

Bacheloropdracht

Herontwerp van een rijskast in de industriële bakkerij

Han de Jong

Universiteit Twente | Divardy

Titelblad

Geschreven door:

Han de Jong

s1365150

op 13 juli 2015

Universiteit Twente

Postbus 217

7500 AE, Enschede

1^e examiner: A.P. van den Beukel, Universiteit Twente

Begeleider & 2^e examiner: D. Lutters, Universiteit Twente

Opdrachtgever & bedrijfsbegeleider: D. Rijke, Divardy

Nijendal 48

3972 KC, Driebergen-Rijsenburg

Oplage: 3

Aantal pagina's: 43

Aantal bijlagen: 6

Dit verslag is een bacheloropdracht voor de opleiding Industrieel
Ontwerpen aan de Universiteit Twente.

Voorwoord

Dit verslag is gemaakt in opdracht van Divardy te Driebergen-Rijsenburg. Het bevat een ontwerpvoorstel voor het door Divardy gestelde probleem.

Deze opdracht is uitgevoerd ter afronding van de bacheloropleiding Industrieel Ontwerpen aan de Universiteit Twente.

Ik wil graag alle collega's van Divardy, en in het bijzonder David Rijke, bedanken voor de opdracht en voor de ondersteuning tijdens het uitvoeren ervan. Ook wil ik Eric Lutters bedanken voor de begeleiding tijdens het uitvoeren van deze opdracht.

Daarnaast wil ik graag de heren Gambino en Snelders van respectievelijk Megadyne en Caldic bedanken voor het meedenken en voor het vertrouwen wat zij in dit ontwerp hebben.

Han de Jong
Enschede, 13 juli 2015

Inhoudsopgave

Titelblad	3
Voorwoord	5
Inhoudsopgave	6
Samenvatting/Summary	7
Inleiding	8
Hoofdstuk 1	Opdrachtoomschrijving
Hoofdstuk 2	Eisen Divardy
	<i>Gewicht</i>
	<i>Geometrie</i>
Hoofdstuk 3	Tandriemen
	<i>Veiligheid</i>
	<i>Keuze tandriem</i>
	<i>Levensduur</i>
Hoofdstuk 4	Pakket van Eisen
Hoofdstuk 5	Meenemers
Hoofdstuk 6	Concepten
	<i>Kettingen</i>
	<i>Concept 1</i>
	<i>Concept 2</i>
	<i>Concept 3</i>
Hoofdstuk 7	Conceptkeuze
	<i>Terugkoppeling PvE</i>
	<i>Conceptkeuze</i>
	<i>Revisie PvE</i>
Hoofdstuk 8	Conceptuitwerking
Hoofdstuk 9	Testen prototype
Hoofdstuk 10	Ontwerpvoorstel
Hoofdstuk 11	Conclusies & Aanbevelingen
Verklarende woordenlijst	
Literatuurlijst	
Bijlagen	

Samenvatting

Summary

Opdrachtgever Divardy uit Driebergen-Rijsenburg ontwerpt, bouwt en onderhoudt machines voor industriële bakkerijen. Omdat Divardy streeft naar zo hygiënisch en onderhoudsvriendelijk mogelijke machines, had het de vraag of de kettingen in haar rijskasten vervangen kunnen worden voor kunststof tandriemen.

Deze kettingen gebruiken namelijk smeermiddelen om soepel te kunnen lopen, wat betekent dat er onderhoud nodig is. Daarnaast is het onwenselijk om deze middelen te gebruiken in de buurt van levensmiddelen, ondanks dat deze middelen goedgekeurd zijn om te gebruiken in dergelijke toepassingen.

In een rijskast bestaat doorgaans uit drie liftsystemen welke broden omhoog of omlaag takelen. Kettingen zorgen op dit moment voor het takelen en kunnen vervangen worden voor tandriemen, wat betreft de belasting welke getakeld wordt. Vier tandriemen van elk 150 millimeter breed, gewapend met High Performance roestvast stalen kabels, kunnen de lading van ongeveer 6600 kilogram per lifttoepassing dragen.

Om vervolgens de producten aan de tandriemen te kunnen bevestigen, is er een klemblokje ontworpen, welke om een tand van de tandriem klemt. Hieraan kunnen hoeklijnen bevestigd worden welke vervolgens broden en dergelijke kunnen dragen. De blokjes steunen op de tanden van de riem, welke een hoge afschuifsterkte hebben. De blokjes zitten aan de tandkant van de riem en zullen daarom tegen de poelie aan botsen. Daarom worden de poelies uitgerust met uitsparingen, waar de blokjes precies in zullen verzinken waardoor deze onderdelen elkaar niet meer kunnen raken.

Statisch kunnen deze blokjes de lading in de rijskast dragen. Echter is het nog onduidelijk wat de levensduur van dit blokje én die van de tandriem is, welke dus beide eerst uitgebreid getest zullen moeten worden.

The company Divardy is based in Driebergen-Rijsenburg in The Netherlands and designs, builds and maintains machines in industrial bakeries. Divardy aims to build hygienic and maintenance free machines as much as possible. Because of that, Divardy is wondering if the chains in their proofer could be replaced with plastic timing belts. Chains require maintenance since they use lubricants to function proper. Besides that, lubricants are not desired close to food products, even though these lubricants are having a food grade.

Usually a proofer consists of three elevating systems, which bring products up and down. Timing belts are able to replace the chains, which usually carry the products. The load in one elevator is approximately 6600 kilograms and four timing belts, having a width of 150 millimeters and provided with High Performance stainless steel cords, are able to carry this load.

To carry products with the timing belt, a pad is designed, which clamps around the timing belt. An L-shaped beam is attached to it, which is able to carry products like loaves and buns. The teeth on the timing belt support the pads, since these teeth are having a relatively high shear strength. Since these pads are on the toothed side of the belt, the pads will interfere with the pulley. To prevent this, the pulley will have cutouts at spots where the pads will be. Statically these pads are able to carry the load in this proofer. However, the lifespan of the pads and the timing belts are undetermined. Therefore both products should be tested extensively.

Inleiding

Dit verslag bevat de resultaten welke naar voren komen als oplossing voor de opdracht welke Divardy opgegeven heeft. De opdracht bestaat uit de vraag of stalen kettingen in de rijskasten* van Divardy vervangen kunnen worden voor kunststof tandriemen. Als resultaat komt er een ontwerpvoorstel naar voren welke dit mogelijk moet maken. Allereerst wordt de functie van deze rijskast omschreven en in welke context deze staat. Vervolgens wordt er aandacht besteed aan welke soorten tandriemen er op de markt zijn en waar op gelet moet worden wanneer er een bepaalde tandriem geselecteerd wordt.

Hierna volgt een pakket van eisen waar de oplossing aan moet voldoen. Aan de hand van deze eisen wordt een aantal concepten voorgesteld. Een van deze concepten wordt geoptimaliseerd en een prototype hiervan wordt vervolgens ondergaan aan een test. Tot slot volgt er een ontwerpvoorstel met daarbij een aantal aanbevelingen, zodat het voorstel zo goed mogelijk geïntegreerd kan worden in rijskasten van Divardy.

Bij dit verslag hoort een USB-stick, hierop staat een CAD-model van het ontwerp welke voortgekomen is uit komend ontwerptraject. Dit model kan vanaf hoofdstuk 6 gebruikt worden ter ondersteuning van de tekst. Op deze manier wordt er duidelijker hoe het concept er exact uitziet, want op afbeeldingen ziet de lezer enkel een aantal aanzichten van het ontwerp en bij een 3D-model kan elk aanzicht bekeken worden. In dit verslag is ook een verklarende woordenlijst opgenomen. Wanneer een begrip uit deze lijst voor het eerst gebruikt wordt in dit verslag, is dit met een kruisje (x) als volgt aangegeven: *“een koppel* wordt gedragen door een hoeklijn”*.

Industrieel Ontwerpen

De bacheloropleiding Industrieel Ontwerpen aan de Universiteit Twente is er op gericht om een student alle aspecten van het ontwerpproces aan te leren.

Naast dat een student een functioneel product ontwerpt, kan een student Industrieel Ontwerpen ook zijn of haar creativiteit gebruiken en het product aantrekkelijk maken. Daarnaast leert hij of zij ook over onderwerpen als ergonomie, marketing en constructieleer. De opleiding biedt de mogelijkheid om op wetenschappelijk niveau kennis te nemen van het complete ontwerptraject, welke loopt van

opdrachtformulering en eerste schetsen tot het produceren en het presenteren van het eindproduct. Het onderwijs van deze opleiding is vooral gericht het projectmatig samenwerken, waarbij het niet ongewoon is dat er echte vraagstukken uit het bedrijfsleven opgelost worden. Hierdoor krijgt de student al het een en ander mee van het bedrijfsleven en krijgt hij of zij gerichte feedback van de opdrachtgever.

Inleiding Divardy

Het doel van de opdrachtgever van deze opdracht, Divardy te Driebergen-Rijsenburg, is de kwaliteit en de continuïteit van de Europese bakkerij-industrie verbeteren. Dit doet Divardy door hoogwaardige machines te ontwerpen en produceren. Ondertussen breidt Divardy zich ook buiten Europa uit en heeft het klanten in onder andere Afrika en het Midden-Oosten. Divardy richt zich vooral op het ontwerpen van oplossingen voor het transporteren van groot- en kleinbrood* in koppels* en op bakplaten, het depannen* van producten uit de koppels, reinigen van materialen en het aanbrengen van producten in

koppels en op bakplaten. Maar de kundigheid van het bedrijf blijft continu groeien.

Van intake tot de installatie van de apparatuur valt allemaal binnen de expertise van het bedrijf. Als eerste komt er een opdracht binnen welke door de engineers wordt uitgewerkt tot een oplossing. Omdat het bedrijf machines modulair ontwerpt, kan een oplossing snel gerealiseerd worden, omdat reeds ontworpen machines snel klantspecifiek aangepast kunnen worden. Vervolgens gaan machinebouwers in de werkplaats aan de slag om de machine te realiseren. De machines gaan vervolgens deels geassembleerd richting de klant waar ze door monteurs geïnstalleerd worden. Hierdoor heeft de klant er dus in principe geen omkijken meer naar, in de zin dat het zelf geen installateurs meer hoeft te regelen. Ook wanneer er een storing is of wanneer een machine onderhoud nodig heeft, staat er een groep monteurs klaar om deze uit te voeren. Hierdoor heeft de klant zelf geen of slechts een kleine technische dienst nodig. Deze monteurs hebben een zodanige kennis, dat zij niet alleen machines van Divardy kunnen repareren en onderhouden, maar ook machines van concurrerende bedrijven.

Hoofdstuk

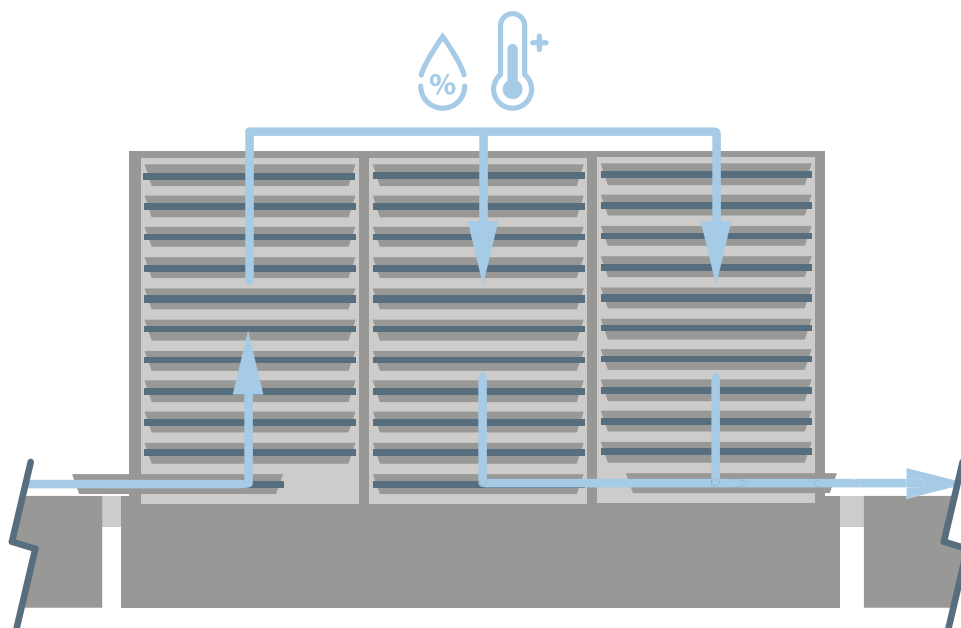
Opdrachtschrijving

1

Om duidelijk te maken wat de opdrachtschrijving is, wordt er eerst een beschrijving gegeven van wat een rijskast is en hoe deze werkt. Vervolgens worden de opdracht en de probleemstelling beschreven en toegelicht.

Om broden meer volume te geven, wordt er gist toegevoegd aan het deeg, welke het deeg laat rijzen voordat het gebakken wordt. Dit gist produceert koolstofdioxide door fermentatie: het gebruikt suikers uit het deeg om CO_2 -gas te produceren. Dit vindt het beste plaats in een temperatuur tussen de 25 en 40 graden Celsius, wanneer gist het meest actief is (Hui, 2007)[1]. Het rijzen gebeurt vaak in verschillende fases, de eerste fase is nog voordat het deeg in porties verdeeld is. Hier worden gluten en gist geactiveerd, zodat het deeg soepel wordt en er begonnen kan worden met het produceren van CO_2 . Na het verdelen van het deeg in porties is een twee rij, ook wel de bolrijs genoemd. In deze rijskast zijn de broden en bollen al verdeeld in porties, waardoor de focus in dit verslag op de bolrijs ligt. De rijstijd hangt af van verschillende factoren,

zoals de omgevingstemperatuur, luchtvochtigheid en het gistgehalte. Hoe hoger de temperatuur, hoe actiever het gist, des te korter de rijstijd. Hetzelfde geldt voor een hoger gistpercentage, in dat geval zijn er meer actieve gistdelen, waardoor de rijstijd korter zal zijn. Ook is het type meel van belang: wanneer er in een bepaalde meelsoort meer eiwitten zitten, zullen er ook meer gluten inzitten. Deze gluten zorgen voor een taaier deeg, wat langer nodig heeft om te rijzen [2]. Een rijskast zorgt voor de ideale omstandigheden voor elk specifiek broodproduct. Gedurende dit verslag wordt er van een productielijn casinobroden uitgegaan. De te ontwerpen rijskast



Figuur 1. Vereenvoudigde weergave van een rijskast

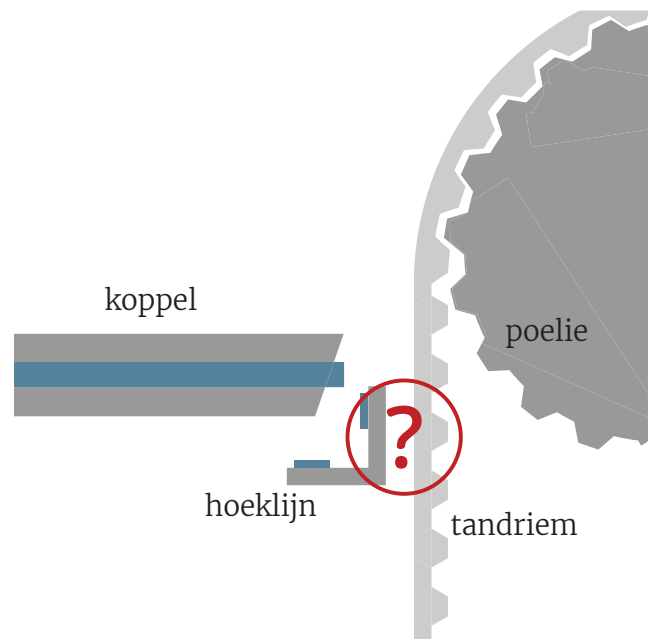
in deze lijn zal een temperatuur van circa 37 graden Celsius hebben met daarbij luchtvochtigheid boven de 80 procent. De rijstijd voor de broodproducten in deze kast zal ongeveer 80 minuten bedragen.

Een productielijn moet ervoor zorgen dat de broden precies lang genoeg in de rijskast blijven. Bij deze lijn is het zo dat de volledige rijskast uit drie liftsystemen bestaat: de koppels met casinobroden worden aan de ene kant de rijskast ingeduwd waar het eerste liftstelsel de broden omhoog lift. Zodra deze boven zijn, worden ze met een doorduwer naar één van de volgende twee kasten geduwd, waar de koppels twee keer zo langzaam dalen en de rijskast weer verlaten (zie *figuur 1*). Uitgaande van een rijstijd van tachtig minuten, stijgen de koppels een derde van de tijd (ongeveer 27 minuten) en dalen deze in twee derde van de rijstijd (ongeveer 53 minuten).

De koppels met broden worden aan de zijkant gedragen worden door roestvaststalen of aluminium hoeklijnen. Deze hoeklijnen worden in huidige rijskasten met behulp van meenemers bevestigd aan een metalen ketting, welke de hoeklijnen naar boven of naar beneden takelen. Deze methode heeft Divardy al vaker gebruikt in rijskasten, echter worden deze koppels gelift door metalen kettingen. Er is bezwaar tegen het gebruik van deze metalen kettingen, welke aangedreven worden door tandwielen. Want daar waar bewegende, metalen onderdelen in een machine zijn, is het sterk aan te raden om smeermiddelen te gebruiken (Belinelli & de Souza, 2013) [3]. In *Hoofdstuk 2* wordt beschreven dat dit niet per se een probleem is qua voedselveiligheid, maar wel qua onderhoudsvriendelijkheid van de rijskast. De

opdracht is daarom om te onderzoeken of stalen kettingen in een rijskast vervangen kunnen worden voor kunststof tandriemen en daarbij op welke manier dit moet gebeuren.

Op *figuur 2* hieronder is versimpeld te zien wat de probleemstelling is. De koppels rusten, net als met stalen kettingen, op een hoeklijn. Aan deze kettingen zitten plaatjes met gaten waar de hoeklijn aan bevestigd kan worden met behulp van een bout-moerverbinding. Echter heeft een tandriem normaliter niet van zulke plaatjes met gaten erin, waardoor er een oplossing moet komen. De manier waarop de hoeklijn aan de tandriem bevestigd is, is daarom ook weergegeven met een groot vraagteken.



Figuur 2. de probleemstelling

Hoofdstuk

Eisen Divardy

2

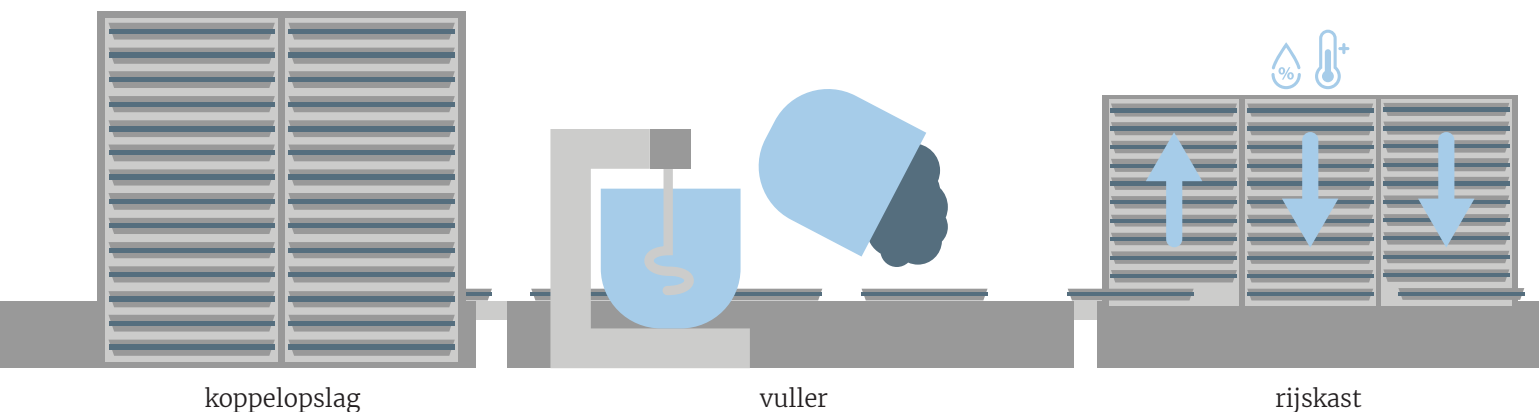
In komend hoofdstuk wordt beschreven wat precies de argumenten zijn tegen het gebruik van smeermiddelen in de bakkerij. Ook wordt er uitgelegd wat het eventuele gebruik van tandriemen dan zo speciaal maakt. Hieronder is een vereenvoudigde weergave van een doorsnee productielijn van broden te zien. Als eerst worden er koppels automatisch uit een opslag gehaald, welke bij het volgende station gevuld worden met deeg. Deze rijst vervolgens in de rijskast, waarna de koppels door de oven heen vervoerd worden. Een depanner haalt de gebakken broden uit de koppels, waarna deze afkoelen in een koeltoren. De koppels gaan achterlangs terug naar de opslag, terwijl de broden ondertussen buiten deze pagina ingepakt worden.

Zoals eerder gezegd, beschreef Hui (2007) [1] dat gist het meest actief is tussen de 25 en 40 graden Celsius. Vanwege het type broodproducten welke de rijskast gaat laten rijzen, is de temperatuur in de kast rond de 37 graden Celsius en zou de luchtvochtigheid meer dan 80 procent zijn.

Andere machines in dezelfde lijn, welke onder andere ook gerealiseerd zijn door Divardy, hebben een capaciteit tot ongeveer 1200 koppels of bakplaten per uur (een koppel per drie seconden), afhankelijk van het aantal broden per koppel. Om een hoge

en effectieve productielijn te waarborgen, is het belangrijk om geen, of een minimale, bottleneck in de productielijn te hebben (Nakata et al., 1999) [4]. Anders gezegd moet er voorkomen worden dat een machine met een hogere capaciteit moet 'wachten' op een machine met een lagere capaciteit. Daarom is het verstandig om voor de rijskast dezelfde capaciteit te benaderen als andere machines in de lijn. Zoals hierboven gezegd wordt, moeten er in industriële bakkerijen hoge capaciteiten bereikt worden. Om bijvoorbeeld tot 6000 broden per

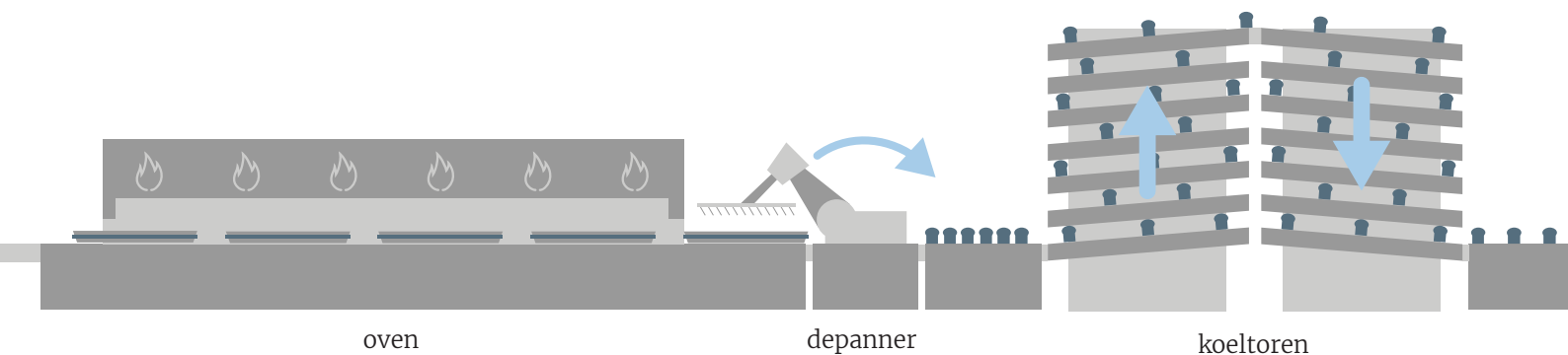
Figuur 3. Vereenvoudigde weergave van een productielijn in een bakkerij



uur te kunnen produceren, zijn veel bewerkingen nodig waarbij bewegende onderdelen van machines komen kijken. Bijna al deze machines hebben een smeermiddel nodig om te kunnen blijven werken, omdat het veelal gaat om machines met metalen onderdelen, echter zijn deze smeermiddelen een risico zijn voor de voedselveiligheid (Belinelli & de Souza, 2013) [3]. Bij zo veel mogelijk machines heeft Divardy het voor elkaar gekregen dat het product zo min mogelijk tot niet in aanraking komt met smeermiddelen. Dit is namelijk een van de speerpunten van Divardy: het leveren van hygiënische machines. Echter kan er bij het ontwerp van de rijskast zoals deze nu is, geen afscheiding gemaakt worden tussen de bewegende onderdelen en de koppels, omdat de koppels vrijwel direct verbonden zijn met de kettingen.

Echter zijn er wel smeermiddelen welke incidenteel in aanraking mogen komen met etenswaren. Zo heeft de National Science Foundation (NSF), een onafhankelijke, Amerikaanse agentschap welke wetenschappelijk onderzoek bevordert, onderscheid gemaakt in soorten smeermiddelen. Dit zijn H-1, H-2 en H-3 smeermiddelen, waarbij het H-1-smeermiddel incidenteel in aanraking mag komen met etenswaren (Totten & De Negri, 2012) [5]. Deze

smeermiddelen mogen H-1 worden genoemd als ze bijvoorbeeld erkend zijn als een veilig bestandsdeel in etenswaren (U.S. Food and Drug Administration, 2014) [6]. International Organization for Standardization (ISO) heeft deze Amerikaanse regels ook omvat in ISO 21469, waarbij er ook rekening gehouden wordt met bijvoorbeeld de productie en het testen van het smeermiddel (Profilet, 2007) [7]. Toch kiest Divardy ervoor om zo min mogelijk, en het liefst geen, smeermiddelen te gebruiken in de nog te ontwerpen rijskast. Aangezien er geschikte smeermiddelen zijn, is hygiëne dus niet de reden hiervoor. Divardy gebruikt namelijk al H-1-gecertificeerde middelen, daar waar het smeermiddel in aanraking kan komen met de broodproducten [8]. Maar een ander speerpunt van Divardy is het ontwerpen van onderhoudsvriendelijke – en waar mogelijk onderhoudsvrije – en betrouwbare machines. Wanneer een machine continu olie nodig heeft om soepel te kunnen blijven lopen, is dit niet volledig onderhoudsvrij en dus -vriendelijk. Wanneer door omstandigheden een oliebeurt overgeslagen wordt, kunnen onderdelen vrij snel gaan roesten, wat niet bijdraagt aan de betrouwbaarheid van de machine. Daarbij komt dat de machine erg groot, en vooral hoog, van formaat is, waardoor het lastig is



om bij bewegende onderdelen te komen. Het is dus van belang dat onderhoud bij zulke onderdelen zo veel mogelijk beperkt wordt. Verder komen er boven de koppels en bakplaten met producten bewegende onderdelen, om de producten naar boven te krijgen. Hierdoor zouden er smeermiddelen kunnen lekken op de broodproducten. Zoals gezegd zijn kleine hoeveelheden geen probleem, maar wanneer dit grote hoeveelheden zijn, gaat dit ten koste van de kwaliteit van het product, omdat er bijvoorbeeld vlekken op het brood kunnen ontstaan. Ook heeft de olie een risico om een gevaar te zijn voor het milieu [8] wanneer het met afvalwater het milieu inkomt, zoals dit vermeld staat in de Material Safety Data Sheet van BelRay, het meest gebruikte smeermiddel door Divardy. Smeermiddelen welke met afvalwater mee komen en in oppervlaktewater terechtkomen, worden namelijk als grote milieuvervuiler gezien (Tri, 2002) [9]. Om deze reden zou Divardy graag zien dat er in de nieuwe rijskast kunststof tandriemen gebruikt gaan worden om de koppels te liften, in plaats van dat er gebruik gemaakt wordt van metalen kettingen. Deze hebben bij de aandrijfpoelie geen smeermiddelen nodig, waardoor het hele systeem onderhoudsvriendelijker wordt. Op deze manier probeert Divardy een 'unique selling point' te creëren in een van haar machines en zo voor te blijven op haar concurrentie. Daarmee zou het namelijk een van de eerste rijskasten zijn welke weinig tot geen onderhoud heeft aan de bewegende onderdelen. Deze unique selling point mag uiteraard wat extra kosten, omdat er ook bespaard wordt op onderhoud, echter moet het natuurlijk wel verkoopbaar blijven. Daarnaast zou het idee om geen smeermiddelen te gebruiken, oftewel tandriemen in

plaats van kettingen, ook toegepast kunnen worden op andere machines in de productielijn van bakker. Op deze manier kan een hele lijn onderhoudsvrij worden op het gebied van smeermiddelen.

Gewicht

Naast de eisen welke gesteld worden omtrent capaciteit en niet gebruiken van smeermiddelen, stelt Divardy nog meer eisen aan het systeem. Voor komende berekeningen wordt uitgegaan van een productielijn van 6000 casinobroden per uur, welke per tien stuks in een koppel liggen. Om deze capaciteit aan te kunnen, moet elk liftsysteem een groot gewicht kunnen dragen. Het gewicht van een koppel is 21 kilogram, waarvan 12 kilogram de koppel zelf plus tien maal 900 gram per brood. In elke laag (stap) van de kast liggen tot acht koppels, wat betekent dat er 80 broden en dus $8 \times 21 = 168$ kilogram per laag aanwezig is. Voor dit soort broden, casinobroden, moet de tussenafstand tussen elke laag minimaal 6 inch (~154 millimeter) zijn. De productiecapaciteit van 6000 broden per uur en de rijstijd van 80 minuten, zorgen ervoor dat er continu 8000 broden aanwezig zijn in de rijskast. Er wordt van uitgegaan dat er totaal drie liftsystemen zijn, één omhoog en verdeeld over twee naar beneden. Dit resulteert in $(8000/3 =)$ ongeveer 2667 broden per liftsysteem en omdat er 80 broden in een laag passen, zijn er minimaal $(2667/80 =)$ 34 lagen nodig per liftsysteem. Elk van deze 34 lagen draagt zoals gezegd 168 kilogram, wat neerkomt op een gewicht van 5712 kilogram wat elke lift continu moet kunnen dragen. Hierbij komt nog het gewicht van de hoeklijnen van zes kilogram per stuk, waarvan het

aantal zal afhangen van de totale lengte van de riem, omdat er op elke bepaalde tussenafstand een hoeklijn geplaatst zal worden. Dit gewicht is gebaseerd op een maximaal gewicht en een maximale productie welke de kast aan moet kunnen. Ook zal er bijvoorbeeld een liftsysteem gerealiseerd kunnen worden waar bollen of koeken gedragen moeten worden. Deze zullen veel minder wegen, maar hier zou de tussenafstand tussen de bakplaten verminderd moeten worden tot minimaal 120 millimeter. De berekeningen van bovenstaand uitgangspunt zijn te vinden in *Bijlage I*.

Geometrie

Omdat de drager van de hoeklijnen bevestigd gaat worden aan de tandriem, moet eerst de juiste tandriemen geselecteerd worden, want de geometrie van deze tandriem heeft sterke invloed op het uiterlijk van de drager van de hoeklijnen. Onder andere op basis van het berekende gewicht en de sterkte van verschillende tandriemen kan de juiste en het juiste aantal geselecteerd worden. Ook de geometrie van de hoeklijn heeft invloed op de geometrie van de drager. Allereerst moet de hoeklijn vastgemaakt kunnen worden aan de drager, waardoor de pasvorm optimaal moet zijn. Daarnaast moet er bekeken worden waar er een kracht op de hoeklijn werkt, waarmee berekend kan worden hoe deze kracht overgedragen kan worden op de drager. Omdat de hoeklijn een soort rails heeft waar de bakplaten en koppels altijd op liggen, grijpt deze kracht altijd op dezelfde plek aan, deze verschilt dus niet per product. Het gewicht kan echter wel per product verschillen. In de productielijn welke als rekenvoorbeeld wordt

gebruikt, is de tussenafstand minimaal 154 mm. Maar in andere lijnen kan de hoogte van een koppel of bakblik een andere maat hebben, waardoor het handig zou zijn als de drager op elke gewenste hoogte (tussenafstand) aan de riem bevestigd kan worden. Dus wanneer er een lijn wordt opgezet voor bollen op platen, wordt de afstand tussen elke drager X centimeter en wanneer er een andere lijn wordt opgezet met broden in bakblikken, kan de afstand bij de machine eenvoudig op Y centimeter worden gezet. Hierdoor hoeft er slecht één product ontworpen te worden, welke snel ingezet kan worden op andere lijnen. Hier moet er wel rekening mee gehouden worden dat de dragers elkaar niet kunnen raken wanneer de tussenafstand te klein wordt en de drager zelf te groot is. Op dat moment zou er voor gezorgd moeten worden dat de bovenkant van de ene drager kan verzinken in de onderkant van de andere drager of vice versa. Ook zouden er minder smalle tandriemen gebruikt kunnen worden bij een minder belaste productielijn, ook dan moet dezelfde drager toegepast kunnen worden. Daarnaast is het van belang dat de drager om de aandrijfpoelies heen kan draaien. Indien onderdelen komen aan de binnenkant van de tandriem, om de drager bijvoorbeeld te bevestigen, moet hier bij de poelie rekening mee gehouden worden. Deze zou bijvoorbeeld uitsparingen kunnen krijgen, daar waar er een onderdeel in de weg zit. Echter zou een poelie er dus bij elke lijn er anders uit kunnen gaan zien, omdat de afstand tussen elke koppel kan verschillen. Ook wanneer er zaken aan de buitenkant van de tandriem bevestigd worden, kan dit ten koste gaan van de flexibiliteit van de riem en dus of de riem nog om de poelie heen kan vouwen.

Hoofdstuk 3

Tandriemen

Op de volgende pagina's wordt er aandacht besteed aan (het selecteren van) tandriemen. Deze zijn er namelijk in vele soorten en maten en elke toepassing heeft weer een andere soort tandriem nodig, omdat bepaalde tandriemen kunnen voldoen aan specifieke eisen. Zo kunnen de profielen van de tanden op de riem verschillen van elkaar en zo kan de riem zelf versterkt worden met verschillende soorten trekkoorden als staal of kevlar.

Bij het selecteren van de tandriem moet rekening gehouden worden met opspannen van de riem, zodat deze altijd strak staat. Wanneer een tandriem niet op de juiste manier is opgespannen, kan deze namelijk tanden overslaan, waardoor er een slip ontstaat (Compean et al., 2011) [10]. Wat ook een heel belangrijk punt is, is dat een tandriem, welke een buitenmateriaal van rubber of polyurethaan heeft, elektrostatisch geladen kan worden tijdens zijn werking. Dit kan gevoelige onderdelen aantasten, maar ook vonken veroorzaken wanneer er een anders geladen element in de buurt komt. Daarnaast kan een geladen riem stof aantrekken, wat nadelig is voor de hygiëne van het systeem [11]. Dit kan opgelost worden door een elektrisch geleidende riem te gebruiken of door de riem te aarden. Bovengenoemde punten zijn samen met het berekenen van de belasting welke de tandriem gaat ondervinden, onderdelen van de checklist welke Muhs et al.

(2002) [12] opstelde voor het selecteren van de juiste tandriem in het handboek voor machineonderdelen Roloff/Matek.

Veiligheid

Omdat het gaat om een productielijn van levensmiddelen, moeten veel regels in acht genomen worden om veilig voedsel te garanderen en om zo de juiste keurmerken te krijgen. Zo moeten onderdelen een FDA-keurmerk krijgen (de eerder genoemde Food and Drug Administration) en deze FDA laat bijvoorbeeld slechts metaalsoorten toe, welke bij controle van de broden (voordat deze de fabriek verlaten) gedetecteerd kunnen worden. Een aantal van deze materialen zijn bijvoorbeeld de goed leverbare metalen aluminium en roestvast staal. Ook hebben kunststof onderdelen het liefst een felle kleur, zodat deze opvallen tussen de producten

wanneer deze hierin terecht komen. Daarnaast moet de machine een CE-markering kunnen krijgen, waarmee gegarandeerd wordt dat de machine in overeenstemming is met de Europese regelgeving.

Keuze tandriem

Er zijn veel verschillende soorten tandriem op de markt, waarvan een deel een zogeheten 'high performance'-tandriem (HP) is. Het profiel van de tanden op deze soort riemen zorgt ervoor dat de tand genoeg grip op de poelie heeft, waardoor de riem hoge afschuiving aankan. Ook kunnen dergelijke riemen uitgerust worden met kabels, welke de treksterkte van de riem aanzienlijk kunnen verhogen. Een aantal van deze HP-riemen wordt hieronder uitgelicht.

- HTD:
- Hoge koppel / Lage snelheid
 - Elektrisch geleidend
 - Geschikt voor in een tropisch klimaat (dus als in een rijskast)
- (X)XH:
- Laag (motor)vermogen
 - Tropisch klimaat
- AT/T20:
- Als XH
 - Slijtage en moeheid proof
 - FDA-gecertificeerd
 - Elektrisch geleidend

Een tandriem kan in twee soorten besteld worden, namelijk 'closed' en 'open' loop. De open loop

tandriem is een riem welke niet gesloten is en eventueel aan elkaar bevestigd wordt. Dit heeft als voordeel dat dit op locatie kan, waardoor het assembleren (en eventueel vervangen van de riem) eenvoudiger wordt, aangezien niet de hele machine uit elkaar gehaald hoeft te worden. Dit kan bijvoorbeeld door het kunststof aan elkaar te lassen of door een klemplaat te gebruiken. Dit heeft als voordeel De tandriem op locatie aan elkaar lassen is echter geen optie in dit project. Gezien de hoge belasting welke er op de riem werkt, zal het gelaste kunststof nooit deze krachten aankunnen, omdat de trekkoorden in de riem niet doorlopen. Daarnaast zullen keuringsinstanties niet akkoord gaan met deze methode in een dergelijke toepassing. (Mailcontact Gerard Klinkhamer, MAK)

Een klemplaat zou deze belasting wel aankunnen, omdat er hier een beroep gedaan wordt op de afschuifsterkte van de tanden. De tanden op de uiteindes worden naar elkaar toegebracht en ingeklemd door een stalen plaat, waardoor de riem gesloten wordt. Naast het feit dat deze plaat te stijf is om om de poelie heen te kunnen, zou deze plaat ervoor zorgen dat er veel minder tanden in aangrijping zijn op de poelie, waardoor de riem zal gaan slippen.

Daarom zou er gekozen moeten worden voor een gesloten riem, welke ook in verschillende soorten leverbaar is. Zo kan de riem met verschillende soorten trekkabels geleverd worden, zoals kevlar en

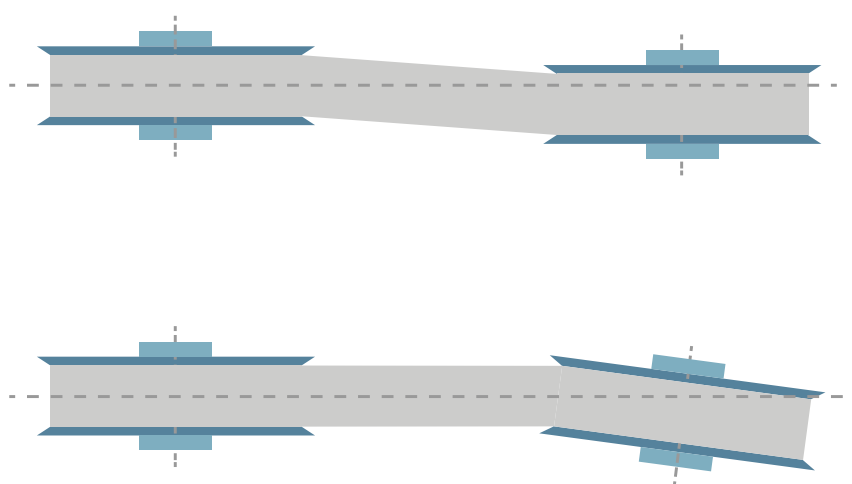
(roestvast) staal. Daarnaast zijn er ook verschillende manieren om de kabels in de riem te verwerken, welke invloed hebben op de treksterkte van de riem. Zo kunnen er meerdere gesloten kabels in gelegd worden, maar deze kunnen ook eindeloos gewikkeld worden, zoals in een spoel. Deze laatste heeft in combinatie met staal de hoogste treksterkte.

Levensduur

De economische levensduur van een machine bij Divardy is over het algemeen drie jaar. Echter gaan machines in werkelijkheid meer dan tien jaar mee, waarbij ongevoelige onderdelen vaak na twintig jaar nog steeds niet aan vervanging toe zijn. De reden van het vervangen van kettingen voor tandriemen is het verminderen van onderhoud, daarom moeten de tandriemen de eerste jaren ook onderhoudsvrij blijven. Daarnaast ziet Divardy het liefst dat de riemen even lang meegaan als de rest van de

machine, aangezien het vervangen van tandriemen een intensieve klus is.

Alberto Gambino van Megadyne laat weten dat tandriemen over het algemeen twaalfduizend uur meegaan. Op basis van zes dagen per week en 24 uur per dag produceren, komt dit neer op een levensduur van ongeveer anderhalf jaar, wat uiteraard veel te kort is. De leverancier van tandriemen van Megadyne, Caldic Techniek, laat weten dat dit in realiteit vaak langer is, namelijk tot bijna 40000 uur (circa vijf jaar). Daarnaast is het zo dat de riem het grootste deel van de tijd stil staat. Hij maakt namelijk elke 45 seconden een stap van een paar seconden, en de meeste slijtage treedt op bij de tanden wanneer deze in aangrijping zijn op de poelie. 60 van de 608 tanden zijn steeds aangegrepen op de poelie (zie *bijlage I*), dit komt neer op circa een tiende van de tijd. 9/10e van de tijd treedt er dus nauwelijks slijtage op aan de riem, wat de levensduur aanzienlijk kan verlengen. Ook hangt de verwachte



Figuur 4. Uitlijning poelies

levensduur van veel andere factoren af, zo zorgt een zwaardere belading voor een hogere kracht en dus afschuifspanning op de tanden van de riem wanneer deze aangegrepen is in de poelie. Ook de snelheid en acceleraties van de riemen zorgen voor (extra) spanningen op de riem en haar tanden. Daarnaast moet de riem ook op de juiste manier geïnstalleerd worden. Zo moeten de poelies zoveel mogelijk in dezelfde lijn staan, dat wil zeggen dat er limieten gesteld zijn op de hoek waaronder de poelies staan en op de radiale tussenafstand (zie *figuur 4*). Als er te veel wordt afgeweken van deze richtlijnen, kan er te veel spanning om een kant van de riem komen, waardoor deze sneller falen. Daarnaast moet de riem zelf goed voorgespannen worden, omdat de poelie alsnog tanden kan overslaan wanneer de riem niet goed gespannen is.

Verder hebben omgevingsomstandigheden sterke invloed op de levensduur van de tandriemen. Over het algemeen wordt aangeraden (Catalogus Gates) [13] om riemen te bewaren en gebruiken op een koele droge plaats. De tandriemen gaan juist gebruikt worden op een warme en vochtige plek, wat dus negatief voor de levensduur van de riem kan zijn. Gates adviseert de riemen te bewaren onder de 70% luchtvochtigheid en onder de 30°C, elke 10 graden hierboven verminderd de levensduur met circa een half jaar. Een te hoge luchtvochtigheid kan ervoor zorgen dat de riem enigszins gaat deformeren, dit heeft geen sterke invloed op de levensduur, maar

moet het liefst wel voorkomen zien te worden. Samen met Caldic en Megadyne zijn voor de concepten op komende pagina's vier AT20-tandriemen geselecteerd, welke een breedte van 150 millimeter en een eindeloze lengte van 12160 millimeter hebben. Deze riem zal eindeloos gewikkeld worden met 'High Performance' roestvast stalen trekkoorden. Er is voor roestvast staal gekozen, zodat er zo min mogelijk corrosie op zal treden wanneer de koorden onverhoopt bloot komen te liggen. De riemen hebben met deze belasting een veiligheidsfactor van ongeveer 1.6, wat overeenkomt met de veiligheidsfactor welke minimaal nodig is voor dergelijke systemen. In de berekening van de belasting van de riem is alleen rekening gehouden met de zwaartekracht – en dus de valversnelling – van de producten. De producten maken ook ongeveer elke vijfenveertig seconden een stap naar boven of beneden, waardoor de riem deze versnelling op moet vangen. Echter is deze versnelling zodanig klein (onder de 0.1 m/s^2 , ten opzichte van 9.81 m/s^2 valversnelling), dat deze verwaarloosd is. Er is gekozen om het AT20-profiel te gebruiken, want naast dat dit een zeer gebruikelijke en goed leverbare tandriem is, hebben de tanden met dit profiel relatief een zeer hoge afschuifsterkte. Dat wil zeggen dat de tanden op deze riem een hogere belasting kunnen dragen – zonder dat de tanden afbreken op de poelie – dan tanden op vergelijkbare riemen met een ander profiel.

Hoofdstuk4

Pakket van eisen

Aan de hand van voorgaande hoofdstukken is een aantal eisen en wensen opgesteld waaraan de oplossing van het door Divardy gestelde probleem aan moet voldoen. Bij het opstellen van deze eisen is uitgegaan van een productielijn waar 6000 casinobroden per uur geproduceerd worden. Voor een aantal eisen onder het kopje ‘productie’ zijn er berekeningen gemaakt welke gebaseerd zijn op dit productieaantal. Deze berekeningen zijn te vinden in *bijlage I*. De veiligheidsfactor onder het kopje veiligheid is gekozen op basis van een tabel in de Megaflex catalogus van Megadyne [14], waarbij ervan uitgegaan is dat de rijskast een liftstelsysteem met een gemiddelde start- en remkoppel is.

Algemeen

- Het systeem moet broodproducten door een rijskast kunnen verplaatsen in een vastgestelde tijd en over een vastgestelde afstand (zie productie).
- Het systeem moet de hoeklijnen kunnen dragen waar de broodproducten op liggen (op platen dan wel in bakblikken).
- Onderdelen in het systeem moeten bestendig zijn tegen de omstandigheden in de rijskast: >80% luchtvochtigheid/37°C.
- De kosten van het vervangen van kettingen voor tandriemen zijn maximaal 1.5 keer zo hoog als het gebruik van kettingen, om redelijkerwijs te kunnen blijven concurreren.

Productie

- Het systeem moet minimaal 6000 broden per uur (600 koppels van 10 broden) door de rijskast kunnen verplaatsen.

- Het systeem moet uit drie delen/liftsystemen bestaan: één omhoog en verdeeld over twee omlaag.
- De tijd dat de producten zich in de rijskast begeven bedraagt 80 minuten.
- Hieruit volgt dat het gehele systeem een inhoud van 8000 broden (inclusief koppels en hoeklijnen) moet kunnen dragen. Dit komt neer op een gewicht van ruim 6600 kilogram per liftstelsysteem.
- Op een laag moeten 10 koppels van acht broden passen.
- Elke paar met hoeklijnen en elke set met dragers op een laag moet 180 kilogram kunnen dragen.

Geometrie

- Het totale systeem, inclusief de machine welke de producten bovenin doordruwt, mag niet hoger zijn 7000mm.
- De verticale tussenafstand van de hoeklijnen moet kunnen verschillen tussen 120 en 220

mm afhankelijk van het broodproduct (bij casinobroden is dit >154 mm).

- De dragers van de hoeklijnen moeten bevestigd kunnen worden tandriemen met een AT20-profiel.
- De dragers mogen niet interfereren met elkaar en mogen koppels/platen niet in de weg zitten.
- De dragers moeten aan al bestaande hoeklijnen bevestigd kunnen worden.
- De tandriemen moeten met de hoeklijn nog om de poelie kunnen draaien.
- De lengte van de tandriemen moet een veelvoud zijn van de verticale tussenafstand van eis 3.2, zodat er geen halve laag over blijft.

(Voedsel)Veiligheid & onderhoud

- Het systeem moet vrij zijn van smeermiddelen.
- Onderdelen moeten FDA-gecertificeerd zijn of een coating hebben welke FDA-gecertificeerd is.
- Het systeem moet een CE-markering kunnen krijgen.
- De tandriemen hebben een veiligheidsfactor van minimaal 1.6.

- Onderdelen moeten te detecteren zijn bij controle van de broodproducten.
- De tandriem moet gecentreerd op de poelie blijven.
- De tandriem mag niet kunnen bewegen over de X en Z-as wanneer deze niet is aangegrepen op de poelie.
- Eventuele elektrostatische lading van de tandriem moet voorkomen zien te worden.
- Het plaatsen van tandriemen en de dragers met hoeklijnen moet door monteurs van Divardy gedaan kunnen worden.
- Defecten moeten door monteurs van Divardy opgelost kunnen worden.
- Er moeten immer genoeg (minimaal 12) tanden aangegrepen blijven op de poelie om slippen te voorkomen.
- De levensduur van de tandriemen is langer dan 10 jaar.

Wensen

- De kleur van onderdelen (tandriem, meenemer, etc.) is blauw.

Hoofdstuk 5

Meenemers

Er zijn verscheidende methoden om producten mee te nemen met een tandriem. Veel van deze manieren zijn specifiek voor horizontale verplaatsingen, maar in dit geval gaat het om een liftsysteem, dus een verticale verplaatsing. Een aantal van deze manieren is hieronder toegelicht.

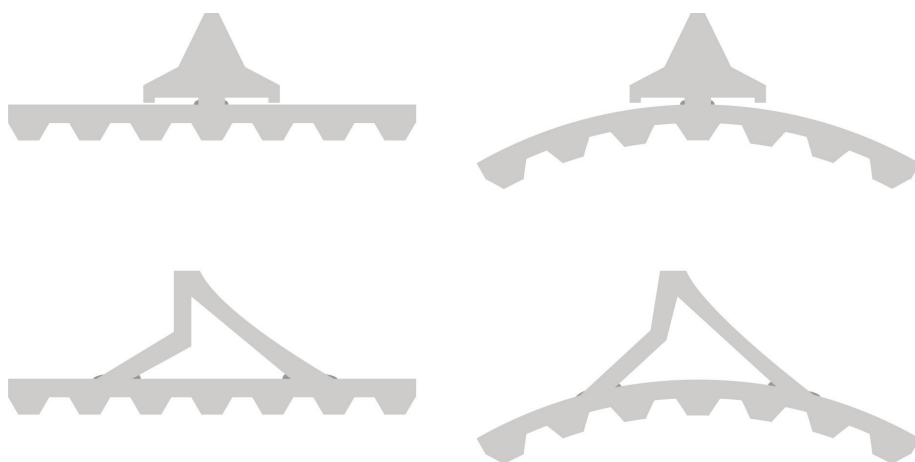
Gelaste meenemers

Een zeer gebruikelijke manier om producten mee te nemen met een tandriem, is door meenemers aan riem te lassen. Deze meenemer is doorgaans van hetzelfde materiaal als de tandriem en wordt gemaakt door extrusie of door het te spuitgieten. Vervolgens worden deze meenemers op een gewenste afstand van elkaar aan de riem gelast met een hoge frequentie las. Deze meenemer kan in principe in elke gewenste vorm gemaakt worden, echter moet er wel rekening mee gehouden worden dat een groter contactvlak tussen de riem en een meenemer zorgt voor een vermindering van de flexibiliteit van de tandriem.

Veel producten van tandriemen hebben daarom een tabel opgesteld met daarin maximale afmetingen van de contactvlakken voor bepaalde tandriemen.

Deze toepassing wordt veel ingezet in horizontale productielijnen, waarbij de riem relatief meer kracht moet dragen dan de meenemers. De lasverbindingen kunnen echter wel veel afschuifkracht aan, waardoor er bijvoorbeeld producten in een verticale productielijn gedragen kunnen worden. Om de belasting dan toch meer te verdelen over een groter oppervlak, zijn er verschillende oplossingen. Op de bovenste twee afbeeldingen op *figuur 5* hiernaast is te zien dat er extra 'pootjes' toegevoegd zijn welke krachten doorgeven aan de riem. Deze pootjes zitten alleen niet aan de riem gelast, waardoor deze los

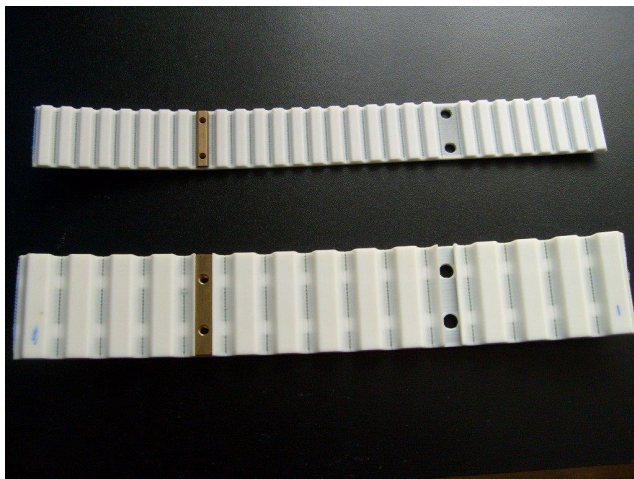
kunnen komen wanneer de riem rond de poelie draait. Op de onderste twee afbeeldingen is een flexibele meenemer te zien, welke doorbuigt wanneer de riem rond de poelie draait.



Figuur 5. Gelaste meenemers

Valse tand

Een andere manier om een meenemer te bevestigen is door een bepaalde tand op de riem weg te frezen, waarna er op de plek van de freesbaan een aantal gaten in de riem geboord wordt. Een 'neppe' tand, welke vaak gemaakt is van messing, komt hier voor in de plaats. In deze tand zit schroefdraad getapt waardoor er een meenemer aan deze valse tand – en dus aan de riem – bevestigd kan worden. Het voordeel hiervan is, is dat een meenemer tussentijds vrij simpel vervangen kan worden als hier de wens naar is. Zie onderstaand *figuur 6*.

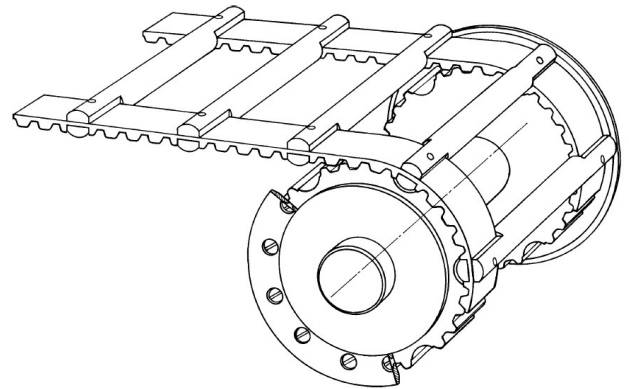


Figuur 6. Valse tand [15]

Inklemming aan tandzijde

Deze vrij onbekende oplossing is gebaseerd op meenemer welke aan de tandkant van de riem geklemd wordt. Hier wordt er dus een beroep gedaan

op de afschuifsterkte van de tand om een bepaald gewicht te kunnen dragen. Het voordeel hiervan is dat de tanden een hoge belasting aankunnen, omdat deze samen met de riem zelf geëxtrudeerd zijn. Het nadeel is echter dat er uitsparingen in de poelie gemaakt moeten worden, hier zijn er minder tanden in aangrijping op de poelie, waardoor het mogelijk is dat de andere tanden de totale belasting op de riem niet kunnen dragen en de riem gaat slippen.



Figuur 7. Inklemming [16]

Vacuüm

Een methode welke veel in de voedingsmiddelen-industrie gebruikt wordt om producten op de juiste plek op de riem te houden, is het gebruik maken van vacuüm. De riem heeft in een bepaald patroon kleine gaatjes in zich, waar producten op liggen. Aan de andere kant van deze gaatjes wordt een vacuüm gecreëerd waardoor de producten vastgezogen worden op de riem. Dit is echter wel een toepassing welke voornamelijk horizontaal wordt toegepast.

Hoofdstuk 6

Concepten

Aan de hand van het pakket van eisen en geïnspireerd door de manieren welke er al zijn om producten mee te nemen met tandriemen, is er een aantal concepten gecreëerd. Om de verschillende concepten te kunnen vergelijken met de huidige oplossing, stalen kettingen, is er van niet alleen elk concept, maar ook van de stalen kettingen een globale kostenindicatie gemaakt. Op de afbeeldingen bij de concepten geven de verschillende kleuren het volgende weer:

- (Transparant) Blauw: Hoeklijn
- Grijs: Tandriem
- Groen/Geel: De verschillende concepten

Kettingen

- Materiaal: Roestvast Staal
 - Kosten zijn ongeveer 16.000 Euro per kast (twaalf kettingen, exclusief tandwiel en opspannen):
 - 65 Euro per meter ketting 'kaal'
 - Elke 6 inch (15,24cm) twee meenemers → ~13,12 meenemers per meter ketting, á 3 Euro per stuk → 39,37 Euro/meter aan meenemers.
 - Totaal 65+39,37 = 104,37 Euro per meter ketting
 - *12.5 meter = 1304 Euro per ketting
 - Bout + borgmoer: ~0.20 euro per setje (2 per ketting per laag) → per machine ~ 200 euro
 - * 12 kettingen = 15.855 Euro per rijskast exclusief de kosten van een poelie.
- Deze prijsindicatie is gebaseerd op een telefonisch gesprek met Emiel Holmaat van KTN Kettingtechniek.*

Kettingen worden ingekocht met gevlake (gebogen) meenemers met daarin gaten, zie figuur 8. De hoeklijnen worden vervolgens direct aan deze meenemers bevestigd met bouten en borgmoeren. Afhankelijk van de belasting, snelheid

en omgevingstemperatuur van de ketting, moet deze gesmeerd worden met een bepaald soort smeerolie met een bepaalde interval [17]. Er bestaan ook smeringsloze kettingen, echter vertonen deze sterkere verlengingen tijden het oprekken van deze ketting. Dit betekent dat deze ketting vaker nagespannen zal moeten worden nadat de inlooperperiode verstreken is [18]. Net als het smeren, kost ook dit erg veel geld.



Figuur 8. Ketting met meenemers [19]

Concept 1

Dit concept is gebaseerd op een klemplaat aan de tandzijde van de riem. Deze wordt geplaatst half op de tand en half op het tandgroef. Vervolgens wordt de hoeklijn met behulp van bouten en moeren bevestigd aan de klemplaat met tandriem. Zoals hiernaast te zien is op *figuur 9* moet er in de poelie een uitsparing gemaakt worden waar het klemplaatje invalt (het diagonaal gemarkeerde deel), zodat de riem om de poelie heen kan blijven gaan.

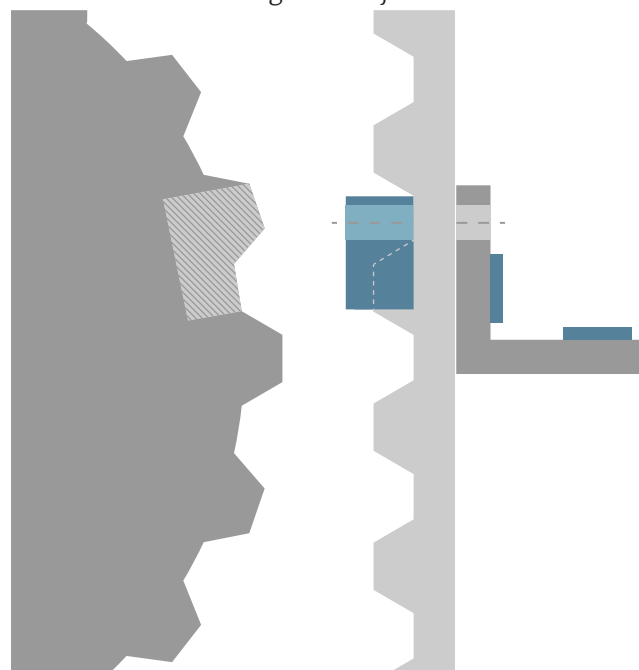
Productie:

Gezien het productieaantal is het aan te bevelen om dit onderdeel te spuitgieten. Per rijskast (met drie liftsystemen) zijn er 3 kasten, maal 4 riemen, maal 76 lagen, bijna 1000 producten nodig.

Allereerst wordt er een matrijs gemaakt, welke een aantal samples produceert. Deze samples worden gebruikt om de juistheid van de matrijs en het model te testen, zoals of het ontwerp wel past in de context waarin deze gebruikt gaat worden en of het inderdaad de belastingen aankan welke op het product werken. Nadat de matrijs eventueel aangepast en vervolgens goedgekeurd is, gaat deze van de matrijsmaker naar de producent van het spuitgieten. Deze zorgt er vervolgens voor dat het volledige productievolume aan producten spuitgegoten wordt en deze zorgt voor het beheer en onderhoud van de matrijs.

Om een matrijs van circa 10.000 euro rendabel te maken, is het verstandig om een klemplaat te laten spuitgieten welke op meerdere rijskasten toepasbaar is, zodat er niet voor elke rijskast een nieuwe matrijs gemaakt moet worden. Dit kost namelijk niet alleen geld, maar dit neemt ook nog eens veel tijd in

beslag. Er is in het rekenvoorbeeld uitgegaan van een uitzonderlijk hoge belasting en daarom is al de meest brede riem gekozen. Daarom kan ervan uitgegaan worden dat de breedte van de riem enkel af kan nemen en niet toe zal nemen wanneer er een andere rijskast gemaakt gaat worden. Daarom zou het wenselijk zijn als het product ook op minder brede tandriemen te bevestigen zal zijn.



Figuur 9. Zijaanzicht van concept 1

Verder moet de poelie ook nabewerkt worden. Het klemplaatje past nu namelijk niet in de groeven van de poelie. Daarom zou er in dit geval bij elke achtste tand een stuk uit de poelie gefreesd moeten worden, waar het klemplaatje precies invalt.

Belangrijke punten:

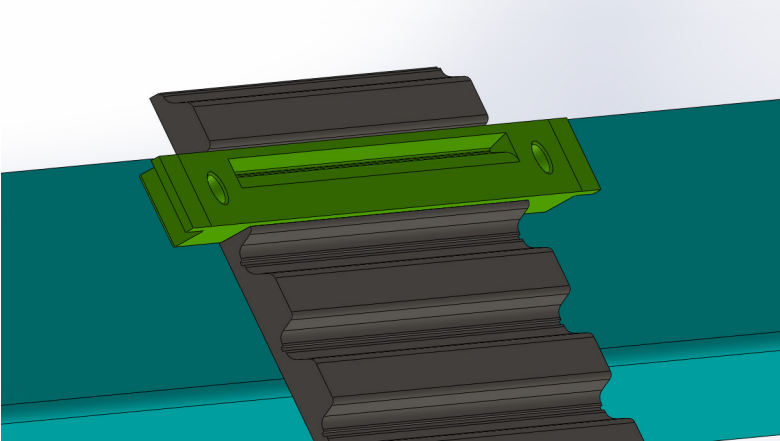
Als eerst moet er rekening mee gehouden worden dat de eerste twaalf tanden in aangrijping op de

poelie alle kracht dragen. De eerste tand in aangrijping draagt steeds de grootste kracht, de tanden erna geleidelijk steeds minder. Vanaf de twaalfde tand is de tand zo ver weggedraaid dat deze geen ballast meer draagt. Daarom is het van belang dat de riem niet gaat slippen wanneer een of meerdere van deze 12 tanden niet in aangrijping is.

De tand voor de geklemde tand draagt steeds 2x zo lang deze ‘grootste kracht’, dan willekeurige andere tanden, omdat de tand na hem niet aangrijpt en hij dus moet ‘wachten’ totdat de tand daarna aangrijpt. De tand ná de geklemde tand draagt op zijn beurt steeds een twee keer zo hoge ballast, want deze moet, zodra deze in inklemming komt, zijn eigen en de ballast van de ingeklemde tand dragen.

Verder is het belangrijk er zo veel mogelijk voorkomen moet worden dat de riem beschadigd wordt. In het geval van een inklemming van een klemblokje tussen de poelie en de riem, moet het klembloje sneller breken dat dat de riem beschadigd raakt. Een klemblok is namelijk relatief eenvoudig te vervangen door een nieuwe op de riem te schroeven. Een beschadigde tand op de riem is echter niet te vervangen, waardoor direct de hele riem vervangen moet worden. In dat geval betekent het dat dus ook elke hoeklijn opnieuw gemonteerd moet worden, wat, naast de kosten van een nieuwe riem, een kostbare klus is.

De ‘flapjes’ aan beide kanten van het klemblok (zie figuur 10), zijn er om in een geleidende baan (een



Figuur 10. CAD-model van concept 1

U-profiel) te vallen. Deze baan zorgt ervoor dat de riem met haar producten niet ongewenst kan verschuiven over de X- en Y-as (horizontale vlak).

Materiaal:

Het klemplaatje moet van een stijve, brosse kunststof gemaakt worden, welke eerder zal breken dan het polyurethaan waar de tandriem van gemaakt is. SAN, PA6 (Nylon 6) en ABS zijn een aantal materialen welke goedgekeurd zijn om in aanraking te komen met voedsel (Code of Federal Regulations [20]). Ook ASA, welke door chemieconcern BASF verkocht wordt onder de naam Luran S FC, is goedgekeurd om in aanraking te komen met voedingsmiddelen. [21]).

Kosten:

Matrijs klemplaat: Circa 10.000 euro → ~0.10 euro afschrijving van de matrijs per stuk (ervan uitgaande dat een spuitgietmatrijs 100.000 producten kan

spuitgieten) → 100 euro per rijskast (uitgaande van 1000 klemplaten per rijskast)

Prijs per stuk materiaal (ASA): ~0,50 euro → 500 euro per rijskast

Bout + borgmoer: ~0.10 euro per setje (2 setjes per klemplaat) → per rijskast ~ 200 euro

Tandriem: 3120 euro (inclusief de korting welke geldt wanneer er meerdere riemen worden afgenomen)

Poelie: Moet nabewerkt worden

Totaal: €38.240 exclusief de poelie.

Kosten zijn gebaseerd op meerdere offertes van verschillende kunststofbewerkers.

Concept 2

Concept 2 is gebaseerd op een vrij gangbare oplossing, namelijk het lassen van meenemers op de rug – de vlakke kant – van de tandriem. In deze gelaste blokjes van polyurethaan zitten gaten waaraan het groene onderdeel, een gebogen plaat van roestvast staal of aluminium, bevestigd kan

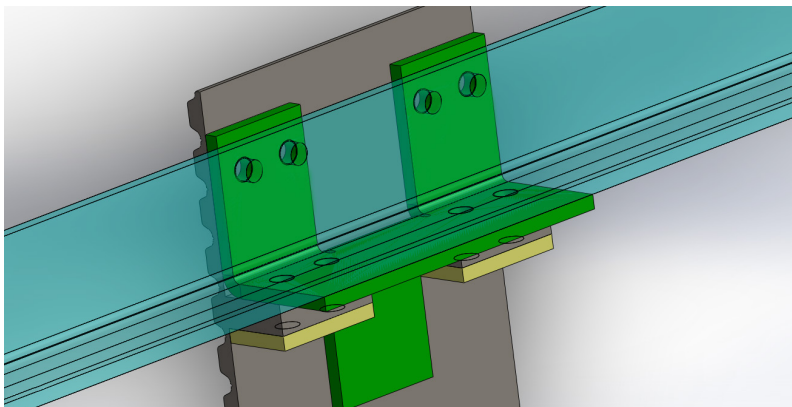
worden. Deze plaat heeft bovenin ook gaten met getapt schroefdraad waar vervolgens de hoeklijn geschroefd aan geschroefd kan worden.

Het omgevouwen deel aan de onderkant van de plaat zorgt ervoor dat de belasting over een zo groot mogelijk vlak verdeeld wordt.

Productie:

De meenemers worden door de fabrikant van de tandriemen spuitgegoten en vervolgens door middel van hoge frequentieclassen op de riem bevestigd. Het is niet nodig dat de meenemers een insert te hebben, het schroefdraad kan bijvoorbeeld ook in een klemplaatje zitten (gele deel) of door een bout te plaatsen aan de onderkant van het blokje.

Het stukje plaat zal eerst voorgeboord moeten worden, waarna de bovenste vier gaten ook getapt worden. Daarna wordt het plaatje een stukje ingezaagd of gestanst, zodat het vervolgens omgebogen kan worden. Dit plaatje wordt vervolgens aan de meenemer geschroefd, waarna de hoeklijn hieraan bevestigd kan worden.



Figuur 11. CAD-model van concept 2

Belangrijke punten:

Een groot nadeel is dat Divardy niet over de expertise en materialen beschikt om meenemers te lassen indien er een meenemer afbreekt. In feite zou de hele riem vervangen moeten worden, wat zeer kostbaar is, aangezien ook alle hoeklijn opnieuw gemonteerd moeten worden. Bij de bepalen van de afmetingen van de meenemer moet dus

een grote veiligheidsfactor meegenomen worden. Daarom zou, om een soortgelijke reden als bij Concept 1, de plaat eerder moeten breken of buigen dan dat de meenemer breekt of vervormd. Daarnaast moet bij het bepalen van deze afmetingen er rekening mee gehouden worden dat de riem minder flexibel wordt naarmate de meenemer dikker wordt (in het verlengde van de riem). Daarnaast wordt de riem minder flexibel wanneer een meenemer recht tegenover een tandgroef wordt gemonteerd. In dit concept is nog niet meegenomen dat er voorkomen moet worden dat de riem beweegt over het horizontale vlak. De groene plaat zou bijvoorbeeld extra flensen kunnen krijgen aan de zijkant, welke aan de tandzijde van de riem in een U-profiel vallen, zoals bij het 1^e concept.

Materiaal:

De gelaste meenemers zijn van polyurethaan, hetzelfde materiaal als de tandriem. Met behulp van de Eindige Elementen Methode* is de veiligheidsfactor (FOS) in het stukje gevouwen plaat bepaald voor een aantal plaatdiktes.

RVS – ASAI 304 (6mm dikte): FOS 3,5, maximale spanning in model is 64 Mpa, waar 207 MPa toelaatbaar is.

RVS – ASAI 304 (5mm dikte): FOS 0.81, maximale spanning in model is 254 Mpa, waar 207 MPa toelaatbaar is.

RVS – ASAI 304 (4mm dikte): FOS 0.42, maximale spanning in model is 489 Mpa in schroefdraad, waar 207 MPa toelaatbaar is.

Kosten:

De plaat van zes millimeter heeft een voldoende veiligheidsfactor, dus met deze dikte is volgende kostenindicatie bepaald.

Stalen plaatje (6mm, getapt): 9,63 per stuk → 9630 euro per rijskast

Bout + borgmoer: ~0.10 euro per setje (8 setjes per plaat) → per rijskast ~ 800 euro

Riem met gelaste (standaard) meenemers: 4350 euro (inclusief korting welke geldt wanneer er meerdere riemen worden afgenomen) → per rijskast ~52.200

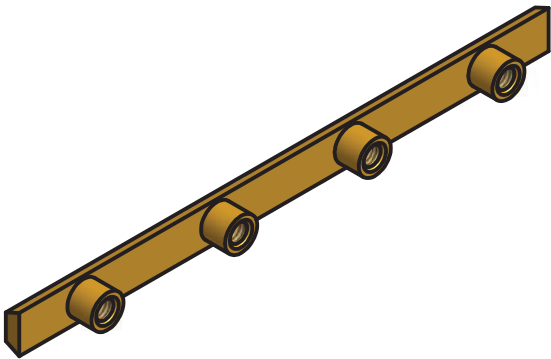
Poelie: Standaard

Totaal: €62.630 exclusief de poelie.

Kosten zijn gebaseerd op meerdere offertes van verschillende kunststofbewerkers.

Concept 3

In dit concept wordt een tand vervangen door een metalen tand met schroefdraad. Deze tand werkt als het ware als klemplaat om op de rug van de tandriem meenemers en dergelijke te bevestigen.



Figuur 12. Valse tand met schroefdraad

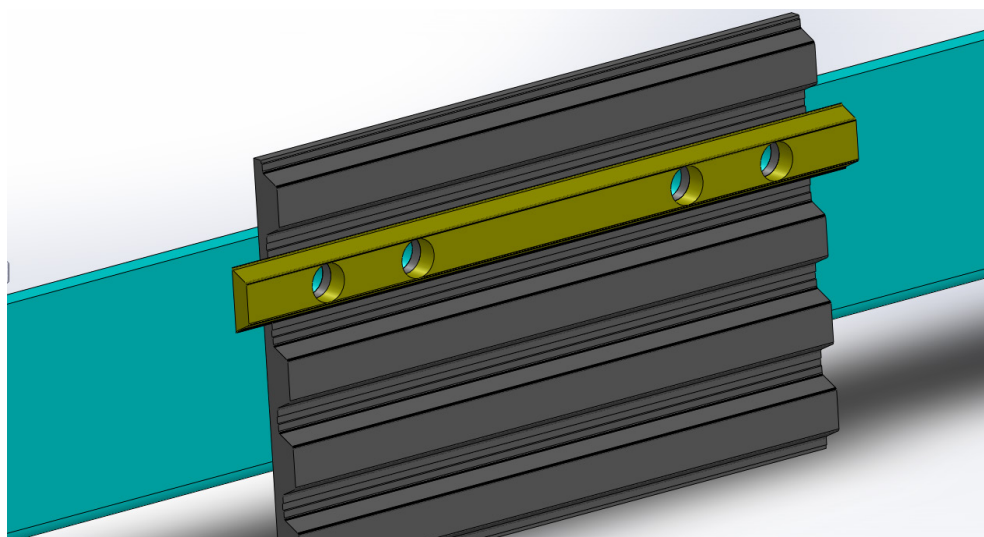
Productie:

Elke achtste tand, in dit voorbeeld, wordt weggefreest. Vervolgens wordt op de juiste plek een aantal gaten geboord waar de busjes met schroefdraad van het metalen tandje precies invallen, zie *figuren 6 en 12*. Vervolgens kan de hoeklijn er redelijk simpel aan bevestigd worden met een bout. Eventueel zou er tussen de rug van de riem en de hoeklijn nog een dempend blokje geplaatst kunnen worden, zodat er geen vuil tussen de riem en hoeklijn gaat zitten.

Belangrijke punten:

Omdat er geboord wordt in de riem, worden de stalen trekkoorden welke hierin liggen onderbroken. Hierdoor verliest de riem circa 40 procent [22] van zijn trekkracht, waardoor er dus bijna twee keer zo veel riemen nodig zijn. Op *figuur 6* is te zien dat de koorden in de onderste tandriem om de gaten gelegd zijn (het verschil in licht en donker in de riem). Hierdoor worden de kabels niet onderbroken tijdens het boren. Echter verliest de kabel dan alsnog zo'n 20% aan sterkte, omdat er minder kabels in de riem liggen. Daarnaast bestaat hier een grotere kans dat de trekkoorden bloot komen te liggen door onnauwkeurig boren. Dit is onwenselijk, ondanks dat het om roestvaste koorden gaat.

De 'valse tanden' worden doorgaans van messing gemaakt, maar om ze toch FDA-goedgekeurd te maken, zouden ze van roestvast staal gemaakt kunnen worden. Omdat dit niet gebruikelijk is, zitten hier extra kosten aan verbonden. Ook hier moet er nog voor gezorgd worden dat de



Figuur 13. CAD-model van concept 3

riem niet te veel kan bewegen. Er zou bijvoorbeeld gerealiseerd kunnen worden dat de valse tanden een stukje uitsteken (zie *figuur 13*) en zo in een baan lopen. Echter is er weinig ruimte tussen de hoeklijn en deze valse tand.

Kosten:

Bout + borgmoer: ~0.10 euro per setje (4 setjes per plaat) → per machine ~ 400 euro
 Riem + stalen tandjes: nog onbekend, wordt geschat op circa 4500 euro per riem inclusief stalen tandjes
 Poelie: Standaard
 Totaal: geschat €54.400

Hoofdstuk 7

Conceptkeuze

In het komende hoofdstuk worden de concepten uit Hoofdstuk 6 teruggekoppeld aan het pakket van eisen. Hieruit volgt een voorkeur voor een concept, omdat deze bijvoorbeeld voldoet aan veel eisen of omdat deze met enkele aanpassingen aan (nog meer) eisen kan voldoen. Hiermee kan er een onderbouwde conceptkeuze gemaakt worden.

Omdat een bepaald concept ook bepaalde eisen met zich meebrengt, welke specifiek voor dit concept gelden – denk aan productie of kosten –, wordt er een revisie van het pakket van eisen gemaakt. Aan de hand van deze herziene versie kan het gekozen concept vervolgens verbeterd en geoptimaliseerd worden.

Terugkoppeling pakket van eisen

De geselecteerde AT20-tandriemen hebben een veiligheidsfactor van 1.6, welke ook nodig is voor deze toepassing. Aangezien er in het rekenvoorbeeld met een extreme gerekend is, zal deze veiligheidsfactor van 1.6 hoger uit kunnen vallen bij minder grote productielijnen. De riemen bij concept 1 en 2 houden deze veiligheidsfactor, echter verliest concept 3 treksterkte door de geboorde gaten. De veiligheidsfactor van deze riem zou ongeveer uitkomen om 1.3, wat afgekeurd zal worden voor een CE-keurmerk. Dit kan uiteraard opgelost worden door aan beide kanten een extra riem in te zetten. Verder worden deze riemen FDA-goedgekeurd gemaakt door gebruik te maken van polyurethaan met een coating speciaal voor de voedingsmiddelenindustrie. Ook worden deze riemen in de blauwe kleur geleverd, waardoor deze nog een stuk hygiënischer ogen. Daarnaast hebben deze

riemen een zodanig lage elektrische weerstand, dat deze voldoet aan ISO 9563 [23], een richtlijn welke bepaalt of een tandriem antistatisch genoemd mag worden.

Onder het kopje ‘algemeen’ bij het pakket van eisen was gesteld dat het vervangen van kettingen voor tandriemen maximaal 1.5 keer het gebruik van kettingen mag kosten. In vorig hoofdstuk is een voorbeeld van een prijsopgave van kettingen en riemen weergegeven en daaruit blijkt dat alleen al de riemen meer dan het dubbele kosten ten opzichte van kettingen. Geen van de oplossingen zou hierdoor aan deze eis kunnen voldoen. Echter zijn deze prijzen gebaseerd op één offerte, waarbij er vanuit gegaan is dat deze riemen slechts een keer besteld worden. Indien er vaker besteld wordt, zal dit de prijs zeker drukken, aangezien het prijsverschil tussen vier en veertig riemen al bijna 20% was. Verder zijn er wel duidelijke verschillen in prijs tussen de concepten. Zo zullen de concepten 2 en 3 veel duurder uitvallen

dan concept 1, omdat de tandriem bij deze concepten nabewerkt moet worden. Aan de andere kant moet er voor concept 1 geïnvesteerd worden in een matrijs, welke echter bij meerdere rijskasten gebruikt zal kunnen worden dan slechts bij één.

De concepten 1 en 3 hebben de mogelijkheid om beweging op de X en Y-as te voorkomen. Ondanks dat er bij concept 3 tussen het stalen tandje en de hoeklijn weinig ruimte is voor een U-profiel, valt dit zeker op te lossen. Bij Concept 2 is het nog wel mogelijk om te bewegen, dit valt ook op te lossen, alleen is dit een stuk lastiger. Het staalplaatje zou bijvoorbeeld flappen naar achter kunnen krijgen, echter zijn deze platen al relatief duur vergeleken met de andere concepten, waardoor ze met flappen nog veel duurder zullen zijn. Ook bestaat het assembleren van dit concept uit relatief veel stappen, wat een dergelijk concept minder aantrekkelijk maakt.

Bij concept 1 wordt er een beroep gedaan op de afschuifsterkte van een tand, omdat deze via het klemplaatje de koppel moet dragen. Het totale gewicht per laag is maximaal 180 kilogram, wat neerkomt op 45 kilogram per riem. De tand moet dus minimaal 450 N aan afschuifsterkte hebben. In de catalogus van Megadyne staat vermeld dat een tand 147 N afschuifsterkte heeft per centimeter breedte van de riem. De riem is 15 centimeter breed, wat neerkomt op een afschuifsterkte van 2205N per tand, wat dus ruim voldoende is om de koppels te kunnen dragen.

Omdat er bij Concept 1 klemplaatjes aan de tandkant van de riem zitten, zou deze niet om de poelie kunnen. Zoals toegelicht in de uitleg van dit concept, moet er een uitsparing in de poelie gemaakt worden, zodat de klemtand hierin wegvalt.

Conceptkeuze

Er is ervoor gekozen om concept 1 uit te werken en te optimaliseren. Naast dat hier de meeste mogelijkheden tot optimalisatie liggen, is dit het enige concept welke de tandriem intact houdt, waardoor deze multifunctioneel inzetbaar is. Hiermee wordt bedoeld dat de riem koppels en platen kan dragen welke verschillende afmetingen hebben. Dit kan één en dezelfde riem doen, door simpelweg meenemers los te halen en de tussenafstand te vergroten of te verkleinen. Ook kan een tandriem sneller geleverd worden door leveranciers dan wel fabrikanten, omdat er in dit geval niet een speciale bestelling is welke gemaakt moet worden.

Daarnaast komen storingen hier wederom bij: wanneer bij de riem van concept 2 een meenemertje afbreekt, kan deze niet een-twee-drie vervangen of gerepareerd worden door werknemers van Divardy. De riem zal dan opgestuurd kunnen worden ter reparatie, maar dit kost uiteraard veel tijd waardoor kostbare productie stil ligt. De riem kan ook in zijn geheel vervangen kunnen worden, maar er gelden soms voorschriften van fabrikanten om bij het vervangen van één tandriem op een bepaalde as, ook de andere tandriemen te vervangen. Dit komt omdat bij het produceren van een set tandriemen, de tandriemen onderling een hele kleine tolerantie hebben, waardoor ze goed op een as passen. Wanneer een van die tandriemen vervangen wordt, kan deze een andere tolerantie hebben waardoor de machine scheef gaat lopen. Uiteraard kost in dit geval een nieuwe tandriem niet alleen geld, ook het stil zetten van de productielijn kost uiteraard erg veel geld, omdat er op dat moment niet geproduceerd kan worden. Bij concept 1 en 3 kan relatief eenvoudig

een klemblokje of tandje vervangen worden wanneer deze afbreekt.

Echter beschikken meerdere producten van tandriemen niet over de middelen om de stalen meenemertjes van concept 3 breder te maken. Daarom zou Divardy dit zelf moeten doen of door een derde laten maken. Echter is het een complex product van staal, wat gefreesd of gegoten zou moeten worden, wat een erg duur proces is voor grote aantallen. Daarnaast moeten de trekkoorden in de riem om de gaten – waar de stalen tandjes invallen – gelegd worden, waardoor er minder koorden zijn en de riem dus treksterkte verliest. Dit wordt opgevangen door meer dan wel bredere riemen in te zetten, wat ook weer meer kost. Daarom is er voor gekozen ook concept 3 niet verder te onderzoeken.

Revisie pakket van eisen

Nu concept 1 gekozen is om verder uit te werken tot een bruikbaar ontwerp, is er een revisie gemaakt van het pakket van eisen. Hierin zijn extra eisen opgenomen welke meer gericht zijn op dit concept. Een aantal van deze eisen uit de het gereviseerde pakket van eisen wordt hieronder toegelicht. De complete revisie is in *bijlage II* te vinden.

Deze klemplaatjes zullen een complexe vorm aan gaan nemen, omdat deze exact om de tand van de

riem zullen gaan vallen. Vanwege deze vorm en het productieaantal is het financieel het aantrekkelijkst om deze blokjes te laten spuitgieten. Dit moet van een kunststof worden gemaakt welke eerder zal breken dan dat het polyurethaan van de tandriem plastisch zou deformeren, zodra het systeem te hoog belast wordt. Het spuitgieten brengt een aantal basisregels met zich mee, zoals dat het model een lossingshoek moet hebben en dat de matrijs maakbaar moet zijn. Elke elevator krijgt 76 hoeklijnen, welke elk vastgehouden wordt door vier riemen en dus vier klemblokjes. Per rijskast zijn er drie van deze liftsystemen, wat neerkomt op dat er ruim 900 klemblokjes per rijskast nodig zijn. Wanneer er de zekerheid is dat er meerdere van deze rijskasten geplaatst worden, is het de moeite waard om te investeren in een goede matrijs om de klemblokjes te laten spuitgieten.

Zoals hierboven vermeld staat, moet de poelie een uitsparing krijgen om inklemming of een blokkering te voorkomen. De poelie moet hierdoor wel een veelvoud van acht tanden krijgen, omdat er elke achtste tand een uitsparing gemaakt moet worden. Omdat er nu materiaal tussen twee tanden geplaatst wordt, moet voorkomen worden dat het buigen van de riem om de poelie geblokkeerd wordt. Zodra de ruimte tussen twee tanden bijvoorbeeld helemaal opgevuld wordt, zou de riem namelijk helemaal niet meer kunnen buigen.

Hoofdstuk8 Conceptuitwerking

Op komende pagina’s en in *bijlage III* wordt het gekozen concept geoptimaliseerd. Zo moet ervoor gezorgd worden dat het klemblokje de werkende krachten in de rijskast kan dragen. Dit wordt gedaan met behulp van een analyse op basis van de Eindige Elementen Methode (EEM). Ook wordt het concept geometrisch kloppend gemaakt.

Het bleek niet mogelijk om een volledige tand weg te halen op de poelie, omdat de tanden op de poelie en riem, ten hoogte van deze weggehaalde tand, een veel te grote ballast moeten dragen. De verwachting van de engineers van Megadyne is dan ook dat of een tand op de poelie of een tand op de riem direct zou bezwijken wanneer het systeem in werking gezet wordt. Bij een EEM-simulatie in SolidWorks blijkt dat de klemplaat in het midden van de tand nauwelijks op de riem steunt. Daarom is er voor gekozen om de klemplaat in tweeën te delen, anders gezegd komen er aan beide zijden de tandriem een klemplaatje. Daardoor loopt de riem in het midden door, wat als voordeel heeft dat de riem continu in aangrijping is op de poelie. Op de poelie missen er dus geen tanden over de gehele breedte van de riem, waardoor tanden geen uitzonderlijke krachten van missende tanden op hoeven te vangen.

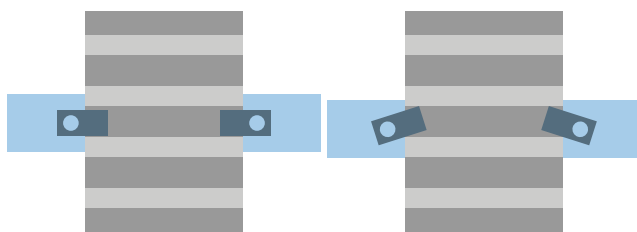
Wanneer de hoeklijn nu over de poelie is geweest



Figuur 14. Omklemming van de tand

en ondersteboven weer naar beneden gaat, zou de hoeklijn van de riem zakken, omdat deze nu nergens meer op steunt. Daarom zou het klemplaatje om beide zijden van een tand gevormd moeten worden, in plaats van alleen één kant (zie *figuur 14* hiernaast. De oranje stippellijn geeft het raakvlak tussen tandriem en klemplaat weer). Dit heeft een bijkomend voordeel dat het plaatje links en rechts niet meer verschilt qua geometrie en dus aan beide kanten op de riem past. Dit is gunstiger tijdens het produceren (bij het spuitgieten is maar één matrijs nodig), bij het monteren (niet zoeken naar een linker of rechter) en bij het op voorraad houden van reserveonderdelen (één onderdeel op voorraad in plaats van twee en daarnaast niet het probleem dat links of rechts eerder bijgemaakt moet worden) [24].

Op dit punt heeft het blokje één bout per kant, waardoor het blokje rond deze bout kan draaien wanneer de hoeklijn belast wordt. Er moet voorkomen zien te worden dat de hoeklijn hierdoor alsnog van de riem zakt (zie *figuur 15*). Dit kan gedaan worden gedaan worden door de bout zeer strak aan te draaien, echter is dit onwenselijk omdat het lastig te bepalen is hoe strak dit moet zijn en daarnaast geeft dit onnodige spanningen in het klemblokje. Een andere oplossing is door een tweede gat voor een bout te plaatsen (zie *figuur 16*),

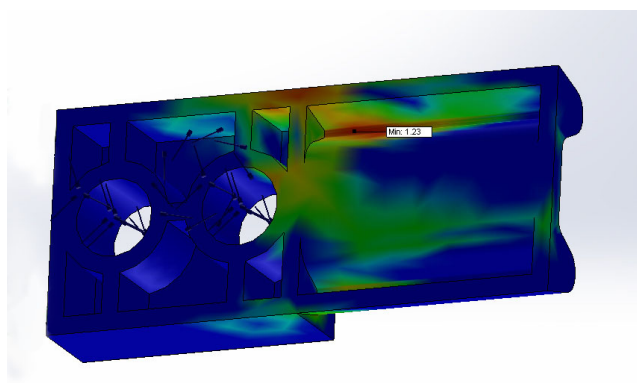


Figuur 15. Afzakking van de riem

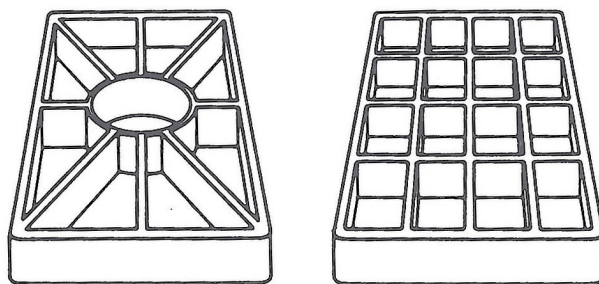
waardoor het blokje altijd horizontaal blijft. Echter is er gekozen om een plaat op de rug van de tandriem te plaatsen welke verzinkt in de blokjes (zie *bijlage V*). Hierdoor kunnen de blokjes niet meer roteren om de bout en kan de hoeklijn niet meer van de tand afzakken. Deze plaat heeft ook nog het voordeel dat hoeklijn iets verder van de riem geplaatst wordt. Daardoor is er aan de tandzijde meer ruimte is om een U-profiel te plaatsen, welke het bewegen van de riem op het horizontale vlak tegengaat.

Vanaf hier wordt het model steeds verder geoptimaliseerd om een zo hoog mogelijke veiligheidsfactor en een zo eenvoudig mogelijke assemblage te realiseren. Het optimaliseren gebeurt onder andere door hoge spanningen in het model te zoeken met een analyse op basis van de Eindige Elementen Methode (EEM). Een (te) hoge spanning kan er namelijk voor zorgen dat het product blijvend (plastisch) vervormd wanneer het belast wordt, dit gebeurt wanneer de spanning op een bepaald punt hoger is dan de vloeigrens van het materiaal. De vloeigrens van een bepaald polymeer is lastig te bepalen, onder andere omdat deze afhankelijk is van temperatuur en luchtvochtigheid [25]. Om toch de

berekende waarden te kunnen vergelijken – en zo een veiligheidsfactor te kunnen bepalen –, is consequent gebruik gemaakt van de vloeigrens van verschillende materialen zoals CES EduPack [26] deze weergeeft in haar software. De EEM-analyse is met het model gedaan welke ook ter geleide met dit verslag komt. Dit is dus met een versimpeld model ten opzichte van de werkelijkheid: met één tandriem in plaats van vier en met één hoeklijn, in plaats van alle hoeklijnen welke aan de riem zullen hangen. De onder- en bovenkant van de tandriem zijn gefixeerd zodat het model zelf op zijn plek blijft. Het plaatje welke in het U-profiel gaat lopen heeft een glijdende fixatie gekregen, waardoor deze niet meer horizontaal kan bewegen. Vervolgens is er op 50 millimeter afstand van de tandriem een gewicht van 45 kilogram op de hoeklijn gezet. Er is voor een vierde van het totaalgewicht van de koppels op een laag gekozen, omdat de koppels altijd uniform verdeeld zullen zijn en er dus nooit een piekbelasting van het totale gewicht op een hoeklijn zullen komen. Ook is er tijdens het analyseren en optimaliseren rekening mee gehouden dat het model spuitgegoten zal gaan worden, vanwege het aantal blokjes wat nodig is voor een rijskast. Zo moet er overal een zoveel mogelijk uniforme wanddikte zijn, wat interne spanningen vermindert en ervoor zorgt dat het model gelijkmatig krimpt na het spuitgieten [27]. Verder zouden er bijvoorbeeld ribben geplaatst kunnen worden om voor extra stevigheid te zorgen, zie *figuur 17*. Alle stappen van deze optimalisatie zijn te zien in *bijlage III*.



Figuur 16. Twee gaten



Figuur 17. Ribben tegen verdraaiing (links) en verbuiging (rechts) [28]

Hoofdstuk 9

Testen prototype

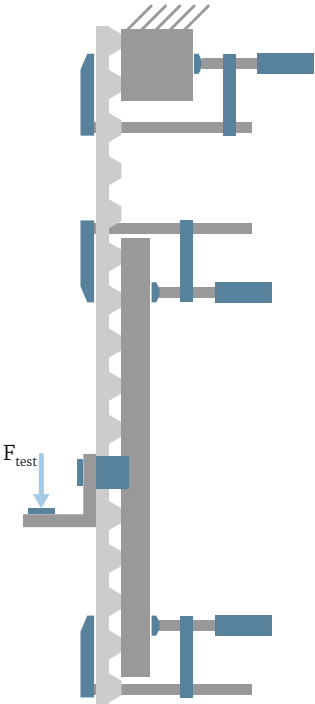
Om het ontwerp te testen op hoe sterk het daadwerkelijk is en of het dus de koppels dan wel bakplaten kan dragen, zijn er testen mee gedaan. Hiervoor is het model van stap 6 in de conceptoptimalisatie (Hoofdstuk 8) laten 3D-printen in het materiaal ABS (Acrylonitril-Butadieen-Styreen). Dit is een minder sterk materiaal dan SAN (Styreen-Acrylonitril), maar prints van ABS kunnen snel geleverd worden (in dit geval door de werkplaats van de Universiteit Twente), waardoor er snel een inzicht gegeven kan worden waar er zwakke punten zitten in het model.

Het model is geassembleerd met een staalplaatje als rugplaat, zoals deze toegevoegd is bij de optimalisatie van het concept (zie *bijlage III*). Er mist echter wel een geleiding in een hoeklijn om horizontale verplaatsing tegen te gaan. Om de riem toch enigszins recht te houden – dus alsof deze opgespannen is – is er langs de tandzijde van de riem een buis geklemd lijk klemmen waardoor de riem niet kon verbuigen. De riem is vervolgens opgehangen, waarna de hoeklijnen met behulp van spanbanden belast werden met stalen staven (zie *figuur 18* voor het prototype, *figuur 19* voor de testopstelling en *bijlage IV* voor foto's van tijdens



Figuur 18. Prototype

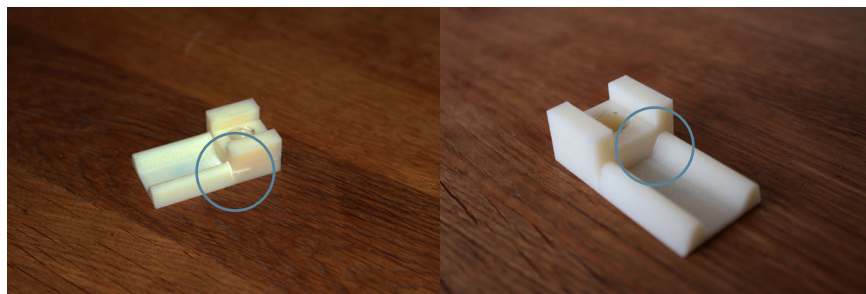
de test). Vervolgens is er gekeken vanaf hoeveel ballast er tekenen van plastische deformatie optraden in het model. Deze blijvende deformatie wordt gezien als falen van het product, omdat het klemblokje dan niet meer naar zijn oorspronkelijke vorm teruggaat wanneer de ballast verwijderd wordt. Voor het klemblokje kan dat namelijk betekenen dat het niet meer om de poelie heen kan komen wanneer koppels en platen met broden weer van de hoeklijn gehaald worden. Er zijn drie testen gedaan met verschillende setjes van twee klemblokjes. Bij de eerste test werd er eerst stapsgewijs opgebouwd naar 26 kilogram, waarna er meteen een stap naar



Figuur 19. Testopstelling

50 kilogram kwam. Hier was direct plastische deformatie in het 3D-geprinte model zichtbaar (figuur 20), waarna het eerste setje blokjes vervangen werd voor nieuwe. De volgende twee test werden beide meer geleidelijk opgebouwd en toonden respectievelijk na 36 lichte en na 40 kilogram iets duidelijkere plastische deformatie (figuur 21). Na de test werden de modellen meer gedetailleerd bekeken, om vast te stellen waar de deformatie precies op heeft getreden. Vooral op foto 1 is duidelijk zichtbaar waar de deformatie precies als eerste optrad. Echter, er is hier goed te zien dat de lijn, welke bijna een breuklijn werd, in het verlengde ligt van de banen van het spuitgieten. Een studie van Tymrak et al. (2014) [29] heeft uitgewezen dat 3D-geprinte producten van ABS een 1.33 tot 1.81 keer zo lage treksterkte hebben dan spuitgegoten producten van hetzelfde materiaal – in het geval van de door Tymrak gebruikte 3D-printers -. De oorzaak hiervan is dat bij het 3D-printproces de verschillende lagen of banen niet op elkaar geperst worden, waardoor ze als het ware enigszins los op elkaar liggen. De verschillende lagen versmelten dus veel minder met elkaar, waardoor ze sneller loslaten en het model minder stevig maken dan wanneer het product spuitgegoten zou zijn. Hier wordt het materiaal namelijk onder hoge druk in een matrijs gevormd, waardoor het product één geheel is. Naast het feit dat spuitgegoten product 1.33 tot 1.81

keer zo sterk zal zijn dan het 3D-geprinte model, heeft het materiaal SAN ook ongeveer een tweemaal zo hoge vloeigrens als ABS [26]. Een exacte factor valt moeilijk te bepalen aangezien de vloeigrens ook afhangt van de geometrie van het product. Echter valt wel met zekerheid te zeggen dat SAN een hogere belasting aankan dan ABS. Dit samen zou erin resulteren dat dit product, wanneer het spuitgegoten en van SAN gemaakt zal worden, eerste tekenen van blijvende deformatie zou tonen na $36 \cdot 1.33 \cdot 2 \approx 95$ kilogram. Een laag met koppels weegt, inclusief hoeklijnen, ongeveer 180 kilogram. Verdeeld over vier riemen, komt het erop neer dat elk setje klemplaatjes 45 kilogram aan ballast moet kunnen dragen. Omdat het in theorie 93 kilogram aankan, geeft dit een veiligheidsfactor van $95/45 = 2.11$. Dit verschilt met de veiligheidsfactor van 2.82 (voor de vloeigrens) welke SolidWorks aangeeft bij dit model. Hier kunnen verschillende oorzaken voor zijn: Tijdens de test is er al eerder plastische deformatie opgetreden, voordat dit waarneembaar was. Ook kan het zijn dat de klemplaatjes tijdens de test anders belast zijn dan dat dit in SolidWorks gesimuleerd is, waardoor het testmodel eerder plastisch deformeerde dan dat dit zou gebeuren in werkelijkheid. Ook is er bij bovenstaande berekening de waarde 1.33 gebruikt, wanneer hier als verhouding 1.81 gebruikt zou worden, komt er een veiligheidsfactor van 2.87 uit, in plaats van 2.07.



Figuur 20. Test 1 (links)

Figuur 21. Test 2 (rechts)

Hoofdstuk Ontwerpvoorstel 10

Het volgende hoofdstuk bevat het uiteindelijke ontwerpvoorstel. Naast het ontworpen klemblokje uit *Hoofdstuk 8*, bestaat dit ontwerpvoorstel ook uit de selectie van de juiste tandriem en de aanpassingen van de poelie. Ook wordt er een voorstel gedaan voor de materiaalkeuze van verschillende onderdelen.

Het ontwerpvoorstel bestaat allereerst uit de keuze van de tandriem. Dit zal een tandriem worden met een AT20-profiel op de tanden. Zoals in de conceptfase uitgelegd is, is dit een goed leverbaar profiel voor tandriemen en daarnaast heeft dit profiel veel grip op de poelie waardoor deze veel belasting aankan, zonder van de poelie af te glijden. Ook heeft dit profiel een hoge afschuifsterkte, waardoor een tand een relatief hoge belasting kan dragen zonder van de riem af te breken. De riem krijgt op basis van de uitgangspositie een eindeloze lengte van 12.160 millimeter en een breedte van 150 millimeter. In de tandriem is een eindeloze trekkoord gewikkeld van een High Performance roestvast staal, waardoor de riem voldoende trekkracht krijgt om de producten uit deze lijn te kunnen dragen.

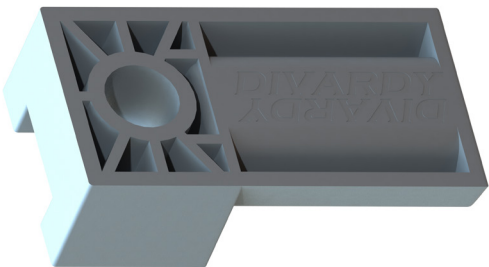
Het hoofdonderdeel in dit ontwerpvoorstel is het blokje welke aan de tandriem met de hoeklijn verbindt. Dit blokje houdt de hoeklijn vast en deze worden samen gedragen door een tand op de tandriem. Dit alles wordt ingeklemd door een bout met een borgmoer. De borgmoer moet er voor zorgen dat de onderdelen niet ongewenst losraken en eventueel in de broden kunnen komen. Een geanimeerde afbeelding van dit blokje is hiernaast te zien op *figuur 22*. Omdat elk blokje slechts aan één bout vastzit, kan deze in principe rond deze bout draaien, waardoor de hoeklijn alsnog van de riem

afzakt (zie *figuur 15*). Dit is opgelost door een plaatje op de rug van de riem te plaatsen, welke in de blokjes verzonken ligt. Hierdoor wordt ervoor gezorgd dat beide blokjes horizontaal blijven ten opzichte van elkaar, van de riem en van de hoeklijn.

Het blokje heeft een aantal ribben gekregen welke zo zijn geplaatst, dat het blokje zo veel mogelijk krachten kan dragen. De diagonale zijn er tegen verdraaiing rondom het gat waar de bout doorheen loopt, de horizontale ribben zijn er tegen het buigen van het blokje.

Een foto van het geheel is te zien in *Hoofdstuk 9*, dit gaat om een prototype welke alleen in detail verschilt met het uiteindelijke ontwerpvoorstel. Zo zal er nog een plaatje tussen de moer en het blokje komen welke ervoor zorgt dat het geheel in een geleiding kan gaan lopen, om horizontale beweging tegen te gaan.

Omdat het blokje aan de tandzijde van de riem ingeklemd zou raken tussen de poelie en de riem,



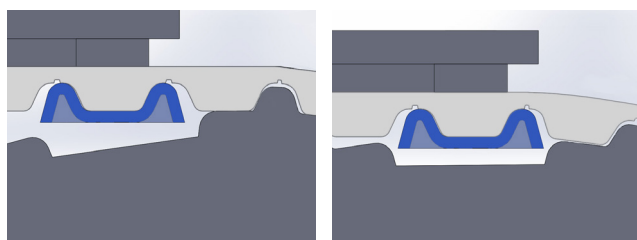
Figuur 22.
Ontwerpvoorstel klemblokje

krijgt de poelie uitsparingen waar dit blokje in valt (zie figuren 23). Deze uitsparing wordt elke achtste tand geplaatst, net als dat er op elke achtste tand op de riem een blokje zit. Als er een andere productielijn is waar er een grotere of kleinere tussenafstand tussen de koppels is – vanwege het formaat bakblikken of de productiesnelheid – verandert deze afstand op de poelie uiteraard mee. De poelie heeft in principe 26 tanden nodig om genoeg tanden van de tandriem in aangrijping te hebben en zo het slippen te voorkomen. Echter krijgt dit systeem een poelie van ongeveer 400 millimeter in doorsnede, omdat binnen deze diameter de aandrijfmotor moet passen. Wanneer er een kleinere diameter wordt gebruikt, zullen de hoeklijnen de motor aanraken, wat onwenselijk is. Kortom is dit een poelie met 64 tanden, wat een veelvoud van acht is.

Materiaal:

Omdat er vrij grote gewichten door de rijskast heengaan, zijn er materialen geselecteerd welke hoge krachten kunnen dragen. Deze materialen moeten, vanwege het produceren van voedsel, ook goedgekeurd zijn door de Food and Drug Administration om te gebruiken in de voedselindustrie.

Zo wordt de riem gemaakt van polyurethaan met een zogeheten FDA-coating. Voor het klemblokje is gekozen voor SAN, wat zorgt voor een goede treksterkte. Het plaatje op de rug van de tandriem wordt van een vijf millimeter dik kunststof gemaakt.



In plaats van SAN, wordt dit gemaakt van ABS om kosten te besparen. Dit plaatje hoeft namelijk geen grote krachten te dragen, waardoor het een lagere treksterkte mag hebben. Het geheel wordt bijeen geklemd door een bout en een borgmoer, welke er voor zorgen dat de onderdelen niet in de broden kunnen komen. Ook deze zijn van een roestvast staal om corrosie te voorkomen.

Kosten:

De kosten van het toepassen van dit ontwerpvoorstel verschillen niet veel met de kostenschatting van concept 1. De kosten van de matrijs blijft een grove schatting, wat erg afhangt van de afwerking ervan. Deze worden geschat op 10.000 euro, waarbij wordt aangenomen dat er 100.000 klemblokjes mee gemaakt kunnen worden. Op basis van 1850 klemblokjes per rijskast, komt dit neer op 185 euro aan investeringskosten per rijskast. De kosten van het spuitgieten van één klemplaatje zullen iets zakken, omdat de plaatjes iets kleiner zijn geworden, echter zijn er wel twee stuks per riem per laag nodig. De totale kosten zullen er dan als volgt uit zien:

Matrijs klemplaat: Circa 10.000 euro → (Aangenomen wordt dat een matrijs 100.000 stuks meegaat:) ~0.10 euro per stuk → 185 euro per rijskast

Prijs per stuk (materiaal SAN): ~0,30 euro → 555 euro per rijskast

Bout + borgmoer: ~0.20 euro per setje (2 per klemblok) → per rijskast ~ 200 euro

Tandriem: 3120 euro (inclusief korting: uitgaande van drie rijskasten per jaar)

Poelie: Moet nabewerkt worden

Totaal: €38.380 ex. poelie

Figuur 23.
Uitsparingen in poelie

Hoofdstuk

Conclusies en aanbevelingen

Conclusies:

Alle berekeningen en analyses zijn gedaan op basis van een productielijn welke 6000 casinobroden per uur produceert. Dit kwam er op neer dat één liftsysteem tot zo'n 2700 broden inhoud heeft. Op basis hiervan zijn de voorgestelde onderdelen sterk genoeg om de broden te kunnen dragen, met een veiligheidsfactor van hoger dan 2.0 ten opzicht van hun vloiegrens. Hier wijken de tandriemen van af, welke een verplichte minimale veiligheidsfactor van 1.6 hebben. Echter is onbekend of deze veiligheidsfactor in de gehele riem klopt, aangezien het meeste gewicht aan de zijkanten van de tandriem hangt, waardoor de belasting dus niet uniform verdeeld is over de gehele breedte van de riem. Het klemblokje is zo vormgegeven dat deze precies om de tand van de geselecteerde tandriem past. Ook krijgt de poelie uitsparingen waar dit klemblokje precies inpast. Wanneer het klemblokje de poelie passeert, zal deze dus niet tegen de tanden van de poelie komen. Het is nog onbekend wat dit betekent voor de tanden voor en na de ingeklemde tand, omdat deze ook de belasting van deze tand moeten dragen. Dit komt omdat deze toepassing vrijwel onbekend is en daarom eerst uitgebreid getest zou moeten worden.

Aanbevelingen:

Gezien de omvang van dit verslag, is er voor gekozen om geen uitgebreide testen te doen met de tandriem. Het wordt wel aanbevolen om de testen welke al

wel gedaan zijn – de testen met het 3D-geprinte klemblokje – langzaam aan steeds verder uit te breiden. Allereerst zou er een kleine test-elevator gemaakt kunnen worden welke bijvoorbeeld in de werkplaats van Divardy gaat draaien. Hierin zouden bijvoorbeeld klemblokjes gebruikt kunnen worden welke met een proefspuiting spuitgegoten zijn. In deze test kan naar voren komen hoeveel gewicht deze blokjes in werkelijkheid kunnen dragen, omdat de 3D-geprinte blokjes uiteindelijk zwakker zullen zijn dan spuitgegoten. Ook komt hier naar voren of en na hoe lang er vermoeiing optreedt in de klemblokjes, omdat de blokjes met een bepaalde frequentie belast worden. Daarnaast kan gekeken worden of de blokjes daadwerkelijk goed in de uitsparingen in de poelie vallen. Desgewenst kunnen de uitsparingen hierop aangepast worden, zodat zo veel mogelijk eventuele oorzaken tot falen uitgesloten worden.

Als de onderdelen goed door deze test komen, zou er in een echte bakkerij dit systeem toegepast worden. Er wordt wel aanbevolen dit eerst te doen op een kleine productielijn, waarin dus niet 6000 broden per uur geproduceerd worden, zodat het gewicht daarna langzaam vergroot kan worden. Ook zou de toepassing in het begin kinderziektes kunnen hebben, waardoor het handig is om dit eerst toe te passen bij een fabriek in de buurt, zodat monteurs snel in kunnen grijpen.

Op deze lijn kan goed gezien worden of en wat een grote belasting op alleen de zijkanten doet met de tandriem. Ook kan hier nu beter bekeken worden of de tanden voor en na de ingeklemde tand deze grote krachten aankunnen. Het wordt dan ook aanbevolen

om vooral in de eerste periode na de ingebruikname frequent de tandriem en de klemblokjes te onderzoeken op bijvoorbeeld plastische deformatie. Uit een gesprek met de heer David Rijke (opdrachtgever van dit verslag en eigenaar van Divardy) en de heer Rob Snelders van Caldic (de leverancier in Nederland van de tandriemen van Megadyne) komt ook naar voren om dit ontwerpvoorstel eerst toe te passen op een andere machine. Zo bestaat er een kast welke deksels van bakblikken in zich opslaat. Hierin spelen aanzienlijk kleinere krachten dan in een rijskast, maar het principe van hoe de machine werkt, is het zelfde. Ook hierin zitten namelijk kettingen met daaraan hoeklijnen, welke goed vervangen kunnen worden voor tandriemen.

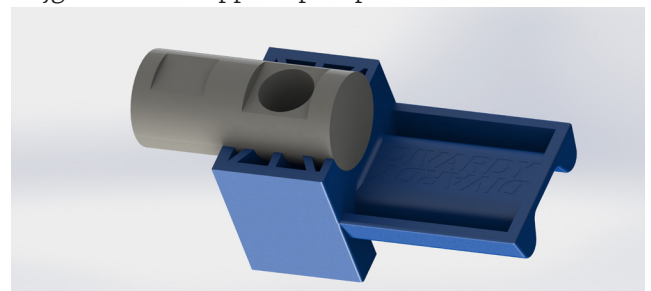
Naast de aanbevelingen die gedaan worden wat betreft de ingebruikname, wordt ook aanbevolen om te onderzoeken hoe deze toepassing wordt ontvangen in de bakkerij-industrie. In principe was er al eens een dergelijk liftsysteem mét tandriemen verkocht aan een klant (deze verkoop ging uiteindelijk niet door omdat de huidige productielijn bij deze klant al goed liep). Dit is een teken dat het goed ontvangen wordt door bakkerijen. Dit is uiteraard één klant en daarom zou bijvoorbeeld op de IBA ('s werelds grootste beurs voor de bakkerij-industrie, waar Divardy in september van dit jaar zal gaan exposeren) gepolst kunnen worden hoe er wordt gereageerd op deze toepassing.

Verder moet er met bijvoorbeeld sensoren gezorgd worden dat het systeem zichzelf stopzet indien er bijvoorbeeld een klemblokje breekt en hoeklijn naar beneden zakt. Ook moet er gedetecteerd kunnen worden als de poelie een tand overslaat en de riem en poelie dus niet meer synchroon lopen. Want in dat geval zullen klemblokjes klem raken tussen de riem en de poelie. Ook in dit geval zou het systeem zichzelf direct stop moeten zetten.

Om een dure spuitgietmatrijs rendabel te maken, wordt geadviseerd om enkel AT20-tandriemen te gebruiken. Een tandriem met een ander profiel heeft namelijk een ander klemblokje nodig, waar opnieuw een matrijs voor gemaakt moet worden. Een matrijs kan ongeveer 100.000 klemblokjes maken (afhankelijk van de producent, het materiaal en de afwerking) voordat deze aan vervanging toe is.

Echter staat er ook nog een aantal dingen open. Zo is te zien dat er in het CAD-model een plaatje gemodelleerd is welke 'opgelegd' is op een aantal zijden, waardoor een geleiding door het U-profiel gesimuleerd wordt. Echter zal dit in werkelijkheid niet op deze manier eruit gaan zien, want deze oplossing brengt veel wrijvingskracht met zich mee – staal op staal heeft een wrijvingscoëfficiënt van ongeveer 0.5 [30] – welke de tandriem extra zal moeten dragen. In werkelijkheid zal de geleiding door het U-profiel gaan met (naald)lagers. In plaats van bovengenoemd plaatje, zou er asje geplaatst moeten worden. Om te voorkomen dat dit asje kan verdraaien ten opzichte van het klemblokje, zou het klemblokje het asje bijvoorbeeld voor een deel kunnen omsluiten zoals op *figuur 24* hieronder.

Verder staat ook nog open hoe de tandriemen exact een voorspanning krijgen. Als de rijskast namelijk half leeg is, is er minder belasting op de riemen, waardoor deze minder opgespannen is. Door een dynamische opspanning zouden de riemen automatisch weer voldoende opspanning moeten krijgen om het slippen op de poelie te voorkomen.



Figuur 24. Klemblokje met as

Verklarende woordenlijst

Depannen	Het uit de bakblikken halen van broden
Eindige-elementenmethode	Een (in dit geval) statische sterkteberekening door een model in kleinere delen op te delen en hier berekeningen mee te doen
Grootbrood	Broodproducten van meer dan één portie (bijvoorbeeld casinobrood, tijgerbrood)
Hoeklijn	Horizontaal L-profiel welke koppels met producten draagt in de rijskast
Koppel	Tussen de drie en twaalf bakblikken aan elkaar vormen samen een 'koppel'
Kleinbrood	Broodproducten van één portie (bijvoorbeeld krentebollen, croissantjes)
Rijskast	Elevatiesysteem waar broodproducten in rijzen voordat deze gebakken worden.

Literatuurlijst

[1] Hui, Y.H. (2007). *Handbook of Food Products Manufacturing* (Vol. 2). Wiley. p. 268.

[2] Hooft, Julie van der et al. *Brochure Bakkerij* (2006). Unifa, vereniging van Belgische fabrikanten en importeurs van grondstoffen voor bakkerij, patisserie, chocolatiers en ijsbereiders.

[3] Belinelli, M., & Souza, G. (2013). Development of method failure analysis and risk related to industrial lubrication applied in food industry machinery. *Safety, Reliability and Risk Analysis Beyond the Horizon*, 941–948.

[4] Nakata, T.; Matsui, K.; Miyake, Y.; Nishioka, Kyusaku (1999) Dynamic bottleneck control in wide variety production factory. *Semiconductor Manufacturing, IEEE Transactions on*. Vol.12, no.3, p. 273–280.

[5] Totten, G. (2012). *Handbook of hydraulic fluid technology* (2nd ed.). Boca Raton: CRC Press. p. 916.

[6] CFR – Code of Federal Regulations Title 21., Part 178 – Indirect food additives: Adjuvants, production aids, and sanitizers (2014). Geraadpleegd op 8 juli 2015, via <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=178.3570>

[7] Profilet, R. (2007, November). Finding Your Way Around the Food-grade Lubricants Maze. *Tribology & Lubrication Technology*, 48–50.

[8] BelRay, Material Safety Data Sheet – No-Tox Food Grade Chain Lubricant (2011).

[9] Tri, Phan Thanh (2002). *Oily wastewater treatment by membrane bioreactor process coupled with biological activated carbon process*. Diss. Asian Institute of Technology.

[10] Campean, I., Day, A., & Wright, S. (2001). *Camshaft timing belt reliability modelling*. Annual Reliability and Maintainability Symposium. 2001 Proceedings.

[11] York Industries Inc, New York. *Engineering Standards: Facts, Formulas and Detailed Design Data – Synchronous Belt Drives*

- [12] Muhs, D. et al (2002). Roloff/Matek Machineonderdelen, theorieboek (3e verbeterde druk). Academic Service. p. 541.
- [13] Gates Industrial Power Transmission (2010). Productcatalogus, Gates Corporation.
- [14] Megadyne Megaflex (2013). Productcatalogus, Megadyne S.p.A.
- [15] Afbeelding: via e-mail verkregen van Ramon Meeuwisen op 30 april 2015, ERIKS Aandrijftechniek Roermond.
- [16] Afbeelding: Perneder, R., Osborne, I. (2012). *Handbook Timing Belts*. Springer, Heidelberg. p.232.
- [17] Wright, J.L. (2004). *Standard Handbook Of Machine Design*, McGraw-Hill. p. 15.16.
- [18] Muhs, D. et al (2002). Roloff/Matek Machineonderdelen, theorieboek (3e verbeterde druk). Academic Service. p. 584.
- [19] Afbeelding: DIN 8187 16b-1 ketting. Geraadpleegd op 8 juli 2015, via http://ecx.images-amazon.com/images/I/71hTT+8J5pL._SL1500_.jpg
- [20] CFR – Code of Federal Regulations Title 21. Part 177 – Indirect Food Additives: polymers (2014). Geraadpleegd op 4 juni 2015, via <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfCFR/CFRSearch.cfm?fr=177.1020>
- [21] New Luran S (ASA) grades for food contact. Geraadpleegd op 26 juni 2015, via http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~en_GB/portal/show/common/plasticsportal_news/2009/09_307
- [22] Mailcontact met Ramon Meeuwisen (22 april 2015) ERIKS Aandrijftechniek Roermond.
- [23] ISO 9563, *Belt Drives – Electrical Conductivity of Anti-static Endless Synchronous Belts Characteristics and Test Method*, 17-02-2012, p.2.
- [24] Kals, H. J. J., Luttermelt, C. V., & Moulijn, K. A. (2007). *Industriële productie* (4e herziene druk). p. 421.
- [25] Rosato, D., & Rosato, D. (1995). *Injection molding handbook* (2nd ed.). New York: Chapman & Hall. p. 869.
- [26] CES EduPack (2015)
- [27] Rosato, D., & Rosato, D. (1995). *Injection molding handbook* (2nd ed.). New York: Chapman & Hall. p. 594.
- [28] Afbeelding: Rosato, D., & Rosato, D. (1995). *Injection molding handbook* (2nd ed.). New York: Chapman & Hall. p. 624.
- [29] Tymrak, B. M., Kreiger, M., & Pearce, J. M. (2014). Mechanical properties of components fabricated with open-source 3-D printers under realistic environmental conditions. *Materials & Design*, 58, p. 242-246.
- [30] Wrijvingscoefficient, Rolweerstand, Luchtweerstand. Geraadpleegd op 3 juli 2015, via <http://www.werktuigbouw.nl/abc/cof.htm>

Bijlagen

Inhoudsopgave

Bijlage I:	Berekeningen	45
Bijlage II:	Revisie Pakket van Eisen	46
Bijlage III:	Conceptoptimalisatie	48
Bijlage IV:	Foto's testopstelling	50
Bijlage V:	CAD-model van het ontwerpvoorstel	USB-stick
Bijlage VI:	Plan van Aanpak (Inleiding Technologisch Onderzoek)	USB-stick

Bijlage I

Berekeningen

- * Rijstijd 80 min, capaciteit 6000 per/uur, dus $(80/60)*6000 = 8000$ inhoud
- * 3 systemen: 1x stijger, deze wordt verdeeld over 2x dalers: in $80/3=26,67$ min stijgen, in $80*2/3=53,33$ dalen
- * 8 koppels met 10 (casino)broden per koppel → $10*8=80$ broden per laag
- * Elk koppel ca. 12 kg en de broden wegen $10*0,9$ kg per stuk = 9kg/koppel → $8*(12+9)=168$ kg per laag (excl. hoeklijnen)
- * Elk blok $8000/3=2667$ broden
- * 2667 broden met 80 per laag: $2667/80=33,33$ lagen → 34 lagen
- * 34 lagen * 80 broden = 2720 broden per systeem (6120/u capaciteit)
- * 34 lagen met een tussenafstand 160mm: $34*160=5440$ mm (=hartafstand poelies)
- * (tussenafstand laag is 160mm, omdat de pitch op de tandriem 20mm is)
- * 34 lagen, 168 kg per laag: $168*34 = 5712$ kg per systeem
- * Hoeklijnen wegen 6kg per stuk, 76 hoeklijnen per riem → $6*76*2=912$ kg
- * Totale belasting hele systeem: $5712+912=6624$ kg
- * Hoogte 100mm, breedte 300mm
- * Rijstijd 80 minuten
- * Beschikbare ruimte: 7000mm
- * Lijn op 600mm hoogte → $7000-5440-600 = 960$ mm over voor pusher
- * Keuze tandriem
- * 4x AT20 tandriem, 150mm breed. AT20 is een zeer gangbare/goed leverbare 'high performance'-tandriem.
- * Wapening: High Performance stainless steel koorden. Koorden worden eindeloos gewikkeld, voor maximale toelaatbare spanning → Safety Factor (FOS) 1.76
- * Lengte: 12160mm (deelbaar door 160mm) → 608 tanden c.q. 76 lagen over de hele riem
- * Hartafstand c wordt dan: $c=(L-1,57(D_1+D_2))/2 = 5452$ mm
- * Inhoud per kast: $(608-(2*30))/2=274$ tanden → $274/8=34,25$ lagen
- * → $34,25*80$ broden*3 kasten = 8220 broden/80min (6165/u)

Revisie Pakket van Eisen **Bijlage II**

Algemeen

- Het systeem moet broodproducten door een rijskast kunnen verplaatsen in een vastgestelde tijd en over een vastgestelde afstand (zie productie).
- Het systeem moet de hoeklijnen kunnen dragen waar de broodproducten op liggen (op platen dan wel in bakblikken).
- Onderdelen in het systeem moeten bestendig zijn tegen de omstandigheden in de rijskast: >80% luchtvochtigheid/37°C.
- De kosten van het vervangen van kettingen voor tandriemen zijn maximaal 1.5 keer zo hoog als het gebruik van kettingen, om redelijkerwijs te kunnen blijven concurreren.

Productie

- Het systeem moet minimaal 6000 broden per uur (600 koppels van 10 broden) door de rijskast kunnen verplaatsen.
- Het systeem moet uit drie delen/liftsystemen bestaan: één omhoog en verdeeld over twee omlaag.
- De tijd dat de producten zich in de rijskast begeven bedraagt 80 minuten.
- Hieruit volgt dat het gehele systeem een inhoud van 8000 broden (inclusief koppels en hoeklijnen)

moet kunnen dragen. Dit komt neer op een gewicht van ruim 6600 kilogram per liftsysteem.

- Op een laag moeten 10 koppels van acht broden passen.
- Elke paar met hoeklijnen en elke set met dragers op een laag moet 180 kilogram kunnen dragen.

Geometrie

- Het totale systeem, inclusief de machine welke de producten bovenin doorduwt, mag niet hoger zijn 7000mm.
- De verticale tussenafstand van de hoeklijnen moet kunnen verschillen tussen 120 en 220mm afhankelijk van het broodproduct (bij casinobroden is dit >154 mm).
- De dragers van de hoeklijnen moeten bevestigd kunnen worden tandriemen met een AT20-profiel.
- De dragers mogen niet interfereren met elkaar en mogen koppels/platen niet in de weg zitten.
- De dragers moeten aan al bestaande hoeklijnen bevestigd kunnen worden.
- De tandriemen moeten met de hoeklijn nog om de poelie kunnen draaien.
- De lengte van de tandriemen moet een veelvoud zijn van de verticale tussenafstand van eis 3.2, zodat er geen halve laag over blijft.

- De poelie moet een veelvoud van het aantal tanden per laag hebben.
- De levensduur van de tandriemen is langer dan 10 jaar.

(Voedsel)Veiligheid & onderhoud

- Het systeem moet vrij zijn van smeermiddelen.
- Onderdelen moeten FDA-gecertificeerd zijn of een coating hebben welke FDA-gecertificeerd is.
- Het systeem moet een CE-markering kunnen krijgen.
- De tandriemen hebben een veiligheidsfactor van minimaal 1.6.
- Onderdelen moeten te detecteren zijn bij controle van de broodproducten.
- De tandriem moet gecentreerd op de poelie blijven.
- De tandriem mag niet kunnen bewegen over de X en Z-as wanneer deze niet is aangegrepen op de poelie.
- Eventuele elektrostatische lading van de tandriem moet voorkomen zien te worden.
- Het plaatsen van tandriemen en de dragers met hoeklijnen moet door monteurs van Divardy gedaan kunnen worden.
- Defecten moeten door monteurs van Divardy opgelost kunnen worden.
- Er moeten immer genoeg (minimaal 12) tanden aangegrepen blijven op de poelie om slippen te voorkomen.

Klemblokje

- Het klemblokje moet het gewicht van de hoeklijnen en de koppels met broden kunnen dragen.
- De hoeklijn en de riem moeten aan het blokje bevestigd kunnen worden.
- De tand welke het klemblokje draagt, moet voldoende afschuifsterkte hebben om dit te kunnen dragen.
- Geleider voor U-profiel
- Om inklemming te voorkomen, moet het blokje de poelie niet kunnen raken.
- Het klemblokje moet eerder breken dan dat de riem plastisch deformeert in het geval van overbelasting.
- Het klemblokje is spuitgietbaar (zie Steps injection molding).
- Het klemblokje mag geen negatief effect hebben op de flexibiliteit van de tandriem

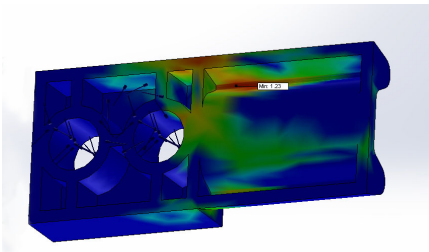
Wensen

- De kleur van onderdelen (tandriem, meenemer, etc.) is blauw.

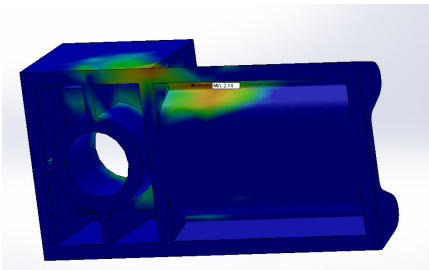
Conceptoptimalisatie **Bijlage III**

Op komende pagina's is de conceptoptimalisatie te zien. Eerst wordt vermeld wat er verbeterd is, met daaronder berekende veiligheidsfactor en de wanddikte, bijvoorbeeld 1.85 / 2.12. Naast de tekst is een afbeelding van het figuur te zien, met daarop zwakke plekken (hoe roder, hoe meer spanning op dat deel).

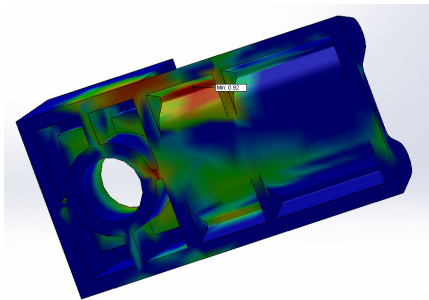
Twee gaten per kant (tegen afdraaiing)
FOS/
Wanddikte (mm)



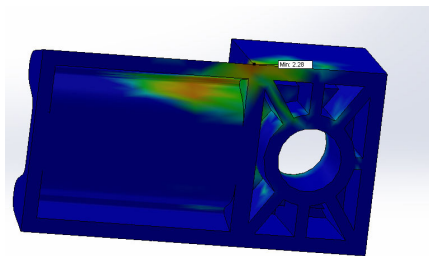
Ander materiaal
(→ SAN i.p.v.
ASA
2.14 / 2.5mm



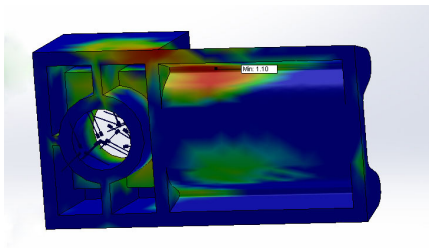
Een gat per kant
→ rugplaatje
recht houden
0.92 / 2.5mm



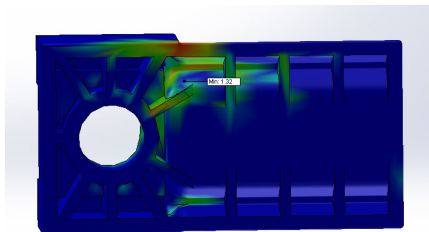
Wanddikte
verkleinen
(naar 2 mm →
koeltijdver-
betering [31])
Diagonale
ribben → tegen
verdraaiing [28]
2.28 / 2mm



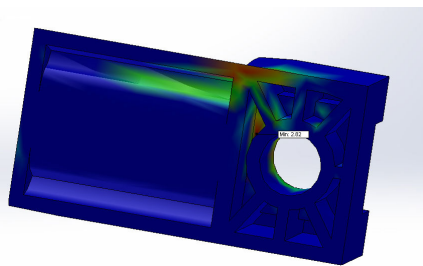
Ribje rechts van
gat verwijderen
1.10 / 2.5mm



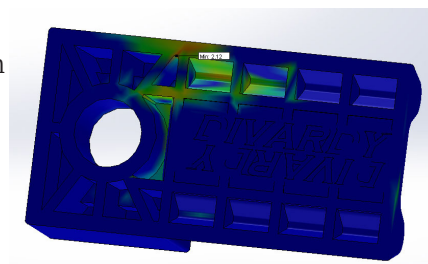
Afronding tussen
gecurvde deel en
blok [32]
3D-geprint
model
Zie 'Testen
prototype'
2.82 / 2mm



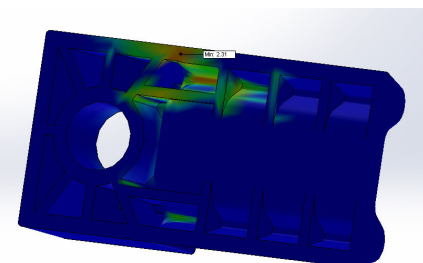
Afronding
binnenkant,
lijn tussen blok
en curve weg.
Ribben op curve
1.32 / 2mm



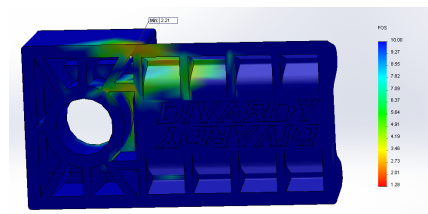
Divardy-logo
toevoegen en lijn
verlengen
2.12 / 2mm



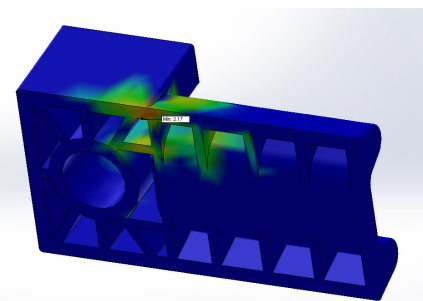
Horizontale
ribben vanaf gat
(zie volgende
AFBEELDING)
2.31 / 2mm



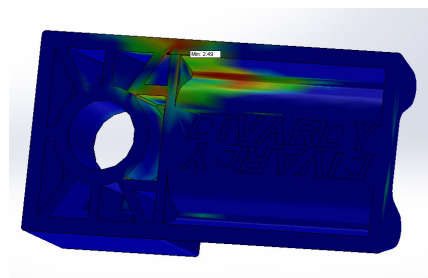
Lijn verkorten
2.21 / 2mm



Lijn tussen blok
en curve (tegen
vuil)
2.17 / 2mm



Ribben
verwijderen
2.49 / 2mm



Foto's testopstelling **Bijlage IV**



