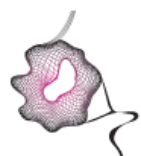
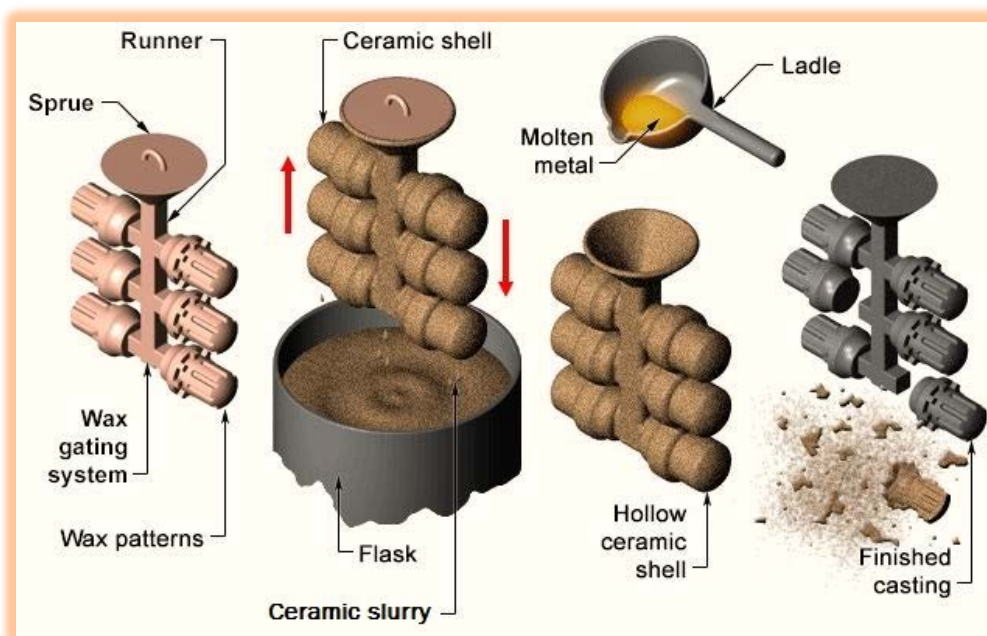


VERLOREN WAS METHODE

Stageverslag in het kader van Production Management



Naam: Robin Haverkate
Studentnummer: s0182753
Stagebedrijf: Cirex
Stagebegeleider: Jeroen Spoelder
Plaats: Almelo (Nederland)
Periode: 06-01-2015 – 16-04-2015

Universiteit Twente
Production Management
Begeleider UT: Dr. Ir. S. Hoekstra

Samenvatting

Cirex is één van de grootste ‘verlorenwasmethode’ (lost wax process) gieterijen ter wereld. Het bedrijf ontwikkelt en produceert hoogwaardige componenten die gegoten worden in vrijwel elke staallegering. Deze onderdelen worden veelal toegepast door vooraanstaande mondiale OEM’s in de automobiel, proces-, vliegtuig- en machinebouwindustrie.

De verlorenwasmethode is een proces waarbij, met name kleine, metalen producten met hoge maatnauwkeurigheid worden geproduceerd in (middel) grote series.

Bij een aantal van deze processtappen heeft Cirex opgemerkt dat er problemen zijn of dat er ruimte is voor verbetering. Op dit moment is er niemand die zich specifiek bezig houdt met deze ‘projecten’. Het doel van de stage is om de, door Cirex, voorgestelde projecten bij de kop te pakken door eerst de situatie te analyseren, oplossingen te bedenken en dit voor te leggen aan de mensen die bij die processtap betrokken zijn. In de stage zijn verschillende projecten aan de orde gekomen.

In 2016 zal Cirex de capaciteit van het productieproces flink uitbreiden door een nieuwe hal te bouwen met daarin een volledig geautomatiseerde invormerij. Ook is meegedacht in het ontwerp van deze hal op gebied van (nieuwe) technologie en logistiek.

Alle projecten zijn gestructureerd aangepakt door het probleem eerst juist te formuleren en te analyseren waar de oorzaak ligt. Daarna wordt er gezocht naar mogelijke oplossingen. Zo nodig worden er proeven uitgevoerd om tot een juiste conclusie te komen om zodoende tot een nuttig advies te komen voor Cirex.

Summary

Cirex is one of the largest foundries which makes use of the lost wax (casting) process. The company develops and produces high quality components which can be casted in almost every alloy thinkable. Their customers are mainly large OEM's of automobile-, processing- and aerodynamic industry.

The lost wax method is a process where, especially small, metal products with high accuracy of measurement are produced in (middle) large series. The process contains roughly the following process steps:

- Design of the die casting mold for wax depending from the product and customers specifications.
- Die casting of the products with wax and assembly of many products in a large batch to a so called (wax) tree.
- Building a layer of ceramics around the tree.
- Melting the wax out of the ceramics, a negative of the wax tree remains.
- Casting of metal alloy in the ceramic.
- Finishing the products, inspection and dispatching of the goods.

With some of these process steps Cirex noticed some problems or believes that there is room for improvement. Nobody at the company is assigned to work on these so called 'projects'. The purpose of this internship is to take a look at these projects for which Cirex would like to see improvement. The approach for these projects was to first analyze the issue carefully trying to find out what the exact problem and what its origin is. Then try to find solutions for the problem and discuss these with the employees involved in the process.

The following projects were provide by Cirex and have crossed the desk:

- Clamping system for center piece tree
After assembly of the wax tree, the trees are transported upright on carts. The vision for the future is to transport the trees upside down with some kind of chain/rail transporting system. An adaption is needed to the current center piece of the tree to make these suitable for the transporting system. One of the employees of Cirex has come up with a concept which should work but the strength of the connection between the adapter and center piece has to be checked. The most critical parts of the design have been analyzed. After manual calculations and simulation in SolidWorks it has been found that the design is strong enough for the application for which it is meant.
- Adapter for center piece tree
This is the same adapter which has been discussed above. Now it is clear that the connection is strong enough, some other parts of the adapter have to be analyzed further. The position, thickness and diameter of certain parts have to be designed so that these do not fail in production. The dimensions and material have been determined for the adapter.
- Wax regeneration
In the process where the wax is melted out of the ceramic mold, water is added to the wax. This is caused by the machine because it is heated by steam. The water proportion in wax is around 25% and is not suitable to reuse. It is a waste to throw this wax away so the water

needs to be extracted from the wax. The process Cirex uses for years is too slow and is (probably) not very efficient. A number of experiments have been carried out to find out the output of the current system. Concepts for improvement have been thought of but experiments for verification have not been carried out because time was too short. Recommendations have been forwarded to Cirex.

- Post-process pinching

Some products need a post-process because these do not meet the specifications of the customer. An often used post-process is so called pinching. It is a simple process where two ends or legs of a product need to be pinched towards each other. The currently used process is an expensive hydraulic mechanism. The process has been analyzed and concepts have been thought of and a final concept has been elaborated.

- Drying system

When the wax trees are assembled they need to be cleaned or washed. This is to clean of the oil from the surface because of the die casting process. After being washed the trees are only wet on the surface. At the moment the trees are set to dry in a chamber for four hours. It is investigated if it is possible to dry these trees much faster. Experiments have been carried out to investigate new options. Air knives seem to be the solution for the problem and could really save a lot of throughput time and drying space.

- Stiffness of ceramics

The mold of ceramics occasionally breaks in the process where the robot transports the tree from the furnace to the casting position. The position of the rupture is always the same. Currently material is manually added to the tree to strengthen it. This costs a lot of time and is not applicable for automation. It is found that a simple and small change to the tree, will improve the strength significantly.

- Ceramics division

In the near future a new hall will be built containing a fully automated ceramics division. All the meetings and discussions regarding the layout have been attended. Advice has been given about logistics, warehousing and ideas about modern techniques. Ideas have been taken into account and some seem to be carried out in the layout.

Contents

Samenvatting.....	3
Voorwoord.....	5
Introductie.....	6
Projecten.....	7
Klemsysteem inzetstuk.....	7
Introductie.....	7
Simulatie.....	8
Conclusie.....	9
Discussie.....	10
Adapter inzetstuk.....	11
Introductie.....	11
Conclusie.....	14
Discussie.....	14
Was regeneratie.....	14
Introductie.....	14
Rendement huidig uitkookproces.....	14
Nieuw concept.....	15
Conclusie.....	17
Ontwerp richtsysteem.....	17
Introductie.....	17
Programma van eisen.....	17
Concepten.....	18
Conclusie.....	25
Discussie.....	25
Droogstelsysteem na spoelen.....	26
Introductie.....	26
Proeven.....	26
Oplossingen.....	29
Conclusie.....	30
Stijfheid keramiek.....	30
Introductie.....	30
Simulatie.....	32
Conclusie.....	34
Discussie.....	34
Nieuwe invormerij.....	34
Conclusie.....	35
Reflectie.....	35
Bronnenlijst.....	36
Bijlage.....	37
A: Benodigde proeven ten behoeve van wasregeneratie.....	38
B: Uitslag (mislukte) bezinkproef.....	41
C: Uitslag rendement huidige uitkooktanks.....	42

Voorwoord

Dit rapport is de documentatie van de werkzaamheden die verricht zijn tijdens een stage. De stage is onderdeel van het studieprogramma van de afdeling Mechanical Engineering van de faculteit Construerende Technische Wetenschappen aan de Universiteit van Twente. De stage is uitgevoerd bij Cirex B.V. te Almelo.

Cirex is één van de grootste ‘verlorenwasmethode’ (lost wax process) gieterijen ter wereld. Het bedrijf ontwikkelt en produceert hoogwaardige componenten die gegoten worden in vrijwel elke staallegering. Deze onderdelen worden veelal toegepast door vooraanstaande mondiale OEM’s in de automobiel, proces-, vliegtuig- en machinebouwindustrie.

Het resultaat van de stage is het aanbieden van oplossingen en aanbevelingen betreffende verschillende problemen omtrent het productieproces van Cirex.

Introductie

De verlorenwasmethode is een proces waarbij, met name kleine, metalen producten met hoge nauwkeurigheid worden geproduceerd in (middel) grote series. Het proces bestaat ruwweg uit de volgende stappen:

- Ontwerp van (was) spuitgietmatrijs naar aanleiding van product (kantoor)
- Spuitgieten van product uit was en opbouw van boom (wasafdeling)
- Opbouwen van keramiek laag rondom de wasboom (invormerij)
- Uitsmelten van was uit de keramiek waarbij een negatief overblijft (boilerclave)
- Het gieten van metaal in de keramiek (gieterij)
- Separeren van producten van de boom na afkoeling (afwerkerij)
- Afwerken, controle en verzending van gereed product (expeditie)

Bij een aantal van deze processtappen heeft Cirex opgemerkt dat er problemen zijn of dat er ruimte is voor verbetering. Op dit moment is er niemand die zich specifiek bezig houdt met deze 'projecten'. Het doel van de stage is om de, door Cirex, voorgestelde projecten bij de kop te pakken door eerst de situatie te analyseren, oplossingen te bedenken en dit voor te leggen aan de mensen die bij die processtap betrokken zijn. In de stage zijn verschillende projecten aan de orde gekomen.

In 2016 zal Cirex de capaciteit van het productieproces flink uitbreiden door een nieuwe hal te bouwen met daarin een volledig geautomatiseerde invormerij. Ook is meegedacht in het ontwerp van deze hal op gebied van (nieuwe) technologie en logistiek.

In de stage zijn de volgende projecten aan de orde gekomen:

- Klemsysteem inzetstuk: Sterkteanalyse van een onderdeel, dat wordt gebruikt bij elke wasboom, voor een toepassing in de nieuw te bouwen invormerij.
- Adapter inzetstuk: Ontwerp en sterkteanalyse van een adapter om de huidige bomen hangend te kunnen vervoeren in plaats van staand.
- Wasregeneratie: De was die uit de bomen wordt gesmolten bij de boilerclave wordt hergebruikt maar daarvoor is een regeneratieproces nodig. Het huidige proces is langzaam en lijkt inefficiënt en lijkt voor verbetering vatbaar. Hier is onderzoek naar gedaan.
- Richtsysteem: Bepaalde producten die worden geproduceerd bij Cirex vereisen een nabewerking om binnen de specificaties te zitten. Het huidige richtsysteem is te duur voor de eenvoudige nabewerking.
- Droogsysteem na spoelen: Na het spuitgieten wordt de olie van de wasbomen gespoeld. Daarna moeten de bomen 4 uur in de droogkamer, terwijl ze alleen oppervlakkig nat zijn. Dit proces zou sneller kunnen.
- Stijfheid keramiek: Voor het gieten worden de bomen van keramiek door een robot aangepakt en omgedraaid. De 'hals' breekt dan soms. De buigstijfheid is geanalyseerd van de huidige boom en de buigstijfheid van 2 versterkte opties.

Alle projecten zijn gestructureerd aangepakt. Door het probleem eerst juist te formuleren en te analyseren waar de oorzaak ligt en daarna te zoeken naar mogelijke oplossingen. Zo nodig worden er proeven uitgevoerd om tot een juiste conclusie te komen om zodoende tot een nuttig advies te komen voor Cirex.

Projecten

Klemsysteem inzetstuk

Introductie

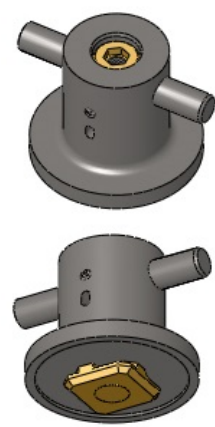
Op dit moment worden in de invormerij de bomen handmatig geplaatst bij de robots voor het spoelen, dippen, voorschillen, afschillen (tweeling) en boilerclave. Tussen deze processtappen worden de bomen vervoerd per kar. In de nieuwe hal is het de bedoeling dat de bomen na de wasafdeling tot aan de boilerclave het proces hangend gaan doorlopen. Dit zal automatisch gaan gebeuren via een kettingsysteem.

Het huidige inzetstuk is niet geschikt voor hangend vervoer. Daarom zal er een nieuw inzetstuk moeten komen of een adapter op het huidige inzetstuk. De situatie kan zich voordoen dat er bij één van de twee hallen bij een bepaalde processtep weinig staat gepland. Het is de bedoeling dat daarom de bomen universeel (in de oude en nieuwe hal) bruikbaar zijn zodat ze uitgewisseld kunnen worden.

In de eerste instantie is er nagedacht over een adapter welke vast wordt gemaakt aan het huidige inzetstuk voor gebruik in de nieuwe hal en zonder adapter voor gebruik in de huidige hal. Een bestaand klemsysteem wordt op dit moment nog gebruikt in de Cirex fabriek in Tsjechië zoals weergegeven in figuur 1. Het vierkante profiel van de adapter (bovenaan de foto) wordt in het vierkante gat van het inzetstuk (onderaan de foto) geschoven. Als je de adapter en het inzetstuk 45° ten opzicht van elkaar draait en de kogel aan het uiteinde aandraait, dan zit de adapter geklemd.

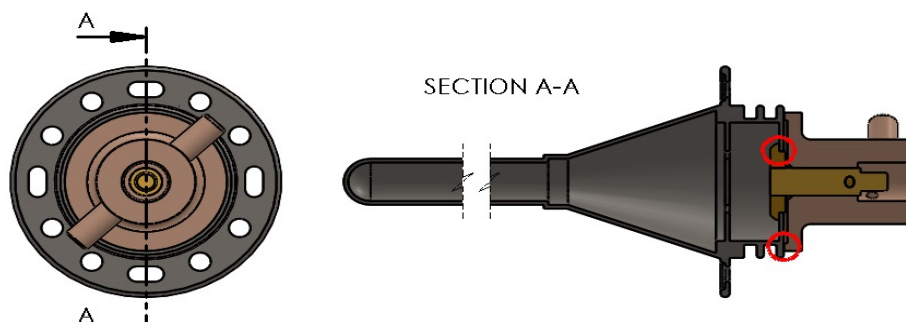


Figuur 1: Gebruikte adapter en huidig inzetstuk



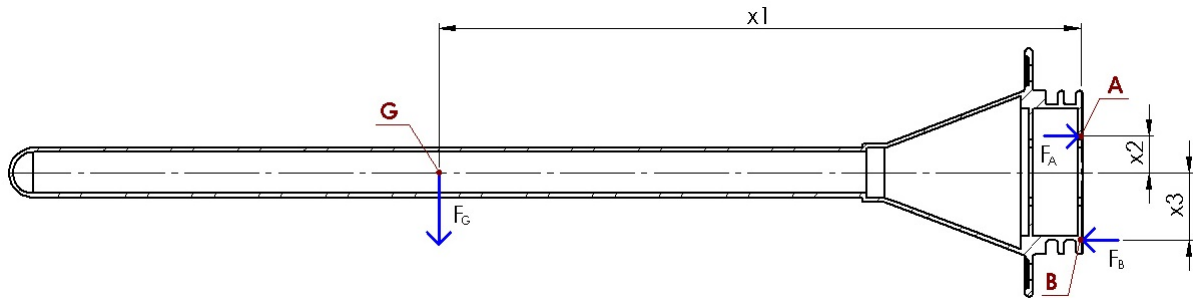
Figuur 2: Concept adapter

Een soortgelijk systeem is uitgedacht door Jan Scheltens zoals weergegeven in figuur 2. Nu zijn de bomen afgelopen jaren langer en zwaarder geworden en het is de bedoeling dat dit in de toekomst nog verder toeneemt. Om te zien of de adapter gebruikt kan worden moet worden bepaald of de aansluiting van de adapter op het huidige inzetstuk sterk genoeg is om het moment op te vangen dat ontstaat door het gewicht van de boom. De exacte uitwerking van de adapter zal naderhand gebeuren.



Figuur 3: Doorsnede van inzetstuk met nieuwe adapter (geklemd situatie)

In figuur 3 wordt de doorsnede weergegeven met het nieuwe concept in de geklemde situatie. Het grijze part is het inzetstuk, het gele en het rode part zijn onderdelen van de nieuwe adapter. Vanwege het gewicht van de boom volgt een moment op de verbinding tussen het inzetstuk en de adapter. Dit moment wordt opgeheven door reactiekrachten op de punten omcirkeld in het rood. Omdat de adapter nieuw wordt ontwikkeld is er de mogelijkheid om deze robuust genoeg te maken. De bottleneck is dan het huidige inzetstuk waarvan de plaatdikte (op zijn minst) 2,5 [mm] is. De VLS van het probleem is weergegeven in figuur 4.



Figuur 4: VLS van het inzetstuk

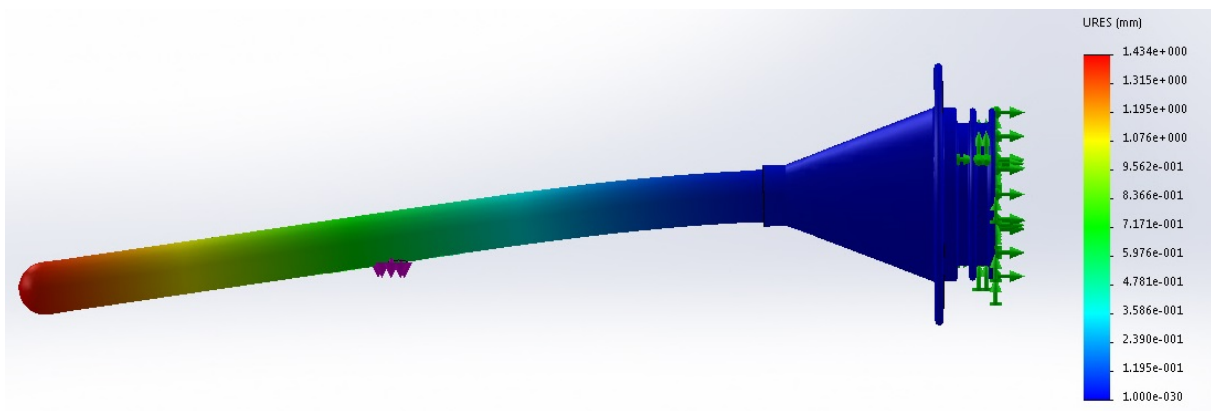
In het statische geval geldt:

$$\sum M_B = (x_2 + x_3) F_A - x_1 F_G = 0$$

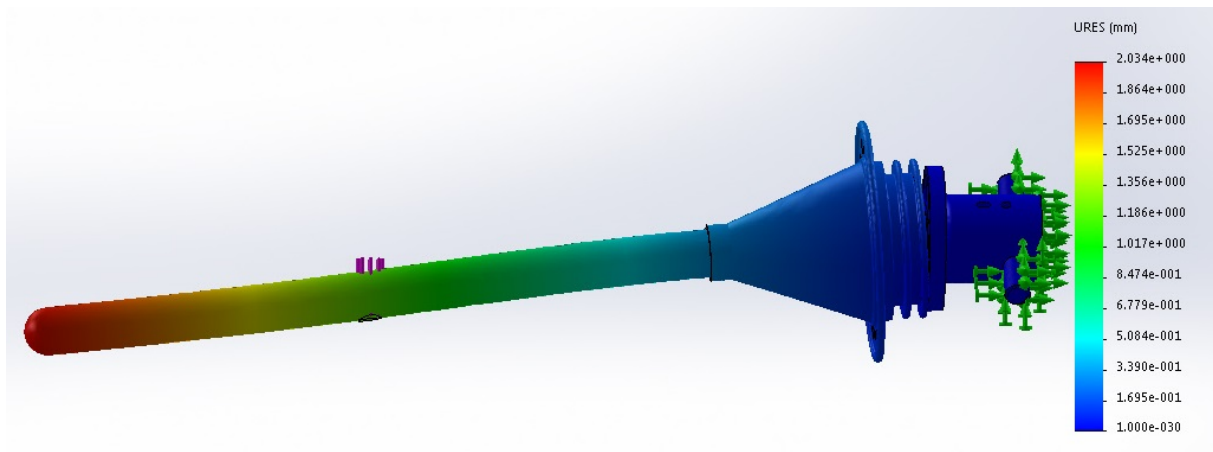
$$F_A = \frac{x_1}{x_2 + x_3} F_G$$

Simulatie

Vanwege het feit dat met deze geometrie lastig exact te berekenen is wat de doorbuiging en spanningen zullen zijn, zal dit worden benaderd met behulp van een simulatie in SolidWorks. In figuur 5 is de huidige situatie weergegeven, wanneer de robot de boom heeft geklemd aan de ribbels (bij de groene pijlen) van het inzetstuk. In figuur 6 is de nieuwe situatie weergegeven waar de robot geklemd is aan de adapter. Dit zorgt voor extra doorbuiging vanwege de zwakke verbinding tussen het inzetstuk en de adapter. Beide situaties zijn gebaseerd op een elasticiteitsmodulus van 208 [MPa] (materiaal: 1.0330), een boomgewicht van 50 [kg], een totale boomsnelte van 560 [mm] en een wanddikte van 2,5 [mm]. De extra doorbuiging door het gebruik van de nieuwe adapter volgens de simulatie van SolidWorks: $2,03 - 1,43 = 0,60$ [mm].

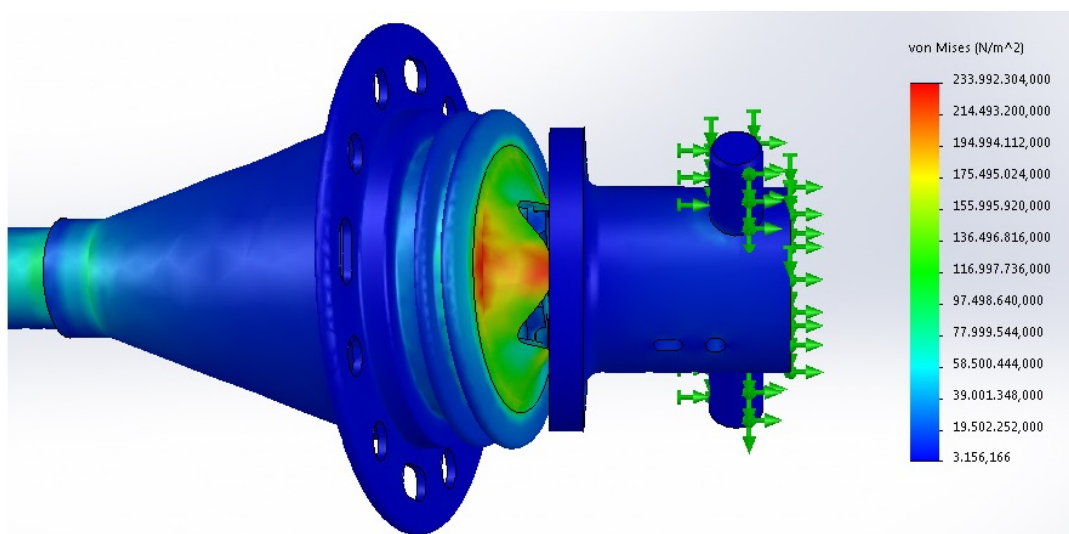


Figuur 5: Doorbuiging huidige situatie



Figuur 6: Doorbuiging nieuwe situatie

Wordt er gekeken naar de (Von Mises) spanningen in het inzetstuk bij gebruik van de nieuwe adapter zoals te zien in figuur 7, dan zit de maximale spanning bij de vierkante uitsparing van het inzetstuk waar de adapter (aan de achterzijde) aangrijpt. De waarde ligt hier rond de 234 [MPa], deze moet lager zijn dan de vloeigrens van het materiaal. Het gebruikte materiaal (1.0330 – St.12) heeft een vloeigrens van ongeveer 280 [MPa], hetgeen betekent dat het materiaal plastisch zal gaan vervormen als de spanning boven deze grens komt. Dit komt neer op een veiligheidsmarge van ongeveer factor 1,2.



Figuur 7: Spanningen 2,5 [mm] (Von Mises)

Conclusie

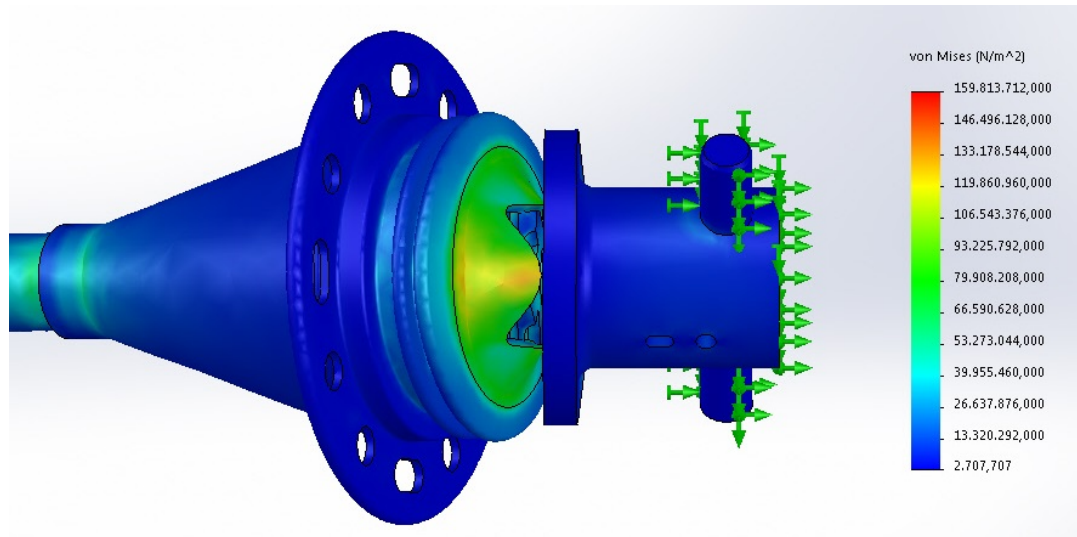
Doordat het materiaal van het inzetstuk vervormd op de plaats waar deze verbonden is met de adapter, buigt de boom aan het uiteinde verder door dan in de oorspronkelijke situatie. Deze extra doorbuiging van 0,60 [mm], lijkt niet dermate groot dat het problemen op zal leveren in productie.

De spanningen in het verbingsstuk lijken een groter probleem. De vloeigrens is slechts 1,2 keer zo groot als de hoogste spanning in het materiaal (234 [MPa]). Met de huidige situatie is er wel marge, maar de boom zal naar alle waarschijnlijkheid niet veel langer en zwaarder moeten worden bij een materiaaldikte van 2,5 [mm] en gebruik van de voorgestelde adapter.

Discussie

Het is statische opname (de horizontale stand) waarbij het moment het grootst is. Door beweging (versnelling) zal er een extra kracht optreden welke in dit model niet mee is genomen. Ook fluctueert de maximale spanning nogal afhankelijk van de fijnheid van de mesh.

Het gaat hier om de uiterste situatie, waarbij de maximale belasting bij de minimale wanddikte (2,5 [mm]) van het inzetstuk samenkomt. Zou dezelfde (maximale) belasting worden aangebracht op een inzetstuk met een wanddikte van 3,0 [mm] dan levert dat een maximale spanning van 160 [MPa] op zoals te zien in figuur 8. Een aanzienlijke verbetering met een veiligheidsfactor van 1,75.



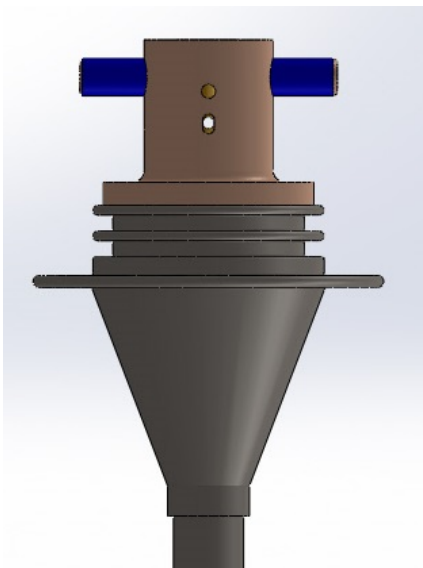
Figuur 8: Spanningen 3,0 [mm] (Von Mises)

Om er zeker te zijn dat het materiaal niet bezwijkt, is het niet onverstandig om proeven uit te voeren. Het voorstel is om een proef op te zetten met de nieuwe adapter in samenstelling met een inzetstuk met wanddikte 2,5 [mm].

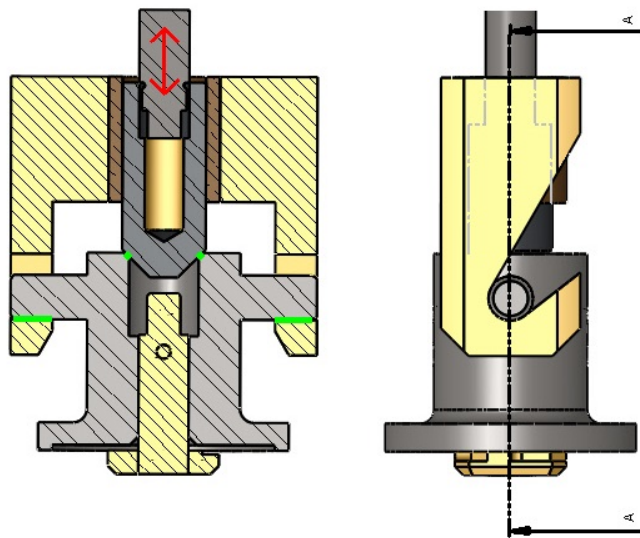
Adapter inzetstuk

Introductie

Met het adapter inzetstuk worden de pennen bedoeld waar aan de boom opgehangen zal worden in het transportsysteem. Deze pennen zijn in het blauw weergegeven in figuur 9. Het hangend vervoeren is niet het meest kritisch, hierbij spelen zwaartekracht en minimale versnellingen een rol. Bij de verschillende fases van het invormen zal een robot de adapter moeten aangrijpen zodat deze kan worden gepositioneerd zoals benodigd voor het proces. De concept gripper, ontwikkeld door Jan Scheltens, is te zien in figuur 10. Het is de bedoeling dat de cilinder (die in het verlengde van de rode pijl op de afbeelding is weergegeven) achter in de holte van de adapter wordt gedrukt en zo de haken van de gripper op de pennen vast trekt en meteen de boom centreert. Voor het bepalen van de diameter van de pennen moet eerst de sluitkracht van de cilinder worden bepaald. Dit zorgt voor krachten op de 4 posities aangegeven in het groen.



Figuur 9: Adapter + inzetstuk



Figuur 10: Adapter + gripper (doorsnede en zijaanzicht)

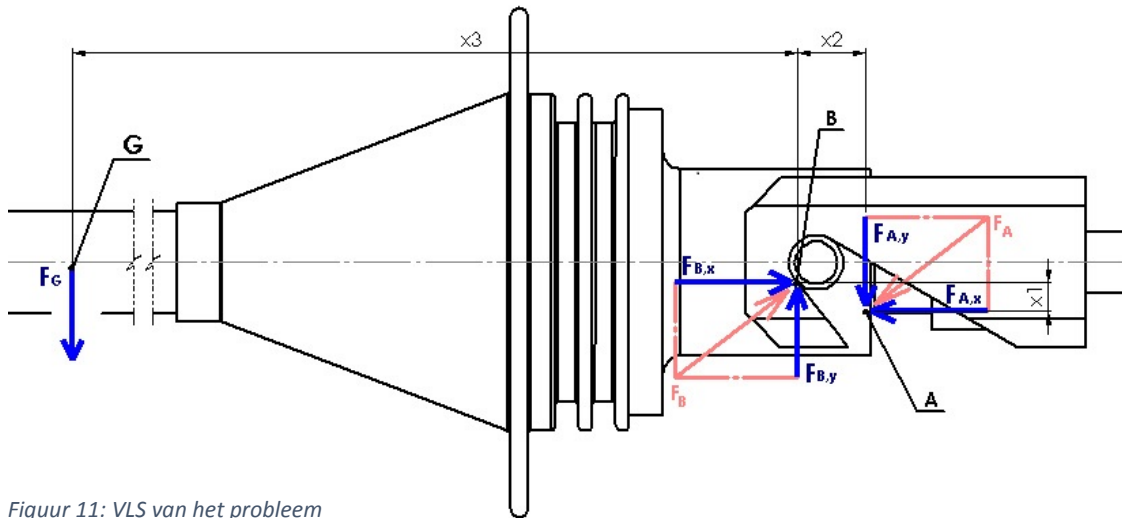
De kracht die minimaal moet worden geleverd om de boom geklemd te houden kan worden berekend aan de hand van de aanname dat bij precies genoeg klemkracht er nog maar op twee (van de vier) punten contact is tussen adapter en gripper zoals weergegeven in figuur 11.

Vergelijkingen

Statisch levert dit de volgende (evenwichts)vergelijkingen op:

- (1) $\sum F_x = F_{B,x} - F_{A,x} = 0$
- (2) $\sum F_y = F_{B,y} - F_{A,y} - F_G = 0$
- (3) $\sum M_A = x_1 \cdot F_{B,x} + x_2 \cdot F_{B,y} - (x_2 + x_3) \cdot F_G = 0$
- (4) $F_{A,x} = F_{A,y}$

Uitwerking:



Figuur 11: VLS van het probleem

Uit (1) $F_{B,x} = F_{A,x}$

Uit (2) $F_{B,y} = F_{A,y} + F_G$

Uit (3) $x_1 \cdot F_{A,x} + x_2 \cdot (F_{A,y} + F_G) - (x_2 + x_3) \cdot F_G = 0$

Met (4) $x_1 \cdot F_{A,y} + x_2 \cdot F_{A,y} + x_2 \cdot F_G - (x_2 + x_3) \cdot F_G = 0$

$$(x_1 + x_2) \cdot F_{A,y} - x_3 \cdot F_G = 0$$

$$F_{A,y} = \frac{x_3}{(x_1 + x_2)} \cdot F_G = F_{B,x} = F_{A,x}$$

$$F_{B,y} = \frac{x_3}{(x_1 + x_2)} \cdot F_G + F_G = \left(\frac{x_3}{(x_1 + x_2)} + 1 \right) \cdot F_G$$

Het raakvlak van de holte van de adapter waar de cilinder van de grijper tegen aan drukt, is 45° gedraaid ten opzichte van de richting van de kracht. Dit zorgt ervoor dat de benodigde sluitkracht (F_S) gelijk moet zijn aan de eerder berekende kracht $F_{A,x}$. De sluitkracht wordt gebaseerd op de situatie met (toekomstige) inzetstukken van 730 [mm] en de zwaarste boom. Hierdoor zijn de kracht F_G en afstand x_3 gedefinieerd. De sluitkracht is dus alleen nog afhankelijk van afstanden x_1 en x_2 . Door het vergroting van de diameter van de holte en door het verlengen van de adapter kan de benodigde sluitkracht worden verkleind. In tabel 1 is de benodigde sluitkracht weergegeven voor het huidige concept en van een voorstel voor het verlagen van de minimaal benodigde sluitkracht.

Tabel 1: Benodigde sluitkracht

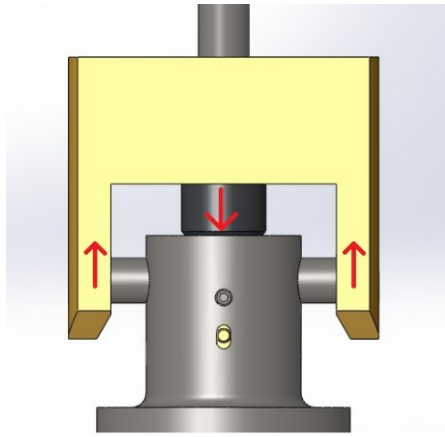
	x1 [mm]	x2 [mm]	x3 [mm]	Max. gewicht boom [kg]	Min. Sluitkracht [N]
Huidig concept	12,5	20,5	504	81	12136
Voorstel	17,5	40	504	81	6965

Pendiameter

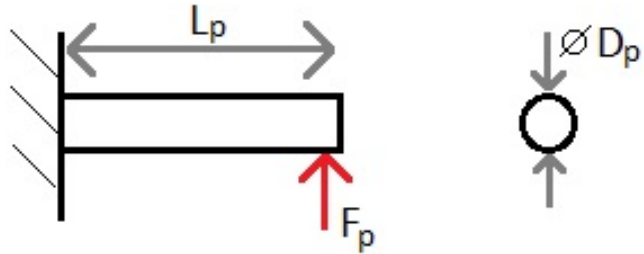
De diameter van de pennen van de adapter waar de grijper op aangrijpt wordt bepaald aan de hand van de benodigde diameter ten aanzien van doorbuiging en afschuiving. Uit de berekeningen volgt een minimaal benodigde diameter waarvan de hoogste leidend zal zijn.

Doorbuiging

De cilinder drukt met kracht F_S op de adapter, de kracht wordt doorgegeven via de pennen (te zien in figuur 12) aan een vast deel (geel op de afbeelding) van de grijper. De kracht op de pennen is de helft van de sluitkracht. De situatie kan worden gezien als een cilinder welke eenzijdig is ingeklemd en aan een open uiteinde is belast, zoals weergegeven in figuur 13.



Figuur 12: Doorbuiging vooraanzicht



Figuur 13: Doorbuiging VLS

Buigspanning

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I_x} \quad M = F_p \cdot L_p \quad y = \frac{1}{2} D_p \quad I_x = \frac{1}{4} \pi r^4 = \frac{1}{64} \pi D_p^4$$

De maximale buigspanning mag niet hoger zijn dan de treksterkte van het materiaal. De treksterkte van C45k is ongeveer 330 [MPa], F_p is 3500 [N] bij het nieuwe voorstel en L_p is 27,5 [mm].

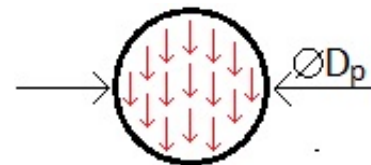
$$\sigma_{max} = \frac{F_p \cdot L_p \cdot \frac{1}{2} D_p}{\frac{1}{64} \pi D_p^4} \quad \rightarrow \quad D_{p,min} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot F_p \cdot L_p}{\sigma_{max} \cdot \pi}} = 0,0144 [m] = 14,4 [mm]$$

Afschuiving

De kracht F_p zorgt bij de pen voor schuifspanning bij de verbinding tussen adapter-pen en pen-grijper. Schematisch weergegeven als doorsnede in figuur 14. Hiervoor geldt:

$$\frac{F_p}{A_s} = \frac{1}{2} \cdot ReH \text{ (Rekgrens)} \quad A_s = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_p^2$$

$$D_p = \sqrt{\frac{8 \cdot F_p}{\pi \cdot ReH(C45k)}} = 0,0052 [m] = 5,2 [mm]$$



Figuur 14: Schuifspanning doorsnede pen

De buigspanning is meer kritisch dan de afschuifspanning. De minimale diameter voor de pen is dus 14,4 [mm]. Momenteel is het concept gemodelleerd met een pendiameter van 16 [mm]. Dit zorgt voor de volgende veiligheidsmarge:

$$\sigma_{max} = \frac{32 \cdot F_p \cdot L_p}{\pi D_p^3} = 239 [MPa] \quad \rightarrow \quad \text{Veiligheidsfactor: } \frac{330}{239} = 1,4$$

Conclusie

De kracht op de pennen is afhankelijk van de sluitkracht die wordt geleverd door de cilinder welke is bevestigd aan de robot. Bij de voorgestelde dimensies voor de adapter zal er minimaal een sluitkracht van 7000 [N] moeten worden geleverd. Om de versnellingskrachten ook op te vangen is het verstandig om de sluitkracht groter te maken. Een sluitkracht van 10000 [N] wordt voldoende groot geacht. Als dan de overige dimensies hetzelfde blijven zal de pen met een diameter van 16 [mm] niet voldoende sterk zijn. Het voorstel is om de diameter te vergroten naar 20 [mm]. Dan zal de hoogste spanning ruim onder de rekgrens blijven met een veiligheidsfactor van 1,8 bij de verhoogde sluitkracht van 10000 [N].

Het voorstel is om voor het testen van het klemsysteem van het inzetstuk, meteen de adapter te laten produceren zoals deze uiteindelijk worden moet. Dus met de voorgestelde parameters voor een verlaagde sluitkracht en een grotere diameter voor de pen. Wellicht kan er over na worden gedacht of de grijper van de robot ook moet worden getest en hoe deze proefopstelling er uit moet gaan zien.

Discussie

Het kan niet met zekerheid gezegd worden dat vergelijking (4), op pagina 11, helemaal juist is. Er is van een invalshoek van 45° uitgegaan hetgeen zou betekenen dat de vergelijking juist is. In praktijk zal dit waarschijnlijk niet helemaal het geval zijn en zal $F_{A,x}$ net wat groter/kleiner zijn dan $F_{A,y}$. De veiligheid die ingebouwd is bij de verhoogde sluitkracht is mede om te zorgen dat deze onzekerheid geen probleem gaat vormen.

Was regeneratie

Introductie

Door het regeneratie proces kan de oude was worden gerecycled. Op het moment wordt bij het boilerclaven, de (boom van) was uit de keramieken vorm gesmolten en opgevangen in een opslagtank. Deze was bevat een bepaald percentage water. Om was te kunnen gebruiken in het spuitgietproces moet de was (nagenoeg) 0% water bevatten. Als de opslagtank tank vol is (of er is eerder vraag naar) dan wordt de tank overgepompt naar een zogenaamde uitkooktank. Als het nodig is wordt tijdens het overpompen ook brokken 'oude was' bijgevoegd voor extra volume. De uitkooktank is feitelijk een grote kookpot waarbij de mix van was en water wordt verhit tot +100 °C waarbij het water verdampt uit de was. Dit proces houdt net zolang aan totdat de temperatuur van de was plotseling naar +118 °C gaat. Dit is het teken dat (nagenoeg) al het water is verdampt, de installatie stopt dan automatisch met verwarmen. Op dat moment wordt er ook nieuwe was toegevoegd. Daarna moet de was afkoelen tot een temperatuur van 90 °C zodat het over kan worden gepompt naar de voorraadtanks. Deze nieuwe was bevordert het afkoelproces. Als was is overgepompt naar de voorraadtanks is het daar gereed voor gebruik. Dit gehele proces kost veel tijd.

Nu wordt bij Cirex gezocht naar een proces met een hogere capaciteit om aan de toekomstige vraag te kunnen voldoen. Dit kan door eventuele uitbreiding van het huidige proces, dan wel een geheel nieuw concept. Om dit uit zoeken moet eerst het huidige proces goed in kaart worden gebracht, waarna kan worden nagedacht over een eventueel verbeterd proces.

Rendement huidig uitkookproces

Door een proef uit te voeren is het rendement bepaald van de huidige uitkookinstallatie. Het idee van de proef is om een gemeten hoeveelheid was uit te koken, waarvan tevens de fractie water bekend is. Door te registreren hoeveel energie het verwarmingselement van de tank verbruikt tijdens dit proces

en hoeveel energie het theoretisch (bij 100% rendement) nodig zou hebben, kan een rendement worden bepaald. Het resultaat is weergegeven in tabel 2, de details van de proef zijn te vinden in de bijlage.

Tabel 2: Bepaling rendement

Volume	511	[l]
Fractie water	0,24	[l]
Totaal gewicht water	119	[kg]
Benodigde energie opwarmen (80 °C -> 100 °C)	35.412	[kJ]
Benodigde energie uitkoken	267.759	[kJ]
Totaal benodigde energie	303.171	[kJ]
Totaal verbruikte energie	388.671	[kJ]
Rendement uitkooktank	78	[%]

Nieuw concept

Verbeterpunten

Sneller

De wens bij Cirex is om een sneller proces te verkrijgen vanwege het feit dat het huidige proces veel tijd in beslag neemt. Er zijn twee manieren om het proces sneller te laten verlopen. Of het nieuwe proces moet een hoger rendement hebben of het systeem moet meer vermogen hebben. Een hoger rendement zal echter theoretisch maximaal een versnelling van 25% op kunnen leveren, gezien het huidige proces al een rendement heeft van $\pm 80\%$.

Ook zou sneller afkoelen van de was na het uitkoken een aanzienlijke procesversnelling op kunnen leveren op het huidige proces, aangezien dit op het moment gemiddeld 5 uur duurt.

Zuiniger

Een hoger rendement is per definitie een zuiniger proces. Maar door het verschil in soortelijk gewicht van water en was, zal een gedeelte van het water zich scheiden van de was door natuurlijke bezinking (sedimentatie). Als dit water eenvoudig kan worden afgetapt en niet hoeft te worden uitgekookt, scheelt dit een hoop energie en dus kosten. Hoelang het duurt om een bepaald percentage te scheiden en wat het verzadigingspunt is, is niet duidelijk. De proef om dit te bepalen is mislukt en dit zal op een andere manier moeten worden beproefd. Het idee was er om na een lange periode te hebben gestaan te bepalen hoeveel water er bezinkt was. Helaas is in afgelopen weekend (week 16) het niet gelukt om voor de nieuwe werkweek een monster te nemen.

Samen met Martijn Slot is wel de conclusie getrokken dat na 16 uur te hebben gestaan, er maar een kleine emmer water kan worden afgetapt op een halve tank was (± 400 [l]). Ook als was vanuit de kraan wordt afgetapt ziet deze er nog vrij waterig uit. Het lijkt er dus op dat water niet erg snel scheidt van was.

Groter verdampingsoppervlak

Zoals eerder vermeld wordt op het moment de was uitgekookt in een grote ketel. Vanwege het feit dat water alleen aan de oppervlakte verdampt, is een dergelijke ketel (waarschijnlijk) energetisch gezien niet erg effectief. Als een dunne film was over een (groot) heet oppervlak gevoerd kan worden is er veel meer verdampingsoppervlak. Dit zou het proces aanzienlijk kunnen versnellen. Er is een proef gedaan door Koen Galgenbeld. Deze proef toonde aan dat het systeem in staat was om 500 [ml] mix (16 [%] water) uitkookte in anderhalve minuut. Dit komt neer op een debiet:

$$0,5 [l] \cdot 0,84 [] \cdot \frac{60 \left[\frac{\text{min}}{\text{uur}} \right] \cdot 24 \left[\frac{\text{uren}}{\text{dag}} \right]}{1,5 [\text{min}]} = 403 \left[\frac{l}{\text{dag}} \right]$$

Deze hoeveelheid was is uitgekookt op een plaat van $0,2 [m^2]$. Om aan de minimale benodigde hoeveelheid per dag (2000 [l]) te kunnen voldoen bij een continu proces zal de plaat ongeveer $1 [m^2]$ moeten zijn. Wat het rendement van het systeem is, is niet volledig op te maken uit het verslag van Koen.

Het lijkt nogal sterk dat een plaat van $1 [m^2]$ het huidige proces met 3 uitkooktanks volledig zou kunnen vervangen. Om een vergelijk te maken is het benodigd constant vermogen van de installatie bepaald voor 2000 [l] was met 16 [%] water en die van de proef op de vlakke plaat. Weergegeven in tabel 3.

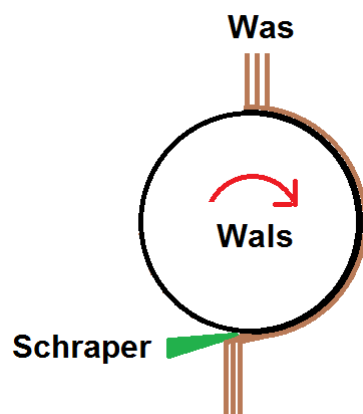
Tabel 3: Benodigd vermogen

	Benodigd per dag	Proef vlakke plaat (1,5min)
Hoeveelheid was	2000 [l]	0,420 [l]
Benodigde hoeveelheid mix (16% water)	2326 [l]	0,500 [l]
Benodigde energie verwarmen	158 [MJ]	34 [kJ]
Benodigde energie verdampen	708 [MJ]	174 [kJ]
Benodigd vermogen (100% rendement)	10 [kW]	1,93 [kW]

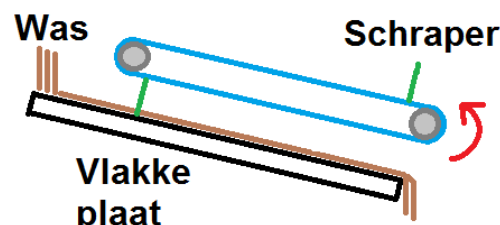
Volgens de documentatie van Koen blijkt de plaat een verbruik van $1,96 [kW]$ te hebben. Dit zou neerkomen op een rendement van 98 [%]. Afrondingsfouten en/of meetfouten kunnen op zo'n klein volume een groot verschil maken. Het lijkt verstandig om de proef te herhalen met een groter volume en wellicht een aantal keer te herhalen en daarbij het daadwerkelijk verbruik te meten, om een betere resolutie te krijgen van het rendement.

Concepten

Vanwege de hoge viscositeit van was is het haast niet mogelijk om door zwaartekracht de was over een plaat te geleiden onder een hoek. De was zal deels blijven plakken en de aangekoekte was zal zich alleen maar verder ophopen. Tenzij het mogelijk is om een vorm van nano-coating op het oppervlak aan te brengen zal aan de concepten iets moeten worden toegevoegd dat was verwijderd van het verwarmde oppervlak. Er zijn twee mogelijkheden bedacht en weergegeven in figuur 15 en figuur 16.



Figuur 15: Concept 1



Figuur 16: Concept 2

Beide concepten zijn gebaseerd op het verhitten van een dunne laag was op een relatief groot oppervlak. Bij concept 1 wordt een metalen wals verhit door speciale olie. Ook concept 2 wordt verhit door deze olie, alleen is het dan een vlakke plaat waar de was overheen stroomt. Bij beide concepten wordt aangekoekte was meegenomen door een schraper. Bij concept 1 is de schraper vast en bij concept 2 beweegt deze over het oppervlak van de plaat. De concepten lijken veel op elkaar en worden beiden werkbaar geacht. Een goede conclusie kan niet getrokken op basis van deze eenvoudige ontwerpen. Hiervoor zal meer onderzoek en uitwerking gedaan moeten worden.

Conclusie

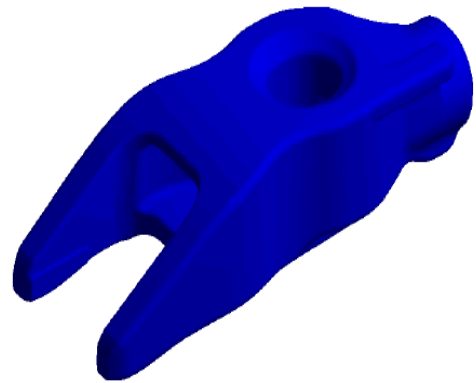
Het huidige was regeneratieproces kost veel tijd. Het rendement van het systeem is niet erg laag, maar het afkoelen van de was en insmelten van nieuwe was zorgt ervoor dat de duur van het proces erg oploopt. Het kost veel energie om het water te verdampen en dit moet in het systeem worden gestopt. Een oplossing om het proces sneller te laten verlopen is om meer (constant) vermogen te gebruiken en de afkoelstap eventueel te omzeilen. Bezinken van water in was blijkt mogelijk maar het lijkt niet bepaald rendabel.

Er zijn twee concepten geschetst waar verder over na moet worden gedacht. Alvorens hier verder mee te gaan wordt aangeraden een proef te doen om was uit te koken op een grote ($\pm 2 \text{ m}^2$) plaat en dit een aantal keren te herhalen bij verschillende filmdiktes. Het resultaat hiervan zal een zeer goede indicatie geven of de concepten werkbaar/haalbaar zullen zijn.

Ontwerp richtsysteem

Introductie

Sommige producten die bij Cirex worden geproduceerd voldoen zonder nabewerking niet aan de specificaties. Een voorkomend probleem bij bepaalde producten zoals 6195 (figuur 17) is dat de 'pootjes' te ver naar buiten staan. De pootjes moeten naar binnen worden gedrukt om zodoende het materiaal plastisch te vervormen naar de gewenste specificaties. Dit wordt richten genoemd. Een nabewerking welke momenteel gebeurt door gebruik van een hydraulische pers. Voor deze bewerking is deze machine over gespecificeerd. Er wordt gezocht naar een goedkoper en snellere optie welke eenvoudig bij elk werkstation neergezet kan worden.



Figuur 17: Productnummer 6195

Programma van eisen

In tabel 4 staan de eisen waaraan de machine zal moeten voldoen. Ook zijn de wensen aangegeven voor het ontwerp. Tabel 5 is een morfologisch overzicht waarin oplossingen voor (de belangrijkste) deelfuncties staan weergegeven. Door het gebruik van dit schema kunnen concepten worden bedacht welke op hun beurt geëvalueerd kunnen worden aan de hand van het programma van eisen en wensen.

Tabel 4: Programma van eisen en wensen

	Eis/wens	Omschrijving
Takt tijd	Eis	Takt tijd < 3 [s] (machinetijd).
Kracht	Eis	De kracht die de machine maximaal moet kunnen leveren > 18 [kN].
Veilig	Eis	De gebruiker mag zichzelf niet kunnen bezeren/verwonden aan de machine bij normaal gebruik van de machine.
Prijs	Eis	Maximale prijs van € 2000.
Universeel	Eis	Het apparaat moet met verschillende producten kunnen werken.
Compact	Wens	Het geheel moet niet te groot worden.
Snel	Wens	Des te sneller het apparaat werkt, des te beter.
Complexiteit	Wens	Het apparaat moet eenvoudig zijn in gebruik en zo min mogelijk bewegende en moeilijk produceerbare onderdelen bevatten.
Goedkoop	Wens	Als met een goedkope oplossing (nagenoeg) hetzelfde bereikt kan worden heeft dit de voorkeur.

Tabel 5: Morfologisch schema

Functie	Oplossing
Positioneren product	Handmatig, mal (product specifiek), mal (universeel)
Aandrijving	Mechanisch, elektrisch, pneumatisch, hydraulisch, handmatig
Overbrenging	Geen, tandwiel, tandheugel, hefboom, schroefdraad
Geleiding drukstaaf	In bodemplaat, geïntegreerd in aandrijving
Bewegingsprincipe	Rotatie, translatie
Bediening	Hand, voet, sensor (automatisch)
Wijze van richten	Positiedrukken, op blok drukken

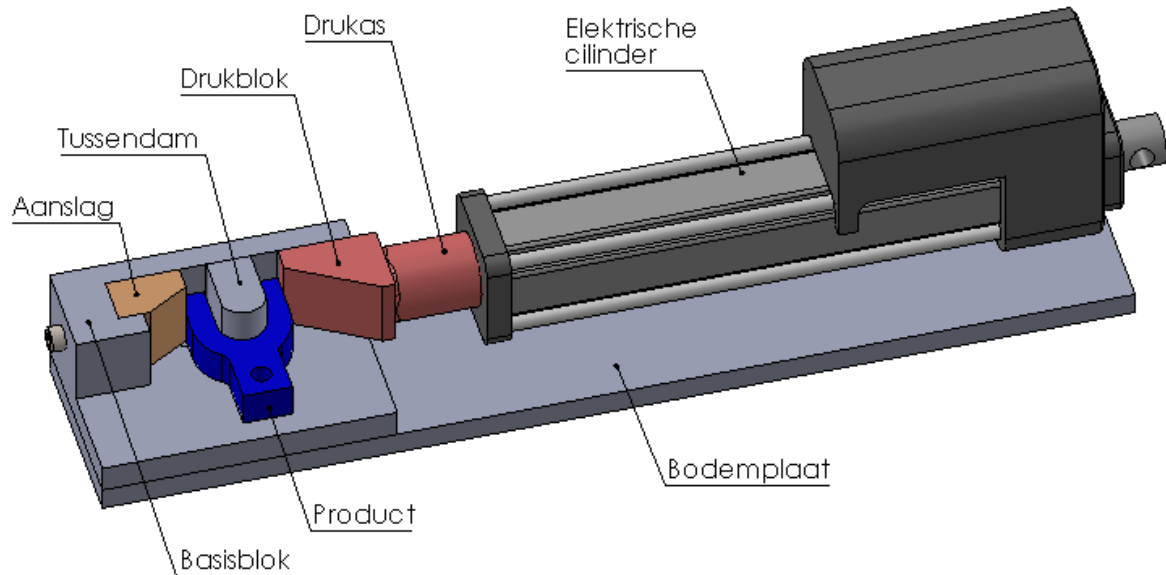
Concepten

Door gebruik te maken van het morfologisch schema kunnen werkende concepten worden bedacht. Niet elke optie uit het morfologisch schema is even handig dan wel wenselijk, daarom worden er bij voorbaat al mogelijkheden uitgesloten.

- Een hydraulische aandrijving is uitgesloten omdat dit een overbodig duur en ingewikkeld systeem gaat worden.
- In de fabriek zijn op veel plekken aansluitingen aanwezig voor perslucht. Helaas zullen bij een druk van 5 [bar] de cilinders snel lomp groot worden om aan de gewenste perskracht te voldoen. Daarom zal een pneumatische aandrijving ook afvallen.
- Er is bij de concepten geen keuze gemaakt in de wijze van bediening omdat dit universeel toepasbaar is.
- De wijze van richten is niet specifiek per concept. Bij alle concepten zijn twee opties mogelijk, maar om het verschil aan te geven is bij concept 1, op blok drukken weergegeven en bij de andere concepten positiedrukken. Bij op blok drukken is er een 'tussendam' geplaatst tussen de samen te drukken pootjes. De tussendam kan vrij bewegen in de krachtrichting door een spiebaan in het basisblok. De hoeveelheid doordrukking is afhankelijk van de breedte van de tussendam. De exacte uitwerking zal volgen als hiervoor wordt gekozen.
- De manier van positioneren is elke keer hetzelfde. Er is een product specifieke aanslag die wordt bevestigd aan een vast punt. De aanslag moet zo worden geproduceerd dat bij elk producttype, de aandrijving dezelfde slag moet maken. Dit zorgt ervoor dat er zo min mogelijk ingewikkelde handelingen hoeven te worden verricht en het proces herhaalbaar is.

Concept 1

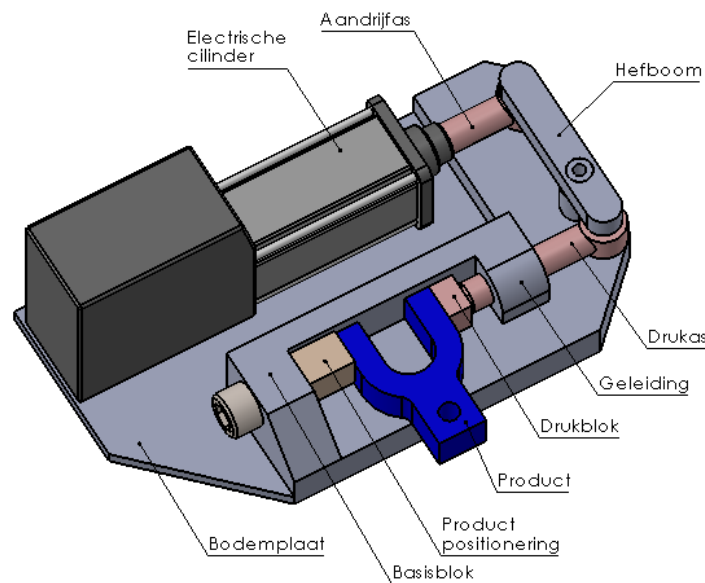
In figuur 18 is het eerste concept weergegeven. Het product wordt gepositioneerd met de (samen te drukken) pootjes tegen de achterzijde van het basisblok en een zijde van de poot tegen de aanslag. De kracht wordt geleverd door een elektrische cilinder (lineaire actuator).



Figuur 18: Concept 1

Concept 2

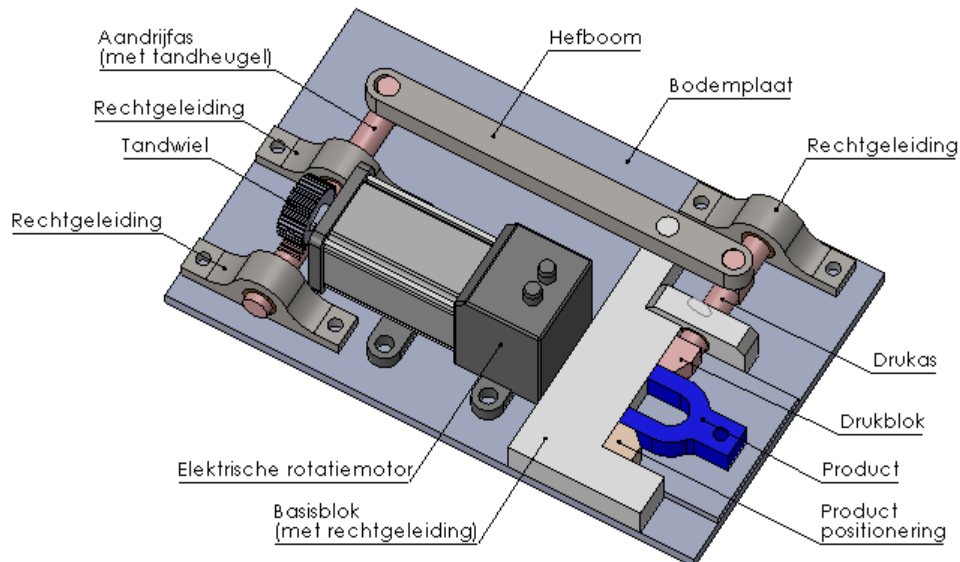
Het tweede concept, zoals te zien in figuur 19, wordt ook aangedreven door een elektrische cilinder. Het maakt gebruik van het hefboomeffect. Het voordeel hiervan is dat de te leveren kracht door de cilinder kleiner wordt afhankelijk van de hefboomconstructie. Hierdoor zullen de dimensies van de benodigde cilinder ook kleiner zijn.



Figuur 19: Concept 2

Concept 3

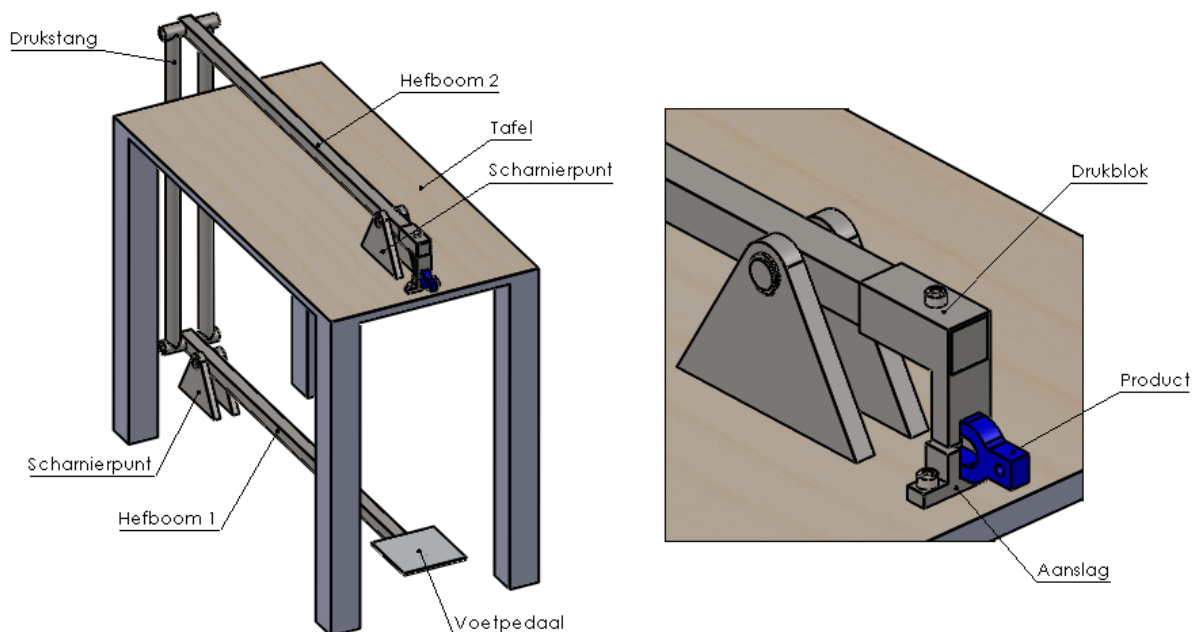
Concept 3, afgebeeld in figuur 20, is vergelijkbaar met concept 2 betreffende het hefboomeffect. Het verschil is de aandrijving van het systeem. Door in dit geval een roterende motor te gebruiken kan het systeem compacter worden gehouden dan concept 2. Het nadeel is dat er meer (ingewikkelde) onderdelen op zitten wat productie en assemblage lastig maakt.



Figuur 20: Concept 3

Concept 4

In figuur 21 is het laatste concept te zien. Bij dit concept wordt ook gebruik gemaakt van een hefboomsysteem. Het verschil is dat deze handmatig wordt aangedreven door op het voetpedaal te trappen. De aanslag en het drukblok zijn product specifiek en zijn eenvoudig uitwisselbaar. De onderdelen zijn aan de achterzijde gesloten zodat het product daar tegenaan gedrukt kan worden.



Figuur 21: Concept 4

Tabel 6: Vergelijking aan de hand van het programma van eisen

	Eis/wens	Omschrijving
Takt tijd	Eis	<i>Takt tijd < 3 [s] (machinetijd).</i> Alle concepten kunnen de gestelde takt tijd halen. Gezien de gekozen motoren de korte slag met gemak binnen deze tijd kunnen afleggen en ook met manuele aandrijving moet dat lukken.
Kracht	Eis	<i>De kracht die de machine maximaal moet kunnen leveren > 18 [kN].</i> Bij de keuze van de motor zal hier rekening mee moeten worden gehouden, maar dan zullen de eerste drie concepten voldoen. Bij de juiste constructie zal concept 4 hier ook aan voldoen.
Veilig	Eis	<i>De gebruiker mag zichzelf niet kunnen bezeren/verwonden aan de machine bij normaal gebruik van de machine.</i> Bij normaal gebruik en beschermkappen om de bewegende onderdelen, zullen alle concepten veilig zijn.
Prijs	Eis	<i>Maximale prijs van € 1500.</i> Voor concept 1 is dit onbekend, dit hangt af van de aanschafprijs van de motor. De overige drie concepten zullen hier waarschijnlijk wel aan kunnen voldoen.
Universeel	Eis	<i>Het apparaat moet met verschillende producten kunnen werken.</i> Alle concepten voldoen hier aan.
Compact	Wens	<i>Het geheel moet niet te groot worden.</i> Het laatste concept is aan de grote kant, de overige concepten zijn qua compactheid vergelijkbaar.
Snel	Wens	<i>Des te sneller het apparaat werkt, des te beter.</i> Waarschijnlijk zijn er geen merkbare verschillen tussen de concepten.
Complexiteit	Wens	<i>Het apparaat moet eenvoudig zijn in gebruik en zo min mogelijk bewegende en moeilijk produceerbare onderdelen bevatten.</i> Bij alle concepten hoeven er naast uitwisselen van de product positionering geen ingewikkelde handelingen te gebeuren. Qua bewegende en moeilijk produceerbare onderdelen is concept 3 vrij complex, concept 1 is eenvoudig en concept 2 en 4 zitten qua complexiteit daar ergens tussen in.
Goedkoop	Wens	<i>Als met een goedkope oplossing (nagenoeg) hetzelfde bereikt kan worden heeft dit de voorkeur.</i> De prijs zal bij concept 1 vooral afhangen van de aanschafprijs van de aandrijving. Door gebruik van een hefboom in de overige concepten, hoeft de te leveren kracht van de aandrijving minder groot te zijn en zullen goedkoper zijn. De extra onderdelen zullen weer extra kosten met zich meebrengen evenals extra kosten voor assemblage en engineering. Het laatste concept zal zeer waarschijnlijk het goedkoopst zijn omdat er geen mechanische aandrijving hoeft te worden aangeschaft.

Conclusie

Of er voor de wijze van richten gekozen wordt voor op blok drukken of positiedrukken is afhankelijk van de precisie waarmee de slag van de aandrijving kan worden gemaakt. Servomotoren kunnen door regelsystemen een slagprecisie (repeatability) van $\pm 0,03$ [mm] bewerkstelligen. De prijs van een dergelijk regelsysteem in combinatie met een (bijbehorende) motor zal hoger zijn dan wanneer deze slagprecisie minder belangrijk is. Aan de hand van de gevonden prijzen van dergelijke lineaire servomotoren is het prijstechnisch interessanter om op blok te drukken.

Gezien het vergelijk aan de hand van het programma van eisen en wensen, voldoen alle concepten aan de eisen en is er op dat gebied geen duidelijk onderscheid te maken tussen de verschillende oplossingen. Op basis van de wensen zal een keuze worden gemaakt.

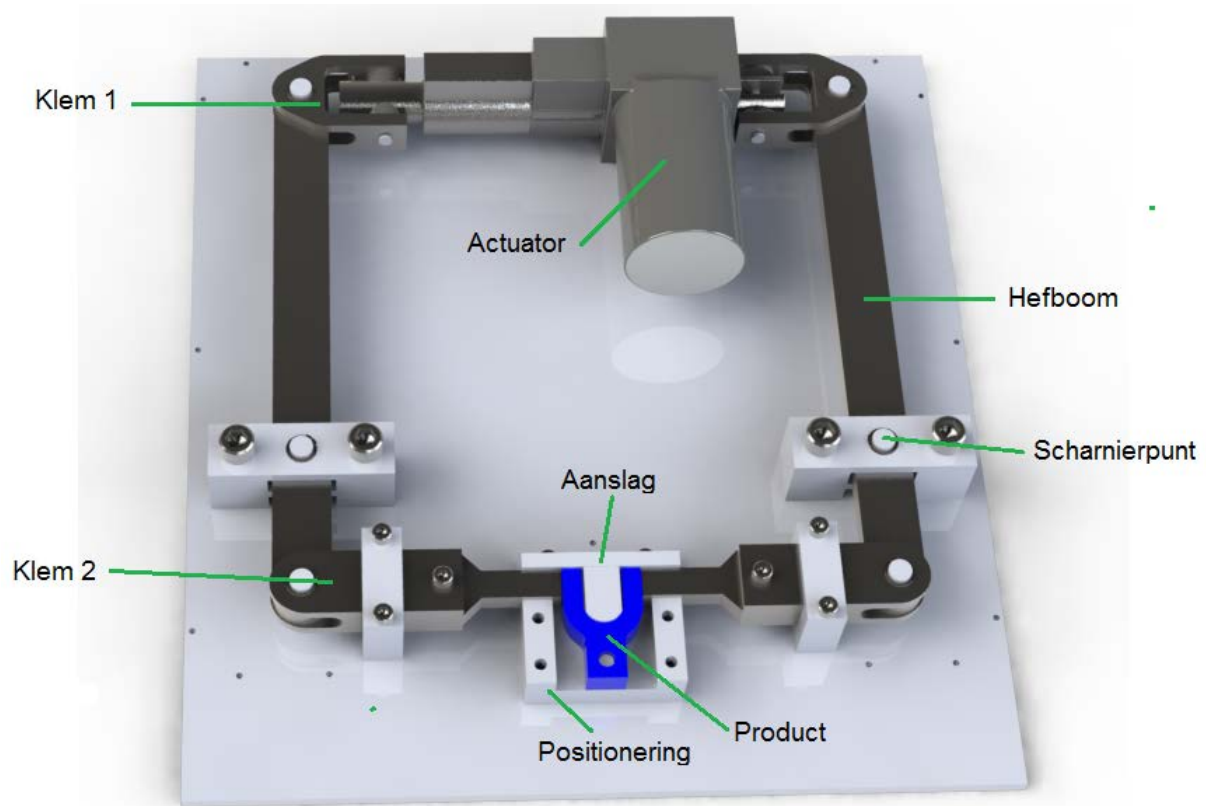
Het eerste concept maakt gebruik van een motor die de benodigde kracht (18 [kN]) kan leveren zonder enige overbrenging. Het aanbod van lineaire actuatoren (elektrische cilinders) in deze krachtcategorie is klein en de prijs-kracht verhouding bij actuatoren is niet lineair en er zal een leuk prijskaartje aan deze actuator hangen. Dit concept zal prijstechnisch niet interessant zijn ten opzichte van de overige drie en valt dus af.

Concept 2 en 3 zijn qua opzet hetzelfde. Bij het tweede concept is de lineaire actuator ingebouwd in de motor, bij het andere concept wordt de rotatie naar translatie zelf ontwikkeld. De positionering van de motor is gunstiger en de arm kan zelf worden gedimensioneerd. Dit concept zal daarom iets compacter zijn en de motor wellicht een fractie goedkoper. De extra (bewegende) onderdelen maken het wel complex en waarschijnlijk het geheel ook duurder. Concept 3 zal dus afvallen in vergelijking met het tweede concept.

Dan rest alleen nog een vergelijk tussen het tweede en het laatste concept. Zeer waarschijnlijk zal het handmatig aangedreven concept het goedkoopst zijn omdat er geen mechanische aandrijving benodigd is. Toch zal dit prijsvoordeel niet opwegen tegen de kleinere omvang en het groter gebruiksgemak van het tweede concept. Door automatisering is er geen gebruikersafhankelijk handeling en is de herhaalbaarheid van de handeling veel beter. Er wordt voor gekozen om concept 2 verder uit te werken.

Uitwerking

In figuur 22 is de uitwerking te zien van het uiteindelijke concept. De keuzes voor bepaalde onderdelen en de constructie daarvan is verder uitgewerkt.



Figuur 22: Uitwerking eindconcept

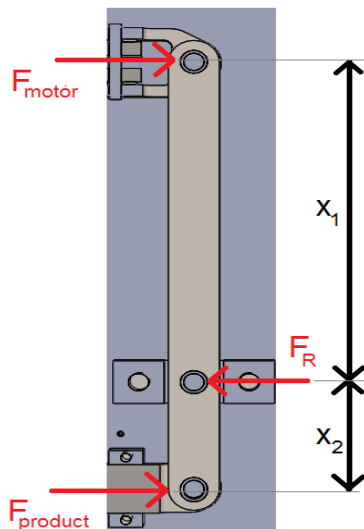
Motor met lineaire actuator

De maximaal te leveren kracht op een product is gesteld op 18 [kN]. De kracht die de motor daarvoor leveren moet is afhankelijk van de constructie van de hefboom. Er is voor gekozen de hefboom aan te passen aan de capaciteit van de motor. Na wat uitzoekwerk op internet is de keuze gevallen op een motor met een maximale drukkracht van 6 [kN] en een slag van 25-50 [mm]. De dimensies van deze motoren zijn relatief klein, de maximale kracht hoog en toch vrij goedkoop in aanschaf.

Hefboom

De gekozen motor heeft een maximale kracht van 6 [kN]. Om de benodigde kracht van 18 [kN] te halen zal de verhouding tussen de arm van de motor en de arm van het aandrukpunt, minstens 3:1 moeten worden. Er is voor gekozen om twee hefbomen te gebruiken zoals afgebeeld. Zo wordt het product automatisch gecentreerd en hoeft het tussenblok ook niet mee te schuiven. Tevens is het voordeel dat de kracht per hefboom gehalveerd wordt en zodoende minder massief hoeft te worden.

Kritieke dimensies



$$F_{product} = 9 \text{ [kN]}$$

$$x_1 = 3 \cdot x_2$$

$$\sum M_{\text{scharnierpunt}} = x_1 F_{motor} - x_2 F_{product} = 0$$

$$F_{motor} = \frac{x_2}{x_1} F_{product} = \frac{1}{3} \cdot 9 = 3 \text{ [kN]}$$

$$\sum F_X = F_{motor} + F_{product} - F_R = 0$$

$$F_R = F_{motor} + F_{product} = 9 + 3 = 12 \text{ [kN]}$$

Figuur 23: VLS hefboom

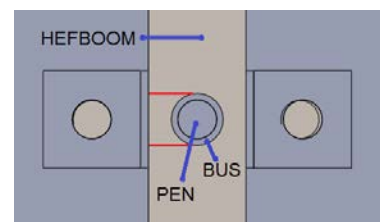
Door de krachten zal de hefboom doorbuigen. De buigspanning in het materiaal mag de vloeigrens niet overschrijden. De afmetingen van de doorsnede van de hefboom zijn momenteel gemodelleerd op 30x12 [mm] (breedte x hoogte/dikte).

$$\sigma = \frac{M \cdot y}{I_x} \quad M_{max} = F_{product} \cdot x_2 = 675 \text{ [Nm]} \quad y = 0,5 \cdot b = 15 \text{ [mm]}$$

$$I_x = \frac{1}{12} h b^3 = 2,7 \cdot 10^{-8} \text{ [m}^4\text{]} \quad \sigma_{max} = \frac{M_{max} \cdot y}{I_x} = 375 \text{ [MPa]}$$

Bij lage sterkte staalsoorten ligt de vloeigrens rond 250 [MPa]. De maximale buigspanning ligt hoger dan de vloeigrens van deze staalsoorten en zijn dus niet geschikt. Het is mogelijk om de geometrie van de hefboom aan te passen, maar om het geheel compact te kunnen houden wordt aangeraden een hoge sterkte staalsoort te gebruiken voor dit onderdeel. Deze materialen hebben een vloeigrens van 355-700+ [MPa]. Een staal met een redelijke veiligheidsfactor (500+ [MPa]) wordt aangeraden zodat het onderdeel niet plastisch vervormd.

Afschuiving vindt plaats over het materiaal over de doorsnede van de hefboom ter hoogte van de rode lijnen, te zien in figuur 24, maar ook over de doorsnede van de (scharnierende) pen met bronzen geleide bus omringd. Deze materialen mogen niet plastisch vervormen door de belasting. Voor de hefboom is het oppervlak gelijk aan de halve breedte maal de hoogte van de balk. De gemodelleerde bus heeft een diameter van 16 [mm]. De doorsnede oppervlaktes zijn nu gelijk en dit geeft de volgende vergelijkingen.



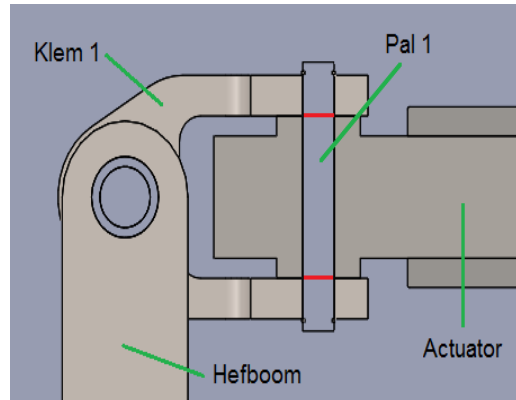
Figuur 24: VLS afschuiving

$$\tau = \frac{F}{A} \quad \tau_{balk} = \frac{0,5 \cdot F_R}{A_{balk}} = 17 \text{ [MPa]} \quad \tau_{pen} = \frac{0,5 \cdot F_R}{A_{pen}} = 30 \text{ [MPa]}$$

De vloeigrens van veel gebruikt constructiestaal is 235 [MPa] en van bronzen geleide bussen ongeveer 120 [MPa]. De combinatie van beide zal er ergens tussen in liggen. Al was het volledig brons, dan is het een groot verschil met de maximale schuifspanning en is dus voldoende sterk.

Ook kan er afschuiving plaatsvinden over 'pal 1'. Dit onderdeel bevestigt de arm van de actuator met de klem. Dit zal dan plaatsvinden over de doorsnede aangegeven in rood in figuur 25. De arm van de gekozen actuator heeft vaste afmetingen en de holte waar de pal in moet passen is 7,6 [mm]. Daarom wordt gekeken wat de minimale vloeigrens moet zijn voor deze pal. Een pal met een diameter van 7,5 [mm] geeft de volgende vergelijking.

$$\tau_{balk} = \frac{0,5 \cdot F_{motor}}{A_{pal}} = \frac{1500}{4,42 \cdot 10^{-5}} = 34 \text{ [MPa]}$$



Figuur 25: Afschuiving pal 1

Bij gebruik van constructiestaal, zal er geen afschuiving plaatsvinden bij dit onderdeel.

Kostenschatting

Om een besluit te nemen of het concept beter is dan de hydraulische Almatic machineklem, zijn de kosten van groot belang. Een ruwe schatting van het systeem is weergegeven in tabel 7.

Tabel 7: Kostenschatting

Onderdeel	Prijs (schatting)
Motor met lineaire actuator	€ 200,-
Besturing	€ 50,-
Adapter	€ 20,-
Bronzen bussen (standaard bussen)	€ 30,-
Bouten en borgringen	€ 20,-
Overige custom onderdelen (aanvraag gedaan)	€ 1250,-
Assemblage (arbeidsloon)	€ 100
Totaal	€ 1670,-

Conclusie

Het ontwikkelde concept bestaat uit een motor met lineaire actuator welke een maximale kracht kan leveren van 6 [kN]. Door gebruik van een hefboom is de maximale kracht die op een product geleverd kan worden gelijk aan 18 [kN]. Door de beschermkap is het een veilig ontwerp waar de werknemer zich niet aan kan bezeren. Verder zitten er weinig complexe onderdelen in en lijkt het al met al een relatief goedkope oplossing om het huidige richtproces te vervangen.

Discussie

Het concept zal eerst beproefd moeten worden om te zien of het daadwerkelijk gaat werken voordat er extra machines geproduceerd kunnen worden.

Voor een goede prijsschatting zal een volledige aanvraag gedaan moeten worden. Zowel voor een stuk als voor een grotere serie van deze systemen.

Droogsysteem na spoelen

Introductie

Wassen bomen worden gespoeld nadat ze zijn geassembleerd in de wasafdeling. Dit is het reinigen van het oppervlak om te zorgen dat de diplaag (eerste laag na het spoelen) goed kan hechten. Na het spoelen worden de bomen in een droogkamer gezet om te drogen voor 4 uur. Feitelijk zijn de bomen alleen oppervlakkig vochtig en moeten de druppels verdampen van het oppervlak. Dit neemt veel tijd in beslag.

Het idee is om met een hoge luchttoevoer de bomen snel te kunnen drogen zodat in de nieuw te bouwen hal er geen extra stellingen hoeven te komen voor deze droogstap. Eventueel een kleine droogkamer aansluitend bij het spoelen of wellicht doordat de robot de boom ergens doorheen beweegt. Het doel is om te zorgen dat het geheel van spoelen en drogen zodoende binnen de gestelde takt tijd van 3 minuten blijft. Het pakken of wegzetten van een boom duurt ongeveer 6-7 seconden. Het kortste spoelprogramma op het moment is 3:40 minuten dus deze tijd zal sowieso terug moeten worden gebracht om aan de gestelde takt tijd te kunnen voldoen.

Proeven

Om droogmethoden te testen zijn geen (gratis) simulatiepakketten beschikbaar. Daarom zal er een aantal proeven moeten worden uitgevoerd om te zien of het mogelijk is om bomen binnen aanzienlijke tijd droog zijn te krijgen.

Drogen met persluchtpistool

Handmatig is getest hoe snel een boom te drogen is met een persluchtpistool (op 5 bar). Het idee is om de boom niet te drogen, maar om de druppels er af te blazen onder hoge druk. Door globaal langs de boom heen te bewegen en gericht te blazen op moeilijk bereikbare plekken is het mogelijk om, met een minuut of 5, een boom droog (genoeg) te krijgen voor het dippen.

Drogen met ventilator

Er is geprobeerd om een boom te drogen met een grote ventilator. Voor het experiment is een oude ventilator gebruikt die nog aanwezig was in de fabriek. Deze ventilator werkt op krachtstroom, het type is onbekend. De natte boom is frontaal voor de ventilator geplaatst op korte afstand. Bij de proef bleek dat de lucht zich teveel verspreid om de boom goed te kunnen drogen. Na 3 à 4 minuten drogen was er nog geen zichtbaar effect op het drogen van de boom en de proef is afgekap.

Drogen met radiaaldrogers

Bij een radiaalventilator wordt de lucht meer geconcentreerd uitgeblazen dan bij een 'normale' ventilator. Ook hebben deze apparaten de mogelijkheid om druk op te bouwen. Daardoor is het mogelijk om met compactere bouw meer lucht te verplaatsen dan bij een normale ventilator.

Er zijn radiaalventilatoren gehuurd bij de Lemerij om de proef uit te voeren. De ventilatoren hebben een debiet van 4800 [m³] en pompen de lucht door een relatief klein oppervlak. Met perslucht bleek het mogelijk om de druppels van de boom te blazen, het idee is om dat met radiaalventilatoren ook te bewerkstelligen.



Figuur 26: Gehuurde radiaaldrogers



Figuur 27: Aanpassing op blaasmond

Bovenstaande afbeeldingen geven de gehuurde ventilatoren weer (figuur 26) en een kleine aanpassing op de ventilatoren om de lucht nog meer te concentreren (figuur 27). Met twee ventilatoren is geprobeerd de boom op deze wijze te drogen. De opstelling zag er als volgt uit (figuur 28). De boom was geklemd aan de robot welke de boom tijdens de proef roteerde.



Figuur 28: Opstelling proef 1

Het resultaat is dat een groot gedeelte van de druppels redelijk snel weg wordt geblazen maar op moeilijk bereikbare plekken zoals holtes en het binnenste gedeelte van de boom niet en de boom dus niet droogt binnen een periode van 30 seconden.

Het volgende plan is dezelfde proef uit te voeren waarbij 4 radiaalventilatoren worden gebruikt om te zien binnen welke periode de boom droog te blazen is. Hiervoor is de volgende opstelling gebruikt afgebeeld in figuur 29.



Figuur 29: Opstelling proef 1

Er is getest met 2 verschillende bomen, een moeilijk (op bovenstaande foto) en een gemakkelijk te drogen boom. Bij elk soort boom zijn 2 proeven uitgevoerd. Stationair drogen en (handmatige) rotatie tijdens het drogen. De moeilijk te drogen boom heeft ook nog een tijd in de droogkamer gestaan om het verschil te bekijken met de proef. Het resultaat is weergegeven in tabel.

Tabel 8: Resultaten proef

Boom	Droogwijze	Droogtijd	Opmerking
Moeilijk	Stationair	5 min	Op moeilijk bereikbare plekken nog dikke druppels vocht
Moeilijk	Rotatie	2,5 min	In de holtes nog minimaal restwater aanwezig
Moeilijk	Droogkamer	?	Na 30 minuten wel verbetering maar nog lang niet droog
Gemakkelijk	Stationair	2 min	Kleine druppels op afstand ver van ventilator
Gemakkelijk	Rotatie	1 min	Droog

Het blijkt dus mogelijk, door gericht op de boom te blazen met de radiaaldrogers en tussentijds te roteren, de bomen binnen redelijk korte tijd droog genoeg te krijgen voor het dippen.

Drogen met luchtmessen

Luchtmessen zijn een soort van (lange) buizen met een smalle opening waar lucht uniform met hoge druk uit wordt geblazen. Een voorbeeld van een luchtmes is hiernaast weergegeven in figuur 30. Het is vergelijkbaar met de droger van een autowasstraat in het klein. De lucht wordt aangevoerd door een zijkanaalventilator welke een hoge druk op kan bouwen. Het vermoeden is dat dit een beter effect geeft dan de gebruikte radiaalventilatoren.

Lamers Reinigingstechniek te Zelhem bieden dergelijke systemen aan. Deze maatschappij is benaderd om een proef bij hen te kunnen uitvoeren. Deze proef heeft plaatsgevonden op 16 april en lijkt veelbelovend. De moeilijk te drogen bomen waren met 30 seconden voldoende droog voor de vervolgstap.



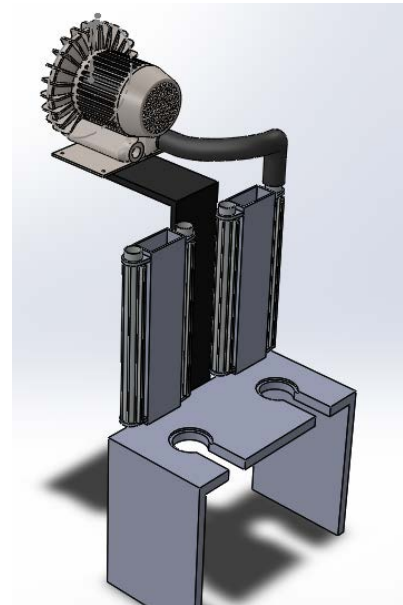
Figuur 30: Luchtmes

Oplossingen

Het is de bedoeling dat de boom na het spoelen weer op de pallet komt. Er is een bepaalde takt tijd die moet worden behaald. Het is niet mogelijk om te drogen terwijl de boom is ingeklemd in de robot vanwege de lange spoeltijd. Het is mogelijk om een kleine droogkamer in te richten waar de robot de boom inzet en uithaalt alvorens deze weer op de pallet wordt gezet. De boom kan dan in deze kamer worden geroteerd. Een tweede optie is om de bomen te drogen op de pallet. Het droogstelsel zal dan (waarschijnlijk) ingewikkelder omdat het verplaatsbaar moet zijn. Voor beide opties geldt dat de droogtijd binnen de takt tijd van de robot moet vallen. Voor de optie met aparte droogkamer moet ongeveer 15 seconden bovenop de takt tijd van de robot worden gerekend vanwege het extra keer wegzetten en vastgrijpen van de boom. Voor beide wordt er vanuit gegaan dat de boom moet worden geroteerd omdat dit een hoop droogtijd scheelt. Een voorbeeldconcept van beide opties is hieronder weergegeven.



Figuur 31: Drogen op pallet



Figuur 32: Drogen in droogkamer

Drogen op pallet (figuur 31)

Het geheel moet de stelling voorstellen waar de AGV de pallets neerzet bij de spoelafdeling. Bij deze optie zal het droogstelsel moeten kunnen bewegen langs de bomen omdat anders interferentie ontstaat met robot dan wel met de AGV. Het onderdeel van het systeem dat er voor moet zorgen dat de bomen kunnen roteren loopt onder de pallets langs, de ventilatoren of luchtmessen lopen langs de voor- of achterzijde van de boom. Het systeem loopt langs een lineaire geleiding en positionering gebeurt met behulp van servomotoren.

Droogkamer (figuur 32)

De droogkamer of droogopstelling is hiernaast schematisch weergegeven. Er zijn twee posities nodig om bomen te kunnen plaatsen, anders moet de robot dezelfde boom nog vaker inklemmen en wegzetten. Onder de tafel moet een systeem komen dat de centrale paal van de boom aangrijpt en het geheel kan roteren.

Conclusie

Naar aanleiding van de proeven kan er gezegd worden dat het mogelijk is om de bomen te drogen binnen aanzienlijke tijd met genoeg luchtverplaatsing.

Wat betreft de concepten is het drogen op pallet constructief gezien veel ingewikkelder dan om aparte droogunits in te richten. Door de extra bewegende onderdelen is de mogelijkheid dat er iets defect kan gaan ook groter. Mocht het mogelijk zijn om de extra 15 seconden toe te voegen aan de taktijd van de spoelrobot dan wordt het aanbevolen om aparte droogunits neer te zetten.

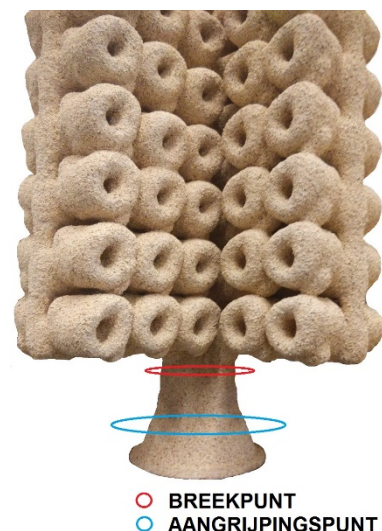
Bij gebruik van luchtmessen is de droogtijd kleiner dan bij gebruik van radiaalventilatoren. Eveneens is het systeem compacter. Over de prijs kan nog geen uitspraak gedaan worden. Een offerte van Lamers volgt nog. Het luchtmessensysteem zal waarschijnlijk minder energie kosten, maar dit zal nog beproefd moeten worden in de praktijk.

Stijfheid keramiek

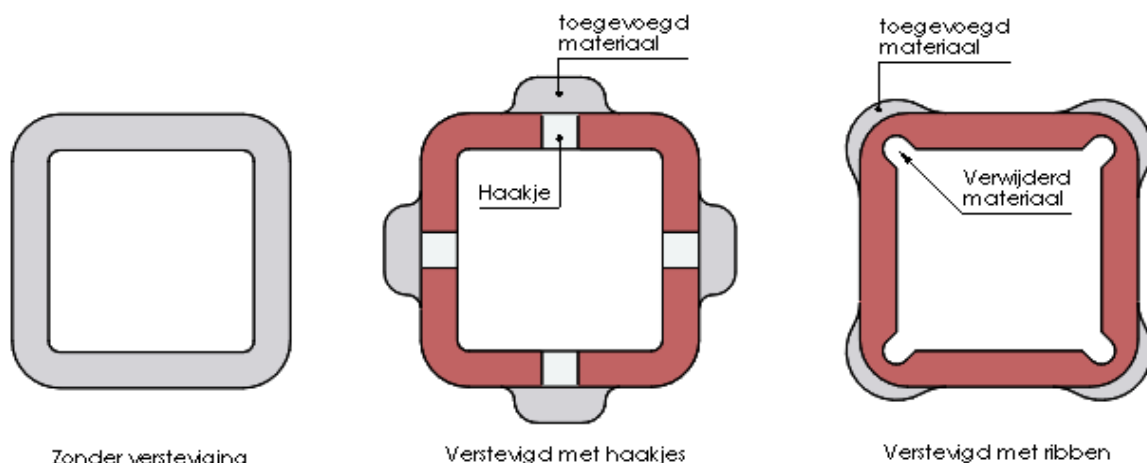
Introductie

Voordat een boom wordt gegoten, wordt deze uit de stookoven gehaald door een robot. De gripper van de robot grijpt aan bij de hals van de boom van het keramiek zoals aangegeven in figuur 33. Het komt zo nu en dan voor dat een hals breekt. Om dit probleem op te lossen zijn er zogenaamde haakjes en staafjes in het leven geroepen met een plakvoorschrift per productnummer. Deze 'plakactiviteiten' nemen veel tijd in beslag en in een volledig geautomatiseerd proces valt dit niet in te passen. Er zal worden gekeken of een minimale aanpassing aan de boom ook voor voldoende buigstijfheid kan zorgen om breuk te voorkomen.

In figuur 34 zijn de doorsnedes weergegeven ter hoogte van het breekpunt van de keramieken boom, uitgegaan van een wanddikte van 8 [mm]. Het idee is om ribben toe te voegen op de hoekpunten van de wassen boom. Hierdoor zal de keramiek een doorsnede hebben zoals rechts weergegeven. Deze doorsnede zal worden vergeleken op het gebied van buigstijfheid met de geplakte staafjes of haakjes. Er wordt vanuit gegaan dat het haakje dat in de keramiek blijft zitten de buigstijfheid ten goede komt.



Figuur 9: Boom van keramiek (vierkant)



Figuur 10: Doorsnedes bomen

Buigstijfheid

Buiging kan worden geanalyseerd aan de hand van de Euler Bernoulli vergelijking. De klassieke vorm voor buigspanning is als volgt:

$$\sigma = \frac{My}{I_x}$$

M: het moment dat wordt veroorzaakt door het gewicht van de boom
y: de halve hoogte van de doorsnede van de boom
I_x: het oppervlaktetraagheidsmoment t.o.v. de neutrale lijn

Waarbij σ de maximaal toelaatbare spanning is in het materiaal. Voor alle drie gevallen is het moment (M) en de halve hoogte (y) gelijk. Een hogere oppervlaktetraagheid moet er dus voor zorgen dat de hals van de boom niet breekt.

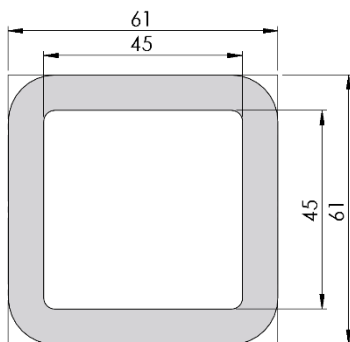
Door gebruik te maken van standaardvormen en bijbehorende oppervlaktetraagheidsmomenten vanuit het gravitatiepunt, weergegeven in tabel 9, samen met de stelling van Steiner is het eenvoudig een vluchtige schatting van de oppervlaktetraagheidsmomenten (OTM) te maken. De stelling van Steiner is als volgt:

Tabel 9: Oppervlaktetraagheidsmomenten

Vorm	I_o
Rechthoek	$\frac{1}{12}bh^3$
Cirkel	$\frac{1}{4}\pi r^4$

$$I_x = I_o + d^2 \cdot A$$

I_o : het OTM vanuit eigen gravitatiepunt
d: de arm in y-richting (parallel aan krachtrichting)
A: oppervlakte van de vorm



Figuur 115: Huidig profiel

De schatting wordt gedaan door het geheel te zien als twee vierkanten met een uniforme wanddikte.

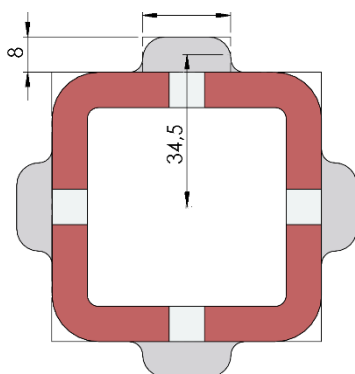
$$I_{x,0} = \frac{1}{12} (b_1 h_1^3 - b_2 h_2^3) = \frac{1}{12} (61^4 - 45^4) = 812.101 \text{ [mm}^4\text{]}$$

Het OTM zal iets lager uitvallen vanwege de afgeronde hoeken. De controle aan de hand van SolidWorks levert een OTM van:

$$I_{x,0} = 739.299 \text{ [mm}^4\text{]}$$

De waarde van SolidWorks is exact en dus leidend, de handberekening is ter controle.

Het extra materiaal wordt geschat als 4 rechthoeken van 8x20 [mm].



Figuur 126: Profiel met haakjes

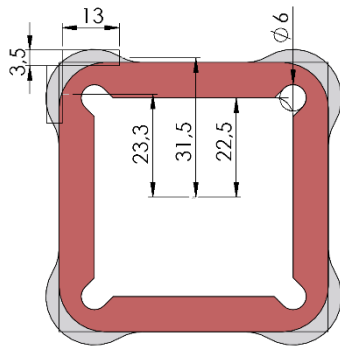
$$I_{x,1} = I_{x,0} + 2 \left(\frac{20 \cdot 8^3}{12} + 34,5^2 \cdot 20 \cdot 8 \right) + 2 \left(\frac{20^3 \cdot 8}{12} \right)$$

$$I_{x,1} = 1.132552 \text{ [mm}^4\text{]}$$

SolidWorks geeft:

$$I_{x,1} = 1.109.222 \text{ [mm}^4\text{]}$$

Het extra materiaal ten gevolge van de ribben wordt geschat als 8 rechthoeken van 3,5x13 [mm]. De was die op de plaats van de ribben zat moet worden afgetrokken.



$$I_{X,2} = I_{X,0} + 4 \left(\frac{13 \cdot 3,5^3}{12} + 31,5^2 \cdot 13 \cdot 3,5 \right) + 4 \left(\frac{13^3 \cdot 3,5}{12} + 23,3^2 \cdot 13 \cdot 3,5 \right) - 4 \left(\frac{\pi \cdot 3^4}{4} + 22,5^2 \cdot \pi \cdot 3^2 \right)$$

$$I_{X,2} = 963.933 \text{ [mm}^4\text{]}$$

SolidWorks geeft:

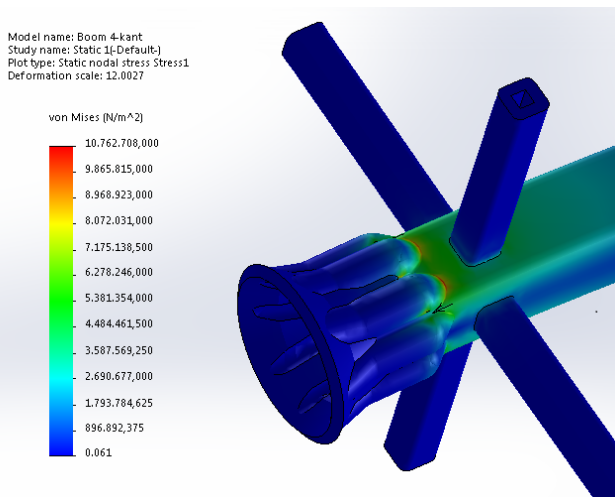
$$I_{X,2} = 955.503 \text{ [mm}^4\text{]}$$

Figuur 137: Profiel met ribben

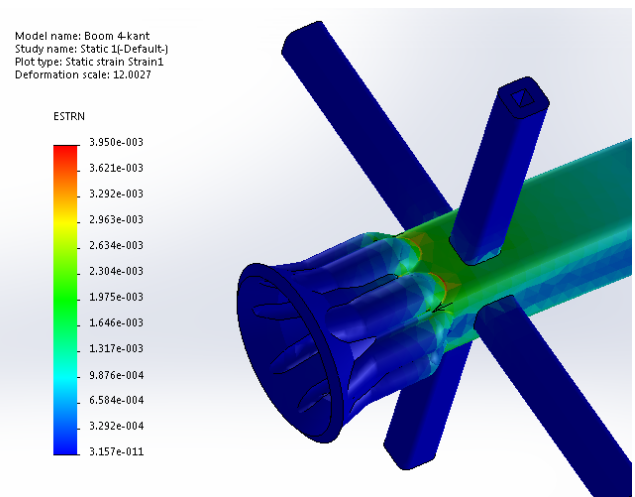
Uit de analyse van de doorsneden volgt dat een boom met ribben op de hoek al veel sterker is dan een boom zonder versteviging. Maar het OTM van de met ribben verstevigde boom komt niet in de buurt van de OTM van de boom verstevigd met haakjes.

Simulatie

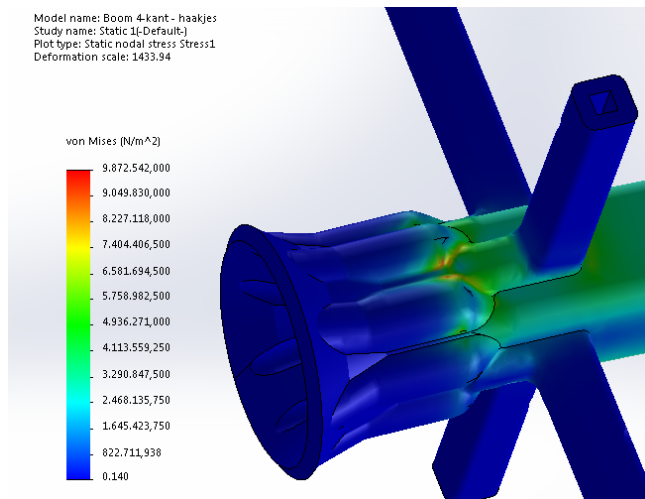
In SolidWorks is de vorm gemodelleerd met 8 [mm] wanddikte voor alle drie gevallen (zonder versteviging, met haakjes en met ribben). Er is een statische analyse uitgevoerd om te zien wat de spanning is ter hoogte van het breukvlak en wat de rek is rond dat gebied. Dit is gedaan door een belasting aan te brengen loodrecht op een van de 4 vlakken, vergelijkbaar met de zwaartekracht op het gewicht van een boom.



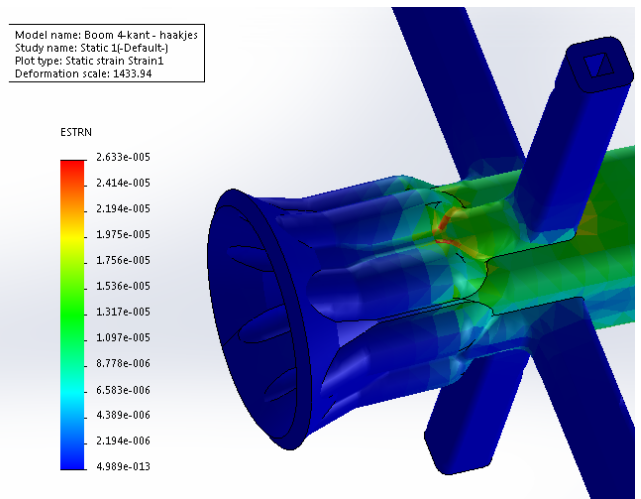
Figuur 38a: Spanning boom zonder versteviging



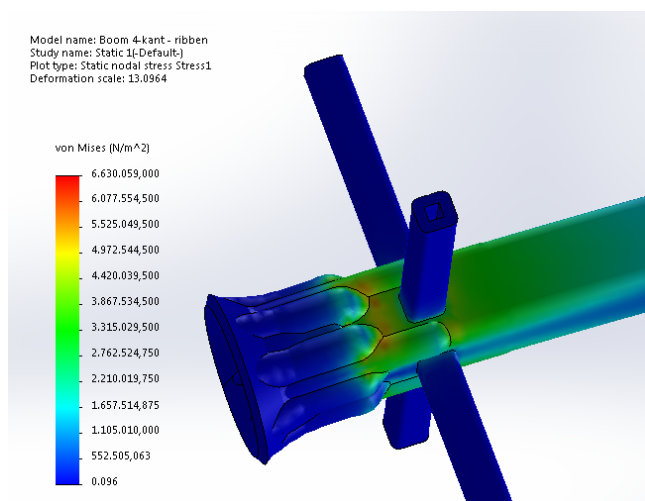
Figuur 38b: Rek boom zonder versteviging



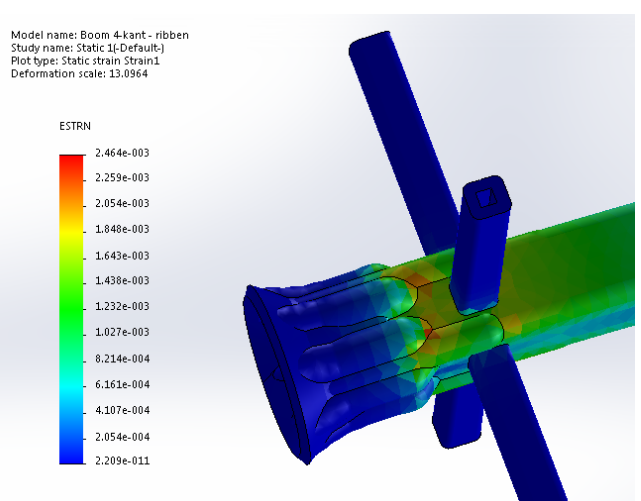
Figuur 39a: Spanning boom met haakjes



Figuur 39b: Rek boom met haakjes



Figuur 40a: Spanning boom met ribben



Figuur 40b: Rek boom met ribben

Tabel 10: Spanning en rekken volgens uit simulatie

Grootheid	Verstevinging		
	Zonder	Haakjes	Ribben
Spanning in breukvlak [MPa]	10,8	4,3	6,1
Rek in breukvlak []	$3,95 \cdot 10^{-3}$	$1,56 \cdot 10^{-5}$	$2,46 \cdot 10^{-3}$

Opmerking:

De hoge waarden bij de boom met verstevinging door haakjes zijn te vinden bij de overgang van de plek van het haakje naar de reeds bestaande ribben (niet te verwarren met de extra verstevende ribben). Deze radius van de overgang is vanwege modelleerproblemen klein waardoor er hoge spanningen ontstaan in de simulatie welke in werkelijkheid daar niet zullen zijn omdat de radius groter is. Er is daarom gekeken naar de spanning ter hoogte van het vermoede breukvlak.

De boom met verstevinging met ribben heeft al een aanzienlijk lagere spanning in het breukvlak dan de boom zonder verstevinging. Ook de rek van de boom met ribben is een factor 1,6 lager dan zonder verstevinging. De boom met verstevinging doormiddel van haakjes is nog weer een stuk beter dan de met ribben verstevende boom op beide gebieden.

Conclusie

Er is een tijd gegoten zonder de bomen te verstevigen, dit ging ook redelijk goed. Toch was er teveel uitval om dit aan te houden. Volgens de analyse van buigstijfheid en de simulatie in SolidWorks zouden extra ribben op de hoek voor versteviging zorgen van de boom. De boom met haakjes blijkt veel steviger dan het nieuwe concept, maar dit kan straks niet meer toe worden gepast. Wellicht dat ribben voldoende versteviging bieden om te zorgen voor geringe, tot geen uitval door het breken van de hals van het keramiek. Hiervoor geldt, hoe groter de rib (qua oppervlak) des te sterker de boom.

Het zou kunnen dat uitval niet (alleen) komt door de zwakte van de boom, maar ook door de manier van aangrijpen van de robot. Als de hals meer uniform zou worden aangegrepen zou de interne spanning alleen daardoor al verminderen.

Het is opvallend dat de rek bij de boom zonder versteviging vele malen hoger is dan bij de boom met haakjes. Deze rek mag wel heel klein zijn (0,004 voor een boom zonder versteviging), maar bij een bros materiaal kunnen scheuren gauw ontstaan omdat deze niet elastisch vervormen en dus leidt tot breuk.

Een proef is aangeraden om het verschil te bekijken. Hierbij zou een kale boom van keramiek gebruikt kunnen worden (eventueel met kale takken). Zonder versteviging, met haakjes en met ribben. Deze bomen dan inklemmen in de robot en de belasting op te voeren. Het verschil in belasting tot breuk is een maat voor de sterkte van de boom.

Discussie

In de simulatie van SolidWorks is een belasting aangebracht op een van de vlakken van de boom. Zou je de boom op een hoek van de boom belasten dan is het OTM anders en zullen de spanningen ook anders zijn.

Voor het modelleren is er uitgegaan van een schil van 8 [mm]. In praktijk is de schil veel dikker rond de voet. Wellicht is het een idee om een 'gebroken boom' te nemen en een analyse en/of simulatie uit te voeren met de werkelijke dikte van de schil rond het breukvlak.

Het model is niet perfect. De afrondingen (radii) zijn in werkelijkheid groter dan in het model. Helaas ging er bij de simulatie van alles mis wanneer deze radii werden vergroot. Daarom is deze simulatie niet correct, maar geeft het wel een aardige indicatie.

Nieuwe invormerij

De eerste plannen omtrent de nieuwe invormerij was het vervoeren van de bomen aan kettingbanen. Na een aantal vergaderingen is om praktische en financiële redenen overgegaan op vervoer op pallets en vervoer door middel van AGVs. Het uniform drogen werd een hekelpunt bij hoge stellingen. Het voorstel om geforceerd lucht in te brengen wordt op dit moment overwogen. De wassen bomen zouden eerst naar de nieuwe hal worden gebracht en daar klaar worden gezet voor de AGVs. Het idee om de pallets met bomen rechtstreeks bij de wasafdeling op te halen (centraal in de afdeling) wordt waarschijnlijk doorgevoerd.

Conclusie

Er is gestructureerd gewerkt aan de projecten, aangeboden door Cirex. Alle projecten zijn eerst zorgvuldig geanalyseerd om te begrijpen wat het probleem is en eventueel de herkomst van de problematiek te achterhalen. Zodra dit gedaan was, is er nagedacht over de mogelijke oplossingen voor het project. Voor zover mogelijk is er een aanbeveling gedaan voor elk project aan Cirex ter verbetering van het productieproces.

- Klemsysteem inzetstuk: De sterkte van het onderdeel is geanalyseerd en het meest zwakke onderdeel blijkt sterk genoeg voor de toepassing waarvoor het toekomstig wellicht gebruikt gaat worden.
- Adapter inzetstuk: De vorm van het ontwerp was al bekend, de afmetingen nog niet. De minimaal benodigde afmetingen zijn bepaald zodat het ontwerp niet bezwijkt aan de krachten die erop gaan werken.
- Wasregeneratie: Dit project is niet geheel tot een eind gekomen. Er zijn een aantal proeven gedaan, maar er stonden er ook nog een aantal op het programma. De aanbevelingen tot nog toe zijn gedaan en het project is overgedragen aan Cirex.
- Richtsysteem: Er is een richtsysteem ontworpen die het richtwerk zal kunnen doen voor Cirex en lijkt aanzienlijk goedkoper dan het huidige systeem.
- Droogsysteem na spoelen: Het blijkt mogelijk om een boom te drogen na het spoelen in (zeer) korte tijd. De proef met luchtmessen bleek veelbelovend. De prijs zal bepalend zijn voor de keuze van het systeem.
- Stijfheid keramiek: De buigstijfheid van de huidige boom van keramiek is geanalyseerd, evenals die van een boom met de huidige aangebrachte verstevigingen en ook van een eventuele aanpassing op de huidige centrale paal. De aanpassing bleek niet sterker dan de huidige aangebrachte versteviging, maar wel een stuk steviger dan zonder versteviging. Wellicht voldoende om het breken te voorkomen.
- Nieuwe invormerij: Er is meegedacht over de invulling van de nieuwe invormerij. Logistieke en technische ideeën zijn overgebracht aan Cirex en worden meegenomen in de overweging van de bouw van de nieuwe hal.

Reflectie

De opdrachten waren uitdagend en veelzijdig. Op verschillende kennisvlakken werd ik uitgedaagd. De aansturing miste ik alleen soms een beetje. Ik begrijp dat er van een UT student verwacht wordt dat deze zich zelfstandig goed kan redden, maar bij veel projecten word je van het kastje naar de muur gestuurd. Om telkens bij iedereen aan te moeten aankloppen vind ik moeilijk en daarbij komt dat de mensen die je nodig hebt niet altijd even makkelijk te bereiken zijn. Wellicht is het daarom toch wel een goed leerproces voor mij persoonlijk. Ik werd bij de projecten ook zeker niet onder druk gezet. Het is een open bedrijf naar de werknemers toe en er hangt een goede werksfeer bij Cirex, met fijne collega's. Al met al was het een leuke uitdaging zeer prettig om daar stage te kunnen lopen.

Bronnenlijst

Voor het zoeken van waarden voor treksterkte, verdampingswarmte en vele andere waarden voor bepaalde grootheden:

www.wikipedia.nl

Onderzoek doen naar werking van speciale water en olie scheidingsmachines ten behoeven van wasregeneratie. Ook voor onderzoek naar werking luchtmessen:

www.youtube.nl

Bijlage

Bijlage A: Benodigde proeven ten behoeve van wasregeneratie

Bijlage B: Uitslag (mislukte) bezinkproef

Bijlage C: Uitslag rendement huidige uitkooktanks

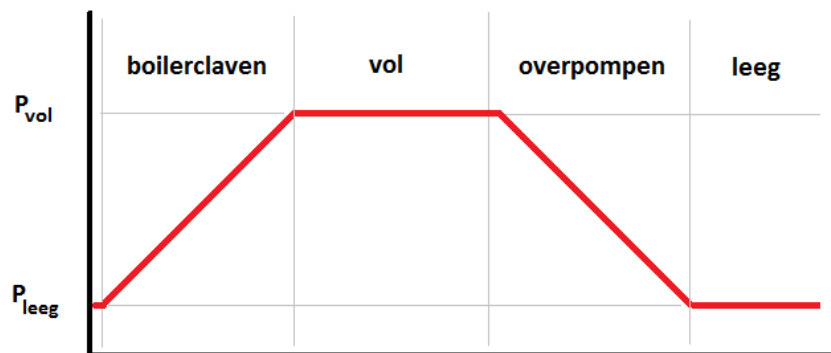
Benodigde proeven ten behoeve van wasregeneratie

Bepaalde informatie welke benodigd is voor een juiste kostenschatting voor de wasregeneratie zal proefondervindelijk achterhaald moeten worden, gezien deze theoretisch niet (goed) te benaderen is.

Om te zien of het rendabel is om de was (langer) natuurlijk te laten bezinken moet er bekeken worden of het energieverbruik en een eventuele aanschaf van een extra voorraadtank opweegt tegen de kosten van het uitkoken van was met een hogere fractie water. Vier proeven zijn nodig om de benodigde gegevens te verkrijgen.

Energieverbruik opvangtanks boilerclave

Na het boilerclaven wordt de was opgevangen in een tank (opvangtank). Deze tanks worden op een temperatuur gehouden van 80 °C. Het energieverbruik van deze tank moet worden gemeten gedurende een volledige cyclus, van boilerclaven tot aan opnieuw boilerclaven. Zodoende zal er een waarschijnlijk een energieverbruik gemeten worden wat vereenvoudigd zal lijken op figuur 1. Des te



Figuur 1: Energieverbruik opvangtank

voller de tank is, des te meer energieverlies de tank zal hebben en des te hoger het verbruik zal zijn om de was op 80 °C te houden. Als de tank leeg is zal deze op temperatuur gehouden moeten worden. Met leeg wordt bedoeld, een tank met en hoeveelheid was die er niet uit wordt gepompt omdat de pomp niet meer kan aanzuigen. De vier situaties (overpompen, leeg, boilerclaven en vol) zullen in kaart moeten worden gebracht om een juiste uitspraak te kunnen doen over de kosten van de wasregeneratie. Het is hierbij belangrijk te weten hoeveel liter er in de volle en lege tank zit.

Proef

- Meetapparatuur zal worden gekoppeld aan de opvangtank.
- Het te bestuderen traject is vanaf het boilerclaven tot aan een volgende maal boilerclaven.
- Geregistreerd moet worden:
 1. De hoeveelheid was in de tank voor het boilerclaven
 2. De hoeveelheid was in de tank na het boilerclaven
 3. De hoeveelheid was in de tank na het overpompen
 4. De aanvangstijden van de verschillende stappen
 5. Het energieverbruik gedurende dit traject

Bezinktijd was

Door het verschil in dichtheid van water en was (op 80 °C) zal door middel van natuurlijke bezinking, (een gedeelte van) het water zich van de was scheiden. Er is nooit goed in kaart gebracht wat de afname van de fractie water in was per tijdseenheid is door dit natuurlijke proces. Om een optimale bezinktijd te bepalen en om te zien wat de fractie na een bepaalde tijd bezinken is, zal er een proef moeten worden uitgevoerd.

Proef

- Drie (halve) emmers was zullen worden afgetapt direct na het boilerclaven zodat deze was de hoogste fractie water bevat dat voorkomt in het regeneratieproces.
- Aan het begin en daarna om de 2 uur (gedurende 8 uur) wordt er een monster, van ongeveer 500ml, bovenuit elke emmer genomen en gewogen. Deze wordt uitgekookt in een maatbeker totdat een temperatuur van 118 °C bereikt is. Dan wordt geacht dat het de was is uitgekookt en wordt dan opnieuw gewogen. Het verschil in gewicht van voor en na het uitkoken is het gewicht water dat in de was zat.
- Geregistreerd moet worden:
 1. De exacte tijden van wegen voor uitkoken
 2. Het gewicht van de monsters voor en na uitkoken

Rendement huidige uitkooktank

Er is bekend wat het gemiddelde verbruik van de verwarmingsunit van de uitkooktanks is. Het daadwerkelijke rendement (de hoeveelheid water er uit wordt gekookt met hoeveel energie) is onbekend. Of er gekozen wordt voor een uitbreiding van het huidige systeem of een nieuw systeem is voor een groot gedeelte van het rendement afhankelijk.

Proef

- Er vanuit gaande dat het restant dat onder in de uitkooktank blijft zitten na het overpompen (naar de voorraadtanks) volledig is uitgekookt (fractie water ≈ 0), dan hoeft alleen de was die van de opvangtank wordt overgepompt te worden uitgekookt.
- Meetapparatuur zal worden gekoppeld aan de uitkooktank.
- Er moet worden bijgehouden hoelang het duurt voordat de was volledig is uitgekookt en hoeveel energie hierbij wordt verbruikt.
- Van belang is hierbij wat de fractie water in de was is dus de inhoud van de tank voor en na het uitkoken.
- Geregistreerd moet worden:
 1. De hoeveelheid was dat als restant is achtergebleven in de uitkooktank
 2. De hoeveelheid was dat is overgepompt van opvang- naar uitkooktank
 3. Tijd van aanvang van pompen
 4. Tijd wanneer de temperatuur van de was 118 °C is
 5. Hoeveelheid was na uitkoken

Rendement nieuw uitkookstelsel

Het concept voor het nieuwe uitkookstelsel is gebaseerd op een dunne film over een (groot) oppervlak om zodoende het verdampen van het water uit de was te versnellen. De vraag is of het rendement van een dergelijk stelsel beter is dan het huidige uitkookproces.

Een dergelijke proef is ooit al opgezet en uitgevoerd door Koen Galgenbeld om een dunne laag was uit te koken op een grote plaat. Helaas is het energieverbruik hierbij niet gemeten en zal de proef opnieuw gedaan moeten worden.

Proef

- Meetapparatuur zal worden gekoppeld aan de verwarmingsplaat.
- Belangrijk is te weten wat de fractie water is in de gebruikte was. Twee monsters nemen (à 1000ml), wegen, uitkoken in een maatbeker en opnieuw wegen.
- Op de kookplaat verschillende laagdiktes was uitkoken voor een bepaalde periode. De te gebruiken hoeveelheid hangt af van het oppervlak. De was verdelen over het oppervlak en periode T wachten en twee keer een hoeveelheid van ongeveer 1000ml 'aftappen'. Deze monsters worden representatief geacht voor het gehele oppervlak aan was.
- Monsters wegen, uitkoken in een maatbeker en opnieuw wegen. Het gewichtsverschil is het 'restwater' (de hoeveelheid water dat de verwarmingsplaat niet heeft uitgekookt). Aan de hand van deze gegevens kan worden bepaald welke hoeveelheid water door de plaat is uitgekookt.
- Geregistreerd moet worden:
 1. Het gewicht van alle monsters voor en na uitkoken
 2. Drie metingen met verschillende laagdiktes, voorstel: 5mm, 10mm en 15mm
 3. De begin- en eindtijd van het koken per proef voor juiste synchronisatie met de energiemeting
 4. Het energieverbruik bij de verschillende proeven

Uitslag bezinkproef

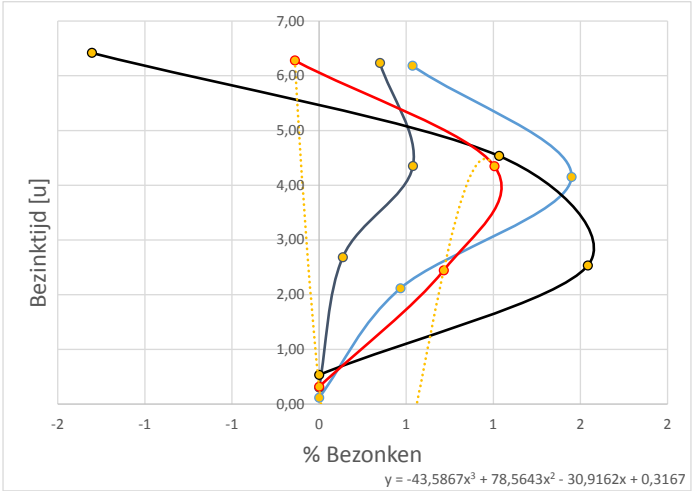
Datum proef	25-2-2015
Starttijd proef	8:48

Emmer 1						
Tijd	Bezinktijd [u]	Massa pan [g]	Massa voor uitkoken [g]	Massa na uitkoken [g]	% Water	% Bezonken
8:55	0,12	481,24	738,91	650,19	34,4	0,0
10:55	2,12	483,51	789,86	685,81	34,0	0,5
12:57	4,15	484,44	778,44	681,47	33,0	1,4
14:59	6,18	490,59	804,79	698,29	33,9	0,5
	#NUM!				#DIV/0!	#DIV/0!

Emmer 2						
Tijd	Bezinktijd [u]	Massa pan [g]	Massa voor uitkoken [g]	Massa na uitkoken [g]	% Water	% Bezonken
9:06	0,30	487,82	841,73	733,49	30,6	0,0
11:29	2,68	503,58	737,78	666,47	30,4	0,1
13:09	4,35	497,76	790,55	702,58	30,0	0,5
15:02	6,23	499,18	819,37	722,56	30,2	0,3
	#NUM!				#DIV/0!	#DIV/0!

Emmer 3						
Tijd	Bezinktijd [u]	Massa pan [g]	Massa voor uitkoken [g]	Massa na uitkoken [g]	% Water	% Bezonken
9:20	0,53	475,89	889,51	735,98	37,1	0,0
11:20	2,53	482,25	719,43	635,05	35,6	1,5
13:20	4,53	489,76	748,48	655,12	36,1	1,0
15:13	6,42	492,94	781,42	670,58	38,4	-1,3
	#NUM!				#DIV/0!	#DIV/0!

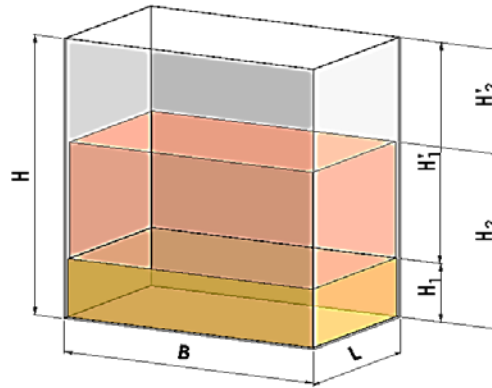
Gemiddeld					
Bezinktijd	0,32	2,44	4,34	6,28	#NUM!
% Water	0,0	0,7	1,0	-0,1	#DIV/0!



Uitslag proef rendement huidige uitkooktanks

Bepaling percentage water met behulp van uitkooktank	
L (lengte)	705 [mm]
B (breedte)	1250 [mm]
H (hoogte)	1350 [mm]
H'1	1030 [mm]
H1 (minimale hoogte was)	320 [mm]
Vmin (minimaal volume was)	282 [l]
V1 (volume voor uitkoken)	793 [l]
V (totaal toegevoegd volume)	511 [l]
H'2	590 [mm]
H2 (hoogte was na uitkoken)	760 [mm]
V3 (volume na uitkoken)	670 [l]
Percentage water	24,1 [%]

Bepaling rendement	
Volume	511 [l]
Fractie water	0,241 []
Totaal gewicht water	119,06 [kg]
Benodigde energie opwarmen	35412 [kJ]
Benodigde energie uitkoken	267759 [kJ]
Totaal benodigde energie	303171 [kJ]
Totaal verbruikte energie	388671 [kJ]
Rendement uitkooktank	78,0 [%]



Uitkoken van monster ter controle				
(emmer bovenuit de uitkooktank)				
	Pan 1	Pan 2	Pan 3	
Gewicht pan voor	482,24	484,1	491,05	[kg]
Gewicht pan gevuld	1080,650	998,39	1021,32	[kg]
Gewicht pan na uitkoken	mislukt	938,8	968,98	[kg]
Uitgekookt gewicht	#VALUE!	59,590	52,340	[kg]
Percentage water	#VALUE!	11,586848	9,870443	[%]

Data was/water	
Soortelijke warmte water	4,186 [kJ/(kg.K)]
Soortelijke warmte was	3,400 [kJ/(kg.K)]
Warmteverschil (100-80)	20 [K]
Dichtheid was/water gemiddeld	0,965 [kg/l]
Verdampingswarmte water	2249 [kJ/kg]