CO₂ per kg PA geproduceerd materiaal². Deze ligt een stuk hoger dan de CO₂-equivalent van EVA, die op maximaal 2,21 kg CO₂ per kg EVA is vastgesteld (zie bijlage A).

Om vast te stellen of de productie met behulp van 3D printen in totaal minder kg CO₂e-uitstoot oplevert ten opzichte van het freesproces, wordt de hoeveelheid CO₂e-uitstoot bepaald bij gebruik van beide productiemethoden.

Als er wordt uitgegaan van een materiaalverlies van 20 procent, wordt in totaal 8540 Kg PA 650 gebruikt. Met een CO₂ voetafdruk van 8,38 Kg CO₂ per Kg geproduceerd materiaal, kan men concluderen dat er circa 71.550 Kg CO₂e per jaar

vrijkomt (zie figuur 4.G.2). Als dit wordt vergeleken met de totale massa CO₂e dat vrijkomt bij de steunzolenproductie in het huidige productieproces komt dit overeen met maximaal 72.950 CO₂e (zie bijlage F). Er zit dus nauwelijks verschil in totale CO₂e-uitstoot tussen beide productieprocessen.

Telenko, C. en Seepersad, C. (2012)⁴³ hebben in hun onderzoek het totale energiegebruik per product bij de productie van polyamiden met behulp van 3D printing bekeken. Hieruit blijkt dat het 3D printen in kleine oplagen minder energie vergt per stuk dan spuitgieten. Dit geldt in het algemeen voor het 3D printen. In kleine oplagen is het product met weinig energie te produceren, waardoor het geschikt is voor het ontwikkelen van prototypes en producten met een complexe geometrie. In grote oplages is het energiegebruik zeer inefficiënt.

Financiële rendabiliteit

Op het moment is het financieel nog niet rendabel om alle zolen te produceren met behulp van het 3D-print proces. De kosten van een 3D-geprintte zool vallen circa 10 euro hoger uit dan de reguliere gefreesde zolen. De oorzaak van deze hoge kosten ligt voornamelijk in de hoge aanschafprijs van de 3D printer in combinatie met hoge onderhoudskosten. Het 3D printen van steunzolen is tegenwoordig voornamelijk interessant voor de zolen voor specifieke doeleinden en complexe geometrie.

De kosten van het 3D printen zijn de laatste jaren gedaald (IBISworld, 2014)⁴⁴. Dit komt met name door het verlopen van patenten waardoor de aanschafprijs van de 3D-printers significant zal dalen.

$$\begin{aligned} V_{\text{zolen}} &= V_{\text{Zool}} * n_1 * 2 = 0.1043 * 1369 * 2 * 52 = 14.850 \text{ liter per jaar} \\ V_{\text{totaal, PA 650}} &= 14.850 / 0,8 = 18.560 \text{ liter per jaar} \\ m_{\text{totaal, PA}} &= V_{\text{totaal, PA 650}} * \rho_{\text{PA 650}} = 18.560 * 0,460 = 8540 \text{ Kg PA per jaar} \end{aligned}$$

Fig. 4.G.1 - Massa PA650

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ e}_{\text{PA}} &= \text{CO}_2\text{-equivalent}_{\text{PA}} * m_{\text{PA}} = 8,38 * 8540 = 71.550 \text{ Kg CO}_2 \text{ e} \\ \text{CO}_2 \text{ e}_{\text{EVA}} &= \text{CO}_2\text{-equivalent}_{\text{EVA}} * m_{\text{EVA}} = 2,21 * 8540 = 18.883 \text{ Kg CO}_2 \text{ e} \end{aligned}$$

Fig. 4.G.2 - CO₂e-uitstoot productiemethoden

4. UITVOERING C2C

H. REVERSE DISTRIBUTIE

Mocht er sprake zijn van de toepassing van een thermoplastisch restmateriaal, dan is het optioneel om reverse distributiekkanalen op te starten om het product te hergebruiken. Het product kan na de transport van consument naar PLT Products weer worden omgesmolten tot materiaal dat kan worden hergebruikt in de productie van nieuwe producten. Reverse distributie of reverse logistiek is de term die wordt gebruikt om beschadigde, verouderde of niet verkochte producten in te zamelen en terug te brengen naar de leverancier⁴⁵.

Knelpunten

Er komt een aantal knelpunten kijken bij het invoeren van een dergelijk distributiesysteem. De consument moet worden gemotiveerd om deel te willen maken van het productieproces (Zikmund, W., Stanton, W., 1971)⁴⁸.

Het is niet eenvoudig om distributiekkanalen op de zetten. Veel voorbeelden van distributiekkanalen zijn vindbaar in verscheidene separate onderzoeken⁴⁶.

De consument heeft enkel contact met de podotherapeut, en niet met de producent, PLT Products. De producten geproduceerd door PLT Products worden gedistribueerd via de podotherapeuten. Dit maakt het logisch om de knooppunten van de reverse distributiekkanalen eveneens bij de podotherapeuten te leggen (zie figuur 4.H.1). De podotherapeuten kunnen hierdoor het materiaal in grote hoeveelheden inzamelen en in bulk terugsturen naar de producent, PLT Products. Dit maakt het inzamelen van de steunzolen efficiënter en waarschijnlijk meer succesvol dan het

transport bij de klant te leggen.

Het nadeel dat dit met zich meebrengt, is dat er hierbij een extra schakel wordt gebruikt. Het inzamelen van de gebruikte producten omvat een extra handeling voor de podotherapeuten. De podotherapeuten moeten eveneens gemotiveerd worden om deze handeling op zich te nemen, en de verantwoording te nemen over de transport naar de producent.

Voordelen

Het opzetten van dergelijke reverse distributiekkanalen hebben zich in sommige gevallen al bewezen tot financieel rendabele oplossingen die bijdragen aan een positieve impuls aan milieuomstandigheden (Alcoforade, F., 2013)⁴⁷. Behalve financiële en logistieke voordelen, zijn er ook andere voordelen die het implementeren van reverse distributiekkanalen met zich meebrengt. Er zijn voordelen te halen uit het verbeteren van het imago van het bedrijf. Het brengt een positieve vorm van aandacht met zich mee door een dergelijke distributieketen op te zetten. Dit geldt niet alleen voor directe klanten van het bedrijf, maar ook voor de consument (Alcoforade, F., 2013)⁴⁷.

De financiële rendabiliteit is afhankelijk van de inkoop prijs van het materiaal, de kosten van het recycleren van het gebruikte producten en uiteraard de kosten van het transport van consument naar leverancier. Deze onderwerpen zijn te groot om uit te werken in dit verslag.

Wanneer het ontwerpproces geanalyseerd wordt aan de hand van figuur 1 zien we dat de uitvoering van het C2C ontwerpprocedure hiermee is volbracht. In het volgende hoofdstuk worden de resultaten van het C2C ontwerpprocedure behandeld.

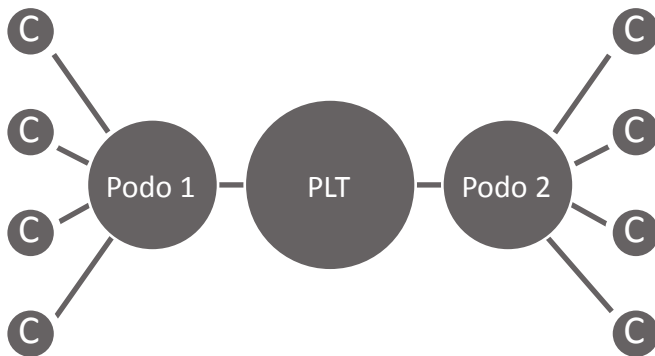


Fig. 4.H.1 - Schematische weergave distributiekkanalen

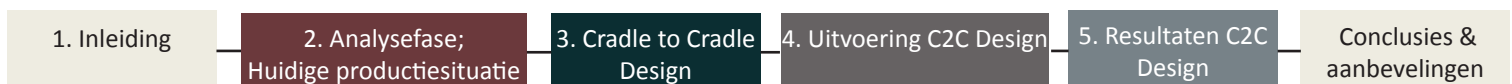


Fig. 1 - Schematische weergave opbouw verslag

5. RESULTATEN C2C DESIGN

Per hoofdstuk wordt uiteengezet wat bereikt kan worden als het onderdeel wordt toegepast in de verwachte situatie. Elk hoofdstuk wordt afzonderlijk geëvalueerd. Resultaten met betrekking tot behaalde resultaten, de verwachte financiële gevolgen van het implementeren van het onderdeel en de verwachte reductie in de impact op het milieu worden weergegeven. Uit de delen 4.E tot en met 4.H zijn geen directe resultaten verkregen.

A. VERHOGING EFFICIËNTIE MATMATERIAALGEBRUIK *Behaalde resultaten; Eindconcept*

Met de implementatie van drie typen mallen voor de modellen P1, P2 en P3 wordt de vrijheid in het materiaalgebruik verhoogd. Het resultaat van het doorlopen ontwerpproces is gepresenteerd in hoofdstuk 4.A.x. Uit evaluatie is gebleken dat het mogelijk kan zijn om met dezelfde nauwkeurigheid te frezen op de herontworpen mallen als op de huidige mallen.

Financieel

Het verhogen van de vrijheid in het materiaalgebruik kan in de meest ideale situatie het materiaalgebruik flink verminderen. Zoals uit de analyses van hoofdstuk 4.A en bijlage I is gebleken, kan de reductie in materiaalgebruik met 41 procent worden gereduceerd. De afvalproductie wordt hiermee gereduceerd met 42 procent. Hierbij ontstaat in totaal circa 4.200 Liter restafval wanneer wordt gestapeld met een vulgraad van 41,5 procent (zie bijlage I). De kosten op afvalreductie worden hiermee gedrukt door niet te hoeven uitbreiden met een extra afvalcontainer van 3.000 Liter. De reductie in afvalkosten staat hiermee gelijk aan 38 procent. De geprojecteerde materiaalkosten in aanschaf kan worden gereduceerd met 27 procent. Echter komen er meer kosten kijken bij de implementatie van dit concept. Er zal intensiever moeten worden gedifferentieerd op inkoop. Hierbij komen extra manuren, en dus extra kosten kijken. Doordat er meerdere verschillen zijn in maten zal dit ook een invloed hebben op de manier waarop het materiaal wordt opgeslagen. De producten zullen meer ruimte innemen. Dit zal eveneens een invloed hebben op de bijkomende kosten.

Impact milieu

Het materiaalgebruik wordt gereduceerd met 41 procent. Dit houdt in dat de CO₂e-uitstoot door materiaalgebruik eveneens verminderd wordt met 41 procent ten opzichte van de huidige productiewijze.

B. VOLUME VERKLEINEN RESTMATERIAAL *Behaalde resultaten; Shredderkeuze*

Het opgestelde programma van eisen biedt houvast in de keuze van de aanschaf van een type shredder. De shredder type A27 van Kusters Recycling Solutions scoort het best op het programma van eisen. Met de toepassing van deze shredder wordt het restmateriaal gereduceerd tot circa 20 millimeter in maximale afmetingen. Met dergelijke afmetingen is de vulgraad gelijk aan circa 92 procent (zie bijlage J). Zonder het restmateriaal te shredden staat de vulgraad gelijk aan 41,5 procent (zie bijlage H). Het totale volume aan restmateriaal wordt hierdoor gereduceerd met 55 procent gereduceerd.

Financieel

De netto break-even van deze shredder ligt tussen 3 en 3,5 jaar als de aanvankelijke verwachting van de toekomstige productiesituatie aanhoudt. Hierbij wordt dus enkel geproduceerd op model T en het totaal aan geproduceerde paren gelijk staat aan 71.200 paar. Wordt geproduceerd volgens de productiewijze als aanbevolen in hoofdstuk 4.A, dan ligt de break-even tussen 4,5 en 5 jaar (zie bijlage XX).

Impact milieu

De impact op het milieu wordt niet verlaagd met de aanschaf van de shredder. Alhoewel er enigszins minder CO₂-uitstoot vrijkomt door transport, wordt veel energie en materiaal geïnvesteerd in de fabricage en transport van de shredder.

C. SCHEIDEN RESTMATERIALEN

Behaalde resultaten; Scheidingsmethode

Er is een scheidingsmethode opgesteld gebaseerd op het temperatuuro toepassingsbereik van de lijm. Door de lijm te verwarmen is het mogelijk de lijmverbindingen te ontdoen van hun bindingskracht. Het verwarmen van de onderlaag van het restmateriaal zal circa 16 seconden duren voordat de lijmlaag loslaat.

Financieel

Het scheiden van de materialen is een stap wat niet rechtstreeks geld oplevert, maar noodzakelijk is voor het hergebruik van het eindproduct. De winst zal zich uiten in een prijs per kilogram

dat wordt geleverd door het gerecyclede restproduct. De energiekosten liggen hoogstwaarschijnlijk op minder dan 1000 euro per jaar. Er gaan te veel handelingen zitten in het handmatig scheiden van het restmateriaal. Hiervoor zal een geautomatiseerd proces voor ontwikkeld moeten worden. Hiervoor is verder onderzoek nodig en gaan hoge investeringskosten mee gepaard.

Impact milieu

Het kost energie om de temperatuur van de lijmverbinding te verhogen. Er zijn materialen nodig voor de productie van een nieuw te ontwikkelen scheidingsmethode. Om deze redenen zal de implementatie van deze stap enkel meer CO₂e-uitstoot leveren dan het direct oplevert. Echter komt door deze toepassing 50 procent van het restmateriaal wel in aanmerking voor recycling. Hier wordt de meerwaarde van dit onderdeel in gevonden.

D.RECYLING EVA

Behaalde resultaten; Bindingsmethode

Een bindingsmethode is gekozen waarmee het restmateriaal gebonden zou kunnen worden. Een productieproces vergelijkbaar met spaanplaatproductie zal toegepast moeten worden om plaatmateriaal van het EVA te vervaardigen. Het plaatmateriaal kan toegepast worden in verschillende toepassingen, waaronder geluidsisolatie.

Financieel

Het plaatmateriaal kan tot 100 euro per vierkante meter opleveren. De kosten zijn afhankelijk van veel factoren die niet zijn bepaald, waaronder de kosten van de ontwikkeling en productie van spaanplaatproductiemechanisme, kosten die vergezeld gaan met de verkoop, opslag, enzovoort. Hierdoor kan geen inschatting gemaakt worden van de financiële rendabiliteit van dit onderdeel.

Impact milieu

Het hergebruiken van het restmateriaal voorkomt dat het materiaal wordt onttrokken uit de technische cyclus. De energie

en de CO₂e-uitstoot die gemoeid gaat met de productie van het materiaal gaat hierdoor niet verloren. Het verwerken van het restmateriaal brengt echter een grote hoeveelheid energie en materiaal met zich mee, waar rekening mee gehouden dient te worden. Ook dit is van vele variabelen afhankelijk, en is niet uitgewerkt in dit onderzoek.

6. UITLEIDING

A. CONCLUSIES & AANBEVELINGEN

Uit de resultaten kunnen conclusies en aanbevelingen worden getrokken. Per hoofdstuk worden de getrokken conclusies en aanbevelingen weergegeven. Conclusies worden getrokken aan de hand van de opgestelde hoofddoelen.

Er zijn vijf doelen opgesteld aan het begin van het ontwerptraject (zie hoofdstuk 1.4). De doelen zijn als volgt omschreven:

1. Afname materiaalkosten
2. Afname afvoerkosten
3. Afname volume restmateriaal
4. CO₂e-uitstoot reduceren tot een minimum
5. Onderzoek naar mogelijkheden om het productieproces duurzamer te laten plaatsvinden

A. VERHOOGING EFFICIËNTIE MATERIAALGEBRUIK

Conclusies

Met het toepassen van deel A wordt een positieve bijdrage geleverd aan de hoofddoelen 1, 2, 3 en 4. In de meest ideale situatie kunnen de materiaalkosten worden gereduceerd met 27 procent. Het volume van het restmateriaal kan worden gereduceerd met 42 procent. De kosten van het afvoeren van het restmateriaal kunnen hiermee worden gedrukt met 37,5 procent, aangezien hiermee een uitbreiding van 5.000 liter naar 8.000 liter wordt voorkomen. De CO₂e-uitstoot ontstaat door materiaalgebruik wordt gereduceerd met 41 procent, aangezien 41 procent minder materiaal wordt gebruikt.

Aanbevelingen

De belangrijkste aanbeveling is het aanpassen van de inkoop van de modellen op de maten van de te produceren voetsoorten. Hiermee worden bovenstaande doelen gerealiseerd.

De evaluatie zou het best tot zijn recht komen door te evalueren op 15 paar steunzolen, waarbij met meer nauwkeurige meetapparatuur de afwijking van het oppervlak wordt bepaald. Dit is echter niet gelukt, door gebrek aan tijd en materieel. Daarnaast is er wegens beschikbare middelen en tijd enkel een functioneel prototype geproduceerd van het materiaal PA650. Het is onduidelijk wat het resultaat is wanneer andere materialen gebruikt worden. Om deze reden kunnen geen duidelijke conclusies getrokken worden uit deze evaluatie. Er is wel aangetoond (met n=2) dat het mogelijk is om te frezen op het herontwerp van de mal, waarbij de nauwkeurigheid van het freesproces niet wordt beïnvloed.

Zo lang de leverancier enkel modellen aanlevert die verschillen in omtrek van de geometrie, zal het niet mogelijk zijn om alle modellen te produceren op één frame. Er wordt aanbevolen om drie typen mallen te produceren volgens het voorstel gedaan in hoofdstuk 4.A.x. Dit maakt het mogelijk om op een beperkt aantal mallen, alle modellen P te produceren.

B. VOLUME VERKLEINEN RESTMATERIAAL

Conclusies

Met het toepassen van deel B wordt een positieve bijdrage geleverd aan hoofddoelen 2 en 3. Bij het aanschaffen van het type A27 shredder wordt het volume van het restmateriaal met 55 procent gereduceerd. Wordt deel A niet toegepast, dan ligt de besparing op afvoerkosten van 8.000 liter naar 5.000 liter op 37,5 procent. Tussen 3 en 3,5 jaar zal het punt van break-even zijn bereikt. Wordt deel A wel toegepast, dan zal de besparing op afvoerkosten van 5.000 liter naar 3.000 liter gelijk staan aan 40 procent. De break-even van de shredder ligt later in het tijddomein, aangezien er in plaats van 4.940 euro, 3.328 euro op afvoerkosten wordt bespaard. In deze productiesituatie zal het punt van break-even tussen 4,5 en 5 jaar zijn bereikt.

Aanbevelingen

Er wordt aanbevolen om de shredder type A27 aan te schaffen bij Kusters Recycling Solutions.

C. SCHEIDEN RESTMATERIALEN

Conclusies

Het materiaal zou gescheiden kunnen worden door verhitting van de lijmlaag tussen de Realux onderlaag en het EVA. Het scheiden van de materialen is een stap wat niet rechtstreeks hoofddoelen vervuld, maar noodzakelijk is voor het hergebruik van het eindproduct. Hiermee zal indirect een positieve bijdrage geleverd worden aan het vierde hoofddoel.

Aanbevelingen

Wil PLT Products het materiaal gaan recycleren, dan wordt aanbevolen een scheidingsmethode te ontwikkelen gebaseerd op het verhitten van de lijmlaag tussen de Realux onderlaag en het EVA.

D. RECYLING EVA

Conclusies

Een bindingsmethode is gekozen waarmee het restmateriaal gebonden zou kunnen worden. Een productieproces vergelijkbaar met spaanplaatproductie zal toegepast moeten worden om plaatmateriaal van het EVA te vervaardigen. Hiermee kan het materiaal worden hergebruikt, wat bijdraagt aan het invullen van hoofddoel 4.

Aanbevelingen

Kiest PLT Products ervoor om het materiaal te recycleren, dan wordt aanbevolen om het materiaal te binden met behulp van een lijm. Een opzet naar de keuze van de lijmtipe is gemaakt, waarbij een contactlijm het beste scoort op het opgestelde programma van eisen. Een expert op het gebied van lijmen en kitten zal verder onderzoek moeten verrichten naar de lijmtipe en de productiewijze. Hiermee gaan hoge ontwikkelings- en productiekosten gepaard.

Hoofdstukken E, F, G en H zijn onderdeel van het vervullen van hoofddoel 5.

E. BIOLOGISCH AFBREEKBAAR RESTMATERIAAL

Conclusies

Het toepassen van een biologisch afbreekbaar materiaal houdt in dat er geen afval ontstaat bij de productie van steunzolen. Onderzoek is nog niet ver genoeg ontwikkeld om toe te passen in de praktijk.

Aanbevelingen

Houd ontwikkelingen in de gaten op het gebied van biologisch afbreekbaar restmateriaal.

F. VERVANGING DOOR EEN THERMOPLASTISCH MATERIAAL

Conclusies

Het toepassen van een thermoplastisch materiaal houdt in dat het materiaal continu gerecycled kan worden in de technische cyclus. De materialen Omnipur MB 261 en MB 262 zijn veelbelovende materialen om toe te passen in het huidige productieproces.

Aanbevelingen

Onderzoek is benodigd om te bepalen of de genoemde thermoplastische materialen toegepast kunnen worden in het productieproces van de steunzolen.

G. WIJZIGEN PRODUCTIEMETHODE

Conclusies

De totale CO₂e-uitstoot afkomstig van het materiaalgebruik ligt met de productietechniek 3D printing ongeveer even hoog als bij de productie van steunzolen. Dit is toe te schrijven aan de hoge CO₂-equivalent van het materiaal PA650 ten opzicht van de CO₂-equivalent van het materiaal EVA. Het energiegebruik voor enkelstuks ligt relatief laag bij 3D printing. Het energiegebruik voor grotere oplagen ligt echter zeer hoog bij deze productiemethode. De prijs voor enkelstuks steunzolen ligt naar schatting 10 euro hoger dan wanneer gebruik wordt

gemaakt van de productiemethode frezen.

Aanbevelingen

Aangezien het materiaal PA650 niet direct te recycleren is en de prijs per stuk hoger uitvalt, wordt niet aanbevolen te produceren met behulp van de productiemethode 3D printing. Het 3D-printen van steunzolen wordt pas interessant wanneer het gebruikte materiaal te recycleren is.

H. REVERSE DISTRIBUTIE

Conclusies

Wanneer het materiaal te recycleren is, kan het vanuit financieel en ecologisch perspectief interessant zijn om reverse distributieketens op te starten.

Aanbevelingen

Verder onderzoek is nodig om te bepalen of het opzetten van reverse distributieketens financieel rendabel is en of het een positieve impuls geeft aan de duurzaamheid van het productieproces.

SAMENVATTENDE CONCLUSIE

Door het probleem aan te pakken vanuit het Cradle to Cradle ontwerpprincipes zijn veel opties ontstaan die bijdragen aan het invullen van de opdracht. Hiermee is het aanpakken van de oorzaak van het probleem behandeld, in plaats van het gevolg.

Op relatief korte termijn zouden de handelingen aangedragen in de eerste twee hoofdstukken doorgevoerd kunnen worden. Door efficiënter gebruik te maken van het materiaal, en het verkleinen van het volume van het restmateriaal, wordt een positieve bijdrage geleverd aan het behalen van de eerste vier hoofddoelen. De realisatie van het doorvoeren van de overige hoofdstukken ligt verder weg. Veel additioneel onderzoek is benodigd om deze onderdelen door te voeren.

6. UITLEIDING

B. NAWOORD

Wanneer de algehele opdracht wordt geëvalueerd, kan gezegd worden dat het een langlopend proces is geweest. Bij dit proces zijn veel verschillende aspecten van het ontwerpen betrokken geweest. De initiële opdracht was geen uitgebreide opdracht, maar zou heel specifiek ingevuld kunnen worden. Er is voor gekozen om dit niet te doen, en verder te kijken dan enkel het toepassen van een shredder. Door de opdracht vanuit een ecologische en toch economisch voordelige blik te bekijken, is een invulling van de opdracht ontstaan waarbij een breed beeld is verkregen van het daadwerkelijke probleem. Hierbij is de diepte ingegaan op de afzonderlijke onderwerpen. Door ook de diepte in te duiken is tot op bepaalde hoogte aangetoond dat de voorgestelde onderwerpen in de praktijk zouden kunnen werken.

Omdat het volledige ontwerpproces veel verschillende onderwerpen betrof, moet in veel gevallen geconcludeerd worden dat verder onderzoek benodigd is om een gedegen conclusie te kunnen trekken met betrekking tot de betreffende onderwerpen. Dit heeft hoofdzakelijk als reden dat het gewoonweg een heel uitgebreid onderzoek betrof. De zoektocht naar een eenduidige aanpak heeft tijd gekost, en veel tijd is verloren gegaan aan het tot in detail uitwerken van de eisen en wensen van de shredder.

Het uitvoeren van de bacheloropdracht bij PLT Products was zeer leerzaam. Tijdens deze bacheloropdracht heb ik geleerd hoe een ontwerpproces eraan toegaat in de praktijk. Er is veel contact geweest met externe partijen over het opstellen van de offertes en het bepalen van de specificaties. Het contact leggen en met leveranciers, producenten en medewerkers was een leerzame ervaring. Het is ervaren als een goed doorlopen leerproces. Het tijdelijk onderdeel worden van een bedrijf was erg interessant. PLT Products heeft een goed beeld gegeven van de dagelijkse gang van zaken in een bedrijf waarin veel ontwikkelingen plaatsvinden.

6. UITLEIDING

C. REFERENTIES

1. MKB Innovatie top 100, (2014). PLT Products, 79e plaats MKB Innovatie Top 100 2014. Verkregen op 27/11/2014 van <http://www.mkbinnovatietop100.nl/site/PLT-Products-FITS-slippers-en-sandalen-op-maat-en-aangepast-aan-de-voet>.
2. Granta Design, Cambridge (2013). CES Copyright ©, verkregen op 29/11/2014.
3. Puzo (2014), Lagen-uitvoeringen. Verkregen op 29/11/2014 van http://www.puzo.nl/puzo/nl/paginas/pr_productdetails.php?toe=4&cat=12&ID=115.
4. <http://oomens-lederhandel.nl/index.php?item=realux-basis-zoolrubber&action=article&aid=8861&lang=NL>
5. MDDC, LLC (2012). Overview of the Cradle to Cradle CertifiedCM Product Standard. Verkregen op 27/11/14
6. ecoScala (2015). Cradle to Cradle. Verkregen op 01/12/2014 van <http://www.ecoscala.eu/cradle-to-cradle/>
7. Granta Design, Cambridge, UK (2013), Material production: energy and emissions. Verkregen op 11/11/2014.
8. VSN Cursus Tribologie. Samenstelling en vervaardiging van basisoliën. Verkregen op 24/11/14 van http://ct.tribolex.nl/handouts/04_niv2.pdf
9. Granta Design, Cambridge (2013). CES Copyright ©, verkregen op 7/12/2014.
10. Recycling.nl. Ladder van Lansink - De Afvalhiërarchie. Verkregen op 20/12/14 van <http://www.recycling.nl/ladder-van-lansink-2-0.html>
11. Plasticrecyclingmachine (2013). Double shaft shredder blades. Verkregen op 6/11/2014 van <http://www.plasticrecyclingmachine.net/wp-content/uploads/2013/05/double-shaft-shredder-blades.jpg>
12. Europe Recycling. Single shaft shredder. Verkregen op 6/11/2014 van http://www.europe-rec.com/sites/default/files/inline_images/Single%20Shaft%20Shredder.pdf
13. Verkregen uit gesprekken Europe-Recycling op 10/11/2014
14. Verkregen uit interview De Jong Recycling solutions op 8/11/2014
15. Rapid. Granulators. Verkregen op 2/03/2015 van http://www.rapidgranulator.com/company/research_technology/
16. Gummersheimer, H (2002). Material safety datasheet; Spezialklebstoff WF/35
17. Milieucentraal (2014/2015). Energieprijzen. Verkregen op 27/01/2015 van <http://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/snel-besparen/grip-op-je-energierekening/energieprijzen/>
18. Coberec plastics. Het tweede leven van kunststoffen. Verkregen op 30-01-2015 van http://www.coberec.be/2plastics_ned.html#2
19. Adhesives.org (2014). Adhesive selection. Verkregen op 4-02-2015 van <http://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesive-selection>
20. Weight loss with Yoga (2013). EVA Yoga block. Verkregen op 04/02/2015 van <http://weightlosswithnewyoga.blogspot.nl/2013/03/gogo-wholesale-foam-yoga-blocks.html>
21. It Fits (2010). Val en valletsel preventie. Verkregen op 17/03/2015 van <http://www.it-fits.nl/producten/valletsel-preventie/valmat-valletsel/artikelen/1429>
22. De grote speelgoedwinkel (2015). EVA puzzel foam. Verkregen op 17/03/2015 van <https://www.degrotespeelgoedwinkel.nl/baby-en-peuter/activity/eva-puzzel-foam-10-stuks/>
23. Technotheek (2012). Recycling van thermoharders. Verkregen op 18/03/2015 van http://technotheek.utwente.nl/wiki/Recycling_van_thermoharders
24. Treehugger (2008). Art and Accessories with Recovered EVA Foam. Verkregen op 16/03/2015 van <http://www.treehugger.com/sustainable-product-design/art-and-accessories-with-recovered-eva-foam-by-carla-tennenbaum.html>

25. Merford (2015). Geluidsisolatie voor muren en wanden - EVA copolymeer. Verkregen op 18/03/2015 van http://shop.merford.com/bouwakoestiek-materialen/geluidsisolatie-muren-wanden/l/eva_copolymeer/
26. Vereniging lijmen en kitten (2010). Lijmsoorten, hun toepassingsgebieden en hun veiligheids- en milieuaspecten voor de consument
27. Adhesives.org (2014). Adhesive selection. Verkregen op 4-02-2015 van <http://www.adhesives.org/adhesives-sealants/adhesive-selection>
28. Sonefloor (2012). Contactgeluidisolatiemet verend opgelegde dekvloeren. Productblad Sonefloor
29. Vereniging FME-CWM (2008). Lijmen algemeen. Algemene inleiding in de kenmerken van de lijmtechniek en in de kenmerken van lijmsystemen.
30. 3M Nederland (2010). Lijmen is de toekomst.
31. 3M (2015). Neoprene high performance rubber & Gasket adhesives
32. 3M (2012). 3M™ Scotch-Weld™ Rubber Adhesive 1300L. Verkregen op 1/04/2015 van http://catalogue.3m.eu/en_EU/EU-Industrial/3M_Adhesives/Solvent-Based_Contact_Adhesives/Scotch-Weld%E2%84%A2~Rubber_Adhesive~1300L/Rubber_Adhesive
33. Synbra Technology (2009). Biofoam, a new biodegradable EPS. Verkregen op 04/02/2015 van http://www.synbra.com/en/38/4/55/nieuws/biofoam174_a_new_biodegradable_eps.aspx
34. Duurzameverpakkingen.info (2010). Biologisch afbreekbaar Bio Foam wint MKB Innovatieprijs. Verkregen op 04/02/2015 van <http://www.duurzameverpakkingen.info/217/wegwerpservices/biologisch-afbreekbaar-bio-foam-wint-mkb-innovatieprijs.html>
35. Cheila G. MothC & Maria In, B. Tavaresb (1997). Study of recycling and biodegradability of ethylene- co-vinyl acetate reject by thermal analysis.
36. Algeo, A. Medium density EVA. Material Safety Data Sheet. Verkregen op 1/05/2014 van <http://www.algeos.com/coshhindex.html>
37. Milieucentraal (2014/2015). Energieprijzen. Verkregen op 27/01/2015 van <http://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/snel-besparen/grip-op-je-energierekening/energieprijzen/>
38. Broshuis, R. (2010). EVA-Foam – Kwalitatieve basisinformatie. Verkregen op 25/11/2014
39. Paroc Group (2015). Geluidsisolatie. Verkregen op 12/02/2015 van <http://www.paroc.nl/Over-steenwol/Geluid/Geluidsisolatie>
40. B. F. Tutikiana et al. (2012). Impact Sound Insulation of Lightweight Concrete Floor with EVA Waste.
41. Kim K.-W. et al. (2009). Correlation between dynamic stiffness of resilient materials and heavyweight impact sound reduction level
42. PolyTerra (2015). Schuhssole. Verkregen op 07/01/2015 van <http://www.polyterra.com/products/omnipur>
43. Telenko, C., Seepersad, C (2012). A comparison of the energy efficiency of selective laser sintering and injection molding of nylon parts
44. Crompton, J. (2014). IBISWorld Industry Report OD4428 3D Printer Manufacturing in the US
45. BusinessDictionary.com. Reverse distribution. Verkregen op 28-04-2015 van <http://www.businessdictionary.com/definition/reverse-distribution.html>
46. Alcoforado, F. (2014). A reverse logistics and preservation of the environment
47. Kopici, R. et al. (1993). Reuse and recycling - reverse logistics opportunities
48. Zikmund, W., Stanton, W., 1971. Recycling solid wastes: A channels-of-distribution problem