

KIM

Kunststoffen in de machinebouw

Lectoraat Kunststoftechnologie



April 2016

LKT-COMH-105074-1603

COLOFON

Titel : Green PAC: Kunststoffen in de Machinebouw

Publicatienummer: LKT-COMH-105074-1603

Datum : April 2016

Auteurs: Freek Noordhuis MSc BSc, Jasper Bouwmeester MSc MBA, Pieter Schreuder B. Eng.

Subsidieverstrekker: Green PAC

Met medewerking van:

AWL

Moba

TME

Van Halteren (voorheen Novek)

Veenhuis

Verbruggen

VMI

Fotografie: Windesheim Zwolle

Dit is een uitgave van Christelijke Hogeschool Windesheim.

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voorwoord

Dit rapport geeft de inhoudelijke eindrapportage van de uitgevoerde werkzaamheden binnen het Green PAC project Kunststoffen in de Machinebouw. Binnen Green PAC wordt toegepast onderzoek gedaan, kennis ontwikkeld en worden (versnelde) innovaties gerealiseerd door een unieke samenwerking tussen hogescholen, universiteiten en bedrijven in de kunststofindustrie.

Door gebruik te maken van de verschillende faciliteiten die Green PAC biedt, wordt het bedrijfsleven in staat gesteld om tegen gunstige voorwaarden innovatieve projecten te ontwikkelen en uit te voeren. Daarnaast richt Green PAC zich op het onderwijs in Noordost-Nederland om de innovatiekracht rond kunststoftechnologie te versterken. Green PAC is een initiatief van Stenden Hogeschool en Hogeschool Windesheim.

Met de omschrijving Kunststoffen in de Machinebouw wordt nagestreefd om de mogelijkheden van kunststoffen in de machinebouw onder de aandacht te brengen. Kunststoffen hebben andere eigenschappen dan metalen. Door kunststoffen op een slimme manier in te zetten kunnen ze voor bepaalde toepassingen voordelen opleveren in de machinebouw.

Het huidige onderzoek is uitgevoerd onder leiding van de onderzoekers van het Lectoraat Kunststof Technologie (LKT) van de hogeschool Windesheim. Hierbij waren ook studenten en het bedrijfsbureau van de technische studies betrokken. De deelnemende bedrijven in het project waren AWL, MOBA, Novek (nu van Halteren special products), TME, Veenhuis, Verbruggen en VMI.

De resultaten van het project zullen in de belangstelling worden gebracht door middel van presentaties en publicaties, waarvan een aantal in het overzicht van referenties van deze rapportage gemeld wordt.

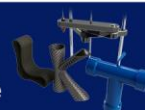
De projectdeelnemers zien terug op een leerzaam, inspirerend en succesvol project waar een vervolg aangegeven is in het project Kunststoffen in de Machinebouw II. Wij wensen u veel leesplezier toe.

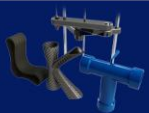
Namens het projectteam,

Freek Noordhuis MSc

Projectleider

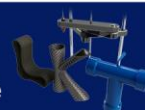
Zwolle, 6 juni 2016





Inhoud

1. Inleiding	4
1.1 Green PAC project: Kunststoffen in de Machinebouw	4
1.2 Onderzoeksvraag	4
1.3 Deelnemende projectpartners	5
2. De markt van Kunststoffen in de Machinebouw	6
2.1 Typen kunststof	6
2.2 Vezelversterkte kunststoffen (VVK)	8
2.3 Toepassingen in de machinebouw	9
3. De cases	12
3.1 AWL- Techniek	12
3.2 Veenhuis	20
3.3 Verbruggen	28
3.4 VMI	38
3.5 TME	48
3.6 MOBA	54
Probleemstelling	55
4. Conclusies en aanbevelingen	73
5. Projectpartners	75
6. Lectoraat Kunststoftechnologie	77



1. Inleiding

MOBA

VMI GROUP

AW
TECHNIEK

NOVEK

VERBRUGGEN
palletizing solutions

TME

veenHUIS

Bedrijfstak:

Onderzoek naar
kunststoffen en composiet

Werknemers:

14 FTE verdeeld over 21
personen

Locatie:

Zwolle

Figuur 1 Projectpartners binnen dit project

1.1 GREEN PAC PROJECT: KUNSTSTOFFEN IN DE MACHINEBOUW

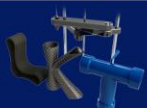
Eind 2013 heeft een groep 3e jaars werktuigbouwkunde studenten een haalbaarheids-onderzoek uitgevoerd voor mogelijkheden om kunststoffen toe te passen voor een machinebouwer in Rijssen. Uit deze resultaten bleek dat het toepassen van kunststoffen voor bepaalde onderdelen voordelen kan bieden. Daarnaast kwam uit het onderzoek naar voren dat het toepassen van kunststoffen in de machinebouw niet gebruikelijk is, zeker niet wanneer het (deels) structurele delen betreft. Het bleek dat bij veel machinebouwers de mogelijkheden en potentiële voordelen van kunststoffen niet bekend zijn.

Vanuit deze vraag is in juli 2014 het project Kunststoffen in de Machinebouw gestart met 7 projectpartners en het lectoraat kunststoftechnologie. Dit project is gefinancierd door Green PAC en aan dit onderzoek hebben 7 bedrijven, 4 docenten, 2 junior onderzoekers en 20 studenten een kleine 2 jaar gewerkt.

1.2 ONDERZOEKSVRAAG

Er zijn twee trends die pleiten voor het gebruik van kunststoffen in de machinebouw: De eerste is gewichtsbesparing wat van belang is in veel machines. Bij bewegende delen speelt gewicht een rol in de snelheid en/of de energiebehoefte. Hier kunnen kunststoffen ten opzichte van bijvoorbeeld staal een duidelijk voordeel bieden.

De tweede trend is dat op dit moment steeds meer modulair wordt ontworpen en gebouwd (configure to order) waardoor seriegroottes beginnen te ontstaan die interessant worden voor seriematig geproduceerde kunststoffen. Bij een dergelijk herontwerp van stalen delen naar kunststof en is kennis nodig van de materialen, hun sterktes en matrijsontwerp waar het raakvlak met het lectoraat Kunststoftechnologie dan ook ligt.



Uit deze twee trends is de volgende onderzoeksvraag geformuleerd:

“Wat zijn de mogelijkheden van kunststoffen in machinebouw en is het door slim gebruik van deze materialen mogelijk om modulair en lichtgewicht te construeren?”

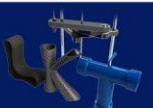
Aan de hand van 6 cases is geprobeerd om een antwoord te vinden op deze onderzoeksvraag. Deze deelonderzoeken hebben plaatsgevonden bij verschillende bedrijven in verschillende marktsegmenten. In sommige gevallen gaat het om machines die aan uitgebreide (militaire) specificaties moeten voldoen terwijl in een ander geval naar zware landbouw machinerie is gekeken. In één van de cases is gekeken naar het verhogen van de machine snelheid en in een andere is de levensduur van de gebruikte kunststoffen bekeken. Al met al is aan de hand van deze 6 cases een goed beeld ontstaan van de mogelijkheden (en onmogelijkheden) van kunststoffen in de machinebouw.

1.3 DEELNEMENDE PROJECTPARTNERS

De zeven projectpartners waarmee dit onderzoek werd opgezet zijn:

- MOBA
- VMI
- AWL
- Veenhuis
- NOVEK (nu Van Halteren Special Products)
- Verbruggen
- TME

De case die wij voor de projectpartner NOVEK hebben uitgevoerd bestond uit het onderzoeken van de mogelijkheden van Phase Changing Materials (PCM) voor toepassingen binnen NOVEK. Deze case is uitgevoerd en afgerond maar bleek minder goed binnen het thema Kunststoffen in de Machinebouw te passen en is daarom niet opgenomen in dit boekje. Mocht hiervoor belangstelling zijn dan is deze case op te vragen bij het lectoraat.



2. De markt van Kunststoffen in de Machinebouw

In de machinebouw is van oudsher staal hét constructiemateriaal. Reden hiervoor is dat er veel unieke producten worden gevraagd en dat door lassen stalen constructies klantspecifiek kunnen worden gemaakt. Het vakblad "De Constructeur" heeft in februari 2014 speciaal een artikel gewijd aan dit onderwerp met als titel "*Meer mogelijk met kunststof*" en als ondertitel "*Productontwerpers hebben meer keuzemogelijkheden dan ooit. Het hoeft niet langer metaal te zijn: kunststoffen vormen voor alsmaar meer toepassingen een goed en vaak beter alternatief*". Het vakblad "Kunststof en Rubber" heeft rond dezelfde tijd, maart 2014, ook een artikel gewijd aan dit onderwerp: "*Vraag naar kunststofkennis nog altijd groot doordat kunststoffen in de reguliere constructeursopleidingen onderbelicht worden*". In maart 2014 toonden ESEF exposanten op deze grootste sub-contracting beurs van de Benelux tal van producten waar het materiaalgebruik het innovatieve karakter bepaalden. Ook hier was kunststoffen het hoofdonderwerp. De kunststoffenbeurs van de Benelux in Veldhoven had in 2014 ook het thema; "*Van metaal naar kunststoffen*". Hieruit viel op te maken dat het onderwerp **Kunststoffen in de Machinebouw** bij verschillende partijen de aandacht had en wij daar goed op inspeelden.

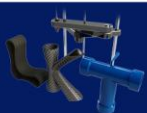
Kunststoffen hebben echter andere eigenschappen dan metalen en vormen voor bepaalde applicaties een beter alternatief. Denk hierbij aan gewicht in relatie met energiebesparing, corrosie in relatie met levensduur en seriematige productie in relatie tot kostprijs.

2.1 TYPEN KUNSTSTOF

Zonder in al te veel detail te treden willen we hier toch voor de begripsvorming de wereld van de kunststoffen kort toelichten. Kunststof is een containerbegrip.

De eerste scheiding die aangebracht kan worden is tussen thermoplastische en thermohardende kunststoffen. Het eerste type kan door verwarmen zacht en verwerkbaar gemaakt worden, vervolgens wordt dit type na afkoeling weer hard. De thermohardende kunststoffen verweken wel iets bij verwarmen maar zowel hun vormvastheid als hun hardheid blijven bewaard.

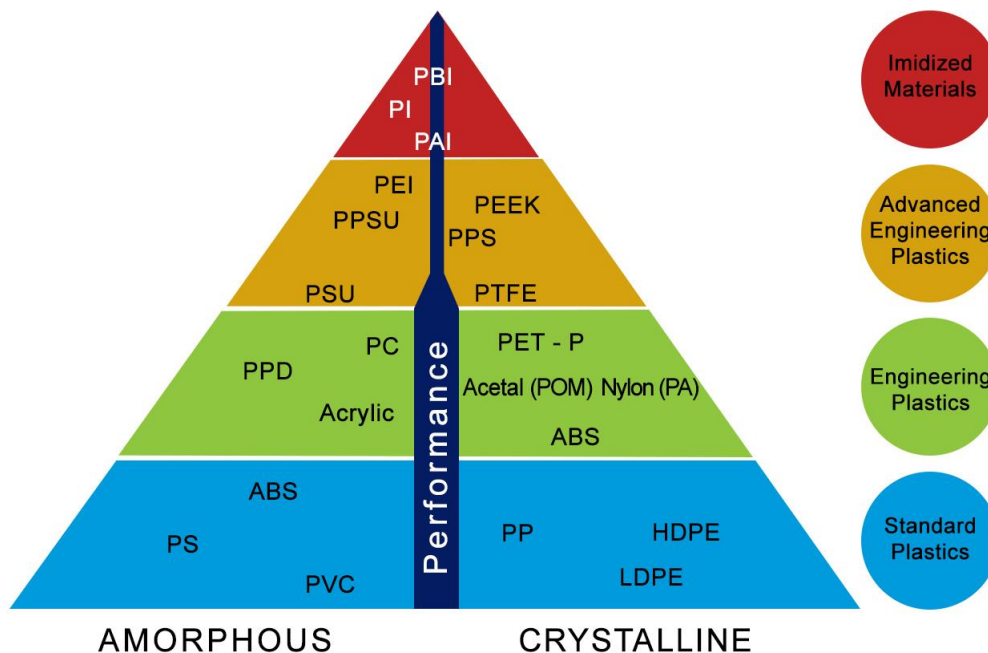
De tweede scheiding die gemaakt kan worden is op basis van de karakteristieke temperaturen T_m (smelttemperatuur) en T_g (glastemperatuur of verwekingstemperatuur). Deze twee kenmerkende temperaturen hangen samen met de verschijningsvorm van de polymeerketens: ongeordend (amorf) of geordend (kristallijn). Een amorf polymeer (bijvoorbeeld polycarbonaat) heeft een duidelijk verwekingspunt (T_g). Beneden deze temperatuur gedraagt het materiaal zich glas-achtig. Zodra deze temperatuur gepasseerd wordt, worden de ketens beweeglijker en verweekt het materiaal. Er zijn echter materialen die boven de T_g een geleidelijke verweking bij toenemende temperatuur kennen en duidelijk smeltpunt hebben. Deze materialen (voorbeelden zijn de thermoplasten polyethyleen en polypropyleen) worden semi-kristallijn genoemd. Het betekent dat



sommige delen van de ketens in een kristalrooster geplaatst kunnen worden. Wanneer de T_m van dit type materialen gepasseerd wordt, komen de ketens in de kristallijne gebieden los van elkaar en wordt het kunststof vloeibaar.

De materiaaleigenschappen van thermoplasten zijn duidelijk temperatuursafhankelijk. Het meten van de E-modulus van bijvoorbeeld PP bij kamertemperatuur zal een andere waarde opleveren dan bij veel hogere of lagere temperaturen. Het volgende karakteristieke van thermoplastische kunststoffen is daaraan gelinkt: de verwerkingsmethode heeft effect op de materiaaleigenschappen. Afhankelijk van hoe bijvoorbeeld PE wordt verwerkt in de vloeibare toestand, kan het resultaat een hard materiaal zijn, of een flexibele garen. Het materiaal kan geschuimd worden tot een isolatiebuis, maar het is ook mogelijk om dit materiaal ultrakristallijn te maken door het te spinnen of zelfs amorf door het vanaf hogere temperatuur snel in te vriezen. Daarnaast zijn de mechanische eigenschappen van thermoplasten ook nog tijdsafhankelijk doordat kunststoffen kruip vertonen onder mechanische belasting.

Naast deze indeling op generieke materiaal eigenschappen, maakt de industrie binnen de thermoplasten nog onderscheid thermoplasten op prestatie: engineering plastics vs standard plastics.



Figuur 2 Engineering plastics vs standard plastics

Als laatste noemenswaardig onderscheid in kunststoffen is door te kijken naar het gebruik



van bewapening. Alle bovengenoemde materialen, thermohardend of thermoplast, engineering plastic of bulk plastic, kunnen ook ingezet worden als composiet, vezelversterkt dan wel mineraalgevuld..

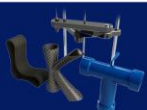
Dit laatste aspect haakt in op één van de voordelen die kunststoffen bieden: door slimme toevoegingen kunnen de basiseigenschappen van de materialen aangepast worden. Door het toevoegen van additieven kunnen bijvoorbeeld UV- bestendigheid of slijtagegevoeligheid worden verhoogd, of een lagere stijfheid en sterkte kan gecompenseerd worden door vezelversterking. Door vulmiddelen te gebruiken kan de dichtheid van kunststoffen verder worden aangepast of het materiaal geleidend gemaakt worden. En zijn legio mogelijkheden en daardoor zijn er ook veel grades op de markt te koop. Nylon is niet simpelweg nylon en PE is niet simpelweg PE.

Samenvattend, de verschillen tussen kunststoffen en metalen lijken simpel op te noemen: kunststoffen hebben een lagere dichtheid, kunnen transparant zijn, geleiden geen stroom en ook geen warmte. Ze zijn bestendig tegen chemicaliën (corrosiebestendig), maar de mechanische eigenschappen van zijn minder dan van metalen.

Maar de enorme variëteit in verwerkingsmethoden, additieven, bewapening, vulmaterialen biedt een scala aan mogelijkheden en kansen voor het toepassen van kunststoffen op plekken waar iemand wellicht een metaal verwacht.

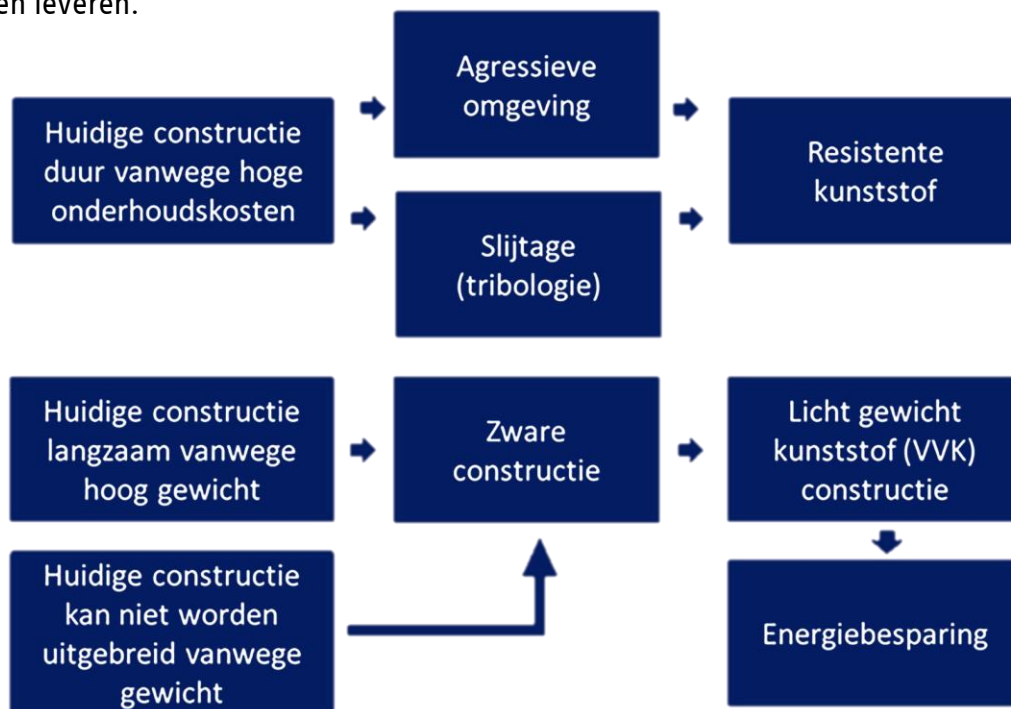
2.2 VEZELVERSTERKTE KUNSTSTOFFEN (VVK)

Een speciale groep kunststoffen zijn VVK's. Door een sterke glas- of koolstofvezel aan de kunststof toe te voegen wordt een veel hogere sterkte en stijfheid mogelijk. Dit is zeer interessant wanneer naar constructieve toepassingen gekeken wordt. VVK's komen veel dichterbij de eigenschappen van metalen en daardoor zijn veelal minder grote aanpassingen aan het huidige concept nodig om de materialen toe te kunnen passen.



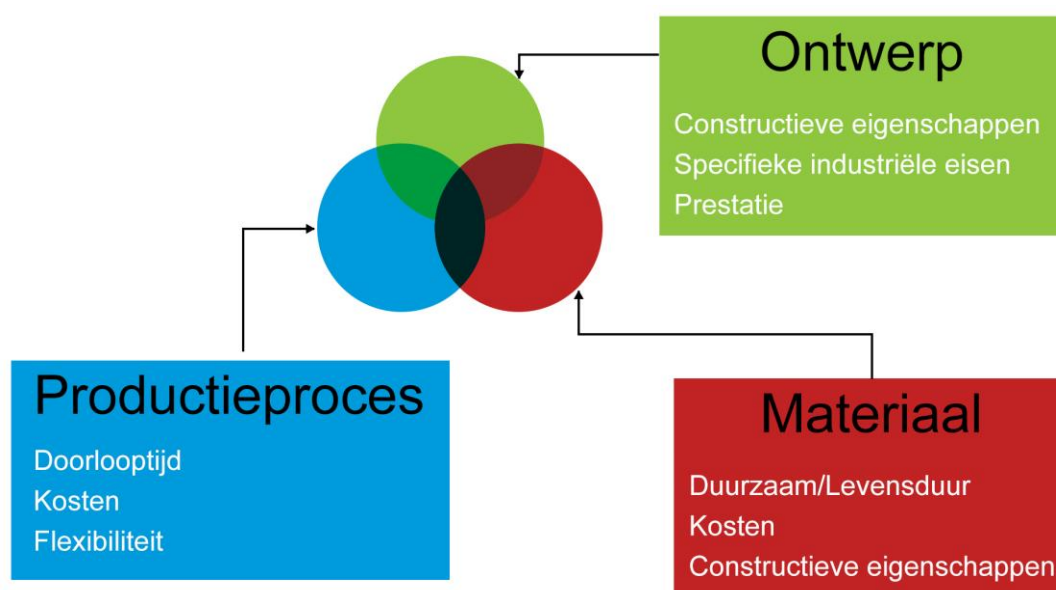
2.3 TOEPASSINGEN IN DE MACHINEBOUW

In onderstaand schema is te zien bij welke omstandigheden kunststoffen een voordeel kunnen leveren.



Figuur 3 Mogelijke situaties voor het toepassen van kunststoffen

Zoals gezegd hebben kunststoffen (en VVK's) potentieel grote voordelen. Het is echter niet zo dat het 1-op-1 vervangen van het ene materiaal door het andere goede resultaten zal geven; in tegendeel dit leidt vaak tot zeer tegenvallende prestaties. Een goed productontwerp neemt de volgende drie facetten in beschouwing:



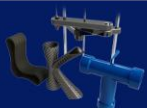
Figuur 4 Ontwerpdriehoek



Zoals weergegeven in figuur 4, is materiaalkeuze slechts één van de drie pijlers. Het materiaal heeft invloed op de duurzaamheid en levensduur, gewicht en algemene structurele performance. Het productieproces is ook van belang, niet alle producten kunnen in elk proces gefabriceerd worden. Daarnaast is het van belang een productieproces te kiezen dat bij de benodigde mechanische eigenschappen en seriegrootte past. Het ontwerp zorgt ervoor dat het product aan alle gestelde eisen voldoet.

De ontwerpdriehoek geeft meteen ook aan waarom een goed productontwerp tamelijk complex is: de opties zijn talrijk. Ten eerste is er een bijna oneindig aantal materialen waaruit gekozen kan worden, waarbij soms verschillen niet op het eerste gezicht duidelijk zijn. Daarnaast is er ook voor elke groep een veelheid aan productietechnieken, wat ervoor zorgt dat een optimaal ontwerp vaak ook betekent goed te kijken wat realistisch is voor de partij die het gaat toepassen.

De steeds bredere materiaalkeuze zorgt er ook voor dat machinebouwers meer en meer op component niveau kunnen gaan kijken wat het meest geschikte materiaal is. Dit is dus niet per se altijd staal, maar kan ook VVK of ongevulde kunststof zijn. Hierdoor wordt het steeds interessanter om te kijken naar hybride construeren. Dit brengt echter wel uitdagingen met zich mee op het gebied van verschillende stijfheden van de materialen.





3. De cases

In dit hoofdstuk worden de 6 cases van de projectpartners in willekeurige volgorde kort beschreven. Volledige rapporten van de cases zijn op verzoek verkrijgbaar.

3.1 AWL- TECHNIEK



Figuur 5 Cyclustijd verkorting, Draaiing lastafel in een lascel

Partner:



AWL-Techniek

Bedrijfstak:

Leverancier van lasmachines voor de automotive en toeleveringsindustrie.

Locatie:

Harderwijk

Docent/onderzoeker

Stefan de Koning (docent Deltion)

EEN LICHTER ONTWERP MAKEN VAN DE HUIDIGE MOTORSTEUN MET BEHOUD VAN FUNCTIONALITEIT.

De lagerblokken, dragers en motorsteunen zijn (gegoten-) stalen onderdelen van de lastafel die in de lascel van AWL goed functioneren maar zwaar zijn. Een gewichtsbesparing van deze onderdelen zou de algehele constructie efficiënter maken waardoor de cyclustijd van de lascel, zie figuur 5, gereduceerd kan worden en de productieoutput omhoog gaat. Een mogelijkheid om deze onderdelen lichter te maken is het materiaal te veranderen. Kunststof, al dan niet vezelversterkt, zou hiervoor een oplossing zijn. Deze onderdelen worden echter zwaar belast, dus hiervoor is het nodig om het product goed door te rekenen en uitvoerig te testen.

PROBLEEMSTELLING

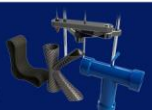
Binnen de machinebouw worden kunststoffen nog niet veel toegepast. Het materiaal dat het meest gebruikt wordt is staal. Staal heeft zich bewezen en het is bekend hoe hiermee ontworpen en geproduceerd kan worden. Maar er is in een groot aantal toepassingen een nadeel dat steeds zwaarder gaat wegen, het gewicht. Met name daar waar onderdelen in beweging worden gebracht is veel voordeel te behalen bij lichtere constructiematerialen. Het doel van het project en het eindelijke ontwerp is dat er gewicht bespaard gaat worden. Door de besparing in het gewicht van de lastafel kan de snelheid van het draaien van de lastafel verhoogt worden waardoor de cyclustijd omlaag gaat. Tevens speelt het gewicht een rol voor de uitvoering van de lagering. Tot een bepaald maximaal gewicht kunnen standaardlagers worden toegepast boven hierboven moeten speciale lagers worden toegepast wat hogere kosten met zich meebrengt en de standaardisatie in het ontwerpen tegengaat. Voordat er een herontwerp wordt gemaakt komt eerst het huidige ontwerp aan bod. Vanuit dit ontwerp wordt er verder nagedacht over het mogelijke nieuwe ontwerp in combinatie met het materiaal.

HUIDIGE ONTWERP

Als eerste is het huidige ontwerp geanalyseerd, waarbij er gekeken is naar de constructie, het materiaal en de productie. Wat betreft de motorsteun, deze is ervoor bedoeld zoals de naam aangeeft, om de motor die de draaitafel draait, te ondersteunen, zie figuur 6. De motor is, met tussenligging van een vertragingskast, aan de motorsteun bevestigd. Voor het realiseren van de bevestiging zijn de gaten aangebracht rondom het grote gat. De onderste plaat is voor de bevestiging van de motorsteun aan het H-frame. Vanuit het huidige ontwerp zijn er een aantal specifieke maten overgenomen uit de werktekening die betrekking hebben op de bevestiging van de motorsteun.

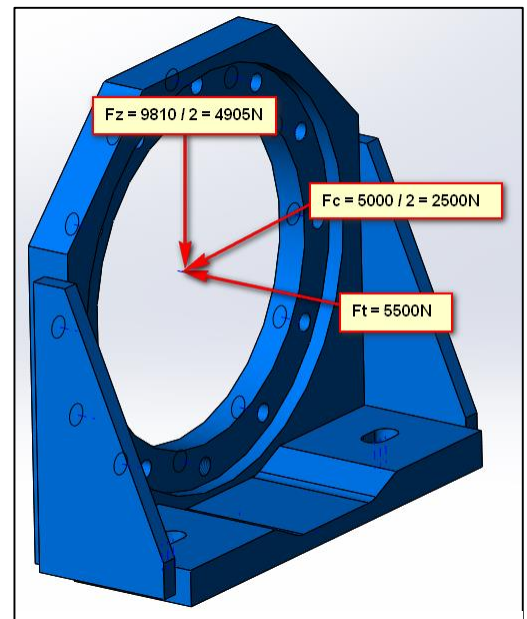


Figuur 6 Lasmal met aan de linkerzijde de motorsteun (zie pijl)



De krachten die op de motorsteun komen staan aangegeven in figuur 7. De krachten zijn afkomstig van de lastafel (9810N), traagheid van de tafel (5000N en 5500N), die worden uitgeoefend bij het draaien van de tafel.

Ontwerp en productie gaan hand in hand, waar de grenzen worden bepaald door het gekozen materiaal. Vrij snel is de keuze gemaakt een prototype te maken opgebouwd uit een quasi-isotroop laminaat omdat dit meestal het beste startpunt is om een ontwerp in VVK te beginnen. Door het maken van een prototype kan het eerste ontwerp en de productietechniek goed geanalyseerd worden. Vaak is een 1 op 1 herontwerp van staal naar composiet meestal niet de beste oplossing. Dit wordt ook wel blackmetal design genoemd.



Figuur 7 Krachten aanwezig op motorsteun.

Voor het ontwerpen van het prototype zijn als eerst een aantal analyses uitgevoerd op het huidige ontwerp, zowel van het huidige materiaal, als ook het materiaal voor het prototype. Door de bekende krachten in te voeren in SolidWorks is er een goed beeld ontstaan van de spanningen in het materiaal en de verplaatsingen.

MATERIAALKEUZE

Het huidige materiaal is ST37-2. Deze gegevens zijn ingevoerd in SolidWorks, samen met het huidige ontwerp en de krachten. Doormiddel van FEM is er gekeken naar de spanningen in het materiaal en verplaatsingen. Een vergelijking tussen huidig ontwerp en prototype is verderop te vinden.

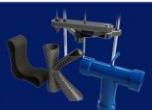
Behalve dat het materiaal geschikt moet zijn om de krachten over te brengen, met behoud van zijn vorm, moet het ook bestand zijn tegen een aantal omgevingsfactoren. De temperatuur van de motor die wordt bevestigd kan oplopen tot 60°C. Deze warmte wordt overgebracht via de verdragingskast op de motorsteun. In de nabije omgeving wordt er gelast waardoor er mogelijk lasspetters op het onderdeel terecht komen. Een greep uit geschikte materialen m.b.t. warmtebestendigheid is te zien in tabel 1. Daarnaast zijn nog twee kortvezelversterkte kunststoffen in de tabel opgenomen, vanwege de hogere stijfheid. Beschikbare kunststoffen, al dan niet kortvezelversterkt, bleken niet aan de gestelde mechanische eisen te kunnen voldoen.

		FABRIKANT - NAAM	SOORTELIJKE MASSA	TREKSTERKTE	REK TOT	E-MODULUS	GEBRUIKSTEM P.	ONVERSTERKT/ VERSTERKT	
							Max [°C]		
ALGEMEEN		EIGENSCHAPPEN							
VINK PAI	Polyamide imide		1,60	90	5	6000	-50	250	On-versterkt
VINK PI	Polyimide		1,34	140	9	4000	-240	240	On-versterkt
SCHULAMIT® 66 CF 20H	20% carbonfiber reinforced Polyamide 66		1,21	220	5	17000			Versterkt
SCHULAMIT® 6 GF 50	50% glassfiber reinforced Polyamide 6		1,55	210	2	16000			Versterkt

Tabel 1: Materialenlijst Thermoplasten

Vervolgens is er gekeken naar de mogelijkheid gebruik te maken van een lange vezel in combinatie met een hars. Voor deze toepassing is er gekozen voor glasvezel. Deze vezel heeft een goede prijsverhouding t.o.v. van de mechanische eigenschappen. Verschillende harstypes zijn bestand tegen hoge temperaturen. De hars gecombineerd met de juiste hoeveelheid vezel is in staat de gewenste stijfheid te bereiken.

De meest gangbare harsen zijn polyesterhars en epoxy. Door de gunstige eigenschappen van epoxy, hogere stijfheid, lage emissie, is voor deze hars gekozen. Algemeen gangbare eigenschappen van beide harsen zie tabel 2.



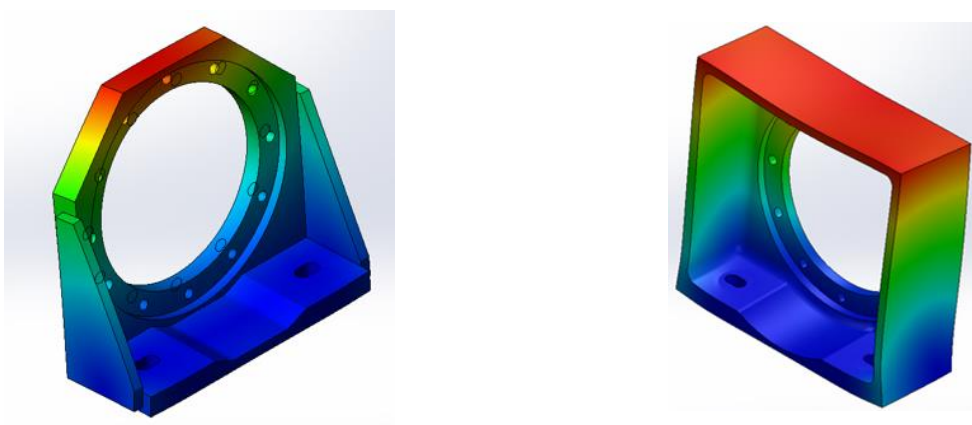
<i>Materialen</i>	<i>Stijfheid GPa</i>	<i>Breuksterkte MPa</i>	<i>Dichtheid kg/m³</i>
<i>Glasvezel</i>	72	2400	2500
<i>Polyester</i>	3	40-85	1200
<i>Epoxy</i>	3	60-80	1200
<i>Glasvezel-epoxy combinatie mf=50%</i>	20	400	1960

Tabel 2: Generieke Eigenschappen glasvezel, hars, VVK.

Bij de berekeningen is van de algemeen gangbare eigenschappen van de glasvezel-epoxy uitgegaan. De eigenschappen worden benaderd als of het materiaal quasi-isotroop is, wat in werkelijkheid niet het geval is. Voor het prototype geeft dit in de eerste benadering echter een goede indruk.

PROTOTYPE

Een aantal FEM analyses zijn uitgevoerd voor het huidige ontwerp. Als eerst is er gekeken naar het huidige materiaal ST37-2. Vervolgens zijn dezelfde analyses gedaan met de materialen genoteerd in tabel 1. Hieruit is geconcludeerd dat met het huidige ontwerp en de materialen uit tabel 1 geen geschikt product gemaakt kon worden. Wel was goed te zien dat de thermoset composiet samenstelling glas-epoxy een hogere stijfheid heeft. Dit is nodig om de huidige constructie van staal te vervangen. Met dit materiaal is er gezocht naar een nieuw ontwerp waardoor de gewenste stijfheid van de constructie gewaarborgd kon worden.



Figuur 8 Huidge ontwerp (links) en prototype (rechts)

Met name de doorbuiging aan de bovenzijde van de motorsteun bleek uit de simulatie te groot te zijn, wanneer gewerkt zou worden met glas-epoxy 2.33 mm t.o.v. 0,35 mm voor de stalen variant, zie figuur 8.

Voor het terugdringen van de doorbuiging tot 0,38 mm, wat een eis is van AWL, zijn een paar aanpassingen gedaan aan het ontwerp, te zien in figuur 4, zodat het ontwerp wel voldoet.

INVLOED GEWICHTSBESPARING OP DE CYCLUSTIJD

Voor het berekenen van de cyclustijd moeten drie tijden bekend zijn. De aanlooptijd, de tijd die nodig is om de massa in beweging te krijgen. De remtijd, de tijd die nodig is om de massa af te remmen. Wanneer deze tijden bekend zijn kan de overgebleven weg berekend worden en de daarbij behorende tijd. Door de complexiteit van de berekening is in eerste instantie een vereenvoudigde berekening gemaakt. Hiermee kon worden aangetoond dat er 0,8 seconden kon worden bespaard op de huidige cyclustijd.

$$Koppel [Nm] \quad L = J * \omega$$

$$J = \text{Maximaal massatraagheidsmoment} = 1850 \text{ kgm}^2$$

$$\omega = \text{Hoeksnelheid} = \frac{\pi}{4,7} \text{ (4,7 is de cyclustijd EDX 810/2)}$$

$$Koppel [Nm] \quad L = 1850 * \frac{\pi}{4,7} = 1236,58 [Nm]$$

De totale massa die kan worden bespaard op basis van de resultaten van het prototype van de motorsteun en dus uitgaand van glasvezel gecombineerd met epoxy, is ongeveer 36 kg (twee sets). Deze massa bevindt zich op 1,4 meter van de as.

	OUDE GEWICHT (STAAL)	NIEUWE GEWICHT (VVK)	BESPARING
DRAGER	5.2 [kg]	1.1 [kg]	4.1[kg]
LAGERBLOK	9.2 [kg]	2.0 [kg]	7.2 [kg]
MOTORSTEUN	8.8 [kg]	1.9 [kg]	6.9 [kg]
TOTALE BESPARING PER SET:	23.2 [kg]	5.0 [kg]	18.2 [kg]

Tabel 3: Gewichtsbesparing



$$\begin{aligned}
 \text{Massatraagheidsmoment} \quad J &= m * r^2 \\
 \text{Massatraagheidsmoment van de besparing} \quad J &= 36 * 1,4^2 = 70,56 \text{ kgm}^2
 \end{aligned}$$

Uitgaand van een gelijk blijvend koppel zal de snelheid als volgt kunnen toenemen.

$$\omega_{\text{nieuw}} = \frac{L}{J} = \frac{1236,58}{1850 - 70,56} = 0,695 \text{ rad/s}$$

$$\omega_{\text{oud}} = \frac{\pi}{4,7} = 0,668 \text{ rad/s}$$

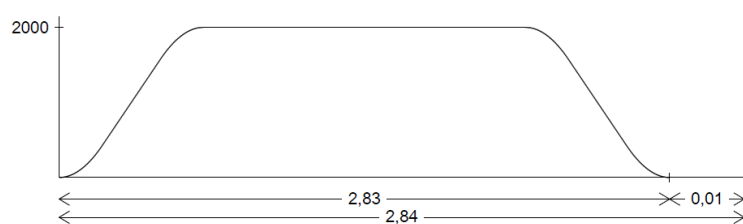
$$\Delta\omega = 0,695 - 0,668 = 0,027 \text{ rad/s}$$

$$\Delta t = 0,027 \frac{\text{rad}}{\text{s}} * \pi = 0,08 \text{ s}$$

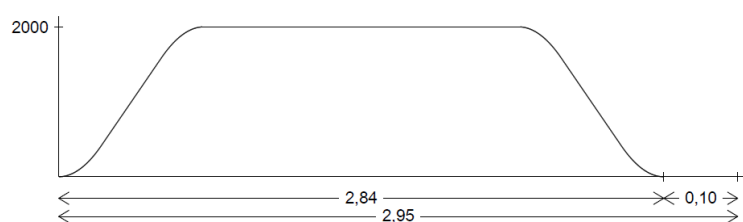
Uitgaand van een gelijk blijvend koppel zal de cyclustijd met 0,08 seconden kunnen toenemen.

(maximale) versnellingen, (maximale) vertraging, (maximale) snelheid, aanloopkoppels etc. zijn hier niet in meegenomen. Hierbij moet worden opgemerkt dat juist bij de versnelling en vertraging de massa een grote rol speelt.

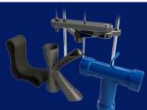
Door het vrijkomen van een rekentool die gebruikt wordt bij AWL is er een tweede meer nauwkeurige benadering gemaakt. In de tool zijn de verschillende motoren en draaitafels opgenomen. Voor de berekening is eerst uitgegaan van de maximale massatraagheid die kan optreden en vervolgens is hiervan de gewichtsbesparing weggehaald. Het verschil tussen beide waarden is 0,11 seconden, zie figuur 9 en 10.



Figuur 9 Cyclustijd bij 1779 kg/m²



Figuur 10 Cyclustijd bij 1850 kg/m²



CONCLUSIE EN AANBEVELING

Een gewichtsbesparing met een kortere cyclustijd tot gevolg is theoretisch gezien mogelijk. Tot nu is er alleen een prototype gemaakt, welke nog niet is getest. Alleen vanuit de berekeningen is geconcludeerd dat een composiet motorsteun vervaardigd kan worden. Een totaal van 36 kilo kan worden bespaard of mogelijk ingezet tot verhogen van de capaciteit op de lastafel. Het produceren van de motorsteun uit een composiet materiaal is wel zeer kostbaar. Verder onderzocht moet worden of dit opweegt tegen de voordelen. Hierbij zal er gekeken moeten worden naar de manier van produceren, waar met name de kostprijs door omhoog gaat. Daarbij zijn verschillende maten kritiek, zoals vlakheid van verschillende vlakken en haaks op elkaar staande vlakken. Bij het zoeken naar een alternatieve productietechniek zal ook de materiaalkeuze opnieuw moeten worden belicht. Voor het bevestigen van de motorreductor zijn in het huidige ontwerp een aantal gaten met schroefdraad aanwezig. Bij het verder door ontwikkelen van het prototype moeten deze ook worden aangebracht of naar een andere manier van bevestigen worden gezocht.

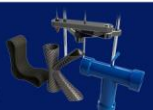
BRONNEN

Nijssen, R. (2013). *Composieten basiskennis*. Gouda: Hogeschool Inholland

Kooijman, M. , Pallada, M., *Materiaalkunde voor Technici*, Den Haag, Academic Service, 2009

www.vinkkunststoffen.nl

www.aschulman.com



3.2 VEENHUIS



Figuur 11 Veenhuis bemesters

LICHTER MAKEN VAN STALEN KOUTERSCHIJVEN MET KUNSTSTOFFEN WAARBIJ SLIJTAGE EEN GROTE ROL SPEELT.

De kouterschijf snijdt een geul in het (gras)land waarin vervolgens de mest wordt geïnjecteerd, zie figuur 11. De vraag die in dit onderzoek centraal staat is of een stalen kouterschijf, zie figuur 12 lichter gemaakt kan worden met behulp van kunststof, terwijl de functionaliteit gewaarborgd blijft.

Partner:



Bedrijfstak:

Ontwikkeling en fabricage van mestverwerkingstechnieken

Werknemers:

Circa 60 medewerkers

Locatie:

Raalte

Studenten, junior onderzoeker en docent/onderzoeker

Berd Zwarthoff, Pieter Schreuder en Ruud Groen



Figuur 12 Veenhuis bemesters, context (boven), injecteur-unit (links), Kouterschijf (rechts)

PROBLEEMSTELLING

In de huidige bemesters van Veenhuis, zie figuur 11, zijn stalen kouterschijven gemonteerd. Deze schijven snijden een gleuf in het grasland waarin vervolgens mest wordt geïnjecteerd. De kouterschijven leggen per bemestingsseizoen 2400 km af. Veenhuis Machines B.V. gebruikt momenteel stalen kouterschijven met een diameter van 350 millimeter (mm). Iedere schijf bestaat uit 3 delen: twee stalen wangen van het zachte staal S235JR 1.0037 en een schijf van gehard borium-25 staal. Deze drie schijfdelen worden aan elkaar bevestigd door vier M10 bouten en vier M12 bouten. De gehard stalen middenschijf heeft een snijdende functie en de beide zacht stalen wangen zorgen ervoor dat de snede verder opengedrukt wordt.

Momenteel kunnen er geen extra injectie-units gemonteerd worden, omdat het toegevoegd gewicht van deze units aan de achterkant ervoor zorgt dat de kogeldruk op de trekker te laag wordt. Door de schijven lichter te maken is het mogelijk om meerdere injectie-units naast de huidige te monteren, waardoor de bemester een breder bereik heeft en dus efficiënter wordt. Een eventueel ander bijkomend voordeel is dat gewichtsbesparing een lagere bodemdruk veroorzaakt waardoor grasland minder beschadigd en kapot gereden wordt.

PAKKET VAN EISEN

De nieuwe lichtgewicht schijf zal dezelfde functionaliteit als de huidige stalen schijf moeten hebben. De lichtgewicht schijf zal een gleuf moeten maken die diep en breed genoeg is om de mest in te injecteren. Verder mag de levensduur van de lichtgewicht schijf niet veel afwijken van de levensduur van de huidige stalen schijven. Per jaar wordt er gemiddeld 40.000 m³ mest per machine uitgereden. Bij een hoeveelheid van 20m³ per hectare en een gemiddelde breedte van de bemester van 8,4 m, komt de afstand die de schijven gemiddeld jaarlijks afleggen uit op 2400km.

VOORONDERZOEK

Vooraf is onderzocht aan welke invloeden de kouterschijven blootgesteld worden. De schijven worden met een snelheid van ongeveer 16 km/h door het grasland getrokken. Om een voldoende diepe gleuf (5 cm) te halen, kunnen de kouterschijven met maximaal 1 kN in de grond worden gedrukt. Verder moeten de schijven bestand zijn tegen impact van stukken steen in het land.

Het slijtgedrag van de stalen kouterschijven blijkt erg afhankelijk van de grond waarin geïnjecteerd moet worden. In losse grond gaan de schijven langer mee dan in een harde steenachtige grond. Uit een eerder uitgevoerd onderzoek bij Veenhuis, met een volledig kunststof schijf, bleek dat de schijf snel zijn snijdende werking verloor. De snijrand sleet rond af, waardoor de schijf niet meer in de grond gedrukt kon worden. Daarom is in dit onderzoek gekozen om de gehard stalen middenschijf (borium 25 staal) te behouden voor de snijdende werking, en de stalen wangen uit te voeren in kunststof.



MATERIALEN

In de literatuur is veel informatie te vinden over slijtage van kunststoffen maar niet voor deze specifieke toepassing. Tevens is in de literatuur informatie gevonden over het verbeteren van (slijtage)eigenschappen van kunststoffen door gebruik te maken van vulmiddelen zoals: molybdeendisulfide, krijt, talk, grafiet, en microspheres. Ook zouden bepaalde (keramische) coatings het slijtgedrag aanzienlijk kunnen verbeteren. Er is ervoor gekozen om een aantal kunststoffen te kiezen, die geschikt zouden zijn voor de beoogde toepassing en deze materialen onderling te vergelijken, zonder gebruik te maken van vulmiddelen of coatings. Om een gefundeerde keuze te maken is er voor gekozen om vervolgens praktijktesten uit te voeren. Zie figuur 13, testopstelling.



Figuur 13 Testopstelling

Op basis van de literatuur en de eerder genoemde eisen is in overleg met kunststofleverancier Vink er een voorselectie gemaakt van vier verschillende thermoplastische kunststoffen:

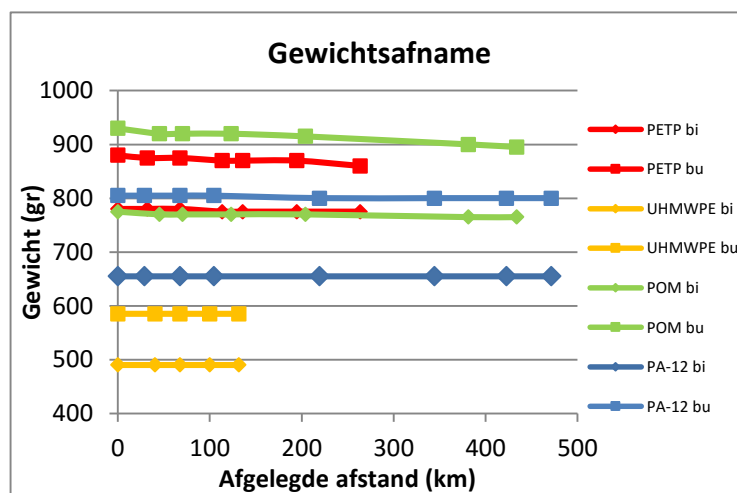
MATERIAAL	STIJFHEID	TAAIHEID	SLIJTVASTHEID	LIJMEN	PRIJS
PA-12	+	+	+++	-	--
PETP	++	-	++	+	+
UHMWPE	--	++	+++	--	++
POM	++	+	++	--	-

Tabel 4: Geselecteerde kunststoffen

Van bovengenoemde materialen zijn de benodigde wangen gemaakt.

SLIJTAGETEST

Omdat ten tijde van het eerste deel van dit onderzoek het bemestingsseizoen voorbij was, is een alternatief bedacht om de praktijk zo goed mogelijk te simuleren. Er is een testopstelling gebouwd, waarin een injectie-unit met twee kouterschijven ronddraaien in een bak met zand, zie afbeelding 3. Links in de bak staat de injectie-unit met twee kouterschijven en rechts in de bak een schuif met daarachter een rol. De schuif en de rol zorgen ervoor dat de sleuf gevuld en verdicht wordt. De binnenste schijf legt in één rotatie een afstand af van $\pm 2,7\text{m}$ en de buitenste schijf $\pm 3,8\text{m}$. Door de tijd te meten die nodig was om 10 rondjes af te leggen, kon totaal afgelegde afstand per uur bepaald worden. De gemiddelde snelheid tijdens de test was 5km/h . Door de tijd heen zijn de schijven een aantal keer uit elkaar gehaald en is het gewicht bepaald. In grafiek 1 is de afname van het gewicht uitgezet tegen de afgelegde afstand.



Grafiek 1: Gewichtsafname

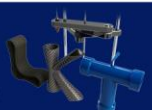
De schijf met POM (groene lijn) en de schijf met UHMWPE (oranje lijn) gingen stuk doordat er zand tussen het stalen midden schijf en de wangen kwam. Hierdoor trokken de kunststof wangen krom. Dit komt bij de stalen schijven alleen voor als er gereden wordt op een bevroren ondergrond. Het effect bij de kunststof schijven was groter, omdat de kunststof schijven een veel lagere stijfheid hebben dan de stalen schijven. Door de veel hogere stijfheid van staal vervormen de wangen minder en is het effect bij kunststof veel groter. Zie afbeelding 14 en 15.



Figuur 14 Kromgetrokken kunststof wang



Figuur 15 Zand tussen middenschijf en kunststof wang



Uit deze test blijkt dat de gewichtsafname door slijtage niet heel hoog is. De schijven hebben niet allemaal dezelfde afstand afgelegd, maar de materialen gedragen zich ruwweg hetzelfde. Ook zijn op de schijven nauwelijks sporen van slijtage zichtbaar, en zijn de schijven niet of nauwelijks in diameter afgenomen gedurende de test.

VELDTEST

In het tweede deel van het onderzoek zijn de schijven in het veld getest. Uit de voortgaande test is gebleken dat indringen van zand tussen de middenschijf en de kunststof wangen een serieus probleem vormt. Om indringen te voorkomen is er een lijmverbinding tussen de stalen middenschijf en de kunststof wang aangebracht. De wangen worden met 4 M10 bouten op de stalen schijf bevestigd. De schijven zijn met 4 M12 bouten op een as gemonteerd en aan een 8,4m brede Veenhuis Euroject 3500-bemester bevestigd. Vooraf zijn de afmetingen en gewichten van de schijven bepaald en zijn alle schijven gefotografeerd.

De schijven zijn in gebruik genomen bij de bemesting van grasland na de eerste snede. Via het CAN-bus systeem wordt bijgehouden hoeveel hectare grasland bemest is. Tijdens het bemesten varieerde de druk op schijven tussen 10 – 25 kg per schijf. De gemiddelde snelheid lag rond de 16 km/h.

POM

Na ongeveer 140ha of 168 km (*1200 meter wordt er per hectare gereden*) is de lijmverbinding tussen de stalen middenschijf en de kunststof wangen losgelaten en volgelopen met grond, zie figuur 16.



Figuur 14 Volgelopen schijf

UHMWPE

Deze schijf zat op dezelfde as als de schijf met POM en is na 140ha vervangen door een as met twee stalen schijven omdat de POM wangen vervangen moesten worden. De wang aan de buitenzijde is niet in diameter afgenomen en de wang aan de binnenzijde is 1mm in diameter afgenomen. De gewichtsafname van de totale schijf is minder dan 1%. De beschadigingen aan de schijf bestaan voornamelijk uit (kleine) krassen zoals te zien is op figuur 17.



Figuur 15 Schadebeeld UHMWPE

PETP

Deze schijf heeft 275 ha gedraaid. De wang aan de buitenzijde is 12mm in diameter afgenomen en de wang aan de binnenzijde 8 mm. De gehele schijf is 7% in gewicht afgenomen.

De beschadigingen aan de schijf bestaan uit kleine krassen en hier en daar een afgebroken stukje zoals te zien is in figuur 18. Dit komt omdat PETP een bros materiaal is en dus niet goed bestand tegen impact. In vergelijking met de UHMWPE en PA-12 schijven is deze schijf hol afgesleten op de schuine vlakken.



Figuur 16 Schadebeeld PETP

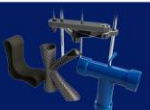
PA-12

Deze schijf heeft 275 ha gedraaid. De wang aan de buitenzijde is 2,5 mm in diameter afgenomen en de wang aan de binnenzijde is 1,5 mm in diameter afgenomen. De gehele schijf is 3% in gewicht afgenomen.

De beschadigingen aan de schijf bestaan uit kleine krassen. Verder vertoont de schijf aan de rand van het kunststof 'witte' vlekken, wat duidelijk te zien is in figuur 19. Dit zou kunnen duiden op het loslaten van de lijmverbinding.



Figuur 17 Schadebeeld PA-12



CONCLUSIE

De slijtpatronen van de verschillende kunststoffen zijn redelijk overeenkomend. De krassen veroorzaakt door de roterende beweging van de schijven zijn bij UHMWPE wat dieper en beter zichtbaar dan bij PETP en PA-12. De schijf met UHMWPE en PA-12 geven de beste resultaten na de veldtest. PETP verliest relatief het meeste materiaal en bij impact breken er stukken van de schijf af. De gehard stalen binnenschijf is niet meetbaar kleiner geworden.

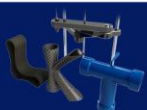
De kostprijs per materiaal varieert enorm. De verhouding in prijs is:

Staal : UHMWPE : POM : PETP : PA-12 = 5 : 10 : 12 : 17 : 25.

Voor dit ontwerp is de verhouding tussen de prijs en de resultaten het beste voor UHMWPE. PA-12 heeft ook hele goede resultaten maar is ook 2,5x duurder dan UHMWPE.

Het ontwerp zou nogmaals bekeken kunnen worden in een vervolgonderzoek. Het grootste probleem van dit ontwerp het verbinden van het kunststof op de stalen middenschijf. Door de lage stijfheid van het kunststof kan er makkelijk grond tussen deze twee delen in komen en de schijf kapot drukken. In dit ontwerp is hier een lijmverbinding voor gebruikt, wat voor drie van de vier materialen goed blijkt te werken. Dit is een extra productiestap wat nadelig is voor de totale prijs van de schijf. Bovendien is een lijmverbinding niet eenvoudig demontabel. Er zou een ontwerp gemaakt kunnen worden waarin dit probleem ondervangen wordt.

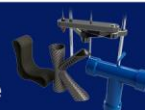
De gewichtsbesparing van deze kunststof schijven is groot. De huidige stalen schijf weegt 10,8kg en een kunststof variant met een gehard stalen binnenschijf minder dan 4 kg. Een totale injectie-unit wordt daardoor 25% lichter. dus zou in theorie het aantal injectie-units verhoogd kunnen worden van 48 naar 60. Dit betekent dat de bemester in deze case uitgebreid kan worden met 12 extra (van 48 naar 60) injectie-units bij een gelijkblijvend totaal gewicht.



BRONNEN

- Budinski, K. G. (1997). Resistance to particle abrasion of selected plastics. *Wear*, 203-204, 302–309. doi:10.1016/S0043-1648(96)07346-2
- Budinski, K. G. (2011). Adhesive transfer to abrasive particles in abrasion testing. *Wear*, 271(9-10), 1258–1263. doi:10.1016/j.wear.2010.11.036
- Czichos, H., Klaffke, D., Santner, E., & Woydt, M. (1995). Advances in tribology: the materials point of view. *Wear*, 190(2), 155–161. doi:10.1016/0043-1648(96)80014-7
- Friedrich, K., Zhang, Z., & Schlarb, a. (2005). Effects of various fillers on the sliding wear of polymer composites. *Composites Science and Technology*, 65(15-16), 2329–2343. doi:10.1016/j.compscitech.2005.05.028
- Professional plastics. (2014). Informatie over vulmiddelen van kunststoffen. Retrieved from http://www.professionalplastics.com/PTFE_FillerMaterialsOverview

www.vinkkunststoffen.nl



3.3 VERBRUGGEN



Figuur 18 Toepassen van vezel versterkte kunststoffen in de automatisering met hoge eisen aan gewicht en nauwkeurigheid

COMPOSIT RIJFRAME VOOR PALLETISEERMACHINE

Verbruggen is een ervaren fabrikant van palletiseermachines en andere transportsystemen. Een palletiseermachine is een machine die zakken product (aardappelen, uien, etc.) positioneert op een pallet. Het topmodel van de palletiseermachine van Verbruggen is de VPM-14, welke 35 zakken per minuut kan stapelen. Sneller palletiseren van goederen is een continue uitdaging. De snelheid van de huidige machine wordt gelimiteerd door de massa van het frame. Tijdens deze opdracht is een herontwerp van het rijframe gemaakt waar vezel versterkte kunststoffen toegepast zijn. Hiermee is een lichter ontwerp gerealiseerd waarmee hogere snelheden behaald kunnen worden.

PROBLEEMSTELLING

Om een verdere snelheidswinst van de palletiseermachine te kunnen realiseren, zijn er twee opties: of gebruik maken van zwaardere motoren of het bewegende deel van de machine lichter uitvoeren. Hiervan heeft de tweede optie de sterke voorkeur omdat dit de machine efficiënter maakt. Door gebruik te maken van vezel versterkte kunststoffen kan de massa van het huidige positioneringsframe gereduceerd worden. De totale massa van het huidige positioneringsframe bedraagt 420 kg en kan 35 zakken per minuut verwerken. Met het reduceren van de massa wil Verbruggen een hogere snelheid behalen waardoor er 40 zakken per minuut gepalletiseerd kunnen worden. Verbruggen produceert ongeveer 40 a 60 frames per jaar.

Partner:



Verbruggen

Bedrijfstak:

Automatisering

Werknemers:

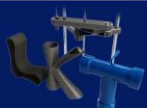
50-200

Locatie

Emmeloord

Afstudeerder en docent
onderzoeker

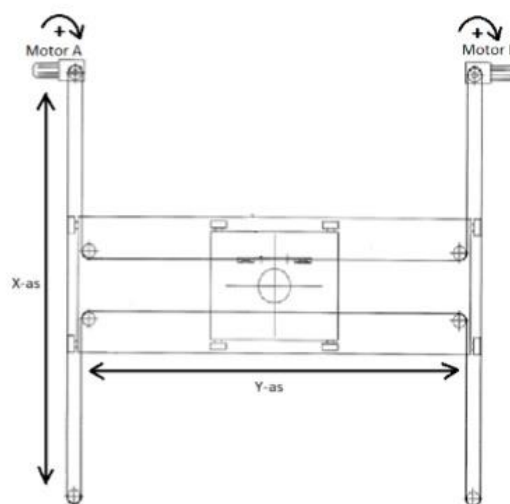
Melchior de Joode en Jasper
Bouwmeester



SITUATIE

Met een aantal van 35 zakken per minuut wordt een maximale snelheid behaald van 0,6 m/s en een maximale versnelling van 2,6 m/s². Het positioneringsframe legt 300.000 bewegingen per jaar af. Daarbij moet de machine functioneren in een omgeving waar de temperatuur varieert van -20 tot 60 graden Celsius.

Het huidige positioneringsframe bestaat uit een 1^e en 2^e rijframe. Het 1^e rijframe zorgt voor de beweging in de x-richting doordat hij over het bovenframe beweegt, zie figuur 21. Het 2^e rijframe zorgt voor de beweging in de y richting door over het 1^e rijframe te bewegen. In het 2^e rijframe zit een manipulator die de producten na een eventuele draaiing lost. De massa's en afmetingen van het 1^e en 2^e rijframe worden weergegeven in tabel 5.



Figuur 19 SCHEMATISCHE WEERGAVE 1E & 2E RIJFRAME (Bovenaanzicht)

Een andere vernieuwing in het ontwerp die gelijktijdig meegenomen wordt is de gantry-aandrijving, waarbij twee motoren op een statische locatie geplaatst worden, in plaats van een aparte motor voor de x- en y-beweging. Dit resulteert ook in een lagere massa van de bewegende delen.

Aangezien het 1e en 2e rijframe twee verschillende producten zijn die een eigen functie moeten vervullen, zullen hier twee verschillende ontwerpen uit komen.

	FRAME ONDERDELEN [KG]	+ FRAME [KG]	AFMETINGEN [MM]
1E RIJFRAME	180	103	2400x900
2E RIJFRAME	240	63	745x800
TOTAAL	420	166	

TABEL 5: AFMETINGEN EN MASSA'S RIJFRAME 1 & 2



ONDERZOEKSOPZET

Het nieuwe ontwerp moet, in vergelijking met het oude ontwerp, dezelfde nauwkeurigheid hebben (minder dan 10 mm doorbuiging onder volle belasting) en hogere snelheden halen voor de gestelde 40 plaatsingen per minuut. Daarbij mogen de additionele kosten niet groter zijn dan de extra prijs die klanten willen betalen voor de hogere snelheid.

De volgende punten zijn onderzocht:

- Materiaalselectie
- Productiemethode
- Ontwerp

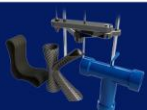
MATERIAALSELECTIE

Om vergelijkbare mechanische eigenschappen te halen als staal is het gebruik van vezelversterkte kunststoffen een logische keuze. Binnen deze groep zijn veel varianten, die allemaal effect hebben op de geleverde prestaties en prijs. Koolstofvezel zou in dit geval de grootste gewichtswinst opleveren, maar is vanuit een kosten oogpunt niet realistisch. Hierdoor is glasvezel een logische keuze voor dit project.

Als matrixmateriaal is gekozen voor een (isophtaalzure) polyester. Dit is goed verkrijgbaar tegen lage kosten en makkelijk te verwerken. Daarnaast zijn er geen eisen die een ander harssysteem noodzakelijk maken.

PRODUCTIE METHODE

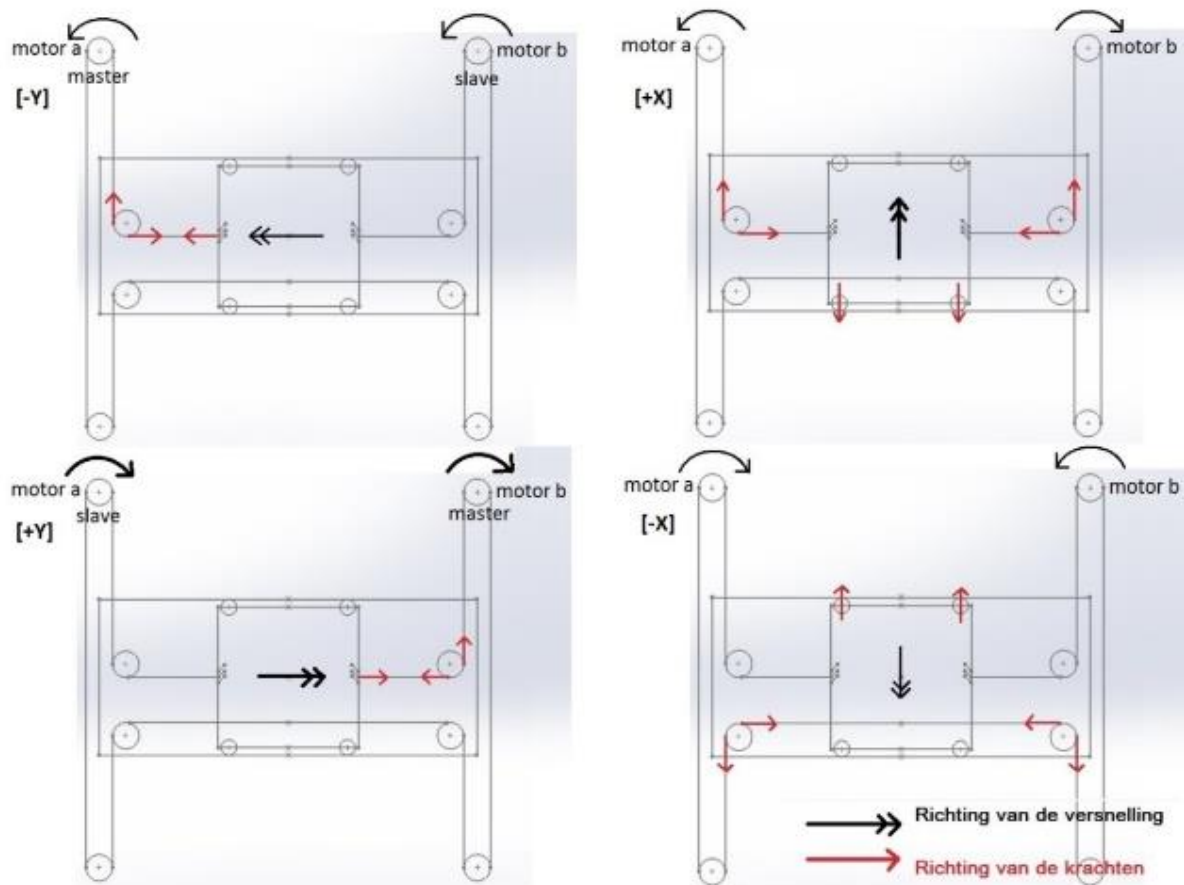
Als productie methode zijn een aantal verschillende technieken bekeken en uiteindelijk gecombineerd. Open mal technieken hebben het voordeel van een lage malprijs, maar leveren niet de benodigde eigenschappen die voor deze applicatie vereist zijn, omdat het glaspercentage in het product te laag is. Pultrusie – waarbij geïmpregneerde vezels door een mal getrokken worden waarin de uitharding plaatsheeft – is een efficiënt productieproces voor profielen. Voor andere vormen is vacuüm infusie met de gelimiteerde oplage van dit product een geschikte keuze. Deze laatste twee processen resulteren beide in hoogwaardige producten met een goede sterkte en stijfheid.



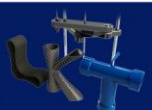
ONTWERP

Binnen het ontwerp is ten eerste gekeken naar de krachten die optreden bij verschillende versnellingen en bewegingen van het frame. Daarnaast is bepaald welke verticale krachten optreden als gevolg van het beladen van de manipulator.

Met behulp van deze krachten is gekeken hoe het rijframe ontworpen kon worden in lijn met ontwerpregels voor vezelversterkte kunststoffen; bijvoorbeeld de scherpe hoeken die in het staal ontwerp voorkomen, zijn niet goed mogelijk in composiet.



Figuur 20 Krachtenspel gantry-aandrijving

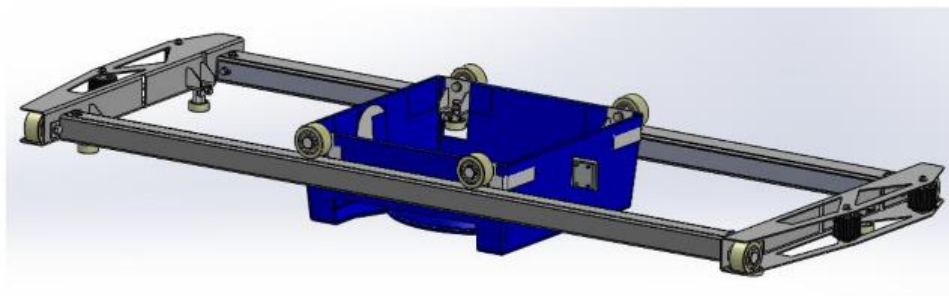


CONCEPT GENERATIE

Gedurende het ontwerpproces zijn 3 verschillende concepten gegenereerd per frame. Voor het ontwerp met een VVK, bleek het heel belangrijk om terug te kijken naar de functie en te kijken naar het krachten spel tussen de twee rijframes, zie afbeelding 22.

Daarnaast heeft de productiemethode zeer grote invloed op de kosten van het product. Aangezien het om een beoogde seriegrootte van 30-40 stuks per jaar gaat, heeft een mal al snel zeer grote invloed op de totale kosten van het product. Hierom is het ontwerp met standaard pultrusie profielen gekozen boven een ontwerp waarbij grote mallen benodigd zijn. Deze profielen zijn als halffabricaten te verkrijgen in verschillende standaard maten en wanddiktes. In figuur 23 staat het uitgewerkte concept afgebeeld.

Het tweede rijframe moet door de draaiing van de manipulator een torsiekracht opvangen, waardoor de kracht vanuit het centrum van het frame naar de wielen overgedragen moet worden. Hiervoor is het van belang om vezelversterking in meerdere richtingen te hebben in dit krachtenveld. Om deze reden is een malmethode als productiemethode gekozen. Vanwege de geringere afmetingen van het 2^e rijframe is het de verwachting dat de kosten voor de mal beheerst blijven.



Figuur 21 Uitgewerkt concept 1e & 2e rijframe

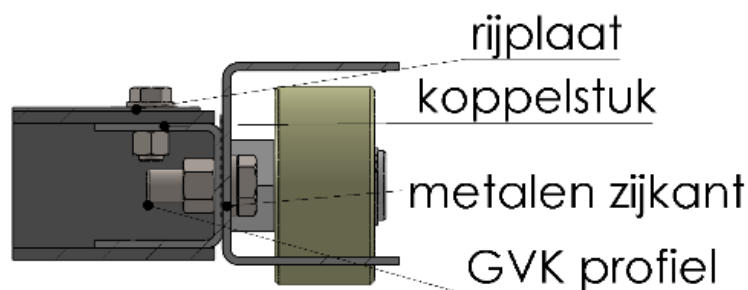
EERSTE RIJFRAME

In het gekozen ontwerp bestaat het eerste rijframe uit stalen zijkanten en glasvezel versterkte kunststof pultrusieprofielen die hier tussen worden gemonteerd. De profielen worden met behulp van koppelstukken aan de zijkanten gemonteerd. Om puntbelasting van de wielen van het tweede rijframe te verdelen is een stalen rijplaat op het profiel gemonteerd, dit helpt tevens tegen slijtage van de profielen.

De VVK profielen zijn afkomstig van Fibrolux GmbH en bezitten een hoog vezelvolumegehalte van 50-65%. De profielen zijn uitgevoerd in standaard isophtaalzuur polyester met glas, omdat dit de goedkoopste oplossing is en prima voldoet in de omstandigheden van dit product. De modulus, schuifspanning en trekspanning van profielen met deze materialen bedragen 25GPa, 25MPa en 250 MPa respectievelijk. Vochtopname ligt op 0,15% en het profiel bezwijkt pas bij een temperatuur van 200 °C.

Gesteld is dat de doorbuiging niet groter mag zijn dan 10mm wanneer een kracht van 2,6 kN op het frame komt te staan. In de berekening zijn de rijplaten meegenomen voor de stijfheid, aangezien deze relatief stijf zijn en zich op enige afstand van de neutrale as bevinden leveren deze een positieve bijdrage aan de buigstijfheid. Aan de hand van deze gegevens is een standaard 75x75x6 mm profiel geselecteerd, welke een berekende doorbuiging van 9,1 mm heeft en daarmee binnen de eis valt.

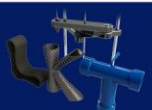
Vanwege de relatief lage stijfheid (E) van GVK is het vaak nodig om te werken met profielen met een grote doorsnede (bijvoorbeeld 75 x 75 mm) dit geeft namelijk een groter traagheidsmoment (I) en daarmee een grotere buigstijfheid (EI) en dat resulteert in kleinere doorbuigingen. In dit geval is gekozen voor een vierkant profiel, maar een verder optimalisatie zou een rechthoekig profiel kunnen zijn, vanwege een nog groter traagheidsmoment.



Figuur 22 Doorsnede kritisch punt

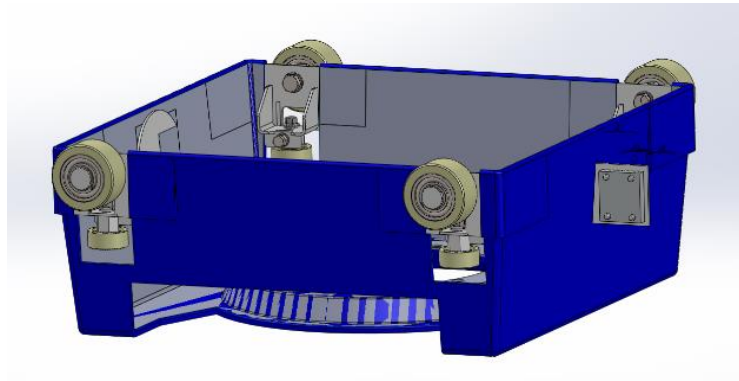
De koppeling van de profielen aan de zijplaat is een kritisch punt, zie figuur 24, waar de krachten worden overgebracht naar de machine. Vanwege de hoge vezeloriëntatie in de richting van het profiel leidt een simpele boutverbinding al snel tot scheuren tussen de vezels. Om dit te voorkomen is ervoor gekozen om het stalen koppelstuk met een gecombineerde bout- en lijmverbinding aan het GVK profiel te monteren. Om een uitschuifbreuk te voorkomen wordt het GVK profiel ingeklemd tussen de rijplaat en het koppelstuk. De zijplaten en koppelstukken zijn gezet uit 4 mm staal S235.

Het gewicht van dit ontwerp is 47 kg, wat een gewichtsreductie betekend van 56% ten opzichte van de oorspronkelijke 108 kg.



TWEEDE RIJFRAME

Van het tweede rijframe, zie figuur 25, is slechts een ontwerp gemaakt binnen dit project. Voor dit rijframe is een gesloten malmethode voorgesteld. Om de krachten over te brengen naar de vezels, zijn metalen inserts gebruikt in combinatie met een plaat die hem inklemt. Plaatsen hiervan zijn de wielen en de ophanging van de manipulator.



Figuur 23 Uitgewerkt concept 2^e rijframe

Aangezien met name dit systeem een hoog wissend aantal bewegingen bezit is gekozen om epoxy als matrix te nemen. Deze matrix heeft over het algemeen iets betere vermoeiingseigenschappen dan andere composiet harsen.

Voor de vezelversterking is een gewoven weefsel gekozen omdat hiermee een hoger vezelvolumegehalte en betere eigenschappen te behalen valt dan met Chopped Strand Mat (CSM). Het laminaat is symmetrisch opgebouwd om kromtrekken van het laminaat te voorkomen.

ASSEMBLAGE

Een van de observaties tijdens de assemblage was dat de wanddiktes van het GVK profiel niet constant waren. Dit komt omdat de producten gemaakt worden in een pultrusie proces met een inwendige doorn. Deze doorn kan een klein beetje verschuiven wat in wanddikte variaties resulteert. Naast dat dit een effect kan hebben op de behaalde sterkte en stijfheid, is het ook van belang voor connecties, hierbij kan eigenlijk alleen van de buitenzijde uitgegaan worden als constante waarde. De voorgestelde interne connector stukken werken dus ook om deze reden niet naar wens en een verbeter punt voor een volgende versie is om deze aan de buitenkant van het profiel te laten aangrijpen.

Naast dat de GVK profielen zijn ingeklemd tussen de rijplaat en het koppelstuk, is ook een passende epoxy lijm gezocht die zorgt voor een extra verbinding. Vanwege de mechanische eigenschappen is gekozen voor Araldite AW4858/HW4858, welke tevens is gebruikt om de rijbanen te verlijmen aan de GVK profielen.

TESTOPSTELLING

De testopstelling van het eerste rijframe is figuur 26 weergegeven.

Zoals berekend is de maximale kracht die op het profiel van het 2^e rijframe komt te staan 2,6 kN. De meting is uitgevoerd met een kracht van 2,7 kN, en hierbij bedraagt de doorbuiging 9,5 mm. Tijdens de testen is aangetoond dat de statische sterkte van het frame voldoende is. De doorbuiging (stijheid) is ook binnen de vooraf gestelde eis. De doorbuiging was wel groter dan bij de stalen uitvoering.



Figuur 24 Foto testopstelling

KOSTEN

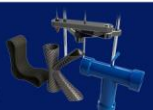
Het eerste rijframe heeft een vergelijkbare kostprijs met het huidige stalen frame. Op basis van de geschatte productieomvang is de kostprijs van het tweede rijframe, met name door de mal kosten, ongeveer 2 x hoger dan het huidige stalen frame.

MOGELIJKE OPTIMALISATIE

Uit de berekening en de test werd duidelijk dat de doorbuiging net binnen de gestelde eis valt van 10 mm. Om in de toekomst hogere snelheden te garanderen waarbij de doorbuiging binnen de eis blijft, wordt geadviseerd GVK profielen te nemen met een grotere profieldoorsnede (bijvoorbeeld 100 x 75 mm).

Ook zullen de koppelstukken aan de buitenkant van de GVK profielen gemonteerd moeten worden. Tijdens de assemblage kwam naar voren dat de wanddiktes van het profiel niet constant waren.

Het rijframe is statisch getest, het is echter een zeer dynamisch systeem. Hiervoor is in de berekeningen een veiligheidsfactor van 1,5 toegepast. Verdere testen met prototypes zal moeten uitwijzen of dit een goede aanname is.



CONCLUSIE

Door gebruik te maken van vezelversterkte kunststoffen is een significante gewichtsbesparing ten opzichte van staal mogelijk. In dit geval is voor het grote rijframe een gewichtsbesparing van 56% (61 kg) gerealiseerd. Door de lagere massa zouden hogere snelheden gehaald kunnen worden.

In dit onderzoek is gekeken naar zowel een hybride constructie van staal en GVK profielen als ook naar een GVK product uit een mal. Hierbij is gebleken dat vooral de eerste constructie methode voordelen biedt in kleinere series en kosten technisch vergelijkbaar is met staal. Wel zorgt de lagere materiaal stijfheid ervoor dat grotere profielen nodig zijn.

BRONNEN

Nijssen, R. (2013). *Composieten basiskennis*. Gouda: Hogeschool Inholland.

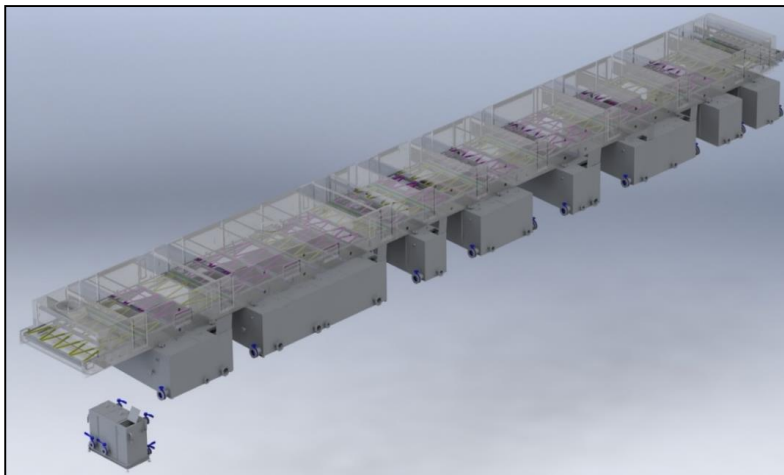
Schwarz, O., Furth, B., & Ebeling, F. W. (2009). *Kunststoffverarbeitung*. Würzburg: vogel.

VKCN-Focwa. (z.d.). *Vacuüminjectie van kunststof composieten*. VKCN-Focwa. syllabus.





3.4 VMI



Figuur 25 De canwasher

Partner:



VMI Group

Bedrijfstak:

Machinebouw

Werknemers:

1500+

Locatie:

Epe

Student en docenten

Luuk Broers, Ghassan Radha en
Freek Noordhuis

TOEPASSEN VAN KUNSTSTOF IN FRICTIESYSTEMEN

VMI Group ontwikkelt en bouwt Canwasher machines, zie figuur 27, die in een productielijn van blikken verpakkingen bedoeld voor de voedselindustrie, worden geplaatst. De Canwasher zorgt voor het reinigen en voorbereiden van de geproduceerde blikken. Het transportsysteem, bestaande uit één lopende band en één ondersteuning, ondervindt veel slijtage. In deze opdracht wordt de ondersteuning van de Canwasher met behulp van kunststof herontworpen om de optredende slijtage te beperken. Hier ligt de focus bij een materiaalonderzoek naar slijtagegedrag van bepaalde materiaalparen bij bepaalde omgevingsfactoren.

Onderzoek door: Luuk Broers

PROBLEEMSTELLING

Door het vlak-op-vlak contact van twee metalen treedt te veel slijtage op in het huidige transportsysteem van de Canwasher, dit resulteert in te hoge en vooral onvoorspelbare totale eigendomskosten.

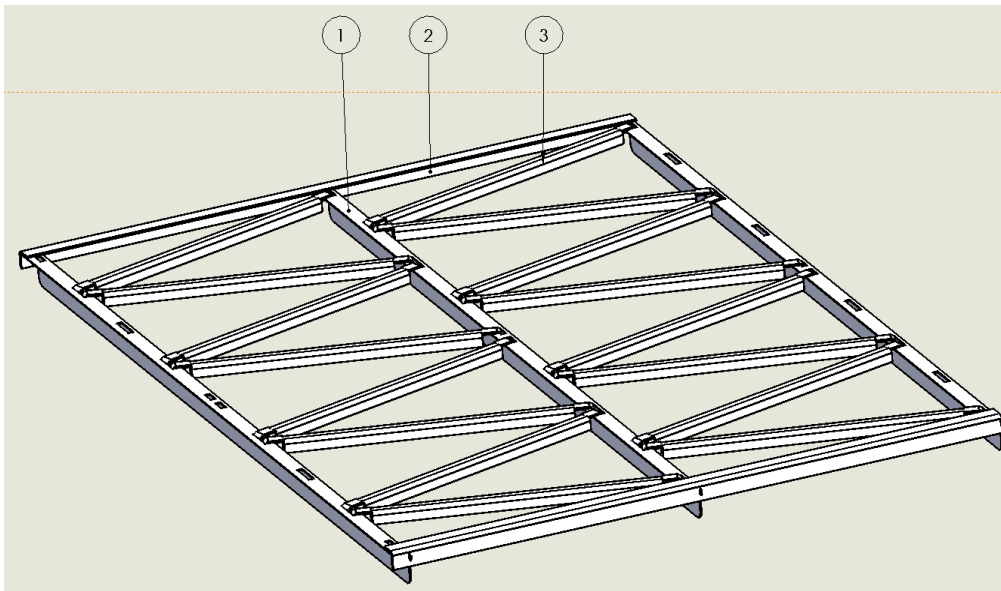
DE ONDERSTEUNING

De ondersteuning van het transportsysteem in de Canwasher, zie figuur 28, is opgebouwd uit drie soorten profielen.

1. Dwarsprofiel
2. Zijprofiel
3. Slijtprofiel



De ondersteuning zit met de zij- en dwarsprofielen vast gelast in de machine. Een geheel herontwerp van de ondersteuning zou het optredende probleem niet oplossen voor bestaande machines. Er is baat bij een "retrofit" herontwerp van de slijtprofielen. De eis die hieraan gesteld wordt is dat deze één op één uitgewisseld kunnen worden met de huidige slijtprofielen.

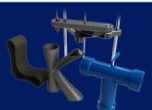


Figuur 26 Ondersteuning canwasher transportsysteem

ONDERZOEKSOPZET

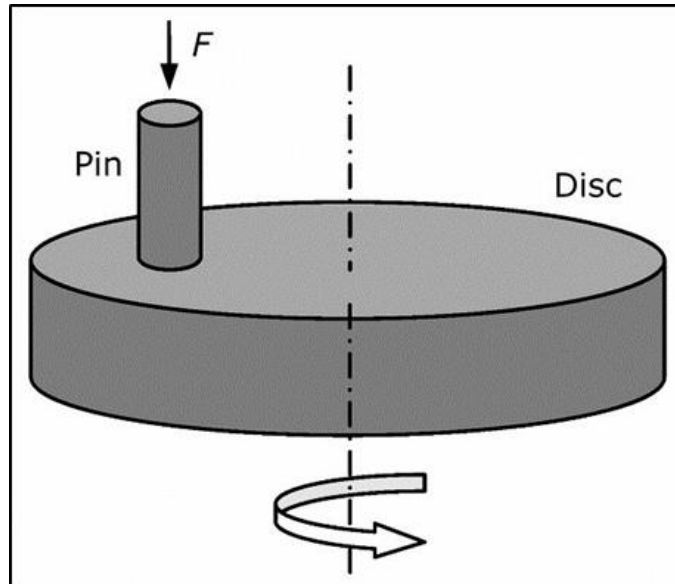
Er moet onderzoek gedaan worden naar de hoeveelheid slijtage van kunststoffen in de omgevingsomstandigheden van de Canwasher. Dit is gedaan met behulp van een Pin-on-Disk Tribometer, zie figuur 29. Hierbij wordt een kunststofpin, met een bepaalde kracht op een roterende RVS schijf gedrukt. De parameters worden zo vastgesteld dat deze de omstandigheid van het transportsysteem van de Canwasher nabootsen. De parameters zijn:

<i>Parameter</i>	<i>Waarde</i>	<i>Eenheid</i>
<i>Snelheid</i>	120	rpm
<i>Kracht (F)</i>	35	N
<i>Testduur</i>	3	Uur
<i>Pin Diameter (d)</i>	8	mm
<i>Track Diameter (D)</i>	20	mm



De pinnen worden in drie omgevingstoestanden getest;

- Droog
- Nat en verwarmd (60 graden)
- Chemisch droog



Figuur 27 Principe pin op disk

De chemische omgevingstoestand werd gesimuleerd door de samples een maand lang in geconcentreerd zoutzuur te leggen. De pin samples worden voor en na het testen gewogen, hieruit volgt een gewichtsverschil wat omgerekend kan worden naar materiaalverlies.

De materialen die getest worden zijn bepaald met behulp van vooronderzoek en in overleg met de leverancier van VMI. Hieruit zijn tien verschillende materialen gekomen, deze selectie is uiteindelijk aangescherpt vanwege tijdgebrek. Uiteindelijk zijn zes materialen initieel getest, na deze testen is de materiaalkeuze verfijnd tot drie materialen. Deze drie materialen zijn in totaal drie keer in elke omstandigheid getest, dit om meetfouten zo veel mogelijk uit te sluiten.

De volgende zes materialen zijn initieel getest.

- HMPE
- POM
- PP
- PTFE
- PTFE CG (koolstof gevuld)
- PETP

KWANTIFICEREN SLIJTAGE

Slijtage kwantificeren is complex, dit komt doordat heel veel verschillende factoren invloed hebben op slijtage. In het geval van deze opdracht is de wet van Archard gebruikt. De wet van Archard luidt als volgt:

$$V = k \cdot F \cdot s$$

waarbij:

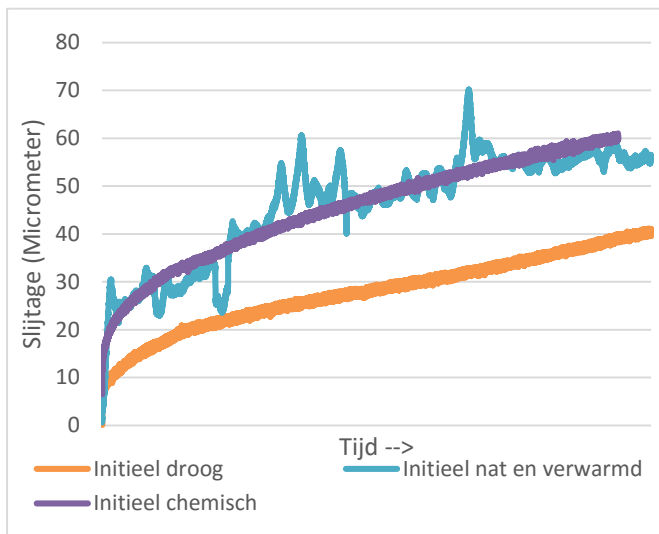
$$\begin{aligned} V &= \text{Verloren volume (m}^3\text{)} \\ k &= \text{Slijtagecoëfficiënt } \left(\frac{\text{m}^2}{\text{N}} \right) \\ F &= \text{Kracht (N)} \\ s &= \text{Afgelegde afstand (m)} \end{aligned}$$

Door het testen wordt de k-waarde bepaald in de verschillende omstandigheden. Met deze k-waarde kan een schatting gemaakt worden van de levensduur van het herontwerp. Belangrijk is dat de k-waarde gebruikt wordt om de verschillende kunststoffen met elkaar te vergelijken. De uiteindelijke levensduur is een grove schatting en zal in geen enkel geval precies kloppen. Dit heeft weer te maken met de hoeveelheid factoren die invloed hebben op slijtage, die nooit allemaal precies na te bootsen zijn.

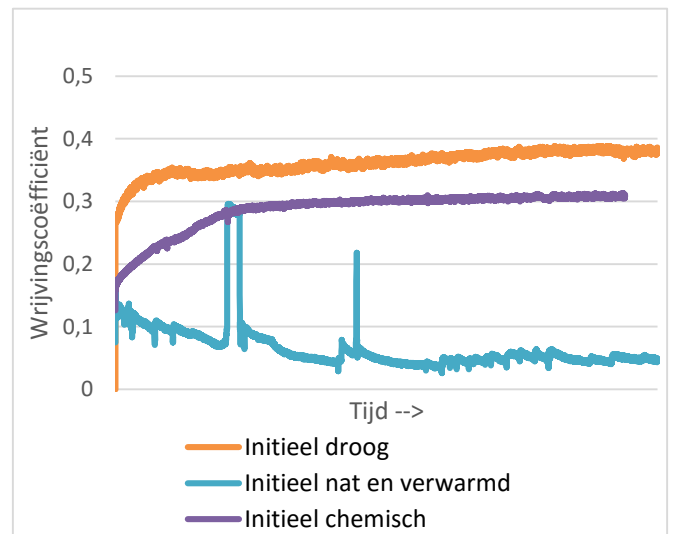


TESTRESULTATEN

Om een voorbeeld te geven van het verloop van een slijtagetest zijn in **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.31 en 32** de initiële meetwaarden van HMPE in een grafiek



Figuur 29 Slijtage van HMPE (300)



Figuur 28 Wrijvingscoëfficiënt van HMPE (300)

weergegeven.

In de grafieken is goed te zien dat bij de slijtage eerst een inlooperperiode optreedt, waarna de slijtage vervolgens nagenoeg lineair loopt. De waarden uit deze grafiek worden overigens niet gebruikt bij het verkrijgen van de k -waarden. Hier wordt het gewichtsverschil van voor en na de test gebruikt, samen met de dichtheid van het materiaal kan het volumeverlies bepaald worden. De initiële testresultaten zijn weergegeven in tabel 6.

Pin- materiaal	k -waarde droog $\cdot 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$	k -waarde nat en verwarmd $\cdot 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$	k -waarde chemisch (droog) $\cdot 10^{-15} \text{ m}^2/\text{N}$
RVS 316L	593,7	-	-
HMPE (300)	19,9	4,4	22,2
POM	7,5	10,5	17,9
PP	222,0	513,6	48,6
PTFE	464,9	424,0	523,4
PTFE CG	15,2	48,6	12,1
PETP	4,6	143,4	6,1

Tabel 6: Initiële testresultaten

Aan de hand van de waarden in tabel 6 zijn drie kunststoffen gekozen om definitief te gaan testen. De definitieve kunststoffen zijn:

- HMPE
- POM
- PETP

Te zien is dat PETP in nat en verwarmde toestand een zeer hoge k-waarde heeft. Door de waargenomen discrepantie met de hoge k-waarde is het interessant PETP nader te onderzoeken.

Het herontwerp dat gemaakt wordt voor de ondersteuning zal met alle drie de definitieve kunststoffen uitgevoerd kunnen worden. Uiteindelijk wordt er een levensduurschatting en kostprijsvergelijking gemaakt per materiaal waarna een conclusie en aanbeveling kan worden gedaan. De definitieve testresultaten resulteerde in een gemiddelde k-waarde voor elk materiaal in elke omgevingsomstandigheid.

Deze gemiddelde k-waarden zijn weergegeven in tabel 7

	<i>k-waarden * 10^{-15 15} m²/N</i>		
	Droog	Nat en verwarmd	Chemisch & droog
<i>HMPE</i>	17,0	1,5	19,2
<i>POM</i>	6,0	15,3	9,0
<i>PETP</i>	2,5	87	4,6

Tabel 7: Gemiddelde k-waarden voor drie kunststoffen

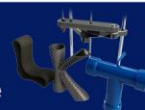
Opvallend is opnieuw dat PETP een veel hogere waarde geeft in natte en verwarmde toestand. HMPE geeft juist een veel lagere waarde in die omgeving.

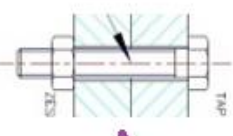
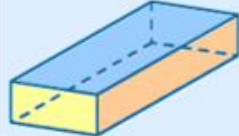
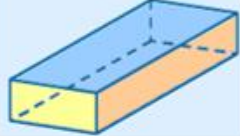
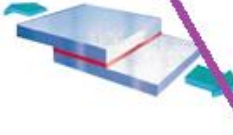
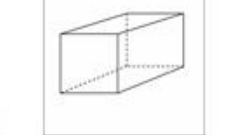
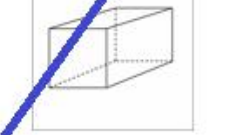
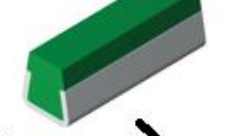
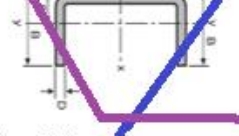
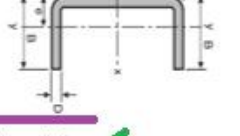
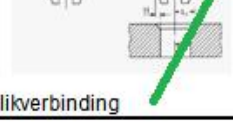
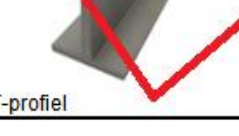
CONCEPTFASE

In deze fase wordt een retrofit herontwerp voor het slijtprofiel in de ondersteuning van het transportsysteem in de Canwasher bepaald. Het slijtprofiel wordt onderverdeeld in de volgende aspecten.

- Bevestiging kunststof op RVS
- Vorm RVS
- Vorm kunststof

Voor elk aspect worden deeloplossingen bedacht, deze worden vervolgens in een morfologisch overzicht gezet. In dit overzicht worden structuren bedacht die vervolgens uitgedacht zijn tot concepten. In figuur 32 is het morfologisch overzicht inclusief de structuren te zien.



Functies	Bevestiging kunststof op RVS	Vorm RVS	Vorm kunststof
A	Bout/moer verbinding 	Strip 	Strip 
B	Lijmverbinding 	Balk 	Balk 
C	Inleggen 	U-profiel 	U-profiel 
D	Opleggen 	C-profiel 	H-profiel 
E	Pendop verbinding 	Lokerprofiel 	C-profiel 
F	Klikverbinding 	T-profiel 	

Figuur 30 Structuurbepaling morfologisch overzicht

Door middel van een keuzetabel wordt uiteindelijk één concept gekozen. De concepten zijn op de volgende punten beoordeeld:

- Kostprijs,
- Opnieuw uitlijnen machine,
- Assemblagesnelheid,
- Produceerbaarheid kunststof,
- Produceerbaarheid RVS.

Uit de keuzetabel kwam concept 5 als beste naar voren, een schroefverbinding is echter niet wenselijk en dit is uiteindelijk vervangen door een druknagel. Dit zal voordelig zijn in de kostprijs en in de assemblagesnelheid. De druknagel is op sterkte gecontroleerd en voldoet aan de eisen.

DETAILLERING

In deze fase wordt het gekozen concept gecontroleerd met een aantal berekeningen. De volgende aspecten zijn gecontroleerd:

- Stijfheid,
- Sterkte,
- Bevestiging,
- Uitzetting kunststof,
- Druknagel verbinding.

Al deze aspecten voldoen aan de eisen. Vervolgens is in deze fase een levensduurschatting gemaakt van elke definitief geteste kunststof. De levensduur is door middel van de volgende formule bepaald.

$$\text{Levensduur in jaren } L_{10} = \frac{\text{afgelegde afstand } s}{7,5 \frac{\text{meter}}{\text{minuut}} \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365}$$

De levensduurschattingen per kunststof zijn:

	HMPE	POM	PETP
	Levensduur in jaren	Levensduur in jaren	Levensduur in jaren
<i>Droog</i>	3,2	9,1	21,8
<i>Nat en verwarmd</i>	36,3	3,6	0,6
<i>Chemisch</i>	2,8	6,0	11,8

Ook is er een kostprijsvergelijking gemaakt, deze is gebaseerd op offertes van de leverancier en met behulp van de werkvoorbereiding van VMI. De kostprijsvergelijking is hieronder te zien.

	RVS (huidig)	HMPE	POM	PETP
<i>RVS profiel</i>	€ 63,40	€ 34,00	€ 34,00	€ 34,00
<i>kunststof profiel</i>	€ 0,00	€ 24,50	€ 26,25	€ 27,43
<i>Aantal profielen</i>	200	200	200	200
<i>Totaal</i>	€ 12.680	€ 11.700	€ 12.050	€ 12.285



Te zien is dat bij elk van de kunststoffen het herontwerp goedkoper uitvalt dan de huidige ondersteuning. De baten die, naast de kostenbesparing van de slijtprofielen zelf, resulteren uit dit herontwerp zijn:

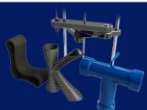
- De slijtage van de band zal minimaal zijn en hoeft tijdens de levensfase van de Canwasher niet meer vervangen te worden,
- Het kunststof zal een geluiddempend effect hebben op het transportsysteem,
- De breedte vermindering van de slijtprofielen resulteren in een vermindering in de sproeiobstructie,
- Het gemaakte retrofit ontwerp doet een deur open voor een geheel herontwerp van de ondersteuning,
- De kunststof slijtprofielen zullen een gewichtsbesparing geven, dit is vooral voordelig voor transport,
- Dat de levensduur langer wordt heeft als gevolg dat de machine minder vaak stop gezet hoeft te worden voor onderhoud (uptime omhoog). Dit bespaart veel geld voor een machine die tot 7000 blikken per minuut schoon kan maken.

CONCLUSIE

VMI heeft veel baat bij een retrofit ontwerp in de ondersteuning van de Canwasher. Met een retrofit kan het ontwerp in een bestaande machine gemonteerd worden en kan de slijtage elke maand gemeten worden.

Het resultaat van deze opdracht laat zien dat kunststof een goede vervanging kan zijn van RVS in frictiesystemen. De slijtage die optreedt wordt niet alleen ruim verminderd maar is ook beter controleerbaar. De testresultaten geven voor de toepassing in het transportsysteem van de Canwasher HMPE, POM en PETP als beste kunststoffen weer. Deze kunststoffen zijn verder getest en uit die resultaten blijkt dat beide POM en PETP méér slijtage hebben in natte en verwarmde toestand. HMPE daarentegen heeft minder slijtage in natte en verwarmde toestand, dit komt omdat de wrijvingscoëfficiënt verlaagd wordt door het water. Het water fungeert als smeermiddel voor het systeem. Het toepassen van kunststof voor dit systeem zal de levensduur van de ondersteuning verlengen.

Ook de band slijt minimaal, dit resulteert in een grote vermindering van de totale eigendomskosten. Bij het herontwerp is gekozen tussen een combinatie van kunststof en RVS. Kunststof kan in de ondersteuning niet zelfdragend de massa van de band en blikjes aan, het RVS wordt toegepast om de sterkte op te vangen. Niet alleen de levensduur kan verbeterd worden door het herontwerp. De kostprijs van de slijtprofielen die herontworpen zijn kan met het toepassen van PE tot bijna € 1.000,00 goedkoper worden. Het nadeel is dat bij het herontwerp extra handelingen nodig zijn voor assemblage, het kunststof onderdeel moet nog aan het RVS worden bevestigd. Het herontwerp voldoet aan alle opgestelde eisen.



BRONNEN

ASTM, I. (2000). G99 - 95a Standard test method for wear testing with pin-on-disc apparatus. West Conshohocken: ASTM. Opgeroepen op Maart 26, 2015

So, H. (1996). Characteristics of wear results tested by pin-on-disc at moderate to high speeds. *Tribology International*, 415 - 423. Opgeroepen op April 6, 2015

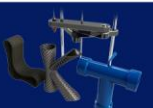
Habasit. (sd). *Wear Strips and Guides habiPLAST*. Opgeroepen op Maart 16, 2015, van Habasit: <http://www.habasit.com/en/wear-strips-and-guides.htm>

Hibbeler, R. C. (2009). *Sterkteleer*. Amsterdam: Pearson Education Benelux.

Skiffy. (sd). *Skiffy Druknagel*. Opgeroepen op Juni 18, 2015, van Skiffy: <http://www.skiffy.com/>

Slideways. (sd). *Wear strips for plastic modular belts*. Opgeroepen op Maart 13, 2015, van Slideways: <http://www.slideways.com/wear-strips-for-plastic-modular-belts/>

Tribolex. (2015). *Tribolex, wrijving en slijtage*. Opgeroepen op Maart 27, 2015, van Tribolex: www.tribolex.nl



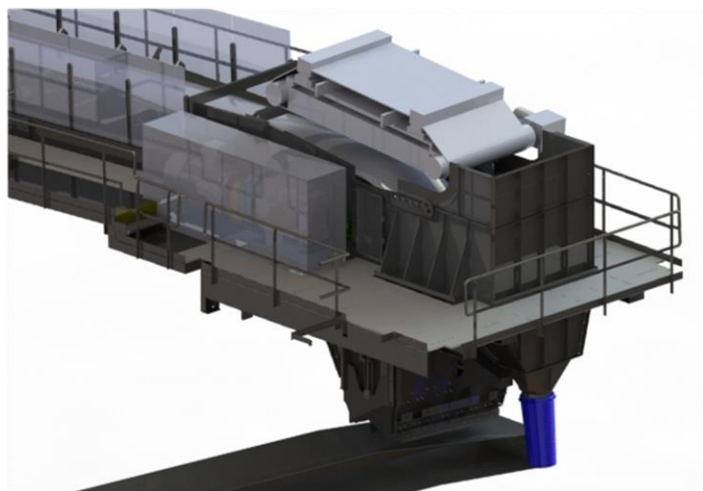
3.5 TME



Figuur 31 TMI voorbeelden van toepassingen

TME is een machinebouw bedrijf gespecialiseerd in het ontwerpen en realiseren van werktuigen en constructies voor grote industriële toepassingen in de offshore, bulk- en beton en asfalt industrie. Een van de installaties die TME levert is een overslagstation, zie figuur 34, waar materiaal van een transportband overgeladen wordt op een volgende band. In sommige specifieke toepassingen wordt boven de aanvoerband een grote elektromagneet geplaatst om metalen uit de transportstroom te verwijderen. Vanwege de elektromagneet wordt een deel van de installatie gemaakt van niet magnetisch RVS. Het gebruik van RVS verhoogt de kostprijs ten opzichte van een overslagstation gemaakt uit normaal constructiestaal.

Gezamenlijk met het Lectoraat Kunststoftechnologie is besloten om te onderzoeken of het mogelijk is om de RVS onderdelen te vervangen door glasvezelversterkte kunststoffen (GVK), omdat dit tevens niet magnetisch is en daarom een geschikte vervanger zou kunnen zijn. Voor het onderzoek wordt uitgegaan van een bestaand overslagstation. Potentieel hebben kunststoffen een aantal voordelen ten opzichte van RVS, hierbij moet men denken aan een lager gewicht en hogere duurzaamheid. Er zijn echter ook twee grote vraagstukken; is de gekozen kunststof sterk en stijf genoeg om de mechanische belasting aan te kunnen en is het materiaal voldoende slijtvast voor deze toepassing?



Figuur 32 Overslagstation

Partner:



Bedrijfstak:

Offshore en
bulkhandelingsindustrie

Werknemers:

Circa 60 medewerkers

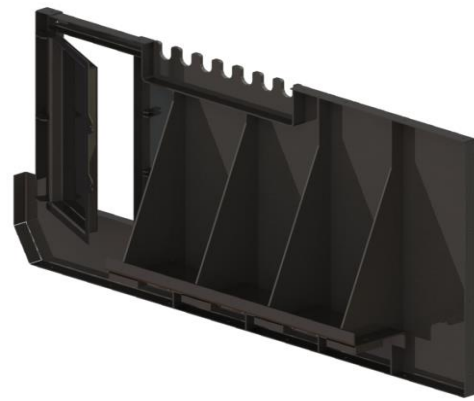
Locatie:

Zwolle

Student en
docent/onderzoeker

Marnick Hopster en Jasper
Bouwmeester

Meerdere onderdelen in het overslag station komen in aanmerking voor vervanging door GVK, in overleg is besloten om het zijpaneel, zie figuur 35, verder uit te werken aangezien dit een representatief onderdeel is. Daarnaast zijn er onderdelen die in contact komen met de materiaalstroom; voor deze onderdelen zal slijtvastheid een grotere rol spelen.



Figuur 33 Zijpaneel

EISEN

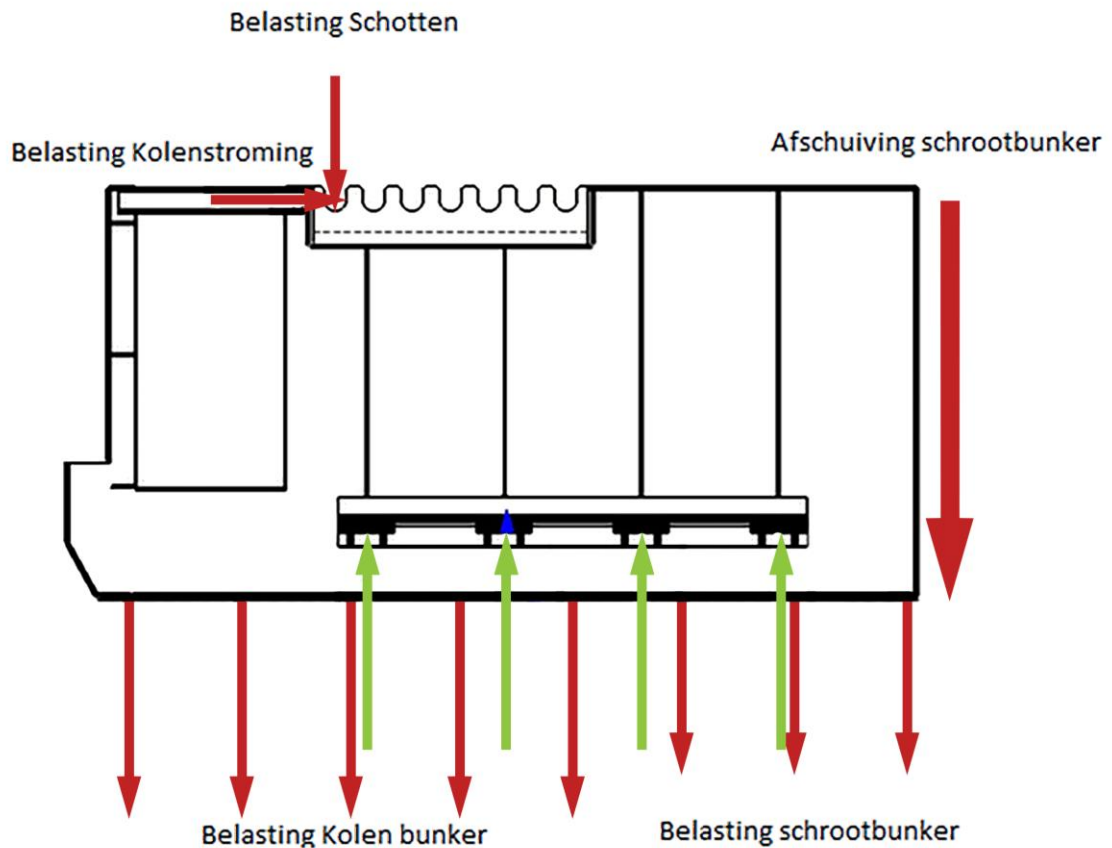
De volgende eisen zijn gesteld aan het GVK product:

OMSCHRIJVING	EIS
STERKTE	Volle bunker erts + veiligheidsmarge
STIJFHEID	Geen excessieve verplaatsingen
SLIJTAGE	Een stand tijd die minstens net zo lang is als de RVS variant.
KOSTPRIJS	Minder dan RVS
FYSIEKE EIGENSCHAPPEN	Niet magnetisch



AANPAK

Ten eerste is gekeken naar de krachten die op het zijpaneel komen te staan bij volledige vulling, wat te zien is in de onderstaande figuur.



Figuur 34 Overzicht belastingen van het zijpaneel

Belastingen

- belasting kolen bunker = 55.0 kN,
- belasting schrootbunker = 2.0 kN,
- dwarskracht schrootbunker = 2.0 kN,
- belasting schotten = 5.5 kN,
- belasting kolenstroming = 3.7 kN.

Hieruit is te zien dat de grootste krachten optreden door het gewicht van de gevulde bunker zelf.

VERGELIJK RVS EN GVK

Een RVS plaat van 1 mm heeft een yield strength van 190 MPa en weegt 7,8 kg/m². De maximale sterkte van een glasweefsel vesterkt polyester plaat is (gelimiteerd op 1% rek) 250 MPa. Om nu dezelfde belasting aan te kunnen moet de glas polyester plaat een dikte hebben van 0.76mm, wat vervolgens leidt tot een gewicht van 1,4 kg/m².

VERGELIJK OP BASIS VAN ZELFDE UITREKKING BIJ GELIJKE BELASTING

Een staalplaat van 1 mm heeft een modulus van 210 GPa en weegt 7.8 kg/m². De glas polyester plaat heeft een modulus van 25 GPa. Om bij een gelijke belasting dezelfde uitwijking te krijgen, moet de glas polyesterplaat een dikte hebben van 8,4 mm, wat vervolgens leidt tot een gewicht van 18.5 kg/m².

Aan deze twee voorbeelden is te zien dat het belangrijk is om vooraf duidelijke criteria op te stellen met betrekking tot zowel sterkte als stijfheid.

Om te vergelijken wat de effecten zijn op de zijpanelen, zijn deze gesimuleerd in Solidworks Simulation, waarbij zowel naar de huidige RVS optie als naar de VVK optie gekeken is. Hierbij is ook gekeken naar de effecten van verschillende laminaat opbouw.

Uit deze simulatie blijkt dat het voor de combinatie van krachten van belang is om in elk geval een deel van de vezels in ± 45 graden richting te hebben in verband met de dwarskrachten.

Bij de simulaties is tevens gebleken dat de lagere modulus van de VVK er grote deflecties kunnen ontstaan deels worden opgevangen door de geometrie van het station.

Er is uiteindelijk voor gekozen om een GVK dikte van 2 mm toe te passen, aangezien dit een grote veiligheidsfactor meebrengt en ook nog voldoende marge voor slijtage laat bestaan. Dit laminaat heeft een gewicht van 3,6 kg/m². De verwachting is dat dit een gewichtsbesparing levert van 47% tov de huidige RVS platen.

SLIJTAGES

Op de plekken waar de materiaalstroom in contact komt met de bunker treedt abrasieve slijtage op. Om een idee te krijgen van de slijtage weerstand is van een aantal vulmiddelen gekeken hoe de slijtageweerstand van het GVK paneel verbeterd kan worden. Hierbij lijken silicium carbide en wollastonite twee goede kandidaten die het slijtgedrag significant kunnen verbeteren ten opzichte van de onge vulde GVK. De hardox platen die op dit moment gebruikt worden in de materiaalstroom zijn wel slijtvaster.



CONCLUSIE

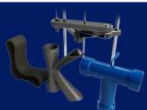
Het is mogelijk om een herontwerp in GVK te maken van de stortbunker. Hierbij is het wel van belang om de plekken die direct met de materiaalstroom in aanraking komen uit te voeren in een voldoende slijtvast materiaal, of het GVK te voorzien van een slijtvaste laag die hiertegen bestand is.

GVK is niet magnetisch en kan dus gebruikt worden in plaats van RVS. Het is ook ongevoelig voor corrosie, wat argumenten zijn om GVK toe te passen in deze constructie. Een station uitgevoerd in GVK vergt wel aanpassingen in het ontwerp, aangezien met een grotere flexibiliteit rekening gehouden moet worden.

AANBEVELINGEN

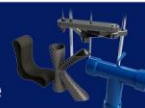
In dit project is gekeken of een stalen/ rvs-bunker uit VVK gemaakt zou kunnen worden. Idealiter zou een nieuw ontwerp meer vanuit de basisfunctionaliteit bekeken worden, waarbij de materiaaleigenschappen van VVK (corrosiebestendigheid, laag gewicht, niet magnetisch, etc.) optimaal benut kunnen worden, terwijl de mogelijke nadelen (minder slijtvast, ander faalgedrag) geïmminiseerd worden. Voor een dergelijk nieuw ontwerp is het van belang om wellicht een stap verder terug te gaan dan in dit project gedaan is.

Een tweede aanbeveling is het kijken naar andere delen in de constructie, die wellicht minder slijtage te verduren hebben, maar wel veel last hebben van corrosie. Hierbij kan men denken aan de support constructie en de verschillende transportbanden.



BRONNEN

1. **Nederlands Normalisatie-instituut.** *NEN-EN10088-3*. Delft : sn, 2012.
2. **Normalisatie-instituut, Nederlands.** *NEN-EN 15860*. Delft : Nederlands Normalisatie Instituut, 2010.
3. **Nederlands Normalisatie-instituut.** *NEN-EN-ISO 2078(EN ISO 2075)*. Delft : Nederlands normalisatie instituut, 1995.
4. **Saint-gobain vetrotex.** glassproperties.com/glasses/e_r_and_D_glass_properties.pdf. *glassproperties.com*. [Online] 03 2002. [Citaat van: 12 03 2015.] http://glassproperties.com/glasses/E_R_and_D_glass_properties.pdf.
5. **Nijssen, R.P.L.** *Composieten Basiskennis*. sl : Hogeschool inholland, 2013. 978-90-77812-45-7.
6. **Kok, Lammert.** repository.tudelft.nl/report_-_lamert_kok_-_. *TU Delft*. [Online] 21 01 2013. Master Thesis: Feasibility study for FRP in large Hydraulic structures, H5 Determination of the mechanical properties of a FRP.
7. **Pihili, Hasim.** www.elsevier.com/locate/europolj. *Sciencedirect*. [Online] 9 October 2008. [Citaat van: 26 april 2015.]
8. **Klaus Friedrich, Zhong Zhang, Alois K. Schlarb.** Effects of various fillers on the sliding wear of polymer composites. *www.sciencedirect.com*. [Online] 28 julie 2005. [Citaat van: 8 5 2015.]
9. **Werner A. Hufenbach, Aleksander Stelmakh, Klaus Kunze, Robert Bohm, Robert Kupfer.** Elsevier. *www.sciencedirect.com*. [Online] 15 february 2011. [Citaat van: 14 april 2015.]
10. **steelinox.** http://www.steelinox.nl/athena/site/file_database/1.4301_datasheet.pdf. <http://www.steelinox.nl/>. [Online] [Citaat van: 5 3 2015.] http://www.steelinox.nl/athena/site/file_database/1.4301_datasheet.pdf.
11. **werkvreugde.** <http://rvs.werkvreugde.nl/rvs.php>. <http://rvs.werkvreugde.nl/>. [Online] [Citaat van: 5 3 2015.] <http://rvs.werkvreugde.nl/rvs.php>.
12. **Tosec.** <http://www.tosec.nl/wiki>. [Online] [Citaat van: 5 3 2015.] <http://www.tosec.nl/wiki/hardox/>.
13. **Hasim Pihili, Nihat Tosun.** Investigation of the wear behaviour of a glass fibre reinforce composite and plain polyester resin. *Sciencedirect*. [Online] 8 September 2000. [Citaat van: 13 april 2015.] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266353801001968>.
14. **Mindivan, H.** *Effects of Combined Diffusion Treatments on the Wear Behaviour of Hardox 400 Steel*. sl : Elsevier, 2013.
15. **Budinski, Kenneth G. Budinski & Michael K.** *Materiaalkunde*. 8e editie. sl : Pearson Benelux B.V., 2009.
16. **Zhang, S. W.** Elsevier Science. *Sciencedirect.com*. [Online] 1998. [Citaat van: 16 april 2015.]



3.6 MOBA

Figuur 35 Karakteriseren van het stationaire slijtage- en



*wrijvingsgedrag van kunststof(compound)
materiaalsystemen voor Moba*

Partner:

MOBA

Bedrijfstak:

Machinebouw eierindustrie

Werknemers:

615

Locatie:

Barneveld

student en docent:

Javier Ill 'an L'opez, Marlous van der
Braak, Fleur Becker en Jimmy
Cornelisse en Ghassan Radha

INLEIDING

MOBA Group bestaat uit meerdere bedrijven die samen een fabrikant van machines voor het sorteren, verpakken van eieren vertegenwoordigen. Moba maakt veel gebruik van kunststof onderdelen in deze machines. Industriële kunststoffen worden steeds vaker overwogen voor het vervangen en/of optimaliseren van componenten in de machinebouw. Daarmee krijgen machineonderdelen- indien de toepassing van kunststof toelaatbaar is- een stevige kwaliteitsimpuls qua functionaliteit en betrouwbaarheid. Daarnaast spelen de relatieve lage materiaal- en verwerkingskosten een extra rol bij het overwegen van componenten in kunststof. Dit zou een directie positieve impact op de aanschaf- en onderhoudskosten voor de klant hebben.

De huidige case richt zich op het meten van de snelheid waarmee ploegslijtage zich ontwikkelt en de optredende wrijvingscoëfficiënten voor een aantal materiaalsystemen uit het materialenbestand van Moba; POM PTFE Hostaform (C-9021 TF 20%) tegen PA6.6 Luvocom (NSB 90 BK zwart), PK Carilon (D27HM800 naturel) tegen PBT Celanex (2002-2 naturel) en PBT Celanex (2002-2 naturel) tegen POM Hostaform (C-9021 SW naturel) onder glijbeweging.

De relevantie van deze case uit zich in het feit dat de resulterende tribologische eigenschappen (slijtage- en wrijvingscoëfficiënt) van de onderzochte materiaalsystemen van direct nut kunnen zijn voor de constructeurs van het bedrijf om de materiaalkeuze voor een aantal machineonderdelen te optimaliseren. Het terugbrengen van slijtage bij een machineonderdeel leidt tot een langere standtijd en het verhogen van de betrouwbaarheid van de machine waarin het onderdeel gebruikt wordt.

DOELSTELLING

De doelstellingen van de huidige case kunnen als volgt geformuleerd worden:

- Bereken en meet respectievelijk, voor drie kunststof (compound) materiaalsystemen uit het Moba materiaalbestand, de stationaire slijtage en wrijvingscoëfficiënt.
- Verantwoord de gebruikte fundamentele kennis en technieken uit de literatuur m.b.t. kunststof(compound) materiaalsystemen.
- Vergelijk de stationaire slijtage- en wrijvingscoëfficiënten van de drie materiaalsystemen.

PROBLEEMSTELLING

De hoofdvraag van het huidige onderzoek kan het best als volgt geformuleerd worden:

“Wat is het verschil in de slijtage- en levensduurprestaties van de verschillende door Moba benoemde kunststof(compound) materiaal systemen?”

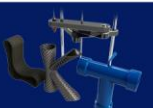
De hoofd-onderzoeksvraag kan onderverdeeld worden in de volgende onderzoeksvragen:

- Wat is het theoretische kader waarmee het slijtage- en wrijvingsgedrag van kunststof(compound) materiaalsystemen benaderd kan worden?
- Wat is de best geschikte experimentele techniek die gebruikt kan worden voor het produceren van relevante slijtage- en wrijvingsdata?
- Wat zijn de instelparameters en de uitvoergrootheden van een experimentele simulatie van het slijtageproces in het laboratorium?
- Wat zijn de mogelijke berekeningen die gedaan kunnen worden aan de hand van de verzamelde slijtagetestdata?
- Is het mogelijk om het slijtage- en wrijvingsgedrag van de verschillende materiaalsystemen met elkaar te vergelijken?

Moba heeft speciale aandacht voor de degradatie van een aantal onderdelen die ontworpen zijn als glijpartners. Een voorbeeldonderdeel uit het productieassortiment van Moba -waarvan bekend is dat het veel slijtage in korte tijd (minder dan 6 maanden) bij de klant ondervindt- is het onderdeel “tandwiel met arm”, zie figuur 38. Dit onderdeel wordt in groten getale in veel van de geproduceerde machines toegepast.



Figuur 36 “tandwiel met arm”



Het "tandwiel met arm" bestaat uit een ronde vorm met aan de bovenkant vertanding. Tegenover de vertanding zit een uitstekende buis. Dit onderdeel glijdt door een curvegeleiding/rails en komt zo in aanraking met de geleider. Figuur 39 laat dit mechanisme zien.



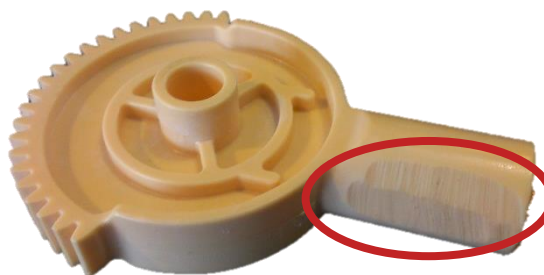
Figuur 39 Het mechanisme met de arm

De functie van dit onderdeel binnen de machine is om het met 90° draaien van de transportrichting van de eieren mogelijk te maken. Het veranderen van richting wordt gedaan doormiddel van de arm die aan de onderkant van het mechanisme door middel van een curvegeleider omhoog gaat. Als de arm zijn hoogste punt bereikt, komt de snelheid precies overeen met een ei-grijper. Deze ei-grijpers pakken de eieren van boven, de eieren worden nu "hangend" vervoerd. Ze worden nu in de andere richting verder getransporteerd. Een beter beeld van dit overpakpunt is te zien in figuur 40.



Figuur 40 Het ei wordt opgetild door een grijper

Het "tandwiel met arm" gaat via een rails en volgt een bepaald patroon. De rails en het onderdeel komen in contact met elkaar en dit zorgt voor slijtage aan beide onderdelen. Het 'tandwiel met arm' functioneert als de bewegende (dynamische) contactpartner van dit glijstelsysteem en vertoont daardoor ernstige slijtage en moet regelmatig vervangen worden. Deze ernstige slijtage bevindt zich aan twee kanten. Eén kant van de gesleten arm is te zien in figuur 41.

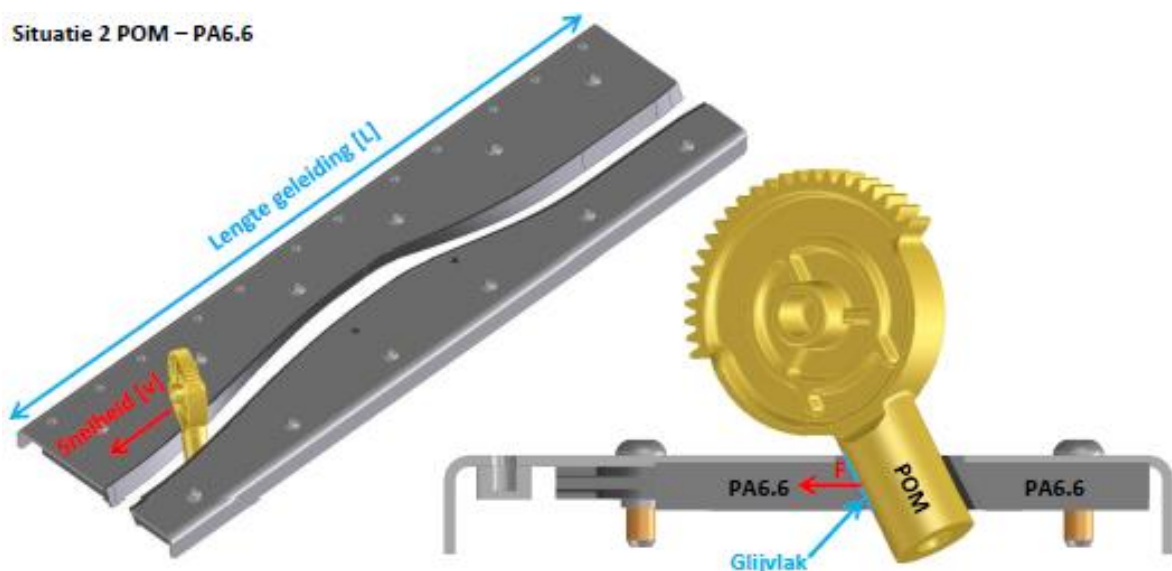


Figuur 37 Slijtage op "tandwiel met arm"

Een bruikbare en kosteneffectieve oplossing voor dit slijtageprobleem zou gevonden worden in een vervangend kunststof(compound)systeem voor het materiaal van dit glijcontact. Van deze vervangende kunststoffen wordt verlangd dat ze stationair veel slijtvaster zijn dan de huidige materiaalcombinatie onder vergelijkbare glijdingscondities (snelheid en contactdruk).

Het huidige materiaal van het "tandwiel met arm" is de POM Luvocom 80-7580 die tegen de ultra-polymeer PA6.6 Luvocom glijdt met een snelheid van $V = 0,35 \text{ m/s}$, gedurende een glijdlengthe van 1378mm. Een contactkracht van $F = 16\text{N}$ is aanwezig in dit glijcontact.

Figuur 42 laat de glijdende beweging van de POM Luvocom 80-7580 tegen de ultra-polymeer PA6.6 Luvocom zien.



Figuur 38 De glijdende beweging van "tandwiel met arm"

Dit voorbeeld heeft een aardig beeld geschetst over een optredend slijtageverschijnsel bij het bedrijf. Ten behoeve van de huidige case wordt ervan uitgegaan dat deze soort slijtage een goed benaderingsbasis kan vormen richting de beschikbare fundamentele kennis en technieken om deze zo efficiënt mogelijk toe te kunnen passen t.b.v. het karakteriseren van de tribologische eigenschappen van een drietal materiaalsystemen uit het materiaalbestand van het bedrijf.



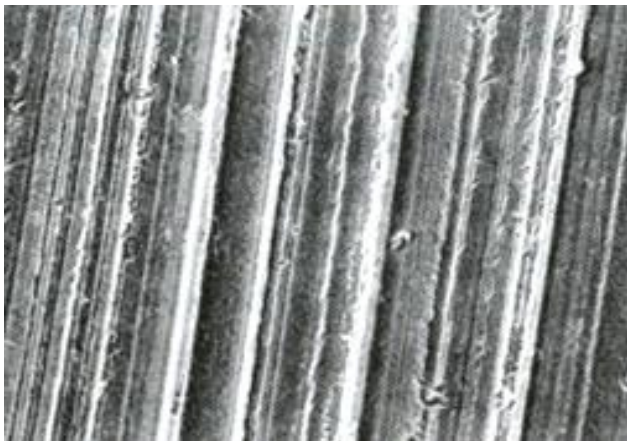
De belangrijke input uit de praktijk van een bedrijf voor het uitvoeren van een karakterisatie case op het gebied van levensduurprestaties kan als volgt samengevat worden:

- Welk slijtagemechanisme interesseert het bedrijf hoofdzakelijk?
- Aan welke contactconfiguraties kan gedacht worden?
- Welke alternatieven wilt het bedrijf onderzoeken die breder toegepast kunnen worden binnen het bedrijf?

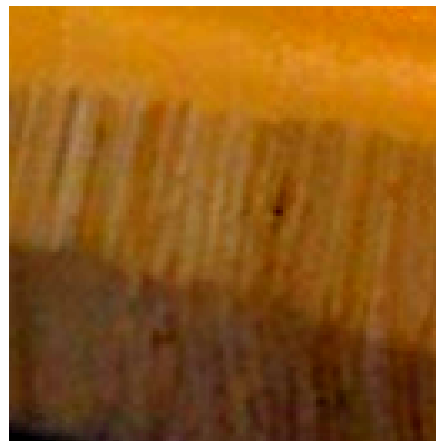
Voor de student-onderzoekers zijn deze bovengenoemde invalshoeken van cruciaal belang om een systematische benadering richting de relevante beschikbare fundamentele kennis en beschikbare technieken aan de gang te krijgen.

THEORETISCH KADER

Het 'tandwiel met arm' gaat via een rails en volgt een bepaald patroon. De rails en het onderdeel komen in contact met elkaar en dit zorgt voor slijtage aan beide onderdelen. De visuele inspectie van het slijtagepatroon op de arm duidt op een abrasie- of wel ploegslijtage, zie figuur 43.



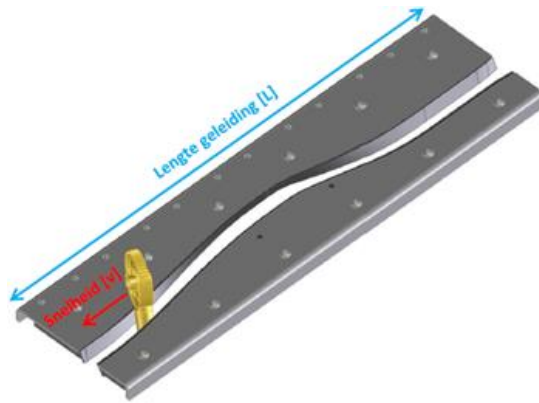
(A) Ploegslijtage sporen gerapporteerd in de literatuur^[1].



(B) Slijtagesporen op het "tandwiel met arm"

Figuur 39 Het beeld van een ploegslijtage spoor naast de slijtagespoor op het "tandwiel met arm".

De glijdende beweging van het 'tandwiel met arm' met de rails zorgt ervoor dat ploegslijtage er optreedt op de zwakste contactpartner; het 'tandwiel met arm', zie figuur 44.



Figuur 40 De glijbaan van de tandwiel met arm

Abrasieve slijtage, ook wel ploegslijtage genoemd, komt voor ten gevolge van het indringen van ruwheidstoppen van een relatief hard loopvlak, in een zachter tegenloopvlak, ten gevolge van de abrasieve werking van harde deeltjes, die zich tussen twee loopvlakken bevinden of ten gevolge van glijdend contact tussen één vast oppervlak en een "vaste", droge of bevochtigde korrelmassa^[1].

De berekening van een abrasie-slijtagecoëfficiënt zijn gebaseerd op "Archard 's wear model" [1].

Het laat de verhouding/relatie zien tussen de hoeveelheid slijtage met de afgelegde afstand, de aanwezige kracht en slijtagewaarde. Deze formule ziet er als volgt uit:

$$V_i = k_i * F * s \quad (1)$$

V_i staat voor het slijtagevolume, F voor de kracht, s voor de afgelegde schuurafstand en k_i staat voor de specifieke slijtagecoëfficiënt. De k -waarde heeft de SI-dimensie van m^2/N .

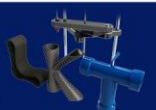
Vergelijking (1) kan ook herschreven worden in de uitdrukkingen van vergelijkingen (2) of (3).

$$h_i = \frac{V_i}{A_i} = k_i * p * s \quad (2)$$

Bij vergelijking (2) is A_i het contactoppervlak van het product, h_i is de slijtagediepte van het afgesleten materiaal en p is de kracht gedeeld door de oppervlakte (F/A). Voor een constante glijnsnelheid v kan de glijweg uitgedrukt worden als $s = v * t$, t is de glijtijd. De formule komt er dan als volgt uit te zien:

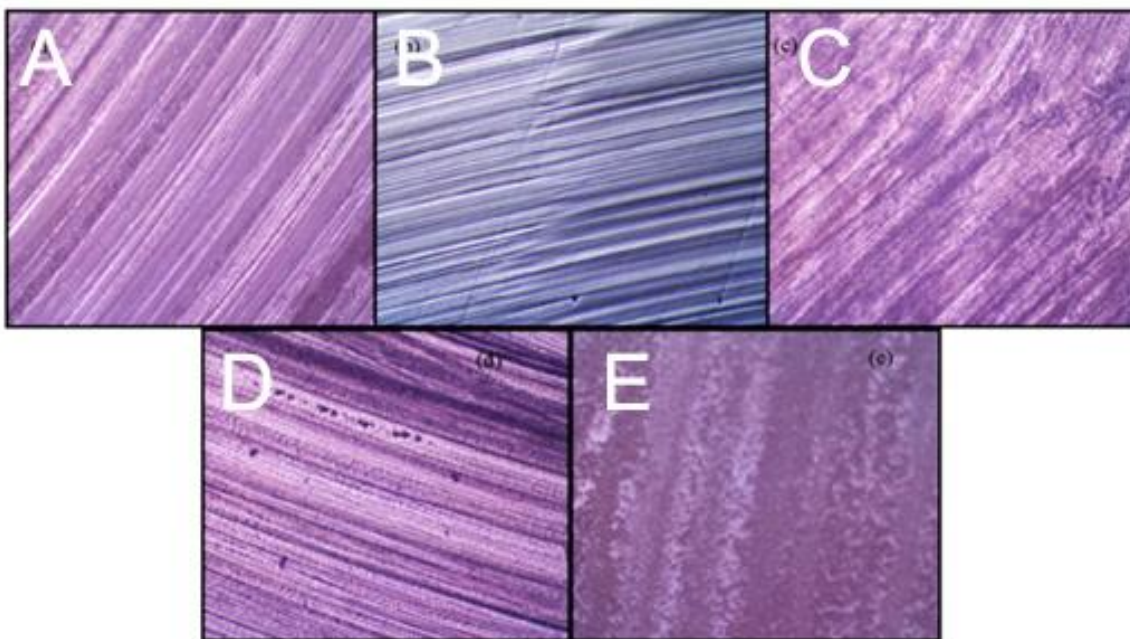
$$h_i = \frac{V_i}{A_i} = k_i * p * v * t \quad (3)$$

Met de waarde k_i kan er gekeken worden of een materiaal snel slijt of niet. Het is maatgevend voor de abrasie-slijtage van materiaalsystemen. De classificatie van de slijtagecoëfficiënt k bestaat uit 7 klassen; klasse 0 t/m 7 waarbij klasse 0 t/m 3 slijtvast zijn [2].



Veel onderzoekers hebben het bovengenoemde slijtagemodel intensief toegepast voor het berekenen van slijtagecoëfficiënten van verschillende kunststof(compound) materiaal systemen onder abrasie-slijtage [3-5]. Dit model is vooral relevant voor praktische toepassingen omdat het een vereenvoudigd lineair verband legt tussen het verwijderde slijtagevolume (V_i), de normaalkracht in het contactgebied tussen de twee materialen (F) en de constante glij snelheid (v) om aan de definitie van de specifieke slijtagecoëfficiënt (k_i) te komen [6]. De experimenteel verkregen slijtagedata die m.b.v. een tribometer geproduceerd kunnen worden, kunnen goed gebruikt worden als parameters voor het rekenen met het genoemde model [6].

Referentie [7] heeft de pin on disc variant van tribometers gebruikt om de abrasie-slijtage van verschillende polymeren (PMMA, PEEK, POM, UHMWPE en Epoxy) in het laboratorium te simuleren. Daar heeft men getracht om het slijtagevolume te meten met de tijd onder een constante normaalkracht en met een constante glij snelheid; de juiste invoergegevens voor het Archard's model om de slijtagecoëfficiënt te kunnen berekenen. Figuur 8 laat de slijtagepatronen van de vijf polymeren na de Pin on disc experimenten zien. Referentie [7] benadrukt dat de resulterende krasgroeven op de oppervlakten van de gesleten polymeren pinnen de garantie geeft dat het gaat om abrasie (ploeg) slijtage.



Figuur 41 Het beeld van de slijtagepatronen van; (a) PMMA, (b) PEEK, (c) UHMWPE, (d) POM en (e) epoxy [7].

De huidige case maakt gebruik van het hierboven genoemde Archard's model voor het berekenen van de slijtagecoëfficiënten van de verschillende gevraagde kunststof (compound) materiaalsystemen. De vereiste data voor het genoemde rekenmodel zullen worden geproduceerd m.b.v. een Pin on disc tribometer. Deze maakt gebruik van een aangedrukte stationaire pin (vervaardigd uit één van de contactpartners) tegen een draaiende platte disc die van het materiaal van de andere glijpartner vervaardigd is. Figuur 46 geeft de basisconfiguratie van deze techniek weer.

De 'Pin on disc' techniek is in staat om de volgende invoer parameters te variëren (binnen het bereik van de te gebruiken machine specificatie):

- Disc draaisnelheid (tot 500 rpm voor de huidige machine)
- Normaal-contactkracht (tot 40 N)
- Pintemperatuur (tot 200 °C)

De uitvoergegevens van de Pin on Disc kunnen worden verkregen m.b.v. continue 'data logging';

- Pen verplaatsing (h [µm], hoge nauwkeurigheid (+/- 1 µm) continue slijtage registratie)
- Wrijvingskracht (F_w). Deze wordt samen met de ingestelde normaalkracht in het contactgebied gebruikt om de wrijvingscoëfficiënt ook weer te geven. De wrijving vindt plaats op een microschaal ter hoogte van de ruheidstippen.

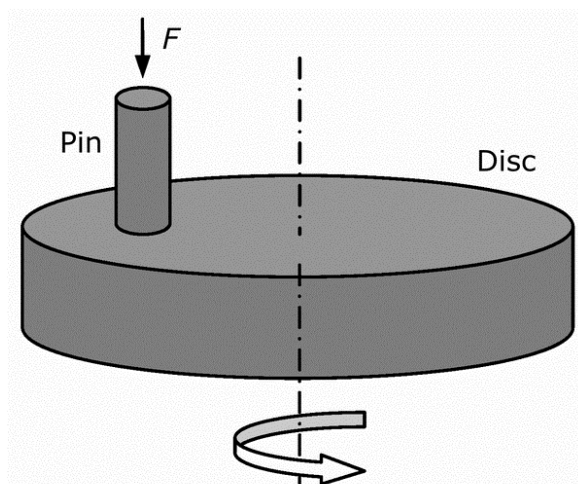
De bovengenoemde gegevens worden allemaal softwarematig bepaald en weergegeven.

De POD (Pin on Disc) tribometer die gebruikt wordt tijdens de uitvoering van de huidige case is de TR-20-MICRO TRIBOMETER van de firma *Ducom*, zie figuur 47. Deze machine maakt onderdeel uit van het materiaalkunde lab. van hogeschool Windesheim.

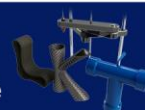
De algemene specificaties van de machine staan vermeld in tabel 7.

Pin/ ball diameter [mm]	6-10
<i>Disc diameter [mm]</i>	11-55
<i>Disc thickness [mm]</i>	10
<i>Disc speed Max [rpm]</i>	500
<i>Nominal load [N]</i>	40
<i>Friction force [N]</i>	20
<i>Wear track radius [mm]</i>	45 max

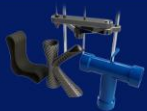
Figuur 43 De TR-20-MICRO TRIBOMETER [8].



Figuur 42 De contact configuratie van de 'Pin on Disc' techniek.



Tabel 7: De specificatie van de TR-20-MICRO



SLIJTAGE-EXPERIMENTEN

De Slijtage-experimenten worden uitgevoerd volgens de betreffende ASTM G99-95 richtlijnen. Deze standaard beschrijft de procedure voor het uitvoeren van abrasie- slijtage experimenten m.b.v. een POD tribometer [8]. De kalibratie van de machine is uitgevoerd volgens de genoemde standaard.

De 8 mm- diameter, 28 mm lange cilindrische pinnen, zie figuur 49, die gebruikt worden in dit onderzoek zijn gemaakt van de volgende materialen:

- POM PTFE Hostaform (C-9021 TF 20%)
- PK Carilon (D27HM800 naturel)
- PBT Celanex (2002-2 naturel)



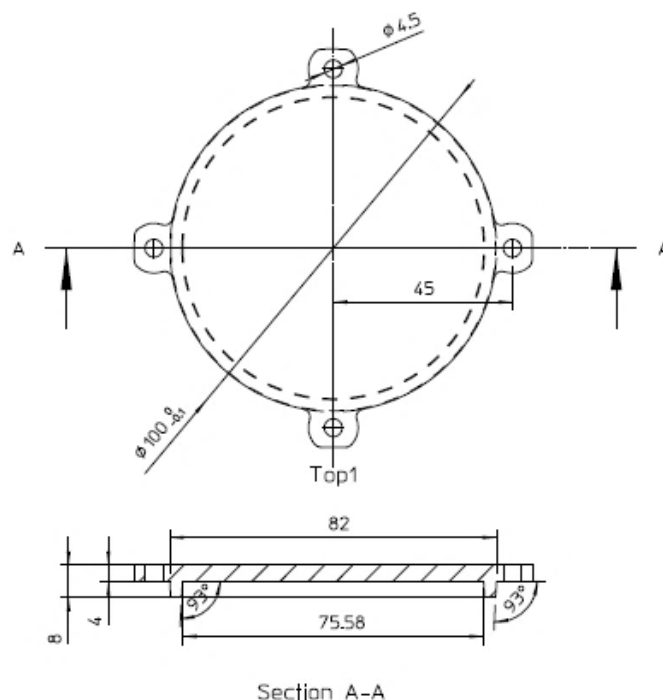
*Figuur 45 Pinvoorbeelden
(dia=8 mm en lengte=28mm)*

De materialen en de afmetingen van de gebruikte schijven zijn te zien in figuur 48.

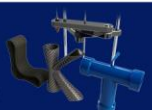
Alle maten van de proefstukken zijn vastgesteld aan de hand van de specificaties van de gebruikte TR-20-MICRO TRIBOMETER.

Materialen:

- **PA6.6 Luvocom**
- **PBT Celanex**
- **POM Hostaform**



Figuur 44 De materialen en afmetingen (mm) van de gebruikte schijven.



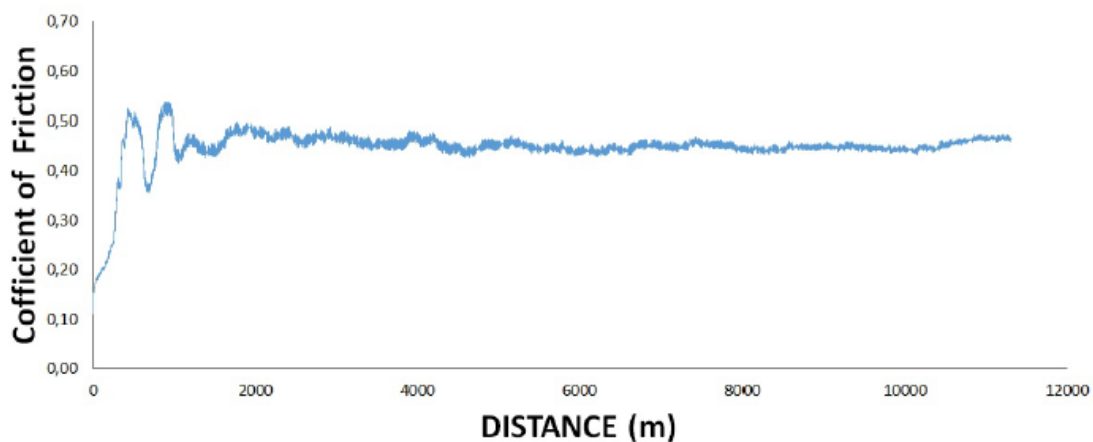
Zowel de omgeving als de ruwheid van de pin en disc dienen vastgesteld te worden gezien de grote invloed die ze hebben op de testresultaten [9,10]. Alle slijtage-experimenten zijn uitgevoerd bij kamertemperatuur (tussen de 20-21°C). De relatieve vochtigheid varieerde tussen 35–46%.

De ruwheid van de oppervlakken van de pin en de disc per materiaalsysteem zijn gemeten m.b.v. a *TESA Rugosurf 10 G* instrument, zie figuur 50A. De vochtigheidsmetingen zijn m.b.v. de *Hygrometer model 6010*, zie figuur 50B.



Figuur 46 (A) Het TESA Rugosurf 10 G instrument (B) Het Hygrometer model 6010 instrument

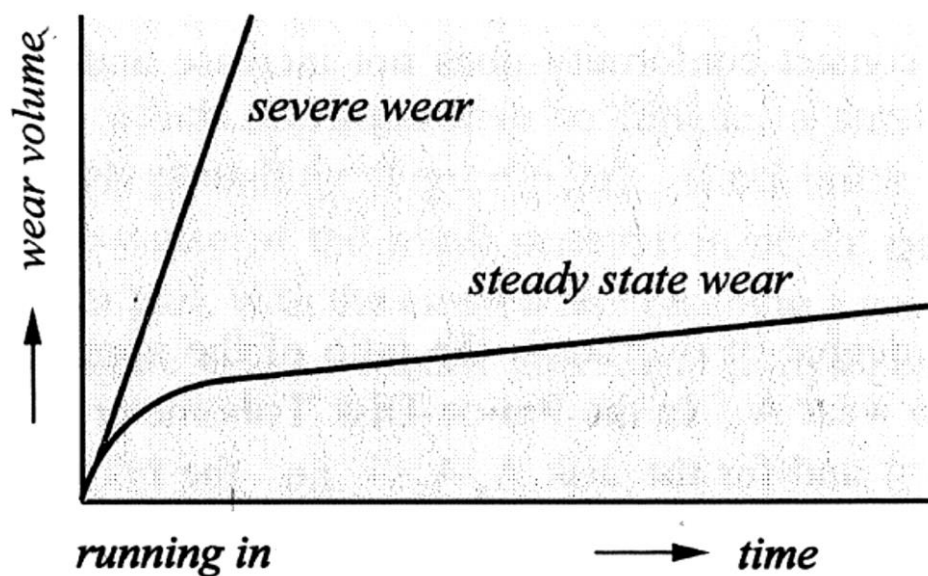
De gekozen waardes per materiaalsysteem voor de contactdruk, glij snelheid en proeftijd (tribologische parameters) zijn proefondervindelijk vastgesteld, zie het voorbeeld van figuur 51.



Figuur 47 De inloop en de stationaire abrasie slijtage mode van het tribosysteem PK Carilon (pin) en PBT (disc)

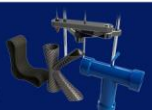
Om de stationair opgetreden abrasie wrijvings- en slijtagecoëfficiënten per materiaal systeem te kunnen meten respectievelijk berekenen is het van belang dat de snelheid en de normaalkracht per materiaalsysteem per proef zodanig worden ingesteld dat de stationaire slijtage mode van kracht is. Hierna wordt de keuze van proeftijd – omgerekend naar de glijweg - gemaakt aan de hand een vereist minimaal slijtagevolume zodat de berekening van de slijtagecoëfficiënt volgens het "Archard 's wear model" mogelijk wordt.

Figuur 52 geeft de drie mogelijke modes van de abrasie slijtage in het algemeen weer.



Figuur 48 De inloop, stationaire en catastrofale abrasie slijtage modes [11]

Het uitvoeren van de testen van het huidige werk worden beperkt tot de maximaal mogelijke omstandigheden (snelheid en normale kracht) die de huidige machine toelaat. Hieronder moet de stationaire mode optreden en blijven. Het continu monitoren van de wrijvingscoëfficiënt die constant moet blijven totdat een meetbaar gewichtsverlies opgetreden is, heeft de basis gevormd voor de uitvoering van de voorproeven.



De proefinvoergegevens en -configuraties van de drie materiaalsysteem zijn in de tabellen 8, 9 en 10 vermeld.

<i>Pin diameter rond</i>	<i>8 mm</i>
<i>Normale kracht</i>	40 N
<i>glijsnelheid</i>	1,05 m/s
<i>Proeftijd</i>	4 uur
<i>Pin ruwheid (Ra)</i>	0.742 $\sqrt{\text{m}}$
<i>Disc ruwheid (Ra)</i>	0.600 $\sqrt{\text{m}}$

Tabel 8: Het tribo-systeem POM PTFE Hostaform C-9021 TF 20% (pin) en PA6.6 Luvocom NSB 90 BK zwart (disc)

<i>Pin diameter rond</i>	<i>8 mm</i>
<i>Normale kracht</i>	20 N
<i>glijsnelheid</i>	0.524 m/s
<i>Proeftijd</i>	6 uur
<i>Pin ruwheid (Ra)</i>	0.602 $\sqrt{\text{m}}$
<i>Disc ruwheid (Ra)</i>	1.240 $\sqrt{\text{m}}$

Tabel 9: Het tribo-systeem PK Carilon D27HM800 naturel (pin) en PBT Celanex 2002-2 naturel (disc)

<i>Pin diameter rond</i>	<i>8 mm</i>
<i>Normale kracht</i>	40 N
<i>glijsnelheid</i>	1,05 m/s
<i>Proeftijd</i>	6 uur
<i>Pin ruwheid (Ra)</i>	0.402 $\sqrt{\text{m}}$
<i>Disc ruwheid (Ra)</i>	0.600 $\sqrt{\text{m}}$

Tabel 10: Het tribo-systeem PBT CELANEX 2002-2 naturel (pin) en POM HOSTAFORM C-9021 SW naturel (disc)



RESULTATEN & DISCUSSIES

Met de toepassing van vergelijking (1) zijn de volgende slijtagecoëfficiënten berekend als het gemiddelde van drie metingen:

1. POM TF20% & PA6.6 Luvocom systeem:

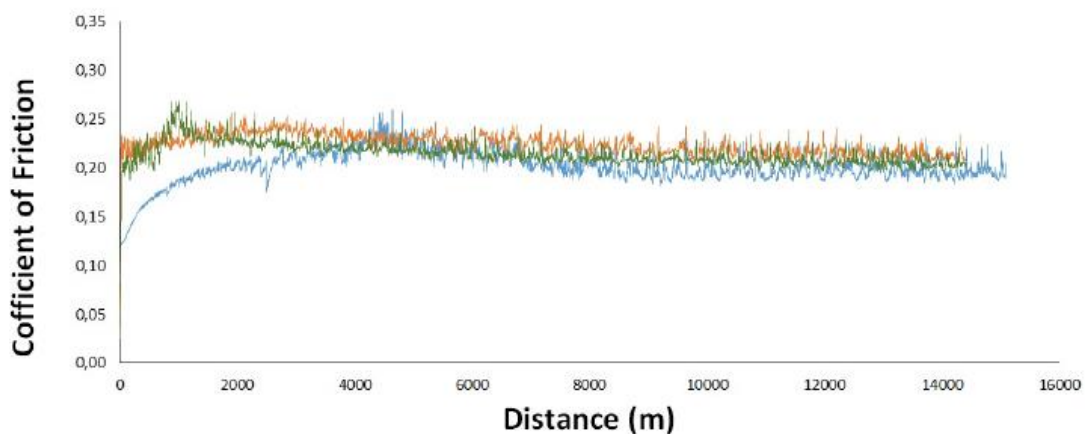
POM PTFE 20%:

De Stationaire specifieke slijtagecoëfficiënt (k) = $38,79 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{N.m}$

PA6.6 Luvocom:

De Stationaire specifieke slijtagecoëfficiënt (k) = $8,03 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{N.m}$

Het materiaalsysteem heeft een gemiddelde kinetische wrijvingscoëfficiënt gescoord van (0,20). De resultaten van het continu monitoren van de wrijvingscoëfficiënt tijdens de drie slijtagemetingen zijn te zien in figuur 53.



Figuur 49 Het verloop van de wrijvingscoëfficiënt voor de drie metingen van het tribo-systeem PBT CELANEX 2002-2 naturel (pin) en POM HOSTAFORM C-9021 SW naturel (disc)

Het is duidelijk uit de berekende waarden van de stationaire specifieke slijtagecoëfficiënt (k) voor de beide contactpartners in het systeem dat tijdens de levensduur van een dergelijk materiaalsysteem de POM partner ongeveer 5 keer sneller zou slijten in vergelijking met de PA6.6 partner. Een constructeur kan het best hiermee rekening houden bij het bematen van de contactinterfaces zodat zich geen afwijkingen in de functionaliteit van de interface voordoen gedurende de tijd waarin de interface gebruikt wordt.



2. : PK Carilon D27HM800 naturel & PBT Celanex 2002-2 naturel system:

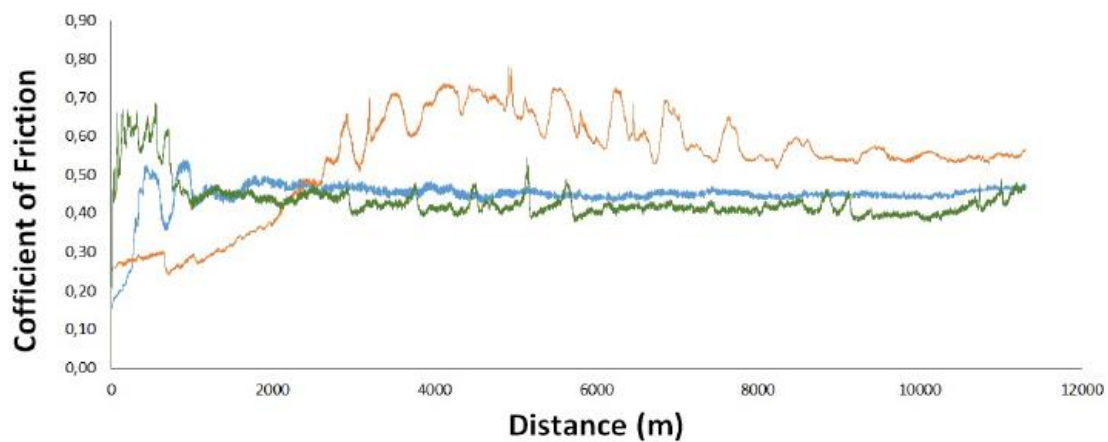
PK Carilon D27HM800 naturel:

De Stationaire specifieke slijtagecoëfficiënt (k)= $3,09 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{N.m}$

PBT Celanex:

De Stationaire specifieke slijtagecoëfficiënt (k)= $10,57 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{N.m}$

Het materiaalsysteem heeft een gemiddelde kinetische wrijvingscoëfficiënt gescoord van (0,47). De resultaten van het continu monitoren van de wrijvingscoëfficiënt tijdens de drie slijtagemetingen zijn te zien in figuur 54.



Figuur 50 Het verloop van de wrijvingscoëfficiënt voor de drie metingen van het tribo-systeem PK Carilon D27HM800 naturel (pin) en PBT Celanex 2002-2 naturel (disc)

In het geval van dit materiaalsysteem is het duidelijk dat onder de stationaire slijtage mode van een dergelijk contact interface (levensduur waarde), de PBT Celanex 2002-2 naturel 3,4 keer sneller zal slijten dan de PK Carilon D27HM800 naturel contactpartner.

3. PBT CELANEX 2002-2 naturel (pin) en POM HOSTAFORM C-9021 SW-naturel (disc)

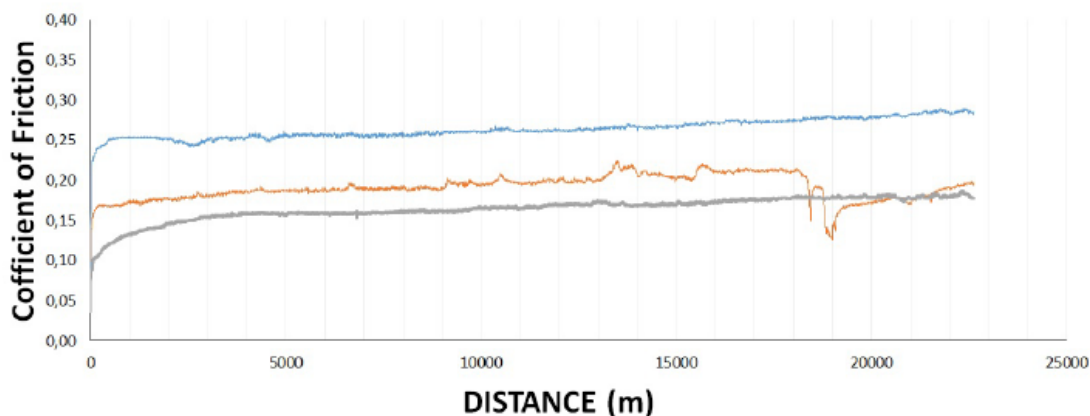
PBT Celanex:

De Stationaire specifieke slijtagecoëfficiënt (k) = $0,17 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{N.m}$

POM Hostaform:

De gemiddelde Stationaire specifieke slijtagecoëfficiënt (k) = $11,86 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{N.m}$

Het materiaalsysteem heeft een gemiddelde kinetische wrijvingscoëfficiënt gescoord van (0,20). De resultaten van het continu monitoren van de wrijvingscoëfficiënt tijdens de drie slijtagemetingen zijn te zien in figuur 55.



Figuur 51 Het verloop van de wrijvingscoëfficiënt voor de drie metingen van het tribo-systeem PBT CELANEX 2002-2 naturel (pin) en POM HOSTAFORM C-9021 SW-naturel (disc)

Zoals te zien aan de gerapporteerde resultaten voor dit materiaal systeem dat de POM Hostaform contactpartner 70,27 keer sneller gaat slijten dan de PBT Celanex partner. Dit is ook de reden waarom het verloop van de wrijvingscoëfficiënt voor dit materiaal systeem is zo relatief stabiel geregistreerd is in figuur 56 in vergelijking met de figuren 57 van de andere twee materiaalsystemen. Naarmate één van de contactpartners opmerkelijk sneller gaat slijten tijdens het glijden, wordt de afstand tussen de ruwheidstippen van de beide contactpartners gevuld met de verwijderde slijtage 'deeltjes' van de zachtere partner waardoor de procesruwheid aanzienlijk lager wordt [11].



VERGELIJKINGEN

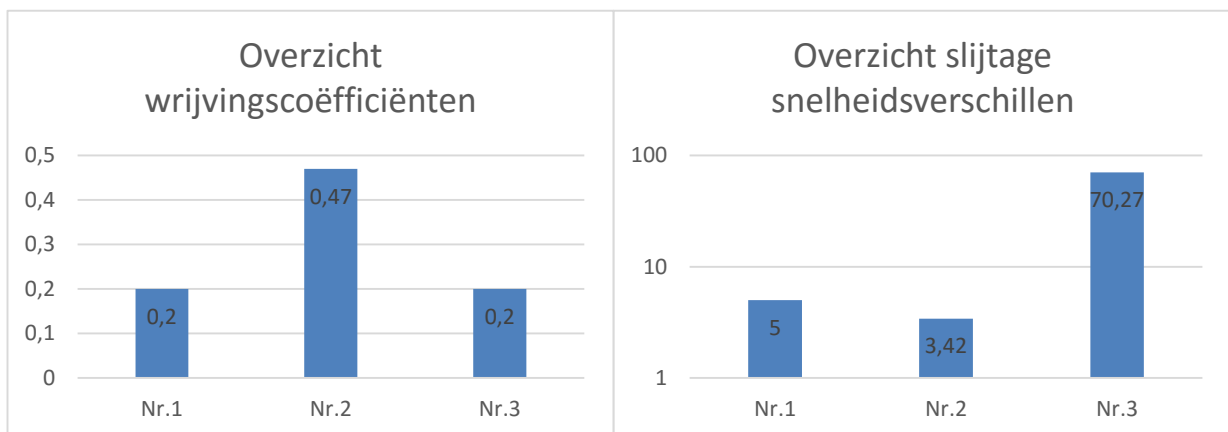
De stationaire wrijvingscoëfficiënten per materiaalsysteem zijn getekend in **figuur 19**. De volgende sleutel is gebruikt voor het verwijzen naar de materiaalsystemen:

Nr.1: POM TF20% & PA6.6 Luvocom systeem

Nr.2: PK Carilon D27HM800 naturel & PBTCelanex 2002-2 naturel systeem

Nr.3: PBT CELANEX 2002-2 naturel & POM HOSTAFORM C-9021 SW naturel

Een overzicht van de slijtage snelheidsverschillen tussen de contactpartners voor de drie materiaalsystemen is gegeven in figuur 57.



Figuur 53 Vergelijking van de stationaire wrijvingscoëfficiënten voor de drie materiaal systemen.

Figuur 52 Vergelijking van de stationaire slijtage snelheidsverschillen voor de drie materiaal systemen.

De vergelijkende resultaten laten zien voor het materiaal systeem nr.1 dat de relatief lage wrijvingscoëfficiënt en de eveneens relatief lage slijtage snelheidsverschil zijn te danken aan het matige slijtage coëfficiënt verschil tussen de beide contactpartners ($38,79 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{N.m}$ tegen $8,03 \cdot 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{N.m}$). De gunstige relatief lage wrijvingscoëfficiënt voor dit systeem lijkt te danken aan de aanwezigheid van 20% PTFE in het POM materiaal van één van de contactpartners (de pin). De PTFE filler staat bekend als zelf smerend materiaal ($\mu = 0,2$) in de literatuur [12 ,13].

Het materiaalsysteem nr.2 heeft het laagste slijtage snelheidsverschil gescoord en een relatief hoge wrijvingscoëfficiënt. Dit systeem lijkt aantrekkelijk te zijn voor het toepassen in glijcontacten. Echter als er een lagere wrijvingscoëfficiënt gewild is dan verdient de ruwheid van de contactpartners (nu zit een factor 2 verschil) meer aandacht. In het algemeen laten de referenties [14 en 15] een beduidende correlatie zien tussen de ruwheid en de opgetreden wrijvingscoëfficiënt voor een glijdende kunststof(compound). Verdere onderzoek zal leiden tot een beter beeld over het bijvoorbeeld halveren van het ruwheidsverschil tussen de beide contactpartners op de opgetreden wrijving.

Wat het materiaalsysteem nr.3 betreft is er sprake van een hoog slijtage snelheidsverschil tussen de contactpartners (70,27). Dit maakt het systeem niet geschikt voor het ontwerpen of optimaliseren van glijcontacten waar een lange standtijd gewild is. De afmetingen van de eventuele glijcontact geometrie die vervaardigd is van dit systeem zou snel veranderen en leiden tot afwijkingen in functionering van het contact. Wat de relatief lage wrijvingscoëfficiënt betreft voor dit systeem lijkt het aannemelijk om voorzichtig te veronderstellen dat de verlaging in de proces ruwheid ten gevolg van de continue pin-materiaaloverdracht naar de disc heeft geleid tot wrijving tussen PBT Celanex/ POM HOSTAFORM C-9021 SW naturel . Dit materiaal staat bekend om zijn zelfsmerende en lage-wrijvingseigenschappen in de literatuur [13].

Samengevat, de huidige resultaten kunnen goed gebruikt worden voor het beoordelen van de standtijd van de drie materiaalsystemen onder glijcontacten. Echter, meer uitgebreid parametrisch onderzoek is nodig als er gekeken moet worden naar de aard van de verschillen tussen de drie materiaalsystemen, de kwantitatieve verschillen in de slijtage- en wrijvingscoëfficiënten en de invloed van de ruwheid en de compound elementen.



BRONNENLIJST

- [1] D. Landheer, A.W.J. de Gee , Inleiding dynamische contactverschijnselen, College dictaat, Technische Universiteit Delft, 6^{de} druk. (1994).
- [2] Hegadekatte, V., Huber, N., & Kraft, O. (2006). Modeling and simulation of wear in a pin on disc tribometer. *Tribology Letters*, 24(1), 51-60.
- [3] D. Giraldo, J.M. Veléz, Estudio por deslizamiento en seco de algunos plásticos, vol. 136, Dyna, Medellín, 2002, pp. 11–20.
- [4] R. Liu, D.Y. Li, Modification of Archard's equation by taking account of elastic/pseudoelastic properties of materials, *Wear* 251 (2001) 956–964.
- [5] J.F. Molinari, M. Ortiz, R. Radovitzky, E.A. Repetto, Finite element modeling of dry sliding wear in metals, *Engineering Computations* 18 (2001) 592–609.
- [6] Martinez, F. J., et al. "Finite element implementation and validation of wear modelling in sliding polymer–metal contacts." *Wear* 284 (2012): 52-64.
- [7] Sinha, Sujeet K., W. L. M. Chong, and Seh-Chun Lim. "Scratching of polymers—Modeling abrasive wear." *Wear* 262.9 (2007): 1038-1047.
- [8] Ducom. TR-20-MICRO TRIBOMETER, User manual.



4. Conclusies en aanbevelingen

Onze observatie is dat voor een succesvol hybride product vanuit een pakket van eisen gekeken moet worden naar alle drie aspecten van een product: ontwerp, productie en materiaal. Dit betekent dat het 1-op-1 vervangen van stalen onderdelen voor kunststof delen geen geschikte procedure is.

Kunststoffen of VVK's zijn zeer interessant waar corrosiebestendigheid of gewicht belangrijk zijn. Uit de verschillende cases blijkt dat gewichtsbesparing vaak snel realiseerbaar is. Dit geeft uitzicht dat er potentieel is in verdere optimalisatie qua gewichtsbesparing door (vezelversterkte) kunststoffen toe te passen in de machinebouw. Dit resulteert vervolgens vaak in energiebesparing, snelheidsverhoging of lichtere constructies. Het is niet moeilijk gebleken om met VVK's de sterkte van een stalen onderdeel te matchen. Stijfheid is echter moeilijker en vergt of dure vezels, of een sterk opgeblazen geometrie. Het is dus ook zeer van belang om aan het begin te definiëren of het een stijfheids- of sterkte gedomineerd productontwerp is.

In veel werktuigbouwkundige toepassingen is het echter niet de beste oplossing om alles uit slechts een materiaal te maken en zal in de realiteit vaak een hybride oplossing de beste resultaten geven. In alle cases bleek het toepassen van bepaalde onderdelen in (vezelversterkt) kunststof voordelen op te leveren voor deze specifieke toepassing in de machinebouw. Een aandachtspunt hierbij is hoe deze verschillende materialen op elkaar aangesloten (verbonden) kunnen worden.

Slijtage van bewegende delen of in transportsystemen is een terugkerend thema waar per vraagstuk goed naar gekeken moet worden – het slijtgedrag van kunststoffen en VVK's is anders (niet per se minder) dan metaal. Vaak geeft kunststof een goede paring met staal/RVS voor de weerstand tegen slijtage. Hierdoor kan de levensduur van deze aan slijtage onderhevige onderdelen aanzienlijk vergroot worden.

Omdat kunststoffen in allerlei verschillende uitvoeringen te verkrijgen zijn en door middel van additieven of het gebruik van mengsels aan te passen op specifieke toepassingen en omstandigheden is het aan te raden altijd de specifiek te gebruiken materialen te testen. Door middel van de Pin on Disc methode is echter relatief snel een groot aantal testen uit te voeren naar verschillende materiaalcombinaties waardoor grip kan worden verkregen op het gebied van slijtage en wrijving.

Er zijn uiteenlopen productiemethoden voor kunststoffen welke variëren in aantallen, kostprijs en ontwerpvrijheid. Het 3d printen ontwikkelt zich op het moment snel en zou voor kunststoffen in de machinebouw een interessante productietechniek kunnen zijn zodat bijvoorbeeld logistiek makkelijker omgegaan kan worden met 'slow runners'.



Tot slot. Dit project heeft een vervolg gekregen in de vorm van Kunststoffen in de Machinebouw II. Aan de hand van nieuwe cases worden daarin bovenstaande conclusies verder uitgediept.



5. Projectpartners

AWL

Nobelstraat 37
3846 CE Harderwijk
T: 0341-411811
E: info@awl.nl
I: www.awl.nl

VMI

Gelriaweg 16
8161 RK Epe
T: 0578-679111
E: info@vmi.com
I: www.-vmigroup.com

MOBA

Stationsweg 117
3770 AA Barneveld
T: 0342-455331
E: info@moba.nl
I: www.moba.net

Veenhuis

Almelosestraat 54
8102 HE Raalte
T: 0572-352145
E: info@veenhuis.com
I: www.veenhuis.com

TME

Trawlerweg 9
8042 PZ Zwolle
T: 038-2031011
E: info@tme.nl
I: www.tme.nl



Verbruggen

Bouwerskamp 13
8301 AE Emmeloord

T: 0527-620232

E: info@verbruggen.nl

I: www.verbruggen.nl

Novek (Van Halteren Special Products)

Hanzelaan 95
8017 JE Zwolle

T: 038-4254500

E: info@novek.com

I: www.novek.com



6. Lectoraat Kunststoftechnologie

Contactgegevens

Lectoraat Kunststoftechnologie

Campus 2-6

8000 GB Zwolle

T: 088 – 469 9700

E: kunststoftechnologie@windesheim.nl

I: www.windesheim.nl/kunststoftechnologie

Contactpersonen

Margie Topp

Lector

T: 088 – 469 7203

E: m.topp@windesheim.nl

Freek Noordhuis

Docent/ onderzoeker/projectleider

T: 088 – 469 7782

E: f.noordhuis@windesheim.nl

Jasper Bouwmeester

Docent/ onderzoeker

T: 088 – 469 9753

E: j.g.h.bouwmeester@windesheim.nl

Pieter Schreuder

Junior Onderzoeker

T: 088 – 469 9504

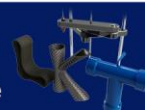
E: p.schreuder@windesheim.nl

Ruud Groen

Docent/Onderzoeker

T: 088 – 469 6609

E: r.groen@windesheim.nl



Ghassan Radha

Docent Onderzoeker

T: 088 – 469 6442

E: g.radha@windesheim.nl

