

Koelsysteem PW-8

“Van een globale indeling naar een gedetailleerd ontwerp”



Verslag bacheloropdracht Industrieel Ontwerpen
Opdrachtgever: PenWeld
Auteur: Pim Visscher



Koelsysteem PW-8

“Van een globale indeling naar een gedetailleerd ontwerp”

Verslag bacheloropdracht Industrieel Ontwerpen

Onderwerp: Ontwikkeling koelsysteem PW-8

Auteur: Pim Visscher

Opdrachtgever: PenWeld b.v.

Begeleider stage: René van Wieringen

Begeleider UT: Tom Vaneker



UNIVERSITEIT TWENTE.



Voorwoord

Ter afronding van mijn opleiding Industrieel Ontwerpen aan de Universiteit Twente (UT) heb ik een bacheloropdracht uitgevoerd bij PenWeld. Deze opdracht had betrekking op een deel van de ontwikkeling van een orbitale lasmachine, de PW-8.

Tijdens de opdracht heb ik onderzoek gedaan naar componenten en geadviseerd over de inrichting van de PW-8. In detail is het koelsysteem ontwikkeld. Hiervoor heb ik voorgaande onderzoeken geanalyseerd, berekeningen uitgevoerd en ben ik op zoek gegaan naar geschikte onderdelen voor het koelsysteem. Vervolgens zijn de componenten in de basisunit van de PW-8 geplaatst.

De opdracht is vanuit PenWeld begeleid door René van Wieringen en vanuit de UT door Tom Vaneker. Hierbij wil ik René bedanken voor zijn input en de mogelijkheid om de opdracht op het kantoor bij PenWeld uit te voeren. Daarnaast bedank ik Tom voor de inhoudelijke begeleiding tijdens de opdracht.

Ook wil ik Koen van Andel bedanken voor zijn advies bij de technische berekeningen. Zonder zijn input was het onmogelijk om de berekeningen aan het lasapparaat te maken.

Enschede, augustus 2011

Pim Visscher



Inhoudsopgave

Voorwoord	p.5		
Inhoudsopgave	p.7		
H1 Inleiding			
1.1 Algemene beschouwing en opdracht	p.9	H5 Pompkeuze	
1.2 Lastechniek	p.10	5.1 Inleiding	p.45
1.3 PenWeld	p.12	5.2 Turbopompen	p.45
1.4 Bacheloropdracht	p.13	5.3 Verdringerpompen	p.46
H2 Voorgaand werk PW-8		5.4 Pompen, producenten en leveranciers	p.48
2.1 Inleiding	p.15	5.5 Conclusies	p.51
2.2 Voorgaand onderzoek	p.15	H6 Reservoir, aansluitingen en plaatsing	
2.3 Componenten	p.19	6.1 Inleiding	p.53
2.4 Verdere uitwerking	p.23	6.2 Reservoir	p.53
H3 Warmteverspreiding in de laskop		6.3 Legen en bijvullen	p.55
3.1 Inleiding	p.25	6.4 Warmtewisselaar	p.56
3.2 Warmteverspreiding in een laswerkstuk	p.25	6.5 Aansluitingen	p.58
3.3 Meten van de warmteverspreiding	p.26	6.6 Plaatsing	p.60
3.4 Warmtesituatie in de laskop	p.27	6.7 Conclusies	p.61
3.5 Conclusies	p.28	H7 Conclusies en aanbevelingen	
H4 Berekeningen		7.1 Conclusies	p.63
4.1 Inleiding	p.29	7.2 Aanbevelingen	p.64
4.2 Benadering van het koelkanaal in de laskop	p.29		
4.3 Opwarming van het water in de laskop	p.32		
4.4 Opwarming van het reservoir	p.36	Bijlagen	p.65
4.5 Warmteafracht in het koelsysteem	p.38		
4.6 Berekening van de druk	p.40		
4.7 Handleiding Excelsheet	p.42		
4.8 Conclusies	p.43		



Figuur 1.1 De PW-8, Een impressie van Fernand de Wolf en Laurens Kemp.

1 Inleiding

PenWeld is bezig met de ontwikkeling van een nieuwe orbitale lasmachine, de PW-8. Voor u ligt het verslag “Koelsysteem PW-8, van globale indeling tot gedetailleerd ontwerp”. Hierin zal het werk dat ik verricht heb worden uitgelegd en zullen de conclusies worden onderbouwd. In deze inleiding wordt eerst een algemene beschouwing gegeven over de achtergrond van deze opdracht bij het bedrijf PenWeld. Daarbij wordt het werk dat door andere studenten voorafgaand aan deze opdracht is gedaan kort samengevat. Orbitaal lassen is een manier van *TIG-lassen*. De lastechniek zal verder worden uitgelegd in paragraaf 1.2. Paragraaf 1.3 gaat dieper in op het werk bij PenWeld. Tot slot wordt in 1.4 het verloop van de opdracht kort beschreven.

1.1 Algemene beschouwing en opdracht

Mijn opdrachtgever, de heer René van Wieringen, is in zijn carrière enkele problemen tegengekomen in de huidige laswereld. Vooral bij het kops op elkaar lassen van buizen heeft de bestaande orbitale lastechniek enkele tekortkomingen, met name wanneer er hoge kwaliteitseisen aan de las gesteld worden. Dhr. van Wieringen heeft een nieuwe theorie bedacht op het gebied van meten en sturen van de las. Vanuit deze theorie wordt een nieuwe lasmethode ontwikkeld. Deze methode wordt toegepast in een nieuwe lijn van orbitale lasmachines. Hiervoor is het bedrijf PenWeld opgericht.

PenWeld is een jong bedrijf, dat een lijn van revolutionaire orbitale lasmachines uit wil brengen. Het doel van het bedrijf is om deze lijn te ontwikkelen, te produceren, te verkopen en zo de markt te penetreren met als uiteindelijke doel winst maken. Op het moment is de ontwikkeling van het eerste model, de PW-8, in volle gang. Later wordt de lijn uitgebreid naar meerdere modellen. Hoe orbitaal lassen in zijn werk gaat wordt uitgelegd in paragraaf 1.2

De markt waarin PenWeld wil intreden is die van het gecontroleerde lassen. De nieuw ontwikkelde methode kan een honderd procent garantie geven op een correcte las. PenWeld zal zich dan ook focussen op de drie sectoren waar dit van belang is: de voedings-, chemische- en farmaceutische industrie. De huidige lasmachines worden gebruikt door professionele lassers. Voor de methode die nu ontwikkeld wordt is alleen een gebruikerscertificaat nodig. Dit zal volgens dhr. van Wieringen een grote verschuiving in de laswereld veroorzaken.

De eerste stappen zijn gezet. Het bedrijf PenWeld is inmiddels twee jaar bezig om met behulp van studenten de PW-8 te realiseren. Voor mij hebben zes andere studenten aan de PW-8 gewerkt. Van belang voor deze opdracht is als eerste het ontwerp van de lastang, gemaakt door Laurens Kemp¹ een IO student van de UT. Een deel van deze lastang, het mechanische roteerhoofd, is verder ontwikkeld door een Duitse student van de HTS, Matthias Wissen². Hier is een prototype van gemaakt. Het ingenieursbureau Imotech is op dit moment bezig met de realisatie van de laskop. Zij hebben het model van Matthias Wissen aangepast.

Daarnaast heeft Fernand de Wolf³, een IO student van de UT, een functioneel ontwerp van de lasmachine gemaakt en een opzet voor de user-interface. In het functionele ontwerp zijn alle functies en interacties in kaart gebracht. Daarnaast is nog een student IO bezig geweest met het ontwikkelen van een speciale multistekker, maar dit project is niet afgerond.

Ten slotte hebben nog twee internationale studenten Elektrotechniek aan de ontwikkeling van de lasmethode gewerkt.

1. Gebruikaspecten en Productdesign Orbitale Lasmachine, bachelorverslag, Laurens Kemp, oktober 2009

2. Entwicklung einer geschlossenen Orbitalschweißzange, Matthias Wissen aus Borken, augustus 2010

3. Functioneel ontwerp & UI ontwerp, bachelorverslag Fernand de Wolf, oktober 2010

Mijn oorspronkelijke opdracht was het verder invullen van de componenten uit de basisunit van de PW-8, waarbij het einddoel het realiseren van een indeling was. Al gauw bleek dat de opdracht moest worden aangepast. Van de meeste onderdelen was niet meer informatie beschikbaar dan een omschrijving van de functies en de eisen. Met daarnaast een voorstel voor de componenten die daarvoor noodzakelijk zijn.

De eerste stap was het maken van een inventarisatielijst. Deze wordt besproken in hoofdstuk 2.1. Deze lijst geeft een compleet overzicht van alle componenten. Uit dat overzicht zijn het koel- en het gassysteem gekozen voor verdere uitwerking. Dit zijn essentiële onderdelen van het systeem en van groot belang voor het maken van een las. De opdracht hield verder in dat er contact met leveranciers zou worden gezocht om prijzen te vergelijken en om advies uit te brengen over de aanschaf van een waterpomp en een gastank. Ook voor het overleg met leveranciers was bij nader inzien te weinig relevante informatie over de componenten aanwezig binnen het project.

Om over de betreffende componenten te kunnen adviseren is besloten om het koelsysteem tot in detail te ontwikkelen.

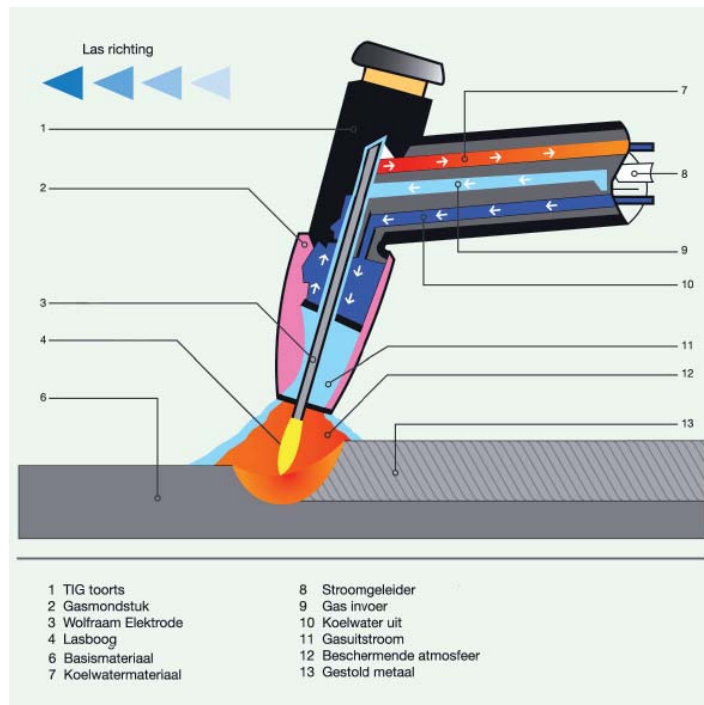
1.2 Lastechniek

TIG-lassen

TIG-lassen is één van de vele lasmethoden. De afkorting TIG-lassen staat voor Tungsten Inert Gas. Tungsten is de Engelse benaming van wolfraam. Dit is het materiaal waarvan de laselektrode gemaakt is. Een kenmerk van Wolfraam is dat het een zeer hoge smelttemperatuur heeft (3420 °C). Staal smelt bij temperaturen tussen de 1500°C en 2000°C. Bij het TIG-lassen smelt de wolfraamelektrode niet af. In sommige gevallen moet er handmatig materiaal toegevoegd worden. Met Inert Gas wordt bedoeld dat er een “shieldgas” (beschermgas *fig 1.2 nr. 11*) om de vlamboog heen zit. Het “shieldgas” verdrijft het zuurstof. Wanneer dit niet gedaan wordt tast het zuurstof het smeltbad aan, wat een slechte las tot gevolg heeft. Het metaal zal dan oxideren. Als “shieldgas” wordt voornamelijk argon gebruikt. Voor speciale doeleinden kan er ook helium of waterstof bij worden gemengd.

Bij het lassen wordt het te lassen object positief geladen en de elektrode negatief. Door een hoog wattage zullen elektroden een lasboog vormen. Deze kan bij het TIG-lassen zoals aangegeven een zeer hoge temperatuur bereiken. Door de bijzonder goed regelbare vlamboog leent TIG-lassen zich voor het maken van hoogwaardige lasverbindingen. Het is mogelijk om een kleine vlamboog te creëren. Hiermee zijn dunne materialen en aluminium goed te lassen.

In *figuur 1.2*⁴ is een doorsnede van een gekoelde TIG-laskop te zien. Er is duidelijk te zien dat er om de vlamboog een beschermende atmosfeer zit (*fig. 1.2 nr12*). Ook is te zien dat de koeling een gedeelte van de wolfraamelektrode koelt.



Figuur 1.2 Een gekoelde TIG-laskop

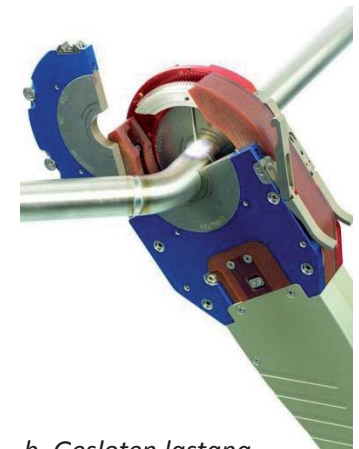
Orbitaal lassen

Orbitaal lassen is een lasmethode waarbij het materiaal stilstaat en de laselektrode zich automatisch voortbeweegt. Het is een semi-automatische

techniek die gebruikt wordt voor het gecontroleerd aan elkaar lassen van buizen. Er zijn verschillende soorten orbitale lasmachines: open tang en gesloten tang (*fig. 1.3*). Bij een open laskop (*a*) is er de mogelijkheid om materiaal toe te voegen aan de las. Ook heeft de open laskop een groter diameter bereik. Voor de PW-8 wordt een gesloten lastang (*b*) ontwikkeld. De gesloten tang wordt gebruikt voor kleine roestvrijstalen buizen waar een hoge nauwkeurigheid gewenst is.



Figuur 1.3 a. Open lastang



b. Gesloten lastang

Een orbitale machine bestaat uit twee onderdelen. Een basisunit en een lastang. In de basisunit bevinden zich o.a. transformatoren, een koelsysteem en de databehandeling. Ook zorgt deze voor de aansturing van de lastang. De lastang wordt om de buis geklemd en maakt de las. De lastang is met een multikabel verbonden aan het basisstation. Door deze kabel worden data, water, gas en elektriciteit getransporteerd. In *fig 1.1* is een impressie van de PW-8 te zien met hierin ook de multikabel.

4. <http://www.multiweld.com/tig-lassen.aspx>, jan 2010

Gebruik orbitaal lassen

Orbitaal lassen is in de jaren 60 ontwikkeld voor de ruimtevaartindustrie. Daar werden telkens hogere kwaliteitseisen aan een las gesteld en dit kon niet meer bereikt worden met handlassen. Met deze orbitale methode kon een kwaliteit behaald worden die met de hand niet haalbaar is.

In de jaren 80 werd het orbitaal lassen ook steeds meer in andere industrietakken gebruikt. Vanaf de jaren 80 heeft de machine zich ontwikkeld tot een universeel toepasbaar apparaat, dat ook op locatie gebruikt kan worden. Met behulp van computertoepassingen zijn de lasparameters tegenwoordig per situatie in te stellen. Zo kan een steeds hogere kwaliteit gegarandeerd worden. PenWeld streeft er naar een hoge kwaliteit las te maken.

Omgevingen waar hoge eisen aan een las gesteld worden zijn bijvoorbeeld: de voedselindustrie, de farmaceutische industrie en de chemische industrie. Een hoge eis aan een las stellen houdt in dat er een extreem gladde las aan de binnenkant van de buis noodzakelijk is. Ook mag er geen residu achterblijven. Een voorbeeld: Wanneer er bij Johma in de buizen voor het voedseltransport een slechte las gezet wordt, één waar een ongelijkheid in de buis zit, kan dit er voor zorgen dat er een kleine ophoping van de getransporteerde waar ontstaat. Dit kan een besmetting tot gevolg hebben, schimmel in deze situatie. Een gladde las is dus noodzakelijk.



1.3 PenWeld

De bacheloropdracht wordt uitgevoerd bij het bedrijf PenWeld bv. PenWeld is een nieuw bedrijf, dat een lijn van revolutionaire orbitale lasmachines wil uitbrengen. Het doel is om deze lijn te ontwikkelen, te produceren en te verkopen om zo in de markt te penetreren. Op dit moment is de ontwikkeling van

het eerste model de PW-8 in volle gang. Later wordt de lijn uitgebreid naar meerdere modellen.

René van Wieringen is de DGA van PenWeld en ook de directe praktijkbegeleider van de opdracht. Verder werkt er op dit moment een masterstudent van de faculteit Control Engineering aan de technische ontwikkeling van de lasmethode en houdt een Hbo-student zich bezig met de multistekker en de lastang.

Het bedrijf is gevestigd in gebouw Carré op het terrein van de UT. In het kantoor is een testopstelling aanwezig. Er zijn nu vier werkplekken waar dhr. van Wieringen en de twee andere studenten werken. Ook mijn werkplek was hier.

Het doel van PenWeld is het op de markt brengen van een nieuwe generatie orbitale lasmachines om kwalitatief hogere lassen af te leveren. De generatie PenWeld lasmachines zal starten met een middelgroot model, de PW-8. PenWeld vindt een goede voorbereiding belangrijk.

Het middelgrote model heeft o.a. een verrijdbare werkbank (*fig. 1.1*). Van dit model zijn nog geen dimensies beschikbaar. Wel is bekend dat deze bestaat uit een basisunit, een lastang en een kabel. De machine zal gaan verschillen van concurrerende machines op de volgende punten:

- Een verbeterde techniek, waardoor een betere las gecreëerd wordt op basis van de techniek van 2 octrooiaanvragen.
- Een simpele bediening die door een operator met certificaat uitgevoerd wordt en niet door een professionele lasser.
- Een intelligente machine die vooraf zichzelf instelt en afslaat bij een fout. Omdat er real-time gemeten en geregeld wordt is achteraf controleren niet nodig.

Het ontwerp van de PW-8 is op te delen in 3 onderdelen: de lastang, een multifunctionele stekker en het basisstation. De ontwikkeling van de drie onderdelen bevindt zich in verschillende fasen.

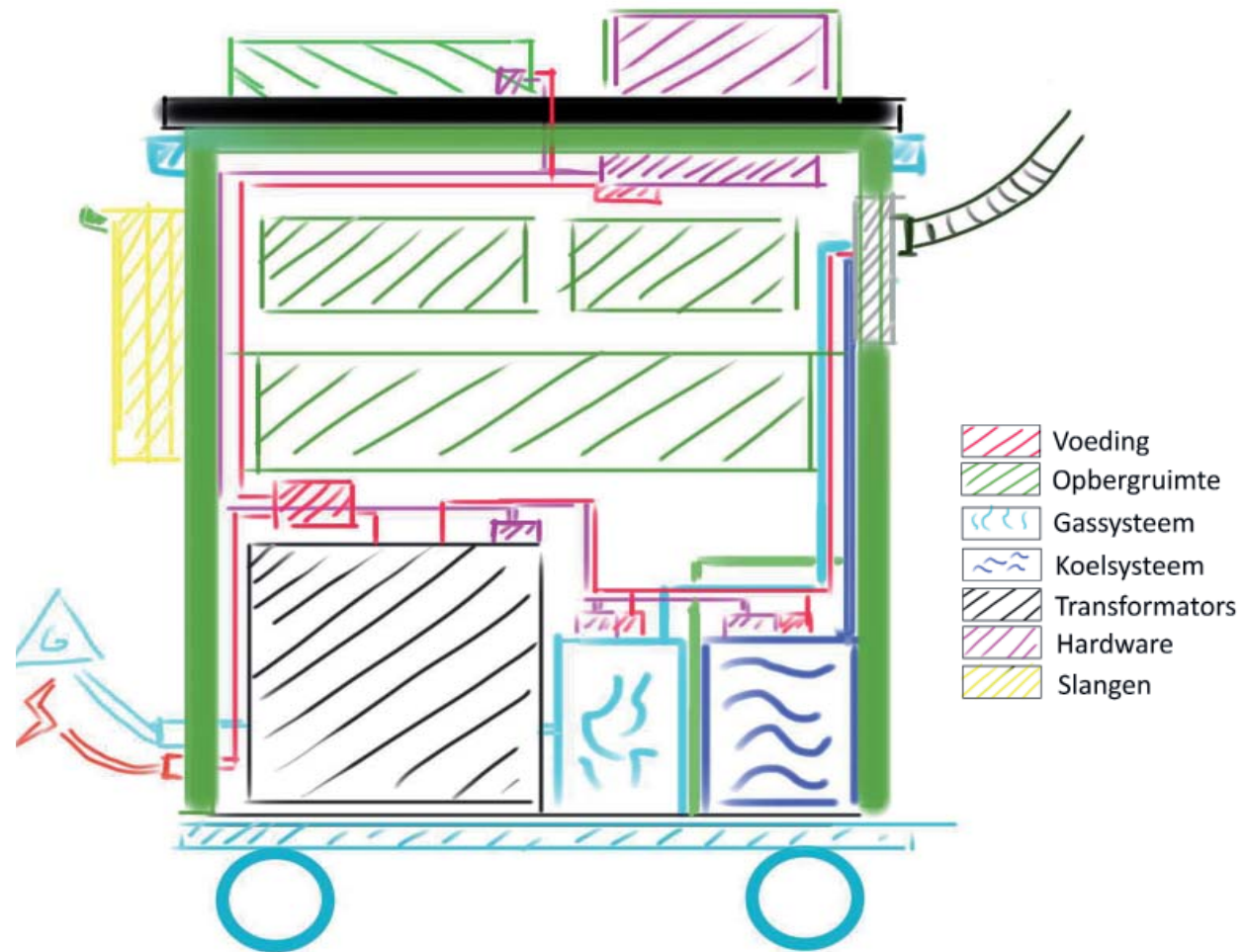
De lastang bevindt zich in de detailleringsfase. Het concept is gekozen en wordt momenteel door het ingenieursbureau Imotech ontwikkeld. Voor de ontwikkeling van het basisstation zijn pas de eerste stappen gezet. Het basisstation bevindt zich nu in de ontwerpfase. De functies zijn in kaart gebracht door een vorige student (Fernand de Wolf). Mijn opdracht zal hiermee verder gaan en het “functionele ontwerp” uitwerken in een concreet ontwerp.

Ook de multifunctionele stekker zit nog in de ontwerpfase. Hier heeft een student aan gewerkt. Dit onderzoek is echter niet afgerond.

1.4 Bacheloropdracht

Zoals omschreven in de algemene beschouwing (*paragraaf 1.1*) zijn er veel aanpassingen aan de opdracht geweest. Van een compleet ontwerp voor het binnenwerk van de PW-8 naar de ontwikkeling van het koelsysteem. Door deze vele aanpassingen is de doelstelling telkens weer veranderd. Uiteindelijk werd het doel van de opdracht: ontwerp en detailleer het koelsysteem voor de PW-8.

In dit verslag wordt in hoofdstuk 2 het materiaal uit voorgaande onderzoeken geanalyseerd. In hoofdstuk 3 wordt de warmtesituatie toegelicht. Vervolgens worden in hoofdstuk 4 de berekeningen uitgewerkt. Daarna volgt in hoofdstuk 5 het onderzoek naar de pompen. In hoofdstuk 6 worden de overige componenten en de mogelijke plaatsing besproken. Tenslotte volgen in hoofdstuk 7 de conclusies en aanbevelingen. In *Bijlage I* is het originele PvA bijgesloten.



Figuur 2.1 Abstracte inhoud impressie PW-8

2 Voorgaand werk aan de PW-8

2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk is het verslag van de eerste fase van de opdracht. Daarin zijn alle voorgaande werkzaamheden en rapporten, inclusief het extra materiaal en de presentaties over het PW-8 project uitvoerig geanalyseerd.

Het resultaat hiervan is dat alle componenten met betrekking tot het basisstation van de PW-8 per onderdeel systematisch in beeld zijn gebracht. Voor sommige onderdelen is geadviseerd een aantal componenten toe te voegen. In *figuur 2.1* is een abstracte PW-8 weergegeven. Hierin is de impressie uit *figuur 1.1* ingevuld met de in dit hoofdstuk genoemde onderdelen. In paragraaf 2.2 wordt het werk van voorgaande studenten besproken. In paragraaf 2.3. volgt per onderdeel een inventarisatie van de componenten en een analyse van de huidige stand van zaken ten aanzien van het ontwikkelproces. In 2.4 volgt ten slotte de conclusie over de haalbaarheid van de opdracht om de componenten te dimensioneren voor integratie in de basisunit van de PW-8.

2.2 Voorgaand onderzoek



Bezoek Bouman

Aan het begin van de opdracht is een bezoek gebracht aan de laswerkplaats van Bouman. Deze was gevestigd op de UT en bevond zich in 2 zeecontainers. Tijdens het bezoek is een duidelijk beeld ontstaan van hoe een orbitale lasmachine werkt en wat voor randvoorwaarden er nodig zijn. Zo is de voorbereiding vele malen belangrijker dan de las zelf. Een correct afgezaagde buis en een nauwkeurige plaatsing zijn van belang. Ook werd duidelijk dat bijna iedereen na een cursus een orbitale las kan maken. Voor een goede controle is nu nog veel tijd nodig. Dit wordt gedaan met o.a. röntgenapparatuur. Voor de

klus op de UT was dit echter niet noodzakelijk. De aanwezige lasmachine, het type PS164- van Polysoude werkte goed en heeft het formaat van 3 schoenendozen (*fig. 2.2*). Er waren nog wel een paar verbeterpunten. Zo heeft de zwaartekracht veel invloed op de las. Ook zijn de aansluitingen en instellingen nog niet geschikt om uitgevoerd te worden door een onervaren lasser. Deze kan wel een vooringesteld programma uitvoeren. In de werkplaatst was ook een ouder type lasmachine aanwezig (*fig. 2.3*). Deze was ongeveer 1,75m hoog en er was een trolley nodig om deze te verplaatsen.

Tot slot gaf de professionele lasser nog aan dat het heel handig zou zijn als er op een orbitale lasmachine een gewone lastoorts aangesloten kan worden. Dit zou veel gemak meebrengen, vooral bij het zetten van een hechtlas, de las om de buizen op hun plaatst te houden. Wanneer de machine door een onervaren lasser wordt gebruikt is dit weer minder van belang. In *Bijlage II* staat een volledig verslag van het bezoek aan Bouman.



Figuur 2.2

Figuur 2.3
----->



Voorgaande verslagen

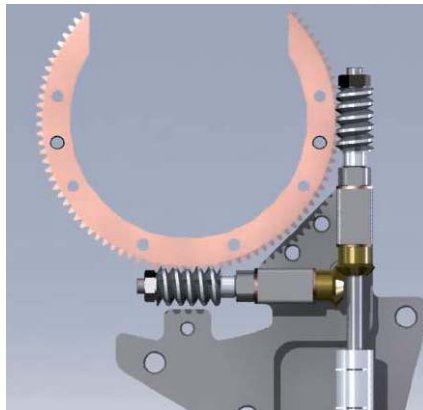
Na het bedrijfsbezoek zijn de verslagen van de voorgaande studenten uitvoerig bestudeerd. Laurens Kemp bespreekt in zijn verslag het ontwerp van de laskop. Ook besteedt hij aandacht aan de marktverkenning. Matthias Wissen is verder gegaan met zijn idee en heeft voor de laskop een draaimethode en de koelmethode ontwikkeld. Hij heeft zijn koelmethode op verschillende manieren getest, in de computer en op een model. Zijn resultaten worden besproken en in hoofdstuk 3 waar nodig aangevuld.

Daarnaast heeft Fernand de Wolf de functies die aan de koelmethode verbonden zitten in kaart gebracht. Hierbij zijn eisen geformuleerd. Deze zijn als uitgangspunt genomen voor de uitwerking van het koelsysteem. Vanuit de opdrachtgever zijn er ook nog enkele nieuwe eisen bij gekomen.

Koelmethode Matthias Wissen

Om een goede koeling te realiseren is het van belang dat duidelijk is wat er gekoeld moet worden. Matthias Wissen heeft het technisch ontwerp voor de laskop gemaakt. Ook heeft hij hier een kort warmteonderzoek naar gedaan. Hieronder worden de conclusies van zijn onderzoek gepresenteerd.

Matthias heeft eerst een ontwerp voor het roteersysteem gemaakt. Dit systeem zorgt ervoor dat de looper met hierop de laspunt in de behuizing rond draait. Hierdoor kan dus de orbitale las gezet worden. De aandrijving vindt plaats door middel van een conische tandwieloverbrenging en twee wormwielen (fig. 2.4).

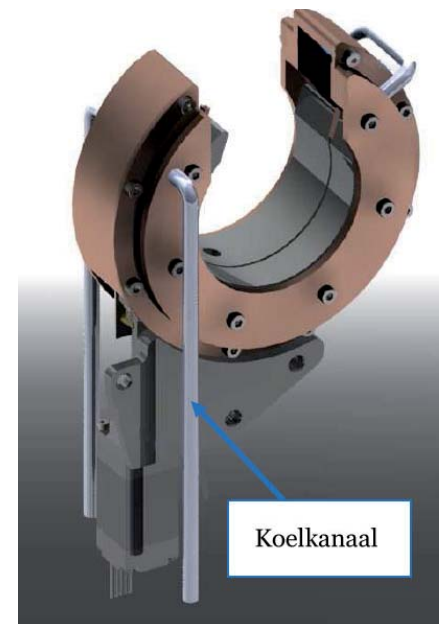


Figuur 2.4 Roteersysteem

Om dit roteersysteem is een behuizing gemaakt (fig 2.5). Vervolgens heeft hij onderzocht hoe de hitte, afkomstig van de laselektrode, zich verspreidt door deze behuizing. Dit is met twee methodes gedaan. Als eerste is een warmteanalyse gemaakt met het computerprogramma Solidworks. Vervolgens zijn er fysieke experimenten gedaan met een prototype.

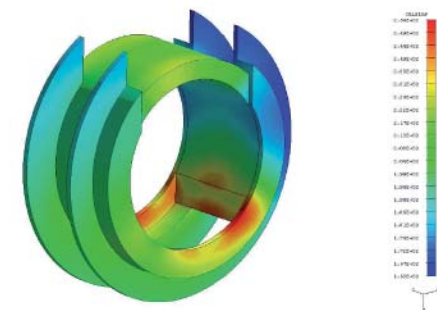
Resultaat computertesten

Op het model is een vermogen van 1500 Watt gezet, dit is ongeveer het vermogen dat de las simuleert¹. Met dit vermogen zijn twee lascycli van één minuut uitgevoerd. Bij dit vermogen zullen plekken in het model opwarmen tot maximaal 250 °C. In figuur 2.6 zijn deze plekken rood aangegeven. Deze temperaturen brengen schade aan het model, er wordt geconcludeerd dat koeling noodzakelijk is.



Figuur 2.5 Rotorsysteem in behuizing

Om het effect van de koeling aan te tonen is een tweede simulatie gedaan (fig. 2.7). Met koeling wordt de maximale temperatuur teruggebracht naar 140 °C.



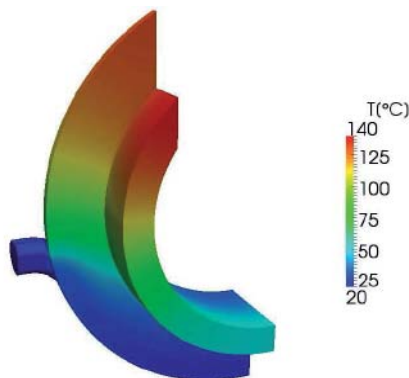
Figuur 2.6 Opwarming ongekoeld model

1.1 Entwicklung einer geschlossenen Orbitalschweißzange, Matthias Wissen aus Borken, Augustes 2010, p32

Deze tweede simulatie is echter beperkt. Zoals in de *figuur 2.7* te zien is wordt de simulatie slechts op een kwart van het model uitgevoerd. Hierdoor wordt er geen rekening gehouden met de mogelijke opwarming van de koelvloeistof. Bovendien loopt het koelkanaal alleen aan de onderkant van het model. In *figuur 2.7* is ook te zien dat de bovenkant rood is en de onderkant blauw. Daar waar de koeling loopt is er een temperatuur van rond de 40°C. De ongekoelde bovenkant heeft de maximum temperatuur van 140 °C . De conclusie dat de koeling de temperatuur terugbrengt naar 140 °C geeft dus een vertekend beeld. Op basis van deze conclusies heeft Matthias nog een aantal aanpassingen gemaakt aan de loop van het koelkanaal (*fig2.8*) waarvan uiteindelijk een prototype gebouwd is.

Resultaat prototype testen

Op het prototype zijn wederom testen uitgevoerd. Met een hittepistool werd het prototype opgewarmd. Van dit hittepistool zijn verder geen specificaties bekend. Ook niet op welke stand deze is gebruikt. Wanneer het model niet gekoeld werd liep de temperatuur in zes minuten op tot 90°C. Met koeling daalt de temperatuur tot 50°C. De koeling werd gerealiseerd door een slang



Figuur 2.7 Opwarming met koeling



2.8 Nieuw ontworpen koelkanaal

op de kraan aan te sluiten. De doorstroomsnelheid is geschat op 1 l/m. Er is niet getest wat verschillende doorstroomsnelheden voor gevolg hebben op de koeling.

Dit was een korte samenvatting van de werkzaamheden van Matthias. Voor een volledige beschrijving van zijn werk wordt verwezen naar de simulaties in *Bijlage III*. Omdat niet bekend is wat de doorstroomsnelheid voor de pomp is en welke druk de pomp moet leveren kan geen pompkeuze worden gemaakt. Ook zijn er niet genoeg gegevens om te kunnen concluderen wat de opwarming van de koelvloeistof is om een succesvolle koeling te realiseren. Deze gegevens zijn nodig om de tankgrootte en de noodzakelijkheid van een warmtewisselaar te bepalen. Er is besloten om niet opnieuw te testen. Het is namelijk noodzakelijk om eerst uit te zoeken wat een geschikte doorstroomsnelheid is. In hoofdstuk 3 zullen een aantal aanvullingen de Ausgangssituation creëren voor de berekeningen die in hoofdstuk 4 worden gedaan.

Eisen uit Fernands werk

Het doel van het koelsysteem is om de laskop te koelen zodat deze niet oververhit raakt, waardoor onderdelen beschadigen of kapot gaan. Er is sprake van een gesloten koelsysteem. Dit houdt in dat het koelwater tijdens het koelen het systeem niet verlaat. Er wordt dus een vooraf bepaalde hoeveelheid vloeistof rondgepompt. Deze zal na een bepaalde tijd ook vervangen moeten worden. Voor de berekeningen met betrekking tot het koelsysteem voor de PW-8 wordt uitgegaan van de koelvloeistof water.

Het koelsysteem bestaat uit verschillende onderdelen:

- Een pomp, met voldoende kracht om het water tot een hoogte van zes meter op te pompen.
- Een reservoir om een bepaalde hoeveelheid water rond te pompen. Het water moet in het reservoir opgeslagen worden.
- Leidingen, die voldoende soepel zijn en zeker niet lekken.

Of koeling van het reservoir noodzakelijk is dient onderzocht te worden. Het kan ook zo zijn dat door de aanwezige hoeveelheid water het systeem zichzelf voldoende koelt. Wanneer dit niet zo is zal er een radiator of een professionele warmtewisselaar aan het systeem worden toegevoegd.

In de *tabel 3.1* staan de eisen aan het koelsysteem. Fernand geeft in zijn stuk aan dat het verstandig is om een kant-en-klaar systeem te gebruiken. Of in ieder geval bestaande onderdelen die aan de eisen voldoen. Het is niet de bedoeling om eigen onderdelen te maken. Dit wordt vooral gedaan om kosten te besparen. De opdrachtgever heeft deze eis bevestigd. Het ontwikkelen van een eigen pomp of reservoir zou een te grote investering zijn en verspilde energie.

De eisen zijn in te delen in verschillende categorieën: de pomp, het reservoir, de vloeistof, kosten en veiligheid.

De meeste eisen omtrent de pomp komen uit Fernands werkstuk². Een pomp met verstelbaar vermogen heeft de voorkeur boven altijd draaien op maximaal vermogen. Het verstelbare vermogen vereist een aanstuurbare rondpompsnelheid. Gewenst is dat de machine automatisch de rondpompsnelheid kan aansturen.

De opdrachtgever kwam met de eis dat er op 6 meter hoogte gelast moet worden. Hij vindt het belangrijk dat de machine op de grond kan blijven staan en de operator met de tang op hoogte kan werken. Door deze eisen is er meer onderzoek nodig naar pompen. Er is bij een oude lasmachine gemeten hoelang de slang was. Deze bleek zelfs langer dan 6 meter te zijn. Door de eis van 6 meter vallen een hoop goedkope pompen af. Dit is in hoofdstuk 5 verder uitgewerkt. Een waterkolom van 10 meter geeft 1 bar druk. Om ook met inwendige druk rekening te houden is er geëist dat de pomp minimaal 2 bar moet leveren.

De opdrachtgever geeft aan dat hij graag een klein vloeistofreservoir wil. Er is besloten om in het eisenprogramma op te nemen dat er maximaal een reservoir van 3 liter in de PW-8 komt. Tevens dient de vloeistof vervangen te kunnen worden. Dit brengt een nieuwe eis met zich mee: het reservoir moet van buitenaf toegankelijk zijn. Daarnaast moet lekkage voorkomen worden. Om kortsluiting en interventie met elektronica tegen te gaan wordt het reservoir onderin de machine geplaatst. Ook geeft de opdrachtgever aan dat er bij voorkeur geen warmtewisselaar in de PW-8 geïntegreerd wordt.

². Functioneel ontwerp & UI ontwerp, bachelor verslag Fernand de Wolf, oktober 2010, p31-35

Categorie	Eis
Eisen Pomp	Verstelbaar vermogen
	Aanstuurbare rondpompsnelheid
	6 meter opvoerhoogte
	Minimaal vermogen 2l/ min
	Levert minimaal 2 bar
Eisen reservoir	Inhoud maximaal 3 liter
	Vul en leegbaar
	Geen lekkage bij aansluitingen
	Van buitenaf toegankelijk
	Meet koelvloeistofniveau
Koelvloeistof	Vervangbaar (aanvullen en aftappen)
	Warmt niet meer op dan 20 graden
Kosten & Veiligheid	Isolatie elektrische onderdelen
	Plaatsing reservoir onder in machine
	Geen ontwikkelkosten eigen onderdelen
	Wens
	Geen warmtewisselaar

Tabel 3.1 Eisen koelsysteem PW-8

2.3 Componenten

Nu het voorgaande werk bestudeerd is en de eisen zijn opgesteld wordt er een overzicht gegeven van welke onderdelen er interactie hebben met het basisstation. Tevens zullen de componenten die in deze onderdelen zitten genoemd worden. Dit overzicht bespreekt alle componenten uit de verslagen van Fernand, Laurens en Matthias die interactie hebben met het basisstation. *Figuur 2.1 (pagina 14)* geeft een idee van de plek in de PW-8. Er wordt per onderdeel kort aangegeven hoe ver de ontwikkeling is.

Lastang (de componenten die van belang zijn voor de basisunit)

Aansluiting multikabel
Ophangen/afleggen wanneer niet in gebruik
Opbergen 2e lastang
Kabel om spanning op multikabel te voorkomen
Opbergen verschillende lengtes van kabels, 3, 6 en 9 meter

De vormgeving van de basisunit wordt door deze componenten van de lastang beïnvloed. Belangrijk is onder andere de eis dat er ruimte moet zijn voor het opbergen van twee lastangen. Bij het bezoek aan Bouman bleek dat dit zeer grote koffers zijn (40cm x 20cm x 60cm). In deze koffers zit veel beschermend schuim, de tang mag absoluut niet beschadigen. Ook is er bij het bezoek aan de firma Bouman naar voren gekomen dat een professionele lasser het handig vindt om een TIG- toorts aan te kunnen sluiten op de orbitale lasmachine. Dit om een hechtlas te maken of een kleine fout te kunnen corrigeren. Er is nog geen aandacht besteed aan de inrichting en plaatsing van deze opbergruimtes.

Koelsysteem

Pomp
Tank/reservoir
Slangen voor binnen in de PW-8
Afsluiting voor het aanvullen en aftappen
Koppelstukjes (voor aanstuilingslangen)
Warmtewisselaar
- Radiateur
- Ventilator (voor koeling radiator)

De functie van het koelsysteem is het afkoelen van de lastang. Dit wordt gerealiseerd door een vloeistof rond te pompen. Bij het ontwerpen van de PW-8 zal er op gelet moeten worden dat de afsluiting voor het hervullen van de vloeistoftank op een goed toegankelijke plek zit. Er wordt in het verslag van Fernand de Wolf aangegeven dat de berekeningen nodig voor de geschikte pompkeuze geleverd worden door de Fachhochschule in Duitsland. Dit is het werk van Matthias Wissen. Zoals bleek uit paragraaf 2.2 moet hier nog meer aandacht aan worden besteed. Dit volgt in de volgende hoofdstukken.

Gassysteem

Manometer
Flowmeter
Regelaars voor gastoevoer – drukregelaars
Regelaars voor splitsing “backinggas” en “shieldgas”
Buffer
Uitgang backinggas

Verschillende verdrijvingsgereedschappen

- Een plug en persring

Uitgang “shieldgas” (in Multistekker)

Aansluiting gas(ingang)

Slang voor aanvoer gas

Gasfles *

*Optioneel wordt dit op de PW-8 gemonteerd. Het neemt veel ruimte in.

Er wordt per project besloten of “backinggas” uit dezelfde fles moet komen als het “shieldgas”, of dat het een aparte aansluiting is. In de huidige systemen wordt het “backinggas” niet geïntegreerd in de basisunit, omdat het een simpele taak is die gemakkelijk door een persoon rechtstreeks bediend kan worden. Ook kan er bij grote projecten sprake zijn van een globaal verdrijvings-systeem en zou het een overbodige optie zijn. Voor de PW-8 is het daarom niet nodig om het “backinggas” te integreren in het systeem. Tijdens de opdracht is er gesproken over een compact model. Dit model zou draagbaar en geschikt voor gebruik in kleine ruimtes moeten zijn. Vanuit dat gezichtspunt zou een geïntegreerd verdrijvingsysteem wel een interessante oplossing zijn, mits het een klein systeem is. Op de huidige testopstelling is een gassysteem aangesloten. Voor de PW-8 is verder nog geen onderzoek gedaan.

Transport

Hijsogen
Wielen
Assen
Remmen
Beugel voor voortbewegen
Vergrendeling

Omdat het over een machine gaat van meer dan 25 kilo mag deze volgens de Arbo-normen niet meer getild worden. Er zal dus een manier van transport uitgedacht moeten worden. Dit kan door de PW-8 op een trolley te zetten of door een systeem van assen en wielen te ontwikkelen waardoor de PW-8 verrijdbaar wordt.

Slijpinrichting

Roterende slijpsteen
Afzuigventilator
Houder voor elektrode
Speciale tank voor aanpakken elektrode

Een Unique Selling Point van de PW-8 is dat er in de lasmethode met driehoekig geslepen elektrodes wordt gewerkt³. Wanneer de elektrode afslijt tijdens het lassen dient deze geslepen te kunnen worden. Op de PW-8 zal daarom een slijpinrichting geïnstalleerd worden. Dit is een speciale slijpinstallatie, waarbij de elektrode slechts op één manier geslepen kan worden. De houder en de opbergplek voor de tang die de elektrode moet pakken dienen ook in de PW-8 aanwezig te zijn.

Computercomponenten

Touchscreendisplay
Knoppen
Toetsenbord
Elektriciteitstoevoer naar alle hardware componenten
Thermische printer – de APU 9347-b van Seiko instruments
Knop voor in/uitschakelen apparaat
Hoofd PC met o.a. de functies:
o Controleren temperatuur
o Drukmetingen
o Elektriciteit controle
o Stroomsnelheden pomp
o “Shield en backinggas” controle
o Up & down slope
Noodstop
Aansluiten USB
Aansluiten overige data (flash reader)
Aansluiting Printer

Voor de aansturing van alle onderdelen zijn een aantal hardware componenten nodig. Om een duidelijker beeld van de functies van de Main PC te krijgen wordt verwezen naar het schema in het verslag van Fernand. Daarin staat duidelijk aangegeven welke communicatie er plaatsvindt. Zie het figuur in *Bijlage IV*.

3. Functioneel ontwerp & UI ontwerp, bachelor verslag Fernand de Wolf, oktober 2010, p43

Transformator

Transformator
Ventilator
Bekabeling
USB serial convectors
Data acquisition unit

Over de transformator is nog weinig bekend. Voor een las is een goed regelbare spanningsbron nodig. Dat geldt ook voor de metingen in de laskop. Dit doet de data acquisition unit. De USB serial convector is voor communicatie met de transformatoren en de PC. Dit onderdeel vraagt nog veel ontwikkelwerk. De opdrachtgever heeft het plan om dit in Munster uit te laten voeren. Daar is een speciale opleiding Lastechniek. Ook houdt een master Elektrotechniek zich hier mee bezig.

Voedingscomponenten van de hele machine

Invoer 3 fasen stroom, 380V
Verplaatsing elektriciteit naar alle componenten
Transformator om in de verschillende componenten het geschikte voltage af te leveren
De multistekker
Aansluiting in de PW-8 naar multistekker (inner Shell)
Aansluitingen buitenkant van de PW-8 naar de stekker (outer Shell)

Voor de aansluiting van de meeste onderdelen is elektriciteit nodig. Voor verschillende onderdelen zoals de PC, de pomp en de printer zullen ook kleinere transformatoren aanwezig moeten zijn om het geschikte voltage te leveren.

Opbergruimte

Ruimte voor 2 tangen
Ruimte voor 6m multikabel + elektriciteitskabel + gastoevoer
Ruimte voor collets + verdrijvingsgereedschappen + enkele algemene gereedschappen
Ruimte voor nieuwe elektrodes + hulp gereedschap diepte instelling elektrode
Werkbank
Beugel
Vergrendeling/slot
Aftappen/aanvullen koelwater
"Bereikbaar maken" printer

In de PW-8 worden veel onderdelen opgeslagen. Voorgesteld is om nog eens kritisch naar de hoeveelheid te kijken. Is het bijvoorbeeld wel noodzakelijk dat er twee lastangen opgeslagen worden. De PW-8 zou door al deze opbergruimte een grote machine worden. De exacte afmetingen zijn nog niet berekend.

Ontwerp outer shell

Design
Integreren componenten en opbergruimtes

In een overleg met René van Wieringen is besloten om eerst de technische onderdelen uit te zoeken en aan de hand van deze dimensies een ontwerp te maken. Het ontwerp van de outer shell zal dan ook volledig afhankelijk zijn van het volume van alle componenten. Dat betekent dat deze pas aan het eind van het ontwerptraject gemaakt kan worden.

2.4 Verdere uitwerking

Het eerste doel, een volledige dimensionering en inrichting van de PW-8, bleek na dit onderzoek niet haalbaar. Er zijn teveel onderdelen waar geen of te weinig informatie over beschikbaar is. Van geen enkele component zijn verdere invullingen of dimensies beschikbaar. Daarom is besloten om voor deze bacheloropdracht twee specifieke onderdelen uit te werken: het koelsysteem en het gassysteem. Deze systemen zijn essentieel voor het goed functioneren van de PW-8. Wanneer er geen koelsysteem aanwezig is zal de tang oververhit raken. Wanneer er geen gassysteem is zal de las oxideren.

Omdat deze systemen belangrijk zijn is het noodzakelijk om grondig uit te zoeken hoe ze functioneren in de PW-8. Daarvoor is gebruik gemaakt van binnen het project beschikbare informatie. Aan de hand van deze informatie zal vervolgens naar geschikte componenten worden gezocht en ten slotte naar de dimensionering van deze componenten worden gekeken.

Het eerste onderdeel dat tot in detail zal worden uitgewerkt is het koelsysteem. Als basis wordt het model van Matthias Wissen genomen. Uit zijn werk bleek dat er nog veel onduidelijkheid heerst omtrent de warmteverspreiding en opwarming. Daarom zal eerst de warmteverspreiding op verschillende plaatsen in de laskop nader worden onderzocht. Aan de hand daarvan zullen berekeningen gedaan worden. Dit proces wordt beschreven in hoofdstuk 3 en 4. Al gauw bleek dat er niet voldoende tijd was om ook het gassysteem uit te zoeken. Deze bacheloropdracht gaat over het koelsysteem van de PW-8.

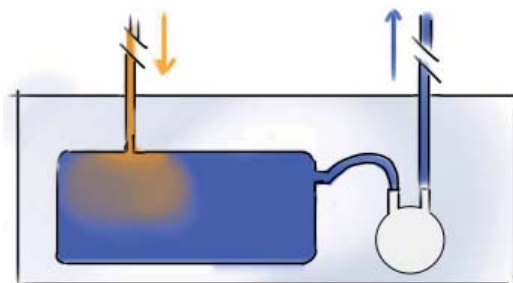


3 Warmteverspreiding in de laskop

3.1 Inleiding

In *figuur 3.1* is schematisch een deel van het koelsysteem weergegeven. Te zien zijn het reservoir en de pomp. Zoals is te zien stroomt de vloeistof vanuit het reservoir door de pomp. Via een lange leiding komt de vloeistof bij de laskop. Hier zal deze opwarmen en door een leiding worden teruggevoerd naar het reservoir. In het reservoir aangekomen zal de vloeistof de basistemperatuur van het reservoir verhogen.

Uitgezocht dient te worden hoeveel graden de vloeistof per las opwarmt in de laskop, hoeveel graden het reservoir opwarmt en hoeveel druk er nodig is om de gewenste hoeveelheid vloeistof in de laskop te krijgen. Dit wordt in de volgende hoofdstukken gedaan.



Figuur 3.1 Schematisch koelsysteem

In dit hoofdstuk zal een beeld worden gegeven van hoe de warmte zich in de laskop ontwikkelt. Wat noodzakelijk is om de opwarming van het koelwater te bepalen (oranje pijl in *figuur 3.1*). Dit wordt gedaan door te kijken hoeveel warmte daadwerkelijk ontstaat bij de las. Vervolgens wordt bekeken hoe dit zich in de laskop verspreidt. Wat zal leiden tot een conclusie ten aanzien van een benadering van de situatie in de laskop.

3.2 Warmteverspreiding in een laswerkstuk

Op basis van de simulatie van Matthias is een zeer grove aanname gedaan, namelijk dat het vermogen dat in warmte wordt omgezet 1500 Watt is. Een betere benadering voor de warmte die ontstaat bij het lassen van een buis wordt gegeven door Polysoude. Polysoude is de grootste speler op de markt van de orbitale lasmachines. De benadering wordt gegeven door de formule¹

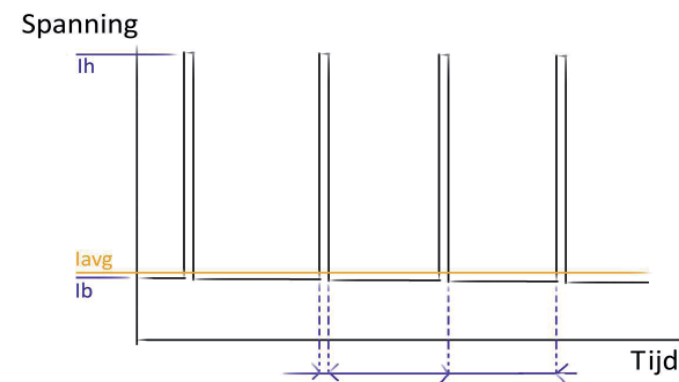
$$HI = (60 \times I \times U) / S$$

Hier is HI (J/mm) de heat input, I (a) de stroom, U (v) de spanning en S (mm/min) de snelheid waarmee de laskop om het werkstuk ronddraait. Omdat er met pulsen gelast wordt zit hier een variabele spanning in. Om hier rekening mee te houden is een gemiddelde spanning I_{avg} genomen. Deze spanning wordt bepaald met de volgende formule¹:

$$I_{avg} = (I_h \times T_h + I_b \times T_b) / T_{(b+h)}$$

In *figuur 3.2* zijn de verhoudingen tussen de up en downslope weergegeven.

I_h staat voor de stroomsterkte van de puls. I_b voor de downsterkte. T_h en T_b zijn respectievelijk de tijd van de pulse en de down.



3.5 Up en Downslope

1. The orbital welding handbook, Polysoude, 2010

Met de masterstudent Elektrotechniek die de lastesten uitvoert zijn de volgende data als uitgangspunt gekozen:

$$U=35\text{V} \quad I_h=350\text{A} \quad I_b=20\text{A} \quad T_h=800\mu\text{s} \quad T_b=999200\mu\text{s}$$

De omloopsnelheid S is 1.8 mm/s wat neerkomt op 108 mm/min.

Wanneer deze gegevens in de formule ingevoerd worden volgt $HI = 394.02$ Joule/mm.

Het lasbedrijf Poulysoude geeft aan dat 20-40% van de hitte opgaat aan straling naar de omgeving, opwarming van de lastorch en mee wordt gevoerd door het shield- en backinggas. In het totaal betekent dit dat de heat input tussen de 236 J/mm en 315 J/mm zit.

3.3 Meten van de warmteverspreiding

Om na te gaan of de heat input berekend in paragraaf 3.2 correct is dient er een meting gedaan te worden aan de testopstelling bij PenWeld. Er zijn drie methodes om de warmte afkomstig van het werkstuk te meten.

De eerste is met een vleesthermometer. Dit is een thermometer die in keukens gebruikt wordt om de warmte in het vlees te meten. Hiermee kan een eerste schatting worden gemaakt over welke temperaturen het gaat. In het te lassen werkstuk zullen deze temperaturen veel verschillen. De vleesthermometer is zeker niet de beste manier. Dit wordt alleen gedaan om een inschatting te maken om welke temperaturen het gaat.

Een tweede manier zou zijn door middel van thermokoppels. Met thermokoppels wordt de temperatuur gemeten via twee elektrodes. De eerste elektrode wordt op het materiaal geplaatst, de tweede op een referentietemperatuur. Door een spanningsverschil kan er dan bepaald worden wat de temperatuur in

het werkstuk is. Er zijn verschillende soorten thermokoppels. Met de gangbare thermokoppels van koper en chroom kan tot 400 °C of 1000 °C graden gemeten worden. Er zijn echter speciale koppels met een platina of wolframkern. Deze kunnen tot 1800°C of zelf 2300 °C graden meten. Gezien eerdere berekeningen zijn deze niet nodig.

De derde en laatste optie is een contourplot met een infraroodcamera. Bij een thermokoppel wordt de temperatuur op één punt gemeten. Maar met een IR-plot kan in één keer de temperatuur in het hele werkstuk in beeld gebracht worden. Op de UT is deze apparatuur aanwezig, maar nog niet geschikt voor de temperaturen die bij een las spelen. Het apparaat is gekalibreerd voor een temperatuur tot 400 °C graden. Het apparaat zou opnieuw gekalibreerd moeten worden, waarvoor een investering van enkele duizenden euro's nodig is. Deze informatie komt van Ton van den Boogaard. Hij is verantwoordelijk voor de IR-camera van de UT.

Om een volledig beeld te krijgen van de warmteverspreiding is de derde optie, een IR-plot, het beste. Daarmee zou in de tijd gekeken kunnen worden hoe de warmte zich door de buis en in de las verplaatst. Maar dit is een zeer dure oplossing. Een aantal metingen met een thermokoppel op de vlakke plaatjes die momenteel gelast worden zou een goed eerste beeld kunnen geven. Er zou dan op verschillende tijdstippen op één plek gemeten moeten worden wat de temperatuur is. Zo wordt de verandering in de tijd zichtbaar. Deze test zou op meerdere plekken uitgevoerd moeten worden om een beeld te krijgen van wat de temperatuur op verschillende afstanden van de las is.

In de laatste week van deze bacheloropdracht ontstond het idee om temperatuurmetingen op de testopstelling uit te voeren. Er zou op dat moment voor het eerst in 2011 weer gelast worden. Omdat het idee werd geopperd net

nadat de afspraken waren gemaakt over de deadlines voor het verslag, zijn er binnen deze bacheloropdracht geen testen meer uitgevoerd. Hierdoor zijn ook geen meetresultaten beschikbaar. Een goede stap voor PenWeld zou zijn om deze testen later alsnog uit te voeren met een thermokoppel.

3.4 Warmtesituatie in de laskop

Om de opwarming van het water in de laskop te kunnen bepalen wordt eerst gekeken naar de omgeving waar het water doorstroomt. In dit geval de laskop.

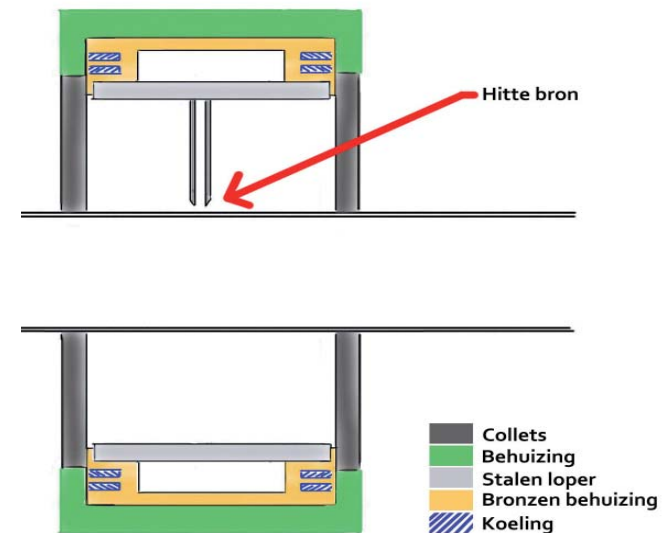
Het koelkanaal ontworpen door Matthias is geabstraheerd om er berekeningen op toe te kunnen passen. De koelvloeistof komt aan de onderkant het model binnen en nadat het door het hele werkstuk is geweest zal het aan de onderkant ook weer het werkstuk verlaten. In de tijd dat de vloeistof in de laskop is zal deze warmte opnemen.

Van de laskop met de collets is in *figuur 3.6* een doorsnede te zien. De collets zorgen voor de inklemming om de buis. In *Bijlage II, Bezoek Bouman* is een colletset te zien. In de collets zitten kleine ruimtes om het “shieldgas” door te laten. Bij de rode pijl verspreidt de warmte zich door de buis en de laskop. Dit gebeurt door middel van de drie methodes van warmteoverdracht.

Geleiding (fig 3.7)

Doordat metalen geleiden zal de warmte zich door de verschillende metalen verspreiden. Als eerste zal de warmte zich door de laspin naar boven transporteren. De laspin zit bevestigd in een geïsoleerde kamer. Zo zal de warmte niet in de laskop komen. Wel zal er door geleiding warmte in de buis (het werkstuk)

komen. Uit de vorige paragraaf blijkt dat dit ongeveer 300 J/mm is. Deze warmte komt door geleiding ook in de collets, die opwarmen en via de collets zal de warmte in de laskop komen.



Figuur 3.6 Schematische doorsnede laskop



Fig 3.7 geleiding

Straling (fig 3.8)

Elk object dat warm is en zich in een koelere omgeving bevindt zal deze warmte af willen staan aan zijn omgeving. In deze situatie zullen dus de laspin, de buis, de las en de collets de omgeving opwarmen door straling. Het vermogen van de las is vele malen hoger dan dat van de collets en zal dus ook veel meer straling veroorzaken.

Convectie (fig 3.9)

Convectie is de warmteverspreiding door de lucht. Doordat er stromen van gas aanwezig zijn in de laskop (het “shieldgas”) zal de warmte via de lucht in contact komen met de behuizing van de laskop. De luchtcirculatie zal de warmte verspreiden door de “cabine” die door de collets wordt gevormd (fig 3.6). Hierdoor warmt de laskop ook op. Slechts een deel van de warmte zal worden afgevoerd (20-40%).

De overdracht van de warmte in de laskop en de opwarming daarvan is een zeer complex verhaal. In dit stuk is alleen kort duidelijk gemaakt welke aspecten allemaal een rol spelen bij de opwarming. Dit als toevoeging op de benaderende simulatie van Matthias Wissen. Om een optimaal beeld te krijgen van de ontstane warmte zou er een nieuwe simulatie gedaan moeten worden met het nieuwe koelsysteem en de nieuwe gegevens.



Fig 3.8 straling



Fig 3.9 convectie

3.5 Conclusies

Uit dit onderzoek naar de warmtesituatie in de laskop blijkt dat het een complexe situatie is met veel variabelen. Er is op dit moment nog geen duidelijke conclusie te trekken over hoeveel warmte er gegenereerd wordt in de laskop tijdens een las. Matthias heeft de eerste stappen gezet met een warmte simulatie. Uit deze simulatie kwamen niet genoeg resultaten naar voren om de geschikte componenten voor het koelsysteem te kunnen kiezen. Wel geeft Matthias aan dat een temperatuur van boven de 90 °C schade toebrengt aan het model. Dit is een goede uitgangspositie voor het koelsysteem. Deze zal zo ontworpen worden dat bij een temperatuur van 90 °C graden van de laskop het koelsysteem niet oververhit raakt. Als koelvloeistof zal water gebruikt worden. Dit is in alle voorgaande simulaties en testen gedaan. Voor de berekeningen in hoofdstuk 4 wordt hier dus ook vanuit gegaan. Voor verder onderzoek naar de warmteontwikkeling zijn metingen nodig. De beste manier om de warmte in de testopstelling bij PenWeld te meten is door middel van een thermokoppel. Een IR-camera is een te dure optie en niet praktisch. Aan de hand van thermokoppels kan een volledig beeld gecreëerd worden.

Bij het afronden van de opdracht blijkt dat het koelontwerp van Matthias Wissen wordt aangepast. Het ingenieursbureau Imotech heeft het koelkanaal volledig veranderd. Het zit nu op een ander plek en heeft een andere constructie. De grootste invloed die deze verandering heeft is dat het contactoppervlak verhoogd is en er dus een betere warmteoverdracht kan plaatsvinden. De berekeningen in hoofdstuk 4 zijn uitgevoerd op basis van het model van Matthias Wissen. De aanpassingen van Imotech konden niet meer worden meegenomen, omdat de opdracht in de afrondende fase zat.

H4 Berekeningen

4.1 Inleiding

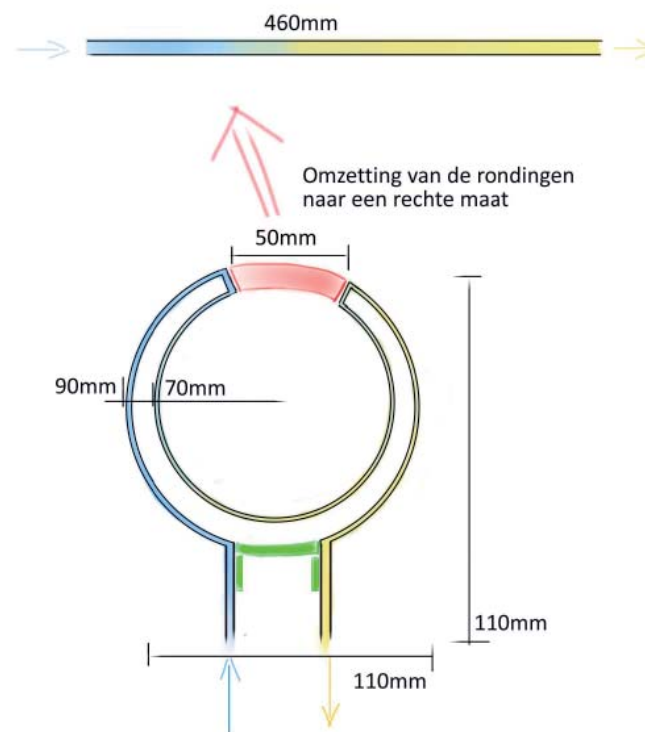
In dit hoofdstuk worden de berekeningen van het koelsysteem stap voor stap besproken. Bij elke formule zal worden stilgestaan om deze nader toe te lichten en te benadrukken wat het nut is van de toepassing. De berekeningen zijn uitgevoerd om de specifieke eisen van de pomp te kunnen bepalen. Het gaat hierbij om de pompsnelheid en de te leveren druk. De pompsnelheid wordt bepaald door de koeling in de laskop en de opwarming van het reservoir. Er moet worden voorkomen dat het reservoir een te hoge temperatuur krijgt. Hierdoor verliest namelijk het gehele koelsysteem zijn functie. Als het koelsysteem geen evenwichtssituatie aanneemt bij een lage temperatuur zal worden nagedacht over de toevoeging van een warmtewisselaar.

De oplossingsroute is als volgt. Als eerste worden de afmetingen van de laskop getransformeerd zodat hiermee gerekend kan worden. Dit is de benadering van de laskop. Daarna wordt de opwarming van de koelvloeistof in de laskop bepaald. Hiermee wordt de toegevoegde energie aan de koelvloeistof bepaald. Met deze energie kan de opwarming in het reservoir worden uitgerekend. Dit zal bepaald worden voor een breed scala aan pompsnelheden. Bij optimale snelheden wordt de benodigde druk berekend. Dit zijn namelijk de twee specifieke eisen voor de pomp: de pompsnelheid en de benodigde druk. Wanneer deze gegevens bekend zijn zal worden onderzocht welke pomp geschikt is voor de PW-8.

Bij dit document hoort de Excelsheet *Berekeningen aan het koelsysteem* in *Bijlage V*. Deze Excelsheet is een specifieke rekenmethode voor de ontwikkeling van het koelsysteem en is speciaal voor dit project ontwikkeld. In paragraaf 4.6 wordt toegelicht hoe de excelsheet gebruikt dient te worden. Er zal veelvuldig verwezen worden naar kolommen en numerieke resultaten.

4.2 Benadering van het koelkanaal in laskop

De eerste stap is het duidelijk in kaart brengen van de geometrie. In de berekening wordt gebruik gemaakt van een benadering van het koelkanaal. De complexe vorm van het koelkanaal zal omgezet worden naar een rechte en ronde buis. In *figuur 4.1* zijn de maten toegevoegd aan het abstracte model.



Figuur 4.1 Benadering koelkanaal

Eerst worden de binnen- en de buitenomtrek van het kanaal van de volledige cirkels bepaald.

Buitenomtrek grote cirkel: $2\pi r = 2\pi 45 = 90\pi \approx 283\text{mm}$

Binnenomtrek kleine cirkel: $2\pi r = 2\pi 35 = 70\pi \approx 220\text{mm}$

Zoals te zien is zijn het niet twee volledige cirkels. Aan de bovenkant van de cirkels zijn twee inkepingen (*rood gemarkeerd*) voor het invoeren van de te lassen buis. Deze inkeping is 4 cm. Dit wordt dus van beide omtrekken afgetrokken. Ook aan de onderkant van de cirkel ontbreekt een stuk. Dit is evenveel als er aan de linker en rechter zijkant zit (*groen gemarkeerd*) en heeft dus verder geen invloed op de lengte.

De lengte van een recht koelkanaal is $243+180=423\text{mm}$ wat 42cm is.

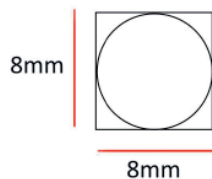
Het model in *figuur 4.1* is de basis voor de berekeningen.

Hydraulische diameter

De koelkanalen in de laskop zijn rechthoekig, terwijl alle berekeningen uitgaan van een cirkel. Daarom wordt de hydraulische diameter(D) bepaald. Dit is een benadering van een rechthoekig kanaal door een rond kanaal. *Figuur 4.2* toont de omzetting. De hydraulische diameter wordt bepaald met *formule 4.1*. Waarin a en b de lengte(a) en breedte(b) zijn.

$$D = 2 \frac{ab}{a + b}$$

Formule 4.1



Figuur 4.2

De maten van het koelkanaal zijn 8x8 mm respectievelijk a en b. Wanneer deze formule ingevuld wordt geeft dit het volgende resultaat (*formule 4.2*):

$$D = 2 \cdot \frac{8 \cdot 8}{8 + 8} = 2 \cdot \frac{64}{16} = 8 \text{ mm.}$$

Formule 4.2

De hydraulische diameter van het koelkanaal is dus 8 mm. Dat de waarden zo goed uit komen komt doordat het een vierkant is. Wanneer er sprake is van een rechthoek zullen de waarden niet zo “mooi” zijn.

Stroomsnelheden

Nu de geometrie bepaald is, is de volgende stap het bepalen van de rondpumpsnelheid in meter per seconde. Dit wordt gedaan omdat in de praktijk altijd over liter per minuut wordt gepraat, terwijl in de theorie met meter per seconde wordt gerekend. Om dit te doen is gebruik gemaakt van de massastroom. Dit is het gewicht van de vloeistof die wordt verplaatst. Het is letterlijk de massa die stroomt. De volgende formule (4.3) is voor de massastroom.

$$\dot{m} = \rho v A_c$$

Formule 4.3

Hierin is:

$\dot{m}$ de massastroom kg/s

ρ de dichtheid van de vloeistof kg/m³

v de rondpumpsnelheid m/s

A_c de oppervlakte van de cirkel waar het water door moet (*figuur 4.3*) m²

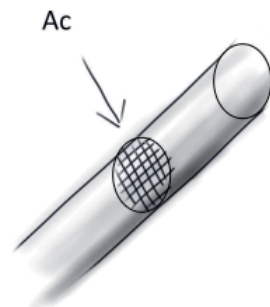
Omdat de snelheid gevraagd is wordt de formule (4.3) omgeschreven naar de volgende vorm (formule 4.4).

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho A_c} \quad \text{Formule 4.4}$$

In kolom E van de Excelsheet zijn de verschillende stroomsnelheden in ml/min te zien. Deze worden omgezet naar de massastroom door vermenigvuldiging met de dichtheid(ρ). Omdat de snelheid in meter/sec gevraagd is en niet in minuten dient dit nog gedeeld te worden door 60. De factor van minuten naar seconden (formule 4.5).

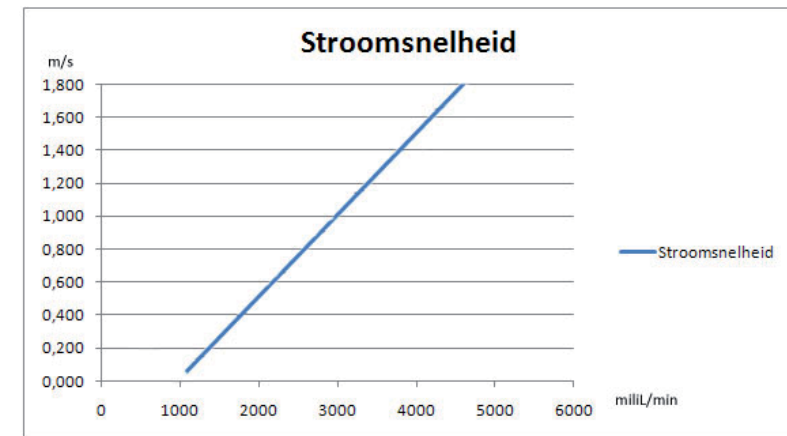
$$\dot{m} = \frac{\text{ml/min} \cdot \rho}{60} \quad \text{Formule 4.5}$$

In kolom F van de Excelsheet zijn alle uitgerekenende massastromen bij de desbetreffende snelheden te zien. Voordat de formule om de snelheid te bepalen wordt ingevuld moet ook A_c worden bepaald. A_c is de doorsnede van het koelkanaal (fig 4.3). Dit is een cirkel met een diameter van 8mm (de hydraulische diameter(D)) De berekening is dus de oppervlakte van een cirkel met een straal ($r=D/2$) van 4mm: $A_c = \pi r^2 = \pi \cdot 0.04^2$



Figuur 4.3

Vervolgens wordt de formule voor de snelheid uitgerekend. Dit is te zien in kolom G van de Excelsheet. Van deze berekening is het resultaat weergegeven in grafiek stroomsnelheid (grafiek 4.1).



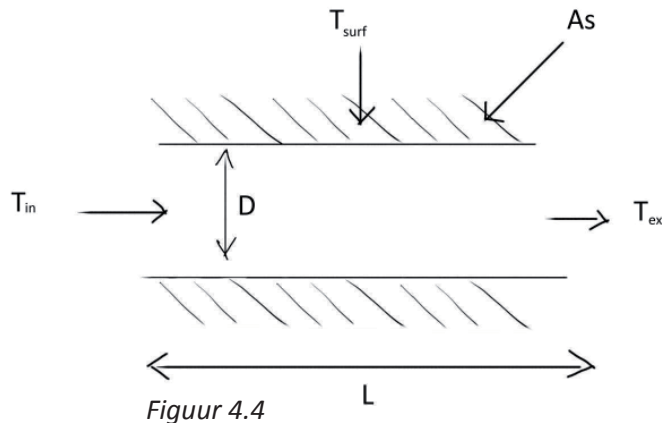
Grafiek 4.1

Met deze berekening zijn de voorwaarden voor de opwarming in de laskop bepaald. De geometrie, doorstroomsnelheid en omgevingstemperatuur zijn benaderd. In de volgende paragrafen worden de opwarming en afkoeling berekend.

4.3 Opwarming van het water in de laskop

Benadering van het koelkanaal in de laskop

De berekeningen in de volgende paragrafen proberen een zo goed mogelijke benadering van de werkelijkheid te geven. Berekeningen zijn in sommige gevallen minder nauwkeurig dan een test of een simulatie, maar kunnen wel een duidelijk eerste beeld geven van de situatie in de PW-8.



Figuur 4.4

Aan de hand van de vorige berekening kan er een schematische weergave van het koelkanaal (figuur 4.4) opgesteld worden, met daarin de belangrijkste temperaturen: de ingangstemperatuur (T_{in}), de exittemperatuur (T_{ex}) en de temperatuur van de omgeving (T_{surf}). De andere variabelen zijn: D , de hydraulische diameter; As , de oppervlakte van het koelkanaal en L , de lengte van het koelkanaal.

In de berekeningen wordt er vanuit gegaan dat er gekoeld wordt met water van 20°C. Bij binnenkomst in het koelkanaal is het water dus 20°C (T_{in}).

Uit de analyse van Matthias blijkt dat koeling noodzakelijk is. Bij zijn testen op een prototype werd aangegeven dat de kritieke temperatuur van het prototype 90°C is (zie paragraaf 3.3.) Het koelsysteem zou bij deze temperatuur nog moeten werken. Voor de omgevingstemperatuur (T_{surf}) wordt daarom 90°C gekozen.

Dicht bij de wand van het koelkanaal vindt de warmteoverdracht plaats. In het overgangsgebied wordt er van uitgegaan dat het water ook kort de temperatuur van 90°C bereikt. Dit zal later in de berekeningen worden toegelicht. Het is van belang om ook de fysische eigenschappen van het water van 90°C te weten. Daarom zijn deze toegevoegd in tabel 4.1.

Water	20 °C. (T_{in})	90 °C (T_{surf})
Het Prandtlgetal Pt	7.01	1.96
Specifieke warmte C_p	4182 J/kgK	4182 J/kgK
Thermische geleidbaarheid k_f	0.598 W/mk	0.598 W/mk
Dynamische viscositeit μ	$1,002 \cdot 10^{-3}$ Pa·s	$0.314 \cdot 10^{-3}$ Pa·s
Dichtheid ρ	998 kg/m ³	965 kg/m ³
Kinematische viscositeit $\nu = \mu/\rho$	$1.004 \cdot 10^{-6}$ m ² /s	$0.326 \cdot 10^{-6}$ m ² /s

Tabel 4.1²

Toelichting bij tabel 4.1

- Het Prandtlgetal is een ratio die de verhouding weergeeft tussen de impulsoverdracht en de waardeoverdracht. Deze is temperatuurafhankelijk.

2. Thermal-Fluid sciences, A.Cengel H.Turner, Heat transmission & fluid dynamics, 2001 p958, 999

- De soortelijke(specifieke) warmte is een grootte die de hoeveelheid warmte beschrijft die nodig is om een hoeveelheid één warmte-interval te verhogen. In deze situatie is het de benodigde hoeveelheid warmte-energie (in J) om één kg stof één graad in temperatuur te doen stijgen.
- Thermische geleidbaarheid is een constante die aangeeft hoe goed het materiaal warmte geleid.
- Dynamische viscositeit is de mate van vloeibaarheid van een vloeistof of gas, dit is afhankelijk van de temperatuur en de dichtheid.
- Dichtheid is de soortelijke massa van een materiaal en geeft aan hoeveel er van dit materiaal aanwezig is in een bepaald volume.
- De kinematische viscositeit is een verhouding tussen de dichtheid en de dynamische viscositeit.

Nu de benadering is gegeven wordt er een begin gemaakt met de berekening. De *formule (4.7)*³ dient als leidraad voor de berekening. In de formule komen T_{in} en T_{surf} samen, die met h de exittemperatuur(T_{ex}) geven. h is de warmte-overdrachtscoëfficiënt. Deze is lastig te bepalen en zal in dit hoofdstuk verder worden onderzocht. De andere elementen zijn A_s , de oppervlakte van de buis (het koelkanaal), $\dot{m}$ de massastroom en C_p de soortelijke warmte.

$$T_{ex} = T_{surf} - (T_{surf} - T_{in})e^{\frac{-hA_s}{\dot{m}C_p}} \quad \text{Formule 4.7}$$

De exittemperatuur wordt dus bepaald door het verschil tussen de ingangs- en oppervlaktetemperatuur te vermenigvuldigen met een e factor die afhangt van de oppervlakte, de hoeveelheid water, de opnamecapaciteit van dat water en de warmteoverdrachtscoëfficiënt.

3. Thermal-Fluid sciences, A.Cengel H.Turner, Heat transmission & fluid dynamics, 2001 p758

De warmteoverdrachtscoëfficiënt (h) is het getal dat de mate waarin warmte wordt overgedragen weergeeft. Het bepalen van de factor h is een ingewikkeld proces. Er zijn vele methodes voor. Hier wordt voor een benadering gekozen aan de hand van formules. Dit wordt gedaan door eerst het Reynoldsgetal(Re) te bepalen. Met het Reynoldsgetal wordt vervolgens het Nusseltgetal(Nu) bepaald. Met een co-relatie tussen het Nusseltgetal en de warmteoverdrachtscoëfficiënt wordt deze vervolgens bepaald. Hiermee kan een benadering van de exittemperatuur gegeven worden. Dit wordt in de volgende paragraaf gedaan.

Bepaling van Reynolds, Nusselt en de warmteoverdrachtscoëfficiënt

Als eerste zal het Reynoldsgetal bepaald worden. Dit is een dimensieloos getal, dat wordt gebruikt om te bepalen of een stroom laminair of turbulent is. Wanneer een stroom zich rustig rechtlijnig voorbeweegt is hij laminair. Als de stroom wild en onregelmatig beweegt dan is het turbulent.

Dit kan goed in beeld worden gebracht door de rook van een sigaret. In *figuur 4.5* is duidelijk te zien dat de stroom eerst rechtlijnig omhoog gaat en vervolgens wild verspreid. Hetzelfde gebeurt met een stroom in de buis. Er is sprake van een laminaire stroom wanneer het Reynolds-



Figuur 4.5

getal kleiner is dan 2300. Tussen 2300 en 4000 is er een transitiestroming. Dit houdt in dat de stroom willekeurig tussen laminair en turbulent wisselt. Als het Reynoldsgetal groter is dan 4000 is de stroom turbulent. De formule(4.8) voor het bepalen van het Reynoldsgetal is:

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad \text{Formule 4.8}$$

Hierin is v de stroomsnelheid van het water(m/s), D de diameter van de buis(m) en ν de kinematische viscositeit (m^2/s). De uitwerking van deze berekening staat in kolom H van de Excelsheet.

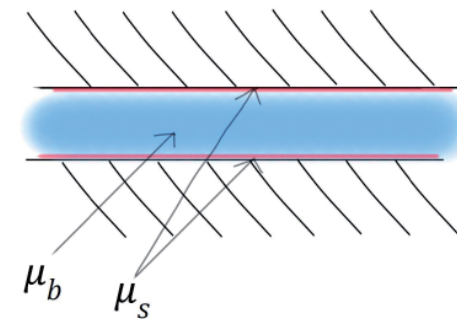
Tot een stroomsnelheid van ongeveer 800 milliliter per minuut is de stroom laminair. Tussen 800 milliliter per minuut en 1,5 liter per minuut is de stroom willekeurig. Na 3 liter per minuut is er sprake van een volledig ontwikkelde turbulente stroom. Tussen 1,5 liter per minuut en 3 liter per minuut is er sprake van een transitiestroming, het water zal bij deze snelheid wisselend laminair en turbulent zijn.

Het volgende getal dat bepaald wordt is het Nusseltgetal. Het Nusseltgetal is een relatie tussen het eerder besproken Prandtlgetal en Reynoldsgetal. Het Nusseltgetal vertegenwoordigt de temperatuursgradiënt bij het oppervlak van de warmteoverdracht. Het is een maat voor de warmte getransporteerd door het oppervlak⁴. Het Nusseltgetal wordt bepaald met de formule(4.9)⁵

$$Nu = 1.86 \left(\frac{Re \cdot Pt \cdot D}{L} \right)^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu_b}{\mu_s} \right)^{0.14} \quad \text{Formule 4.9}$$

Eerder is al aangegeven dat het eindresultaat van berekeningen een benadering is. In formule 4.9 is dit ook duidelijk terug te zien. In plaats van een directe bepaling wordt hier met een macht van 0.14 gerekend.

Re en Pt zijn het Reynolds- en Prandtlgetal. D is wederom de hydraulische diameter van de buis en L is de lengte van het koelkanaal. μ_b en μ_s zijn de dynamische viscositeit van de vloeistof van de bulk en aan de surface bij respectievelijk 20 en 90 graden. In figuur 4.6 wordt weergegeven waarom hier onderscheid in wordt gemaakt. Hier is duidelijk te zien dat het water een hogere temperatuur heeft bij het directe contact met de wand.



Figuur 4.6

De resultaten van het Nusseltgetal zijn weergegeven in kolom I van de Excelsheet. De bepaling van het Nusseltgetal verandert per stromingstype. Voor het overgangsgebied is er voor gekozen om met de laminaire benadering verder te gaan. Vanaf een Reynoldsgetal van 10.000 is er overgegaan op de benadering voor een volledig turbulente stroming. Dit is terug te zien in grafiek 4.2 en zal daar ook worden toegelicht.

4. http://nl.wikipedia.org/wiki/Getal_van_Nusselt, juni 2011

5. Thermal-Fluid sciences, A.Cengel H.Turner, Heat transmission & fluid dynamics, 2001 p761

Nu het Reynolds- en Nusseltgetal zijn bepaald kan de warmteoverdrachtscoëfficiënt worden bepaald. Deze wordt bepaald met de volgende relatie (*formule 4.10*). Deze wordt herschreven zodat h het resultaat is (*formule 4.11*).

$$Nu \equiv \frac{h \cdot D}{k_f} \quad \text{Formule 4.10}$$

$$h = \frac{Nu \cdot k_f}{D} \quad \text{Formule 4.11}$$

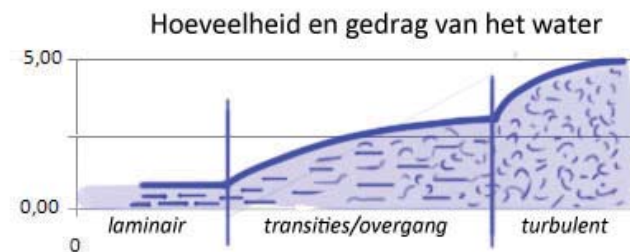
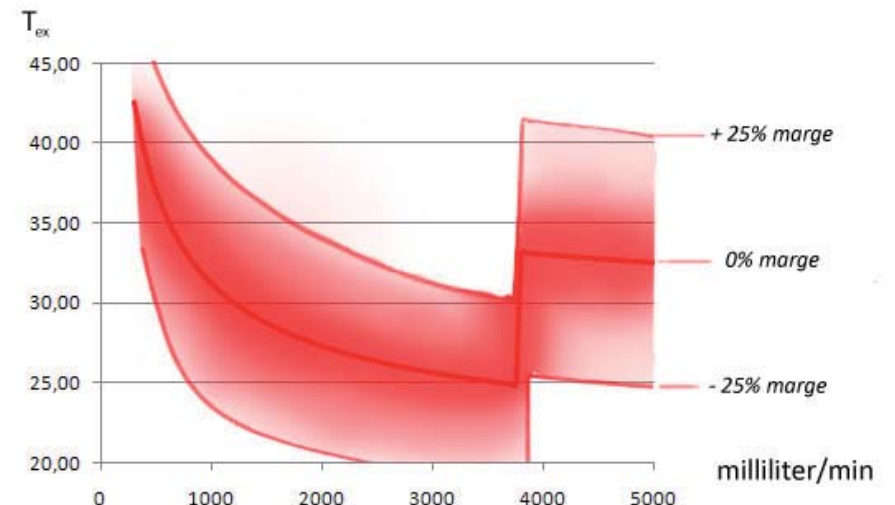
D is wederom de diameter van de buis en Nu het Nusseltgetal. K is de thermische geleidbaarheid. Hieruit volgt h. De waarden worden weergegeven in kolom J.

De exittemperatuur

De enige ontbrekende onbekende van de *formule 4.7* is A_s , het totaaloppervlak van het koelkanaal, de oppervlakte van een cilinder: $A_s = 2\pi rL$. r en L zijn de straal en lengte van het koelkanaal.

Nu alle onbekenden bekend zijn worden ze allemaal ingevuld in de formule. Het resultaat is weergegeven in kolom K van de *Excelsheet*. Tevens is een *grafiek (4.2)* gemaakt van de verhouding tussen de stroomsnelheid van het water en de exittemperatuur. Het eerste wat in het oog springt is de grote verspringing rond de 4 liter per minuut. Vanaf daar is de andere formule voor het Nusseltgetal gebruikt. Dit omdat de stroom volledig turbulent is. Wanneer een stroom turbulent is kan deze beter warmte opnemen. In de grafiek is het tegenovergestelde te zien. Deze grafiek laat namelijk de opwarming van het koelwater zien.

Exit temperatuur bij verschillende stroomsnelheden



Grafiek 4.2 exit temperatuur

Er wordt dus wel meer warmte opgenomen maar doordat er ook een grotere hoeveelheid wordt rondgepompt zal het water minder opwarmen. Onder de grafiek is aangegeven hoe de stroom zich gedraagt en de hoeveelheid is hierbij geïllustreerd. De formules die worden gebruikt zijn een benadering en kunnen een foutfactor van 25% hebben.⁶

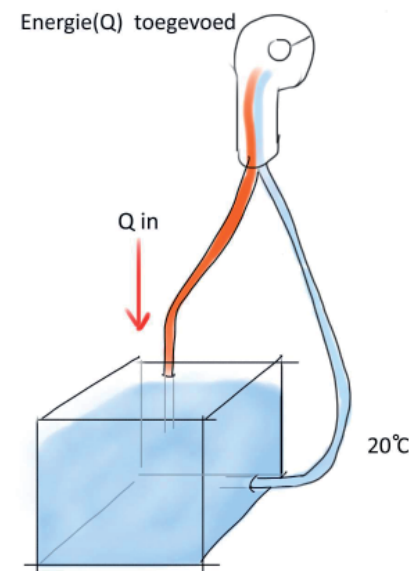
In *grafiek 4.2* wordt dit weergegeven met lichtrode uitloop. Het is dus nog steeds onzeker hoeveel de temperatuur precies stijgt. Wel kan worden aangenomen dat bij een stroomsnelheid tussen de 2 en 4 liter per minuut de exit-temperatuur tussen de 21 °C en 29 °C ligt. Er zal dus een opwarming tussen de 2 en 9 graden plaatsvinden. Voor de volgende berekeningen wordt aangenomen dat er een opwarming van 25°C optreedt. Dit omdat het een gemiddelde van de marges is en dus een heldere weergave zal opleveren.

4.4 Opwarming in het reservoir

Nu de opwarming van het water in de laskop is bepaald kan de opwarming van het reservoir worden onderzocht. Dit is van belang omdat voorkomen moet worden dat het reservoir oververhit raakt en zo de laskop niet meer kan koelen.

Als eerste stap zal de energie die in de laskop aan het water wordt toegevoegd worden bepaald. Vervolgens wordt deze energie toegevoegd aan het reservoir zie *figuur 4.7*. Om de energietoevoeging in de laskop te bepalen wordt eerst het logaritmisch temperatuurverschil berekend. Dit omdat er sprake is van 3 temperaturen, T_{in} , T_{surf} en T_{ex} zie het figuur in de vorige paragraaf. Dit is de formule voor het logaritmisch temperatuurverschil (*formule 4.12*).

6... Thermal-Fluid sciences, A.Cengel H.Turner, Heat transmission & fluid dynamics, 2001 p760-765



Figuur 4.7

De waarden zijn terug te vinden in *kolom M van de Excelsheet*. De waarden in de tabel zijn negatief. Dit kan worden verklaard doordat de surface afkoelt en een afkoeling negatief wordt weergegeven.

$$\Delta T_{Ln} = \frac{T_{ex} - T_{in}}{\ln \left(\frac{T_{surf} - T_{ex}}{T_{surf} - T_{in}} \right)} \quad \text{Formule 4.12}$$

Uit dit temperatuurverschil kan de energie worden bepaald(Q). Dit wordt gedaan met de *formule 4.13*. Hierin is Q het toegevoegde vermogen, h de warmteoverdrachtscoëfficiënt en T het logaritmisch temperatuurverschil. De resultaten staan in *kolom N van de Excelsheet*.

$$\dot{Q} = hA\Delta T_{Ln} \quad \text{Formule 4.13}$$

De laatste stap is de ontstane warmte toevoegen aan het reservoir. Er wordt hier uitgegaan van een klein reservoir van 2 liter. Voor de opwarming van het reservoir geldt de *formule 4.14*. Hierin zitten de massa van de vloeistof(m), de specifieke warmte(C_p), de energie(Q) en de opwarming (dT).

$$Q = mC_p\Delta T \quad \text{Formule 4.14}$$

Zoals omschreven in de inleiding duurt één las 60 seconden. Omdat in *kolom n* de waarden per seconde zijn dient hier Q te worden vermenigvuldigd met 60. In *kolom T* van de *Excelsheet* is de opwarming van het reservoir te zien.

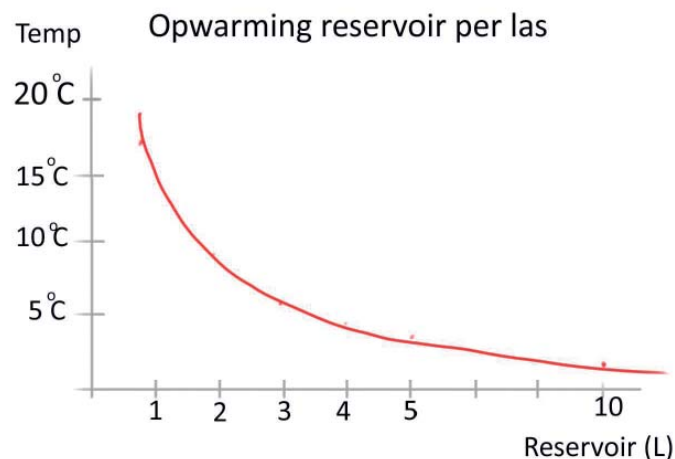
Conclusie

De sheet laat zien dat het water bij een hogere rondpompsnelheid meer opwarmt. Daar is de volgende verklaring voor: wanneer het water met een lage rondpompsnelheid langs de lastang komt, bijvoorbeeld 300 ml per minuut, zal er in één cyclus slechts 12% van het reservoir langskomen. Het water warmt

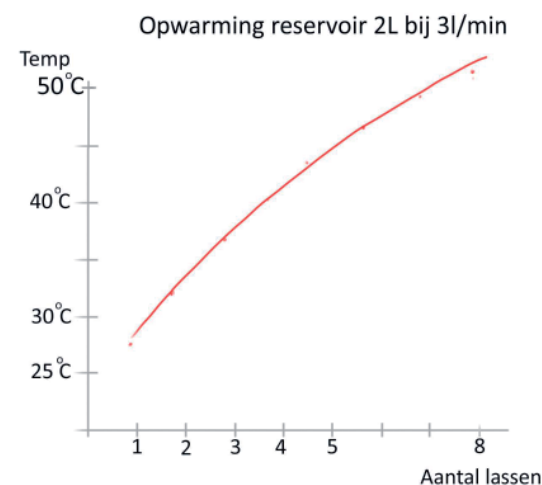
dan wel 45 graden op maar dat heeft in het reservoir slechts een gevolg van 3 graden opwarming. Bij een rondpompsnelheid van 3 liter per minuut wordt 150% van het reservoir langs de lastang gepompt. Dit warmt dan op tot 25 graden. Omdat het water voor een tweede keer langs de lastang komt zal het reservoir tot 8 graden opwarmen.

Een oplossing hiervoor is het vergroten van het reservoir van 2 liter naar 10. Er is dan een veel grotere capaciteit en de opwarming zal veel minder zijn. Een groot reservoir is echter niet gewenst in de PW-8 en daarom zal de oplossing ergens anders gezocht moeten worden. De invloed van de grootte van het reservoir op de opwarming wordt weergegeven in *grafiek 4.3*.

Een opwarming van 8 graden is te veel. Als er vijf lassen gemaakt worden zal het koelwater al opgewarmd zijn tot rond de 40 graden en kan het amper meer koelwater worden genoemd (*grafiek 4.4*). Daarom wordt gekeken naar de warmteafdracht van het systeem. In de volgende paragraaf wordt uitgezocht hoeveel vermogen de machine verliest aan ongeforceerde koeling.



Grafiek 4.3 opwarming reservoirs met verschillend volume bij 3l/min



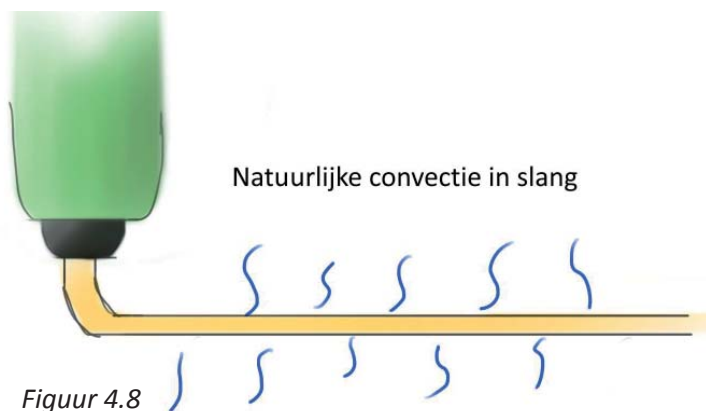
Grafiek 4.4 Opwarming reservoir 2 liter bij 3l/min

4.5 Warmteafdracht in het koelsysteem

Inleiding

De warmte verlaat op een aantal manieren het systeem. Dit gebeurt door warmteverlies in de leiding en door verlies in het reservoir. In deze paragraaf zal worden uitgezocht hoeveel warmteafdracht er plaatsvindt. Het is onbekend of natuurlijke convectie voldoende is voor het goed functioneren van het koelsysteem. Daarom worden zowel de natuurlijke convectie (afdracht zonder hulpmiddelen) als de geforceerde convectie (met een ventilator) onderzocht.

Er is onbekend hoeveel Watt er in de laskop gegenereerd wordt. Zoals in h3 is uitgelegd wordt vanuit de slechtste situatie gerekend. Dit is een temperatuur van 90 graden celcius van de laskop. Het koelsysteem moet in deze situatie in evenwicht zijn. Wat inhoudt dat het water in het reservoir niet opwarmt. De data worden uit de Excelsheet gehaald

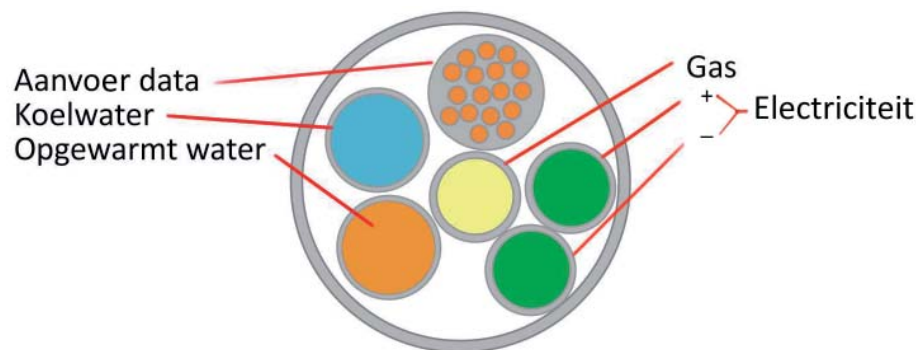


Als water van 20 °C met een snelheid van 3 liter/per minuut wordt rondgepompt, zal een vermogen van 1100W aan het water worden toegevoegd. Wordt er water van 65 °C rondgepompt, dan zal slechts een vermogen van 422W worden toegevoegd. In dat geval ligt het koelend vermogen dus aanzienlijk lager. Uit de laskop wordt bijna 3 keer minder warmte opgenomen. In de volgende alinea wordt beschreven hoeveel vermogen het water in de leiding en het reservoir afstaat aan zijn omgeving.

Verlies in de leiding

Het bepalen van de natuurlijke convectie in de leiding is minder eenvoudig als weergegeven in *figuur 4.8*. De leiding zit namelijk in de multikabel. In deze kabel zitten verschillende isolatielagen tussen de buitenlucht en de leiding (*fig 4.9*).

In deze multikabel lopen bovendien de kabels voor de data en de elektriciteit en de gasleiding. Het is niet aan te raden om hier een leiding met water van 65 graden door te laten stromen. Hierdoor warmt de kabel op, wat een negatieve invloed heeft op alle data die in de kabel wordt getransporteerd.



Figuur4.9 Mogelijke indeling multikabel

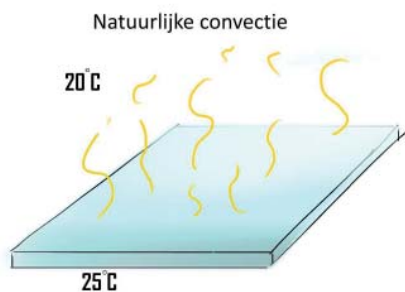
Om de afdracht te bepalen is een versimpelde berekening gedaan. Er is aangenomen dat de leiding 25 graden is en de omgeving 20 graden. Er is geen sprake van isolatie.

De warmteafdracht is hier slechts 5W in de totale leiding. In de geïsoleerde omgeving zal de afdracht in de leiding nog minder zijn en dus te verwaarlozen. Wanneer de temperatuur in de leiding 65 graden is, gaat het om een afdracht van 67W. Dat is nog steeds zeer weinig. Voor de berekeningen zie *Bijlage VI*.

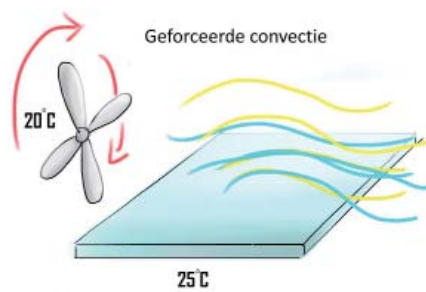
Verlies oppervlakte reservoir

Er wordt vanuit gegaan dat het reservoir een kubus met een inhoud van 2 liter is. Omdat ook het reservoir zelf natuurlijke convectie heeft wordt bepaald hoeveel warmte het reservoir afstaat.

De voorlopige dimensies zijn 20x10x10cm. Er wordt van een omgevingstemperatuur van 20 graden uitgegaan. De bovenkant van het reservoir staat 0.5 Watt af. Dit is de natuurlijke convectie op een plaatje van 20 bij 10 cm in een omgeving met een temperatuur van 20 graden (*fig 4.10*). Het reservoir heeft 6 zijden, maar we mogen er vanuit gaan dat slechts 2 zijden volledig



Figuur4.10



Figuur4.11

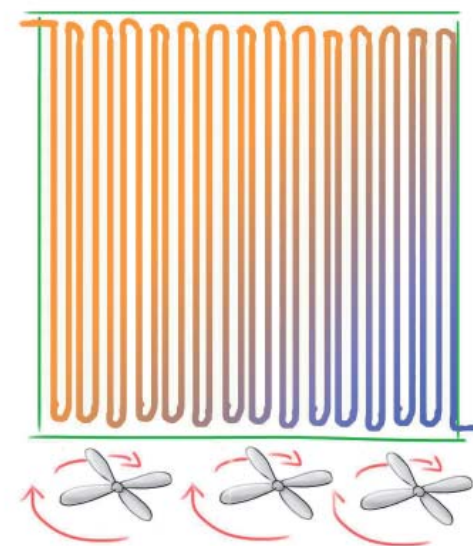
natuurlijke convectie ondervinden en dat de andere zijden volledig geïsoleerd zijn. Dit zou dus betekenen dat er 1 Watt afkoeling is.

Nog steeds is dit veel te laag om het grote vermogen dat gegenereerd wordt in de laskop op te kunnen vangen. Ook is onderzocht wat er gebeurt wanneer een ventilator voor koeling bij het reservoir geplaatst wordt. Met een snelheid van 5m/s wordt er lucht op het reservoir geblazen (*fig 4.11*). Dit heeft net als bij de slang niet veel effect. Er wordt nu 2.5 W uit het reservoir verwijderd. Voor de berekeningen zie *Bijlage VI*.

Door de achterwand van de PW-8 als warmtewisselaar te gebruiken ontstaat een mogelijkheid om de afdracht vele malen te verhogen (*fig 4.12*).

Door met kleine ventilatoren een dergelijk groot oppervlak af te koelen zal er meer warmteafdracht zijn. In *Bijlage VI* is berekend of dit een rendabele optie is.

Voor de leiding wordt van dezelfde situatie uitgegaan als bij de natuurlijke convectie. Ook over de leiding wordt met een ventilator koele lucht geblazen, wederom met een snelheid van 5m/s. Wanneer het water in de leiding 25 graden is en de omgeving 20 graden zal door deze manier van koelen een warmteverlies van 1.8 Watt per meter optreden.



Figuur4.12

Op een kabel van 6 meter zou dit dus 10,8 Watt zijn. Een verhoging van meer dan 100% ten opzichte van natuurlijke convectie. Om de toegevoegde warmte van de laskop op te kunnen vangen moet echter 1100 Watt opgevangen worden. Daarvoor zou 600 meter leiding nodig zijn, wat onmogelijk is. Als het water een temperatuur van 65 graden heeft verliest het 21 Watt per meter. Dan zou er nog 52 meter kabel nodig zijn.

De optie om de achterplaat te gebruiken als een warmtewisselaar is op deze manier, koeling door kleine ventilatoren, geen goede optie.

Conclusie

Zoals uit bovenstaande berekeningen blijkt kan de warmte die in de laskop gegenereerd wordt niet worden opgevangen met natuurlijk convectie. Ook met de plaatsing van een kleine ventilator (5m/s) valt de koeling niet op te lossen. Bij een opwarming naar 25 graden zal er in totaal nog geen 10 Watt afgedragen worden aan de omgeving, terwijl er 1100 Watt moet worden opgevangen. Het is dus zeker dat er een opwarming zal plaatsvinden.

Zoals eerder aangegeven is opwarming van koelwater naar 65 graden ook geen optie. Dit levert onwenselijke situaties op en een afname van het koelend vermogen met 300%.

Een betere oplossing lijkt het invoegen van een warmtewisselaar in de PW-8. Deze warmtewisselaar dient maximaal 1500 Watt op te vangen. Er is hier een marge van 40% aangehouden. Dit omdat de berekeningen zoals aangegeven ook deze marges hanteren. Deze warmtewisselaar is nodig om de zekerheid te creëren dat het koelsysteem nooit oververhit raakt.

4.6 Berekening van de druk

Nu de koeling is uitgewerkt dient alleen nog de druk in het systeem bepaald te worden om zo de eisen voor een geschikte pomp te vinden. De belangrijkste eis is dat er op een hoogte van zes meter nog gelast moet kunnen worden. Ook wordt er vanuit gegaan dat de diameter van de leiding waar de vloeistof doorheen stroomt minimaal 8 mm is. De koelvloeistof is water. Voor de daarbij behorende fysische eigenschappen zie *tabel 4.1 (pagina 30)*.

Er zijn twee verschillende types druk aanwezig in dit systeem:

- De hydrostatische druk, dit is de druk van de waterkolom.
- De wrijvingsdruk, deze wordt veroorzaakt door de binnenkant van de buis.

Hydrostatische druk

Als eerste zal de hydrostatische druk worden bepaald. Dit wordt gedaan met de volgende *formule (4.15)*

$$P_{hyd} = \rho gh \quad \text{Formule 4.15}$$

Hierin zijn:

p de dichtheid van water (998 kg/m³)

g de gravitatie kracht (9.81m/s²)

en h de opvoerhoogte (7 m).

De hydrostatische druk is in dit geval dus:

$$P_{hyd} = \rho gh = 998 \cdot 9.81 \cdot 7 \cong 70000 \text{ pa}$$

Voor de berekening is een hoogte van 7 meter genomen, omdat er naast de vereiste 6 meter ook in de PW-8 zelf bekabeling aanwezig is.

Wrijvingsdruk

De wrijvingsdruk is ingewikkelder om te bepalen. De formule is hier weergegeven (formule 4.16):

$$Pl = f \frac{L}{D} \frac{\rho v^2}{2} \quad \text{Formule 4.16}$$

De volgende factoren zijn te onderscheiden

L de lengte van het kanaal (m)

D de diameter (m)

v de snelheid waarmee het water wordt rondgepompt (m/s)

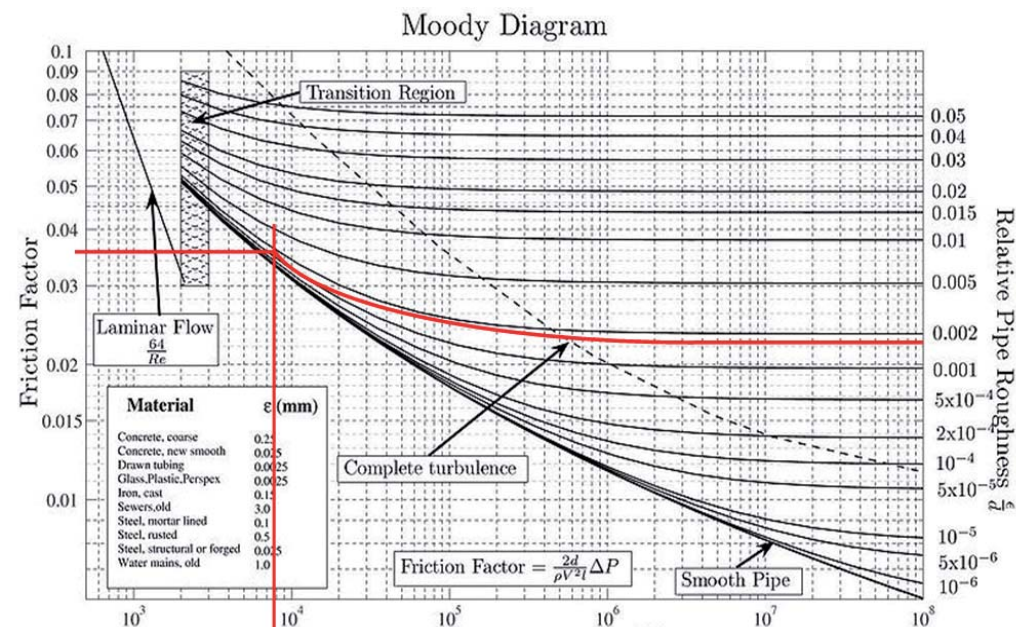
p de dichtheid van water (998 kg/m³)

en ten slotte de frictiefactor f.

De frictiefactor is een functie tussen het Reynoldsgetal en de relatieve pijpruwheid. Lewis Ferry Moody heeft een grafiek gemaakt die deze relatie weergeeft. Dit wordt het Moody Diagram genoemd. Deze is weergegeven in grafiek 4.6. Doordat de frictiefactor uit de grafiek moet worden afgelezen kan deze niet worden geïntegreerd in de Excelsheet. De berekening zal worden uitgevoerd voor de situatie met een rondpompsnelheid van 3l/min.

Voor de ruwheid is gekozen voor pvc en kunststofbuizen. De slang is aan de binnenkant gemaakt van een gladde kunststof, dus dat komt overeen.

$$\frac{e}{d} \sim \frac{0.007 \cdot 10^{-3}}{0.004} = 1.75 \cdot 10^{-3} \quad \text{Formule 4.17}$$



Grafiek 4.6

De ruwheid(e) is 0.0015– 0.007 · 10⁻³.⁷ De relatieve ruwheid wordt bepaald door dit te delen door de hydraulische diameter(d) (formule 4.17).

Het Reynoldsgetal is op te zoeken in kolom H van de Excelsheet. Bij een rondpompsnelheid van 3l/min (1m/s) is deze 7957. In het Moody Diagram wordt vervolgens de frictiefactor opgezocht. Af te lezen in de grafiek 4.6 is te dat de frictiefactor 0.035 is.

7. http://www.engineeringtoolbox.com/surface-roughness-ventilation-ducts-d_209.html

Vervolgens worden de variabelen ingevuld en de wrijvingsdruk bepaald. (formule 4.18) Deze is 3056 pa.

$$Pl = f \frac{L}{D} \frac{\rho V^2}{2} \sim \Delta Pl = 0.035 \frac{14}{0.08} \frac{998 \cdot 1^2}{2} \cong 3056 \text{ pa} \quad \text{Formule 4.18}$$

De totale druk bij een rondpompsnelheid van 3L/min is de hydrostatische druk samen met de wrijvingsdruk. Wat neerkomt op een druk van 73056Pa ~ 73KPa.

Conclusie

Er wordt gezocht naar een pomp die minimaal 100KPa kan leveren. Omdat er in de bekabeling in de PW-8 en in de overgang naar de lastang zeker extra druk zal ontstaan wordt een ruime marge genomen op de berekende 74 KPa. Hoofdstuk 5 beschrijft het onderzoek naar geschikte pompen.

4.7 Handleiding Excelsheet

In deze handleiding wordt besproken hoe de rekenmethode uit dit hoofdstuk ook aangepast kan worden aan nieuwe ontwerpen. Eerst zal worden toegelicht hoe de sheet gelezen moet worden

Het lezen van de excelsheet

De excelsheet is opgedeeld in 3 verschillende delen. Het eerste deel links bovenin (kolom A en C) toont de inputdata. Er wordt hier onderscheid gemaakt tussen data die met de koelvloeistof te maken hebben en data die met

het koelsysteem te maken hebben.

Het tweede deel bestaat uit de berekeningen (kolom e t/m o).

De berekeningen zijn uitgevoerd voor een breed scala aan stroomsnelheden van 300ml/min tot 5000ml/min. Zoals in de tekst is uitgelegd, wordt stapsgewijs de exittemperatuur en daaropvolgend de opwarming in het reservoir uitgelegd. In elke kolom wordt een formule toegepast met de data uit de sheet. In de tekst wordt uitgelegd welke formule en welke data voor de desbetreffende formule worden gebruikt. Om de sheet goed te begrijpen is het verstandig om de formules er bij te houden en zo te zien welke variabelen van invloed zijn.

Als men geïnteresseerd is in het Reynoldsgetal bij een stroomsnelheid van 1 l/min dan zoekt men dit op in kolom E en volgt de rij naar het Reynoldsgetal. Er is voor gekozen om de doorstroomsnelheid als bepalende factor te nemen om zo te zien wat voor invloed het vermogen van de pomp heeft op de mate van afkoeling.

Het derde deel is de visuele output. Deze grafieken blijven up to date, ook als men de input verandert.

Het aanpassen van de Excelsheet

Deze excelsheet is zo gemaakt dat de inputdata altijd veranderd kunnen worden. Wanneer er aanpassingen gemaakt zijn aan het model dan kunnen deze doorgevoerd worden in het 2de deel van de inputdata (temperaturen en diameters). Bijvoorbeeld wanneer de hydraulische diameter aangepast wordt, of de lengte van het koelkanaal. Wanneer de surface temperature geen 90 graden is of het koelwater toch warmer is dan 20 graden. Dit kan allemaal aangepast worden door dit te veranderen in kolom C. Wanneer er een korte berekening nodig is staat deze in kolom B.

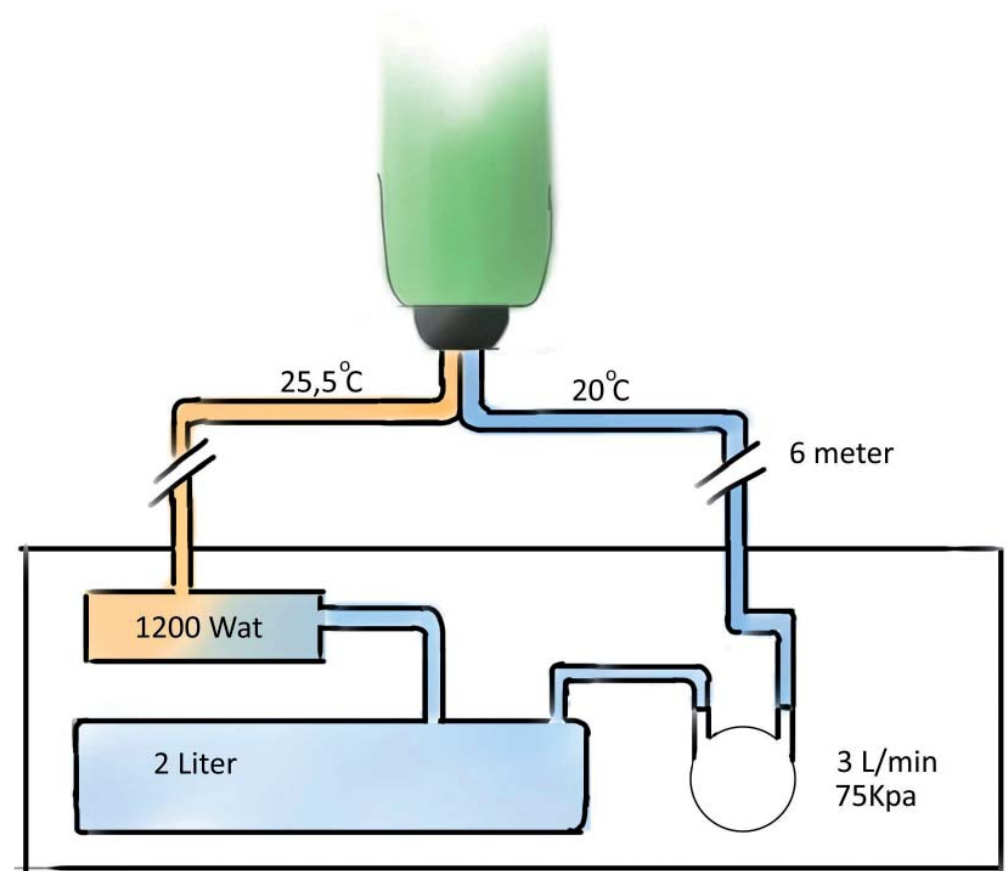
Daarnaast kan er ook besloten worden om in plaats van water een andere koelvloeistof te nemen. In het 1^{ste} deel van de inputdata kunnen dan alle karakteristieken van de desbetreffende koelvloeistof worden ingevuld.

Het 2de en 3de deel van de Excelsheet zullen zich automatisch aanpassen. Er zal dus aan de hand van deze Excelsheet direct een benadering van de exit-temperatuur zijn voor een breed scala aan rondpompsnelheden.

4.8 Conclusies

Om een goed onderbouwd advies te kunnen geven voor de aanschaf van een koelsysteem was het nodig om het beeld van de situatie rond het opwarmen en afkoelen van de PW-8 te verhelderen. De resultaten van het onderzoek naar opwarming, afkoeling en druk zijn weergegeven in *figuur 4.13*.

Zoals eerder aangegeven zijn dit resultaten van benaderende formules. Om meer zekerheid te krijgen is verder onderzoek naar de opwarming gewenst. Bijvoorbeeld in de vorm van een simulatie met de nieuw ontwikkelde laskop. De resultaten van dit onderzoek kunnen eenvoudig worden geïntegreerd in de Excelsheet 'berekeningen aan het koelkanaal'. Van deze Excelsheet kunnen de inputdata simpel worden aangepast zoals in de vorige paragraaf beschreven, zodat de exittemperatuur van elke leiding kan worden benaderd.



Figuur 4.13 Specificaties van het koelsysteem.



H5 Pompkeuze

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe bij de technische specificaties uit hoofdstuk vier een geschikte pomp is gezocht. Om tot een goede pompkeuze te kunnen komen is er een inventariserend onderzoek gedaan naar de werking en het aanbod van pompen.

In dit stuk wordt er naar twee technieken van pompen gekeken: Turbo- en verdringerpompen. Deze principes worden het meest toegepast in de huidige koelmachines. In de volgende paragrafen worden beide principes aan de hand van verschillende modellen besproken. Vervolgens wordt een overzicht gegeven van leveranciers, hun aanbod en verschillende prijsklassen. Tot slot volgt het advies voor de pomp in de PW-8.

De belangrijkste eisen waar de pomp aan moet voldoen staan in de tabel.

Eisen pomp
Minimale doorstroomsnelheid 1,5 liter per minuut
Minimale opvoerhoogte 7 m
Minimale druk 100 Kpa
Lekvrij
Moet water van minimaal 50 graden kunnen verpompen
Levensuur 20.000 uur
Wens
Zelf aanzuigend
Minder dan 50 Db

Voor dit koelsysteem wordt gezocht naar een pomp met een lage capaciteit en een hoge druk. Een lage capaciteit omdat er slechts een kleine hoeveelheid water wordt verpompt (maximaal 5 liter per minuut). Een pomp die 1000 liter per minuut verpompt is hier niet toepasbaar. Een hoge druk is noodzakelijk omdat er een opvoerhoogte van 7 meter is en er rekening gehouden moet worden met de extra druk van de wartmtewisselaar.

5.2 Turbopompen

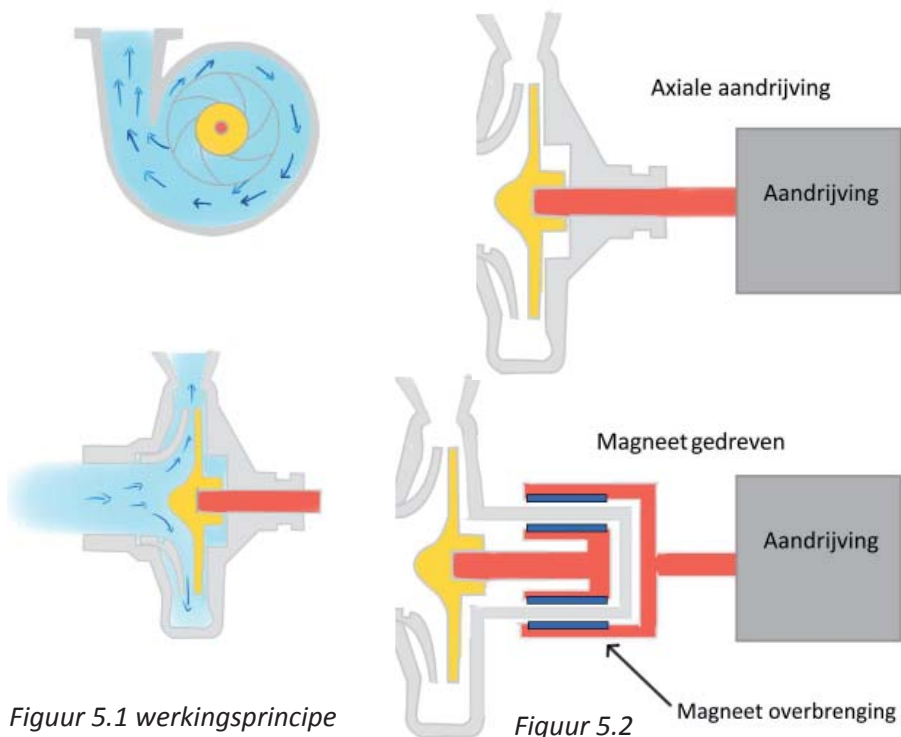
Bij een turbopomp draait een waaier, ook wel schoepenrad genoemd, in een pomphuis. Door dit draaien ontstaat er een centrifugale kracht, die het water voortbeweegt. De vorm en de bouw van het pomphuis en de waaier bepalen voor een groot gedeelte de capaciteit en de opvoerdruk en daarmee ook het stroomverbruik van de pomp.

De waaiers van de schoepen kunnen gebogen of recht zijn. Gebogen schoepen zorgen voor een beter pompendement. Dit vergroot de capaciteit en het vermogen, maar maakt de pomp ook duurder.

Wanneer het om een zeer geringe capaciteit gaat, zoals bij de PW-8, wegen de voordelen van het extra vermogen niet op tegen de extra kosten.

Voor PenWeld zijn twee typen turbopompen mogelijk interessant: de circulatiepomp en de dompelpomp. Deze type pompen hebben modellen die een capaciteit hebben die aansluit bij de eisen. Daarnaast worden circulatiepompen vaker gebruikt in een gesloten koelcircuit.

Circulatiepompen zijn er in allerlei soorten en maten. Het algemene werkingsprincipe wordt uitgebeeld in *figuur 5.1*. Het water wordt in het midden van een waaier aangezogen en door de centrifugale kracht van de waaier naar boven geperst. Er wordt onderscheid gemaakt tussen magneetgedreven pompen en normale (*fig 5.2*). Bij een magneetgedreven pomp wordt de motor niet rechtstreeks verbonden met de waaier. Dit is vooral handig in de chemische industrie, waar agressief materiaal in de behuizing wordt verpompt. De magneetgedreven pomp is gegarandeerd lekvrij. Voor PenWeld is het kleinste model interessant (20x15x15cm), vanwege de lage capaciteit en een relatief hoge druk.



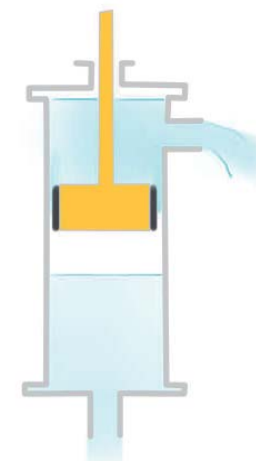
Dompelpompen worden gebruikt in aquaria en vijvers. Grotere dompelpompen worden gebruikt voor het leegpompen van ondergelopen kelders. Het belangrijkste kenmerk van een dompelpomp is dat deze onder water wordt geplaatst. In *figuur 5.3* is het principe van de dompelpomp weergegeven. De pomp perst het water door een filter omhoog. Het aanbod in circulatie- en dompelpompen met een lage capaciteit en een hoge druk is beperkt. Daarom zijn ook de mogelijkheden van verdringerpompen onderzocht.

5.3 Verdringerpompen

Verdringerpompen worden ook wel volumetrische pompen genoemd. Waar een turbopomp gebonden is aan een maximale opvoerhoogte, wordt bij een verdringerpomp gesproken over een maximale druk. Het grote verschil tussen beide types is dat een volumetrische pomp een kleine hoeveelheid vloeistof in de leiding perst, terwijl een turbopomp een constante stroom aanvoert. Eén van de oudste principes is de handbediende zuigerpomp. Deze wordt nog gebruikt in tuinen. De zuiger ligt onder water en zal telkens een gescheiden hoeveelheid water voortstuwten (*figuur 5.4*). Dit ver



Figuur 5.3 Dompelpomp



Figuur 5.4

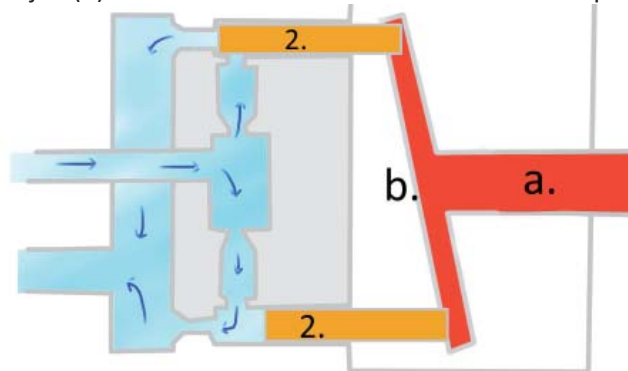
interessant voor de PW-8. De doseer-, plunjer-, schotten- en tandwielpomp zijn dat mogelijk wel. Deze vier principes zullen allen kort worden toegelicht.

De doseerpomp

Bij het eerste contact met pompfabrikanten werd geadviseerd om op zoek te gaan naar doseerpompen. Doseerpompen worden vooral in de chemische industrie gebruikt voor het verpompen van agressieve vloeistoffen. De pomp wordt gebruikt om een geringe hoeveelheid goed gecontroleerd te verpompen. De doseerpomp is in staat een hoge druk te leveren, maar heeft als nadeel dat de waterstroom schokkerig kan zijn. Eén bedrijf adviseerde deze pomp omdat PenWeld op zoek is naar een pomp waarmee berekeningen kunnen worden geverifieerd. Vanwege de schokkerige stroom water is de doseerpomp niet geschikt om in de PW-8 te integreren.

De plunjerpomp

Er zijn radiale en axiale plunjerpompen. In *figuur 5.5* wordt het werkingsprincipe van de axiale plunjerpomp uitgelegd. Op de aandrijf-as(a) staat een slagplaat(b). Deze slagplaat staat onder een hoek. Door aandrijving van deze as zullen de plunjers(2) om de beurt het water aanvoeren. De capaciteit kan

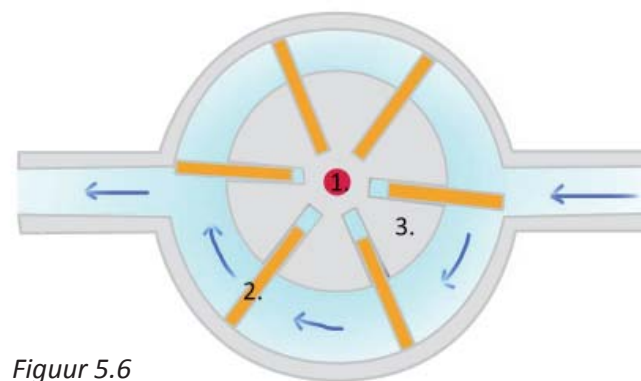


Figuur 5.5

worden ingesteld door de hoek van de slagplaat te veranderen. Met plunjerpompen kan een zeer hoge druk tot 300 bar gerealiseerd worden. De te verpompen capaciteit is afhankelijk van de slag grootte van een plunjer en de slagen per minuut. Deze pompen worden vooral gebruikt in de olie-industrie. Omdat van de plunjerpomp geen kleine types bestaan is deze niet geschikt voor de PW-8.

De schottenpomp

Bij een schottenpomp (*figuur 5.6*) is de aandrijving(1) excentrisch geplaatst in de behuizing. De schotten(2) zijn radiaal geplaatst op de aandrijfplaat(3). Tussen de aandrijfplaat(3), de behuizing en twee schotten ontstaat een kamer. Door de ronddraaiende beweging wordt de kamer vergroot en verkleind, waardoor de pompende werking ontstaat. Door deze manier van pompen wordt er een continue stroom vloeistof aangeleverd. Deze pompen zijn onderhoudsvriendelijk en in sommige uitvoeringen zelfaanzuigend. De pomp wordt in de middenklasse gezet, met in grote uitvoeringen een maximale druk tot 180 bar. In een kleine uitvoering is dit een geschikte pomp voor in de PW-8.



Figuur 5.6

De tandwielpompe

Bij een tandwielpompe (fig 5.7) wordt de vloeistof verpompt door tandwielen. Bij het binnenkomen van het water grijpen deze in elkaar(1). Het water wordt aan de buitenkant van de tandwielen getransporteerd(2). Doordat de tandwielen weer in elkaar grijpen wordt het water de leiding ingeperst(3). De tandwielpompe is zelfaanzuigend en heeft ook een constante stroom. De grotere tandwielpompen leveren een maximale druk van 140 bar. In de kleinere uitvoering is de tandwielpompe geschikt voor de PW-8.

5.4 Pompen, producenten en leveranciers

Voorafgaand aan de technische berekeningen en het inventariserend onderzoek naar pompen is eerst schriftelijk contact gezocht met een aantal bedrijven in de regio: Delta Pompen gevestigd in Oldenzaal, Veldhuis visvijvers, Tubantec uit Enschede, Teunis in Rijsen, Pumps and Parts een algemene leverancier, Wavo Pompen en Sonderman Pompen. De contactgegevens zijn gevonden via internet en de Gouden Gids.

Deze bedrijven zijn aangeschreven met de vraag of zij een pompe kunnen leveren met een opvoerhoogte van 7 meter voor het koelsysteem van een orbitale

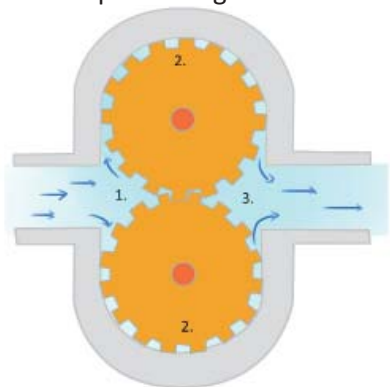
lasmachine. Op dit verzoek kwam weinig positieve respons. Delta Pompen adviseerde een doseerpompe, maar kon deze zelf niet leveren en wist verder ook geen spelers in die markt. Veldhuis gaf aan dat aquariumpompen eigenlijk nooit worden gebruikt in de technische sector, maar dat er willicht één tussen zit met een opvoerhoogte van 7 meter. Naar aanleiding van deze respons zijn in eerste instantie de aquarium- en dompelpompen nader bekeken. Van alle besproken pompen staan meer specificaties en performance curves in *Bijlage VII*.

Aquarium- en dompelpompen

Aquariumpompen kunnen onder water in een reservoir worden geplaatst. In principe zijn dit kleine dompelpompen. Bekende producenten van aquariumpompen zijn Eheim, Aquabee, Seba en ATK pompen.

Eheim is een leider op de markt. De Compact (fig 5.8) is één van de bekende modellen. Deze pompe heeft een hoge capaciteit en een lage opvoerhoogte van max. 3 meter. De pompen hebben een prijs van 25,- tot 100,- euro.

De iets zwaardere types, de 1046 en 1262 (fig5.9) kunnen meer water verplaatsen, van 10 liter per minuut tot bijna 60 liter per minuut. Van model 1046 is één exemplaar aangeschaft om mee te testen. Al snel bleek dat de



Figuur 5.7



Figuur 5.8



Figuur 5.9



Figuur 5.10

omschrijving klopte en de pomp het water niet hoger kreeg dan kniehoogte. In de zwaarste categorie aquariumpompen is het model van Aquabee (fig 5.10) bekeken. Deze heeft een opvoerhoogte van maximaal 5 meter met een maximum capaciteit van 100 liter per minuut.

Nadat duidelijk was dat de oplossing niet in de vijversector moest worden gezocht is gekeken bij de chemische- en voedingsindustrie. In de chemische industrie wordt gebruik gemaakt van circulatiepompen.

Circulatiepompen

Circulatiepompen zijn in allerlei soorten en maten te krijgen. Vooral in de bouw en in de industrie worden veel van deze pompen gebruikt. De leveranciers waar contact mee opgenomen is leveren vooral de grotere modellen. Er zijn ook kleinere modellen op de markt. Producenten hiervan zijn: Sepa, Iwaki, Poseidon en Gorman-Rupp.

Sepa levert een kleine pomp (figuur 5.11). Deze pomp kost 25 euro, verpompt 750 milliliter per minuut en heeft een opvoerhoogte van 1.2 meter. Het is duidelijk dat dit geen goede optie is.



Figuur 5.11



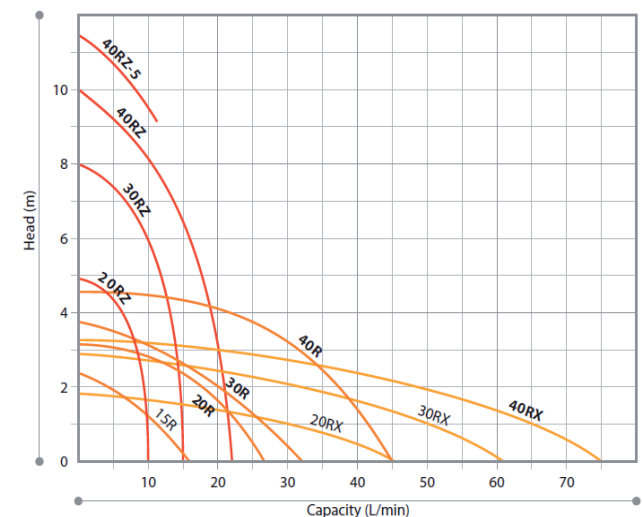
Figuur 5.12



Figuur 5.13

Iwaki is een producent uit Japan met verkooppunten in Europa. De pompen van Iwaki zijn corrosiebestendige pompen, die gemaakt worden voor de chemische industrie. Deze pompen hebben een lage capaciteit en een hoge opvoerhoogte. Sommige modellen zijn geschikt voor de PW-8. De types RD (fig 5.12) en MD (fig 5.13) voldoen aan de meeste eisen. In de grafieken zijn de performance curves te zien van de RD serie. Het model Rd-05h heeft een opvoerhoogte van 9 meter en een maximum capaciteit van 6 liter per minuut. Bij een rondpompsnelheid van 3 liter per minuut is de maximale opvoerhoogte iets meer dan 7 meter. De MD -30RZ heeft een max capaciteit van 15 liter per minuut en een opvoerhoogte van 8 meter. Bij 3 liter per minuut zal dit ook ongeveer 7 meter zijn. Dit is te zien in de performance curve (grafiek 5.1). Beide pompen kunnen worden gebruikt tot een maximale temperatuur van 40 graden.

Performance curves (50Hz)



Grafiek 5.1

Het verschil tussen de beide pompen is dat de MD-30RZ een magneetgedreven pomp is en een betere kwaliteit heeft. Deze pomp is iets duurder dan de Rd-05h. De prijs van beide types ligt rond de 200,- euro. Meer informatie over deze Iwaki-pompen is te vinden in *Bijlage VIII*, Iwaki brochure. Beide types lijken geschikt voor de PW-8.

Hoewel de Iwaki pompen voldoen aan de meeste eisen voor de PW-8 is op verzoek van de opdrachtgever verder onderzoek gedaan naar mogelijke leveranciers in de regio. Om nog gerichter te kunnen adviseren zijn er meer berekeningen gemaakt en ook andere soorten pompen onderzocht. Daarbij kwamen de schottenpompen en de tandwielpompen in beeld.

Schottenpompen

Fluid-o-tech is de producent van een veelgebruikte schottenpomp. Deze pomp staat ook bekend als de Rotoflow. De pomp heeft een maximum capaciteit van 250 liter per uur en kan een druk van 16 bar leveren. De Rotoflow is te zien in *figuur 5.14*. De pomp kan water tot een temperatuur van 70 graden verpompen. Deze pomp wordt toegepast in frisdrankautomaten, espressomachines en koelsystemen. Het belangrijkste kenmerk van deze pomp is dat hij water en minder agressieve vloeistoffen kan verpompen onder hoge druk en met een lage capaciteit.

Er is contact gezocht met het bedrijf PromoTec in Hilversum. Dit bedrijf verhandelt de Rotoflow in Nederland. PromoTec gaf aan dat het type PO 201 in bronzen uitvoering geschikt is voor de gestelde eisen. De pomp loopt op 3/400V met een 50Hz motor. De netto prijs voor deze pomp inclusief motor is 220,- euro. De RVS uitvoering de PO211 kost 290,-. Een RVS uitvoering is beter bestand tegen agressieve vloeistoffen. De beide pompen zijn zelfaanzuigend. Voor een datasheet van beide pompen zie *Bijlage VIII*. De Rotoflow lijkt een geschikte pomp voor de PW-8.



Figuur 5.14



Figuur 5.15



Figuur 5.16

Tandwielpompen

Kavan produceert goedkope tandwielpompen. Dit is een pomp in een messing behuizing en kost slechts 25 euro (fig 5.15). Deze pomp levert echter een druk van 3.5 Kpa waar 100 Kpa gewenst is. Ook wordt er in recensies vermeld dat deze pomp zeer snel vastloopt. Deze pomp is ongeschikt voor in de PW-8. Een betere optie is de magneetgedreven tandwielpompe van Fluid-O-tech. Deze heeft een capaciteit van 2,5 liter per minuut en levert een druk tot 20 bar. In figuur (5.16) wordt de pomp weergegeven. In de performance curve is te zien dat het model MG213 een geschikte optie is.

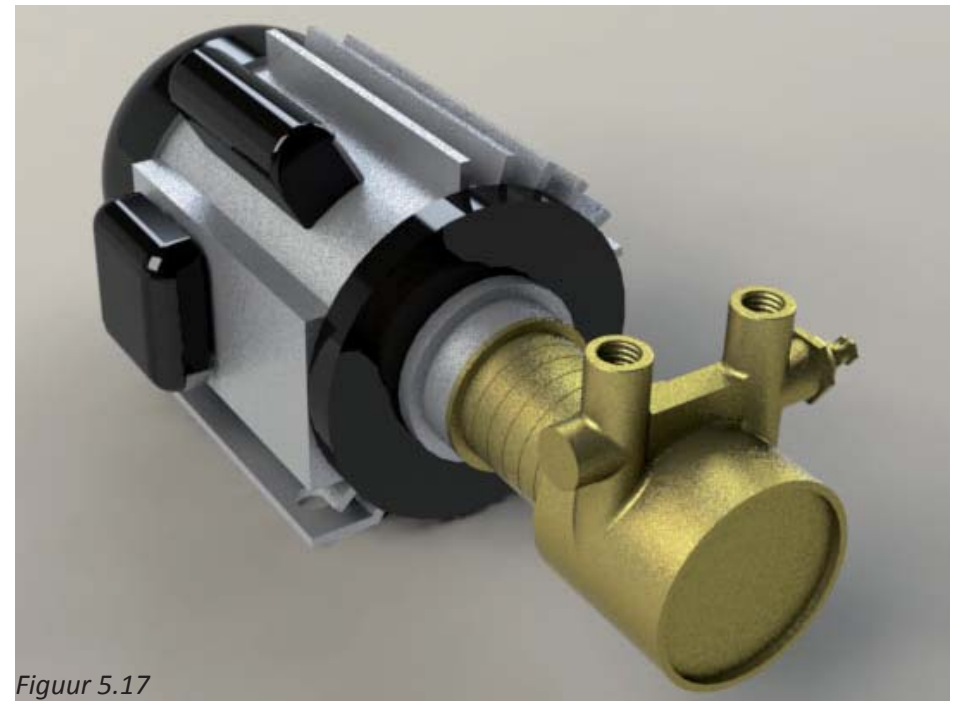
Bij PromTec is ook voor deze pomp een offerte aangevraagd. Deze pomp inclusief motor kost meer dan 400,- euro in de bronzen uitvoering. De RVS uitvoering heeft een nog hogere prijs. Deze pompen hebben een levertijd van ongeveer 6 weken. Het nadeel van deze pomp is dat de capaciteit net niet voldoet aan de eisen.

5.5 Conclusies

In het koelsysteem van de PW-8 is een hoge druk gewenst bij een lage capaciteit. Dit komt bij de turbopompen zelden voor. Aquariumpompen voldoen zeker niet aan deze eis. Daarom is gezocht naar een andere oplossing. Deze is gevonden bij de Rotoflow, een schottenpompe. Het model PO-201 in de bronzen uitvoering is verkrijgbaar bij PromoTec in Hilversum. Dit is een goede optie om in een prototype voor de PW-8 te installeren. Het is een low budget pomp die aan alle gestelde eisen voldoet. In figuur 5.17 is een render van de motor en de pomp te zien. Een nadeel van deze pomp is de stroomaansluiting. Deze pomp vereist namelijk krachtstroom. Maar in principe is die reeds aanwezig in de PW-8. De afmeting van deze pomp + motor is 25x10x12cm. Mocht de integratie van de Rotoflow toch tot problemen leiden dan is de

pomp van Iwaki een goed alternatief. De modellen Rd-05h en MD-30RZ voldoen beide aan de gestelde eisen. Van deze twee zou de beste optie de magneetgedreven pomp zijn (MD-30RZ). Deze geeft de garantie nooit te lekken. Wat zeer belangrijk is in de PW-8. De afmetingen van deze magneetgedreven pomp is 25x15x15 cm. Voor het prototype is de aanschaf van Rotoflow type PO-201 van Promtec de beste optie. Hij voldoet aan de eisen, is low budget en kan binnen een paar dagen worden geleverd.

In Bijlage VIII zijn de brochures van de verschillende Iwaki en Fluid-o-tech pompen opgenomen.



Figuur 5.17

Aanbeveling

Om zekerheid te krijgen of de PO-201 pomp van Fluid-o-Tech het gewenste resultaat levert is het aan te raden om een 2-tal testen uit te voeren.

De eerste test is een praktische test om te verifiëren of de opvoerhoogte van 6 meter daadwerkelijk gehaald wordt. De tweede is een test om het koelende vermogen te controleren aan de hand van verschillende pompsnelheden. In

Bijlage IX zijn een opzet en hypoteses te zien voor deze 2 testen.

H6 Reservoir, aansluiting en plaatsing

6.1 Inleiding

In de vorige hoofdstukken zijn berekeningen uitgevoerd en is een pomp voor de PW-8 gekozen. Ook wordt er geadviseerd om een warmtewisselaar te installeren, die het vermogen dat per las wordt gegenereerd (1100W) op kan vangen. In dit hoofdstuk zullen de componenten die bij het koelsysteem horen in detail worden uitgewerkt. Als eerste wordt het reservoir behandeld. De koelvloeistof, op dit moment water, moet in de machine worden opgeslagen. Nadat er een reservoir is gedefinieerd, zal worden uitgewerkt hoe dit het best geleegd en gevuld kan worden. Ook worden op hoofdlijnen de leidingen besproken. Vervolgens zal er een warmtewisselaar worden geadviseerd. Op basis hiervan zal een advies over de plaatsing worden gegeven.

Het conceptontwerp van de PW-8 is nog niet gerealiseerd. Het is dus moeilijk te bepalen hoe de bekabeling moet lopen en welke vorm de tank moet hebben. In hoofdstuk 2 is een overzicht gegeven van alle componenten. De dimensies van het koelsysteem zijn tijdens deze bacheloropdracht duidelijk geworden. Daarom zal aan het eind van dit hoofdstuk een idee worden gepresenteerd voor de plaatsing van het koelsysteem in de PW-8.

6.2 Reservoir

Aan het reservoir worden een aantal eisen gesteld. De belangrijkste eis is een klein volume, maximaal drie liter. Daarnaast geeft de opdrachtgever aan dat hij geen warmtewisselaar in de PW-8 wil. Dit lijkt een tegenstrijdige combinatie. Want zoals in hoofdstuk 4 paragraaf 3 en 4 te zien is kan de optie zonder warmtewisselaar alleen gerealiseerd worden met een groot reservoir van

10 liter of meer. Deze oplossing was tijdens het bezoek aan Bouman ook te zien bij een oudere machine die daar in de werkplaats stond (*h2 pagina 15*). Met de huidige technologie kan het volume van het reservoir gereduceerd worden. Dit is een high-tech oplossing die beter bij de PW-8 past. Daarom is ook een tweede optie onderzocht: wel een warmtewisselaar plaatsen. Hierdoor kan het volume van het reservoir gereduceerd worden naar 2 liter. In dit hoofdstuk zullen deze twee opties tegen elkaar worden afgewogen. De overige eisen komen uit Fernands verslag (*h2*). De plaatsing dient onderin de PW-8 te zijn om eventuele lekkage op overige componenten te voorkomen. Er moet een mogelijkheid zijn om het koelsysteem te hervullen. Ook is het verstandig om een bestaand tankje aan te passen voor de PW-8, in plaats van het ontwikkelen van een eigen prototype. Dit om kosten te besparen.

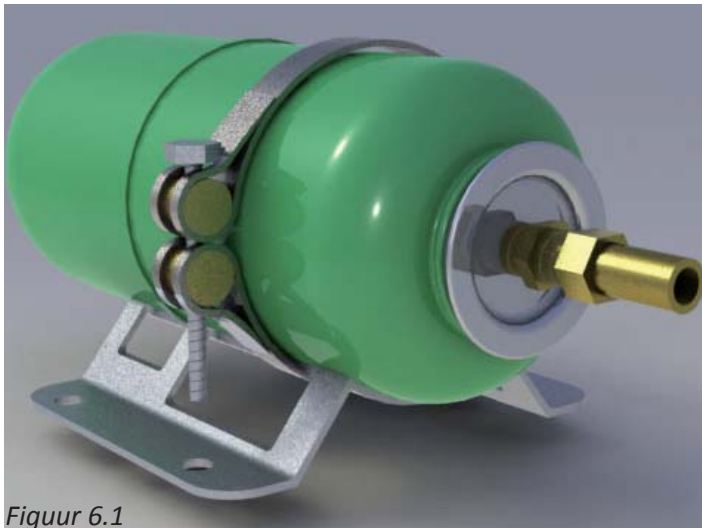
Eis	Wens
Inhoud max 3 liter	Geen eigen ontwikkeling
Hervulbaar	
Leegbaar	
Gemakkelijke plaatsing	
Geen lekkage	
Geen warmtewisselaar	

Tankjes

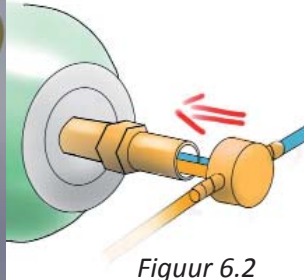
Voor de realisatie van het tankje zijn drie concepten te onderscheiden. Het eerste concept is een klein drukvat, het tweede een bestaand kunstof-tankje en het derde concept is een eigen tankje laten maken. De drie concepten zullen eerst kort worden toegelicht.

Drukvat

Een drukvat is gemakkelijk te vinden en simpel te installeren. Deze tank kan een eventueel drukverschil opvangen zonder dat dit gevolgen heeft. Daarnaast is het een lekvrije optie. Een render van een drukvat is te zien in *figuur 6.1*. Het tankje van 2 liter kan op de vloer van de PW-8 gemonteerd worden. De aansluiting vindt plaats door middel van een gesplitste slang (*fig 6.2*). Het koelwater zal door deze leiding naar de pomp gaan. Een nadeel is dat het tankje niet makkelijk te legen en te vullen is. Het probleem zit, zoals aangegeven bij het hervullen. Dit tankje kan niet uit de PW-8 gehaald worden. Het zal dus machinaal geleegd en gevuld moeten worden. De geselecteerde pomp kan niet droog aanzuigen. Wanneer het reservoir geleegd is kan de pomp hem niet meer vullen. Een tweede probleem dat hier bij komt kijken is de aansluiting. Om deze te kunnen realiseren is er in de PW-8 naast de multi-stekker een aparte plug nodig voor de optie 'aan- en afvoer koelreservoir'. Dit zou veel onnodige complicaties met zich mee brengen. Samenvattend is het drukvat een simpel te plaatsen maar moeilijk te onderhouden koelreservoir.



Figuur 6.1



Figuur 6.2

Bestaande kunstoftank

Het tweede concept is een kunstoftankje. Kunstoftankjes worden gebruikt in auto's, scooters, grasmaaiers, boten, modelbouw e.d. Het is moeilijk om een bestaand reservoir in de PW-8 te integreren. Zo zijn bijvoorbeeld alle koelvloeistofreservoirs uit de auto-industrie gemaakt voor een specifieke auto (*fig 6.3*). Ze passen precies onder de motorkap. Deze bijzondere vormen kunnen niet geïntegreerd worden in de PW-8. De brandstoftanken uit deze industrie zijn te groot. Ook scooters en motoren hebben reservoirs in een speciale vorm. Het gros van deze reservoirs is dan ook niet geschikt voor de PW-8.

De oplossing kan worden gezocht bij de tankjes van racekarts. Hierop zitten kleine reservoirs gemonteerd. In *figuur 6.4* is een geschikte tank te zien. Er zijn exemplaren met een inhoud van 2 liter. De bevestiging van dit tankje in de PW-8 is echter ingewikkeld. Omdat het niet ontworpen is voor de PW-8 zal het met lijm, een ty-wrap of andere methode in de machine bevestigd moeten worden.



Figuur 6.3



Figuur 6.4

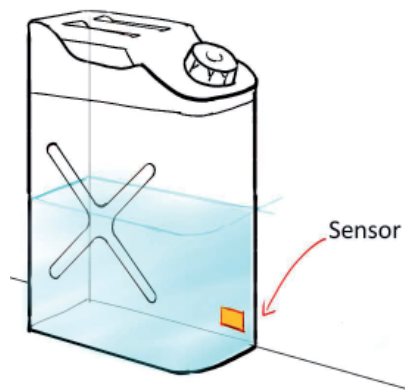
Een simpele optie is de aanschaf van een kunststofjerrycan van 2 liter (fig. 6.5). Deze voldoet aan de meeste eisen. Het gaat hier om opslag van water en er is geen sprake van een agressieve vloeistof. Als er ook een warmtewisselaar in de PW-8 wordt geïntegreerd zal er bovendien geen sprake zijn van opwarming in het reservoir. Om de jerrycan aan te kunnen sluiten op het koelsysteem zijn een aantal aanpassingen noodzakelijk. Om lekkage te voorkomen dienen alle leidingen lekdicht op de jerrycan bevestigd te worden. Meer hierover in paragraaf 6.5.

Eigen tankje produceren

Een ideale optie is om zelf een tankje te ontwikkelen. Dan is zeker dat het makkelijk te bevestigen is in de PW-8. Ook is er dan de garantie dat het tankje altijd beschikbaar blijft en nooit uit de markt zal verdwijnen. Bovendien kan voor een eigen reservoir de vorm zo worden gekozen dat de pomp altijd nat staat. Daarnaast kunnen de bevestigingen voor de leidingen al in het model opgenomen worden. Dit kan niet gerealiseerd worden met een aangeschaft tankje. Het grote probleem met een eigen ontwikkeling is het kostenplaatje. Er dient een volledige mal gemaakt te worden.



Figuur 6.5



Figuur 6.6

Omdat dit het instapmodel van PenWeld is, is dit een zeer grote investering op een klein component. Dit concept is niet rendabel.

Conclusie

Voor het prototype kan worden volstaan met een jerrycan. Deze is beschikbaar in 10 en 2 liter. De voordelen van een eigen tankje wegen niet op tegen de prijs. Een drukvat kan niet gemakkelijk hervuld worden. De jerrycan kan gemakkelijk geleegd en gevuld worden. Daarnaast is hij lekdicht te maken. Ook is het rendabel voor een instapmodel. De bevestiging en aansluiting worden in dit hoofdstuk verder toegelicht.

6.3 Legen en bijvullen

Voor het legen en bijvullen zijn een aantal ideeën bedacht. Drie worden hier weergegeven. De jerrycan kan machinaal geleegd worden, volgens hetzelfde principe als bij de druktank. De jerrycan kan volledig uit de PW-8 gehaald worden. Vervolgens kan het water direct in de afvoer worden gegooit. Bij de derde manier wordt een aftapkraantje onderaan de jerrycan gemonteerd. Op deze manier kan het reservoir vanuit de PW-8 geleegd worden.

Voor het machinaal legen van de jerrycan geldt hetzelfde probleem als bij het legen van het drukvat. Er moet een extra aansluiting op de multistekker komen. Als dit opgelost is moet bovendien voorkomen worden dat de pomp droog komt te staan. Dit kan gerealiseerd worden met een sensor (fig. 6.6). Het hervullen zal dan nog steeds met de hand gedaan moeten worden. Dit omdat de pomp niet droog kan aanzuigen. Er zitten veel nadelen aan dit concept. Wel is het voor de gebruiker de manier met de minste handelingen.

Bij het tweede principe (de tank uit de PW-8 verwijderen) moet het koelsysteem van buitenaf toegankelijk zijn. Ook moet de aansluiting afsluitbaar zijn zodat er geen lekkage ontstaat. Beide problemen zijn simpel op te lossen. Er kan een luik in de PW-8 geïnstalleerd worden. Vervolgens dient er een sluiting op de leiding te zitten, zodat de aan- en afvoer afgesloten kan worden. Daarna kan de jerrycan in zijn geheel uit de PW-8 gehaald worden. Deze wordt dan geleegd en weer gevuld om vervolgens te worden teruggeplaatst.

Bij het derde principe dient er een aftapkraantje op de jerrycan gemonteerd te worden. (fig 6.7) Hiervoor dient er een gat gemaakt te worden in de bestaande can. Vervolgens kan hierop het kraantje gemonteerd worden. Dit kraantje steekt altijd uit de onderkant van de PW-8. Deze opdtie verhoogt de kans op lekkage. Wel is het de simpelste manier van legen.

Het advies is om voor de tweede optie te kiezen: het verwijderen van het tankje uit de PW-8 om hem handmatig te legen en te vullen. Het machinaal legen is niet toepasbaar omdat de pomp niet droog kan aanzuigen. Ook ontstaan er problemen bij de multistekker. Een tapkraantje op de can bevestigen brengt te veel risico's op lekkage met zich mee. De aanstuiting van de pomp, de tank en de afsluiting voor het legen worden verder uitgewerkt in paragraaf 6.5.



Figuur 6.7

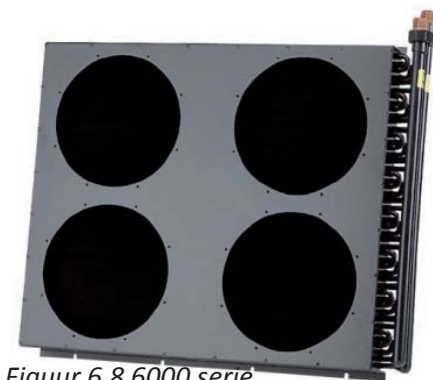
6.4 De warmtewisselaar.

Zoals in hoofdstuk 4 is beschreven is het aan te raden om gebruik te maken van een warmtewisselaar. In deze paragraaf wordt uitgewerkt hoe het vermogen dat per las aan het water wordt toegevoegd, 1100 watt, er door middel van een warmtewisselaar weer uitgehaald kan worden.

Het bedrijf Lytron produceert onder andere warmtewisselaars. Bij dit bedrijf zijn er warmtewisselaars voor verschillende vloeistoffen. In de PW-8 wordt momenteel gebruik gemaakt van water als koelvloeistof. Als koelmiddel wordt de lucht gebruikt. Voor dit principe is de *serie 6000* en *OEM-coils* interessant.

Rekenmethode

Om het geschikte model te vinden heeft Lytron een rekenmethode¹. Die is voor de PW-8 gebruikt. Als eerste wordt het temperatuurverschil tussen de lucht en de vloeistof bepaald. Zoals in hoofdstuk 4 blijkt warmt het water op tot 25.5 graden bij een doorstroomsnelheid van 3 liter per minuut. Er heerst een omgevingstemperatuur van 20 °C . Het temperatuurverschil is dus 5.5 graden. Vervolgens wordt het vermogen gedeeld door het aantal graden om



Figuur 6.8 6000 serie



Figuur 6.9 OEM-coils

1. Lytron heat exchangers, Lytron catalogue. January 2008

degewenste performance te vinden. Hier is dit $1100/5.5 = 200\text{W}/^\circ\text{C}$.

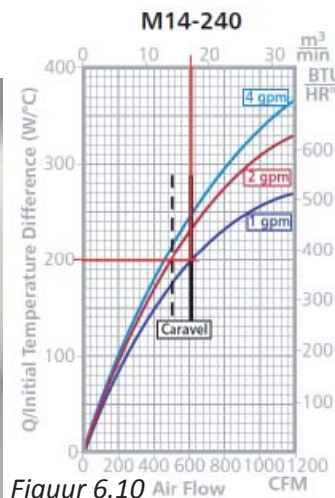
Dit is een vrij hoog vermogen. Zoals ook al bleek uit paragraaf 4.4 is het moeilijk om een zeer klein temperatuurverschil op te vangen.

Selecteren van een geschikte warmtewisselaar

Met de verkregen preformance kan vervolgens in de brochure van Lytron gezocht worden naar de geschikte warmtewisselaar. Voor de PW-8 is gezocht naar een exemplaar die bij 1 GPM, $200\text{W}/^\circ\text{C}$ op kan vangen. Drie liter per minuut komt overeen met ongeveer 1 gallon per minuut (GPM). Lytron heeft twee typen warmtewisselaars die aan deze eisen voldoen. Het type M14-240 een OEM-coil en de 6340 uit de 6000 serie (fig 6.8 en 6.9). De M14-240 is de beste optie. Deze is low budget. Ook is voor deze situatie de Carvel ventilator uitwarmate geschikt (fig 6.10). Deze warmtewisselaar is echter wel de grootste die deze leverancier heeft. De dimensies van de M14-240 zijn: 63x36x5 cm. Ook heeft deze een droog gewicht van 7.2 kilogram. De totale inhoud is 1 liter. De helft van het reservoir zit dus in de warmtewisselaar. Voor de PW-8 is dit niet de meest ideale oplossing. In figuur 6.11 is de warmtewisselaar weergegeven met ventilatoren.



Figuur 6.11



Figuur 6.10

Conclusie

Door het geringe temperatuurverschil tussen de opgewarmde vloeistof en de lucht is het zeer moeilijk om te koelen. Dit is ook al aangetoond in h4 paragraaf 4. De warmtewisselaar M14-240 zou volgens de berekeningen voldoen. Maar gezien de dimensies is het eigenlijk geen goede oplossing voor de PW-8. Het is een te grote module voor dit koelsysteem. Een reservoir van 10 liter heeft in deze situatie ongeveer hetzelfde koelend vermogen. Omdat de warmtewisselaar zo groot is, is er ook amper verschil in gewicht: 10 liter water weegt ongeveer 10kg; een 2 liter reservoir + 7 kg warmtewisselaar weegt 9kg.

Dit resultaat is anders dan verwacht. Bij Bouman is een kleiner model lasmachine gedemonstreerd van Polysoude. Deze was ook uitgerust met een koeling, maar die was niet zo groot. Het verkregen resultaat kan in verband staan met de aannames gebaseerd op het voorgaande onderzoek.

Doordat er wordt uitgegaan van de ergste situatie, een opwarming van 90°C van de laskop is er veel koeling noodzakelijk. Hoogstwaarschijnlijk is het mogelijk om een kleiner model warmtewisselaar te kiezen. Bijvoorbeeld de M05-100 (fig 11). Deze heeft een vermogen van $40\text{W}/^\circ\text{C}$ en is 27x16x2 cm. Bij een temperatuurverschil van van 5.5°C zal deze warmtewisselaar 220W koelen. Om hier goed onderzoek naar te kunnen doen is er een betere uitgangssituatie nodig.



Figuur 6.11

Met het verkregen resultaat kan geen éénduidig advies gegeven worden omtrent de aanschaf van een warmtewisselaar. Voor het prototype kan volstaan worden met een groot reservoir. Dit is een betere oplossing dan een grote warmtewisselaar en het scheelt bovendien veel in de kosten. Voor het daadwerkelijke product is het wellicht mogelijk om met een klein reservoir en een kleine warmtewisselaar te werken. Hiervoor zijn echter meer meetresultaten noodzakelijk.

6.5 Aansluitingen

De verschillende componenten dienen met elkaar in contact te staan om het daadwerkelijke transport van de vloeistof tot stand te brengen. Hierna zullen de verschillende aansluitingen en leidingen worden toegelicht.

Aansluiting pomp

De aansluiting op de Fluid-o-Tech pomp is een 3/8 inch vrouwelijke aansluiting. Voor de aansluiting van de leiding is een koppelstuk nodig zoals weergegeven in *figuur 6.12*. Dit is een mannelijke connector met een 1/2 inch aansluiting. Hierop kan de leiding simpel worden aangesloten. Om lekkage te voorkomen dient er een klem om de leiding te worden geplaatst. Er wordt hier geen gebruik gemaakt van een snelkoppeling. Het gaat om een permanente



Figuur 6.12

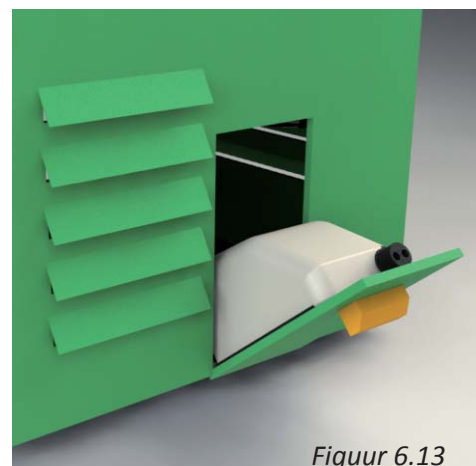
sluiting, wanneer de pomp is geïnstalleerd zal deze niet meer verwijderd worden. De pomp heeft een aanvoer en een afvoer. De aanvoer komt uit het reservoir en de afvoer gaat rechtstreeks naar de lastang. De leiding hiervoor dient aan de wand van de PW-8 bevestigd te worden en naar de input voor de multistekker te gaan. De aansluiting hier is nog onduidelijk.

Aansluiting reservoir

Bij het aansluiten van het reservoir komen verschillende aspecten aan bod: het aansluiten van de leidingen, het toegankelijk maken voor hervullen en de bevestiging in de machine.

Er zijn vele manieren om bij de jerrycan te komen: een deurtje, een schuifdeurtje, een klapdeurtje, een lade of zelfs het monteren van de tank buiten de behuizing. Twee ideeën zijn verder uitgewerkt: het klapdeurtje en een schuifdeurtje.

Bij het klapdeurtje wordt het reservoir bevestigd aan het deurtje (*fig 6.13*). Wanneer deze geopend wordt kantelt het reservoir naar buiten. Door deze kanteling is het reservoir gemakkelijk toegankelijk en hoeft de operator niet in



Figuur 6.13



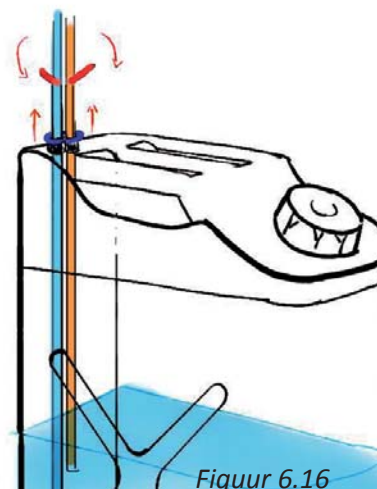
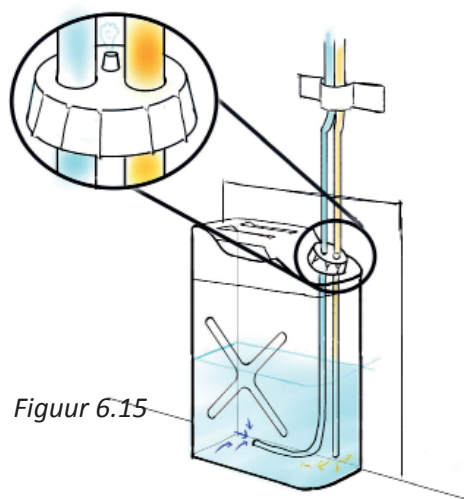
Figuur 6.14

de machine. Een nadeel van dit concept is dat er een speling in de kabels moet zitten om te kunnen kantelen.

Het tweede concept is een schuifdeurtje (*fig 6.14*). Wanneer het luikje opzij wordt bewogen heeft de operator toegang tot het reservoir en kan hij dit verwijderen.

Dit is simpeler dan het eerste concept en brengt veel minder handelingen met zich mee. Bij plaatsing van het reservoir moet er opgelet worden dat er geen stof in de machine komt. Het is daarom aan te raden om het koelsysteem fysiek van de andere onderdelen te scheiden. Mede omdat de operator nu in de machine moet.

Ook voor het aansluiten van de leiding zijn twee concepten uitgedacht. Bij het eerste concept gaat de aansluiting van de leidingen op het reservoir via de dop. Om lekkage te voorkomen worden de aansluitingen niet op de wand van



het reservoir geplaatst. Zoals aangegeven in *figuur 6.15* zullen er twee leidingen door de dop op de bodem van het reservoir geplaatst worden. Om overdruk te voorkomen wordt er ook een ventiel bij geplaatst. Voor het prototype kunnen daarvoor 2 gaten in de dop worden gemaakt. Bij het hervullen levert dit een lastige situatie op. De dop dient dan verwijderd te worden. Hierdoor zullen ook de slangen uit het reservoir gehaald moeten worden, waardoor er water in de machine kan komen.

Bij het tweede concept gaan de leidingen door de wand van de jerrycan. Er dienen dan gaten in de bovenkant gemaakt te worden. Hier komen de leidingen doorheen. Vervolgens wordt dit waterdicht afgesloten. Wanneer de jerrycan verwijderd wordt, worden de leidingen afgesloten en ontkoppeld (*fig 6.16*). Vervolgens kan de gehele tank verwijderd worden. Deze optie voorkomt lekkage in de machine.

Er is gekozen voor het tweede concept, mede omdat hier geen gevaar voor lekkage is door de aansluitingsmethode. Ook is bij het hervullen het gepruts met de leidingen door de dop niet ideaal. De gekozen oplossing geeft een meer professionele uitstraling.

Om te voorkomen dat het reservoir gaat schuiven in de machine tijdens transport of een verplaatsing, dient het verankerd te worden. Omdat voor het legen en vullen het reservoir verwijderd wordt uit de machine moet dit een simpel te openen bevestiging zijn. Dit kan gerealiseerd worden met een band, waarmee kan het reservoir worden vastgezet (*fig..*). Andere opties zijn niet geschikt, zo is een pengatverbinding is teveel werk en lijm is permanent.

De pomp heeft elektriciteit nodig, een 3 fasen 400V aansluiting 50hz. Om de pompsnelheid te kunnen instellen kan deze aangestuurd worden door de PC. Dit is echter niet noodzakelijk.

Samenvattend: het reservoir wordt door middel van een schuifluik toegankelijk gemaakt. Wanneer het reservoir hervuld moet worden zal dit verwijderd worden uit de PW-8. De aanvoer vindt plaats door leidingen die bevestigd zijn op het reservoir zelf. Deze kunnen afgesloten en ontkoppeld worden. Met een band wordt het reservoir op zijn plek gehouden.

6.6 Plaatsing

Nu het eerste complete onderdeel is uitgewerkt kan er een voorstel worden gemaakt voor de plaatsing in het nog lege basisstation van de PW-8. De ideale plaatsing van het koelsysteem is recht onder de aansluiting van de multikabel, dat is ook aangegeven door Fernand. De leidingen in het basisstation zelf zijn

dan zo kort mogelijk. Mocht er lekkage optreden dan zal dit niet in de rest van de machine komen. Het reservoir komt op de bodem naast de pomp. De leidingen worden gebundeld naar de ingang van de multistekker.

Wat voor invloed de grootte van het reservoir heeft wordt in de volgende renders weergegeven. In *figuur 6.18* is de situatie met de warmtewisselaar M14-240 te zien. Dit is een grote warmtewisselaar en een klein reservoir. Om de warmtewisselaar te dragen moet er ook extra versteviging in de wand van de PW-8 zitten. *Figuur 6.17* toont de situatie met een reservoir van 10 liter. Dit neemt duidelijk meer ruimte in beslag. In *figuur 6.19* is een impressie van de gewenste situatie te zien. Een kleine warmtewisselaar (M05-100) en een klein reservoir. De berekeningen ondersteunen deze laatste situatie niet. Dit zou echter wel de ideale oplossing zijn, ook gezien het feit dat het de wens is om in de toekomst een klein en handzaam model te produceren.



Figuur 6.17



Figuur 6.18



Figuur 6.19

6.7 Conclusies

Voor het prototypen van de PW-8 is het advies om de voorgestelde pomp te nemen, met daarnaast een groot reservoir van 10 liter. Volgens de berekeningen is er een zeer grote warmtewisselaar nodig bij een reservoir van 2 liter. Dit is niet gewenst. Met het reservoir van 10 liter kunnen de aannames in de berekeningen vervangen worden door gemeten waardes. Als er gekeken wordt naar de modellen van Polysoude die aanwezig waren bij Bouman is het reservoir van 10 liter een ouderwetse oplossing. Het model PS164 heeft een kleine warmtewisselaar en een klein reservoir. Om dit ook te realiseren in de PW-8 dienen de aanames en benaderingen vervangen te worden door gemeten waardes.

Het reservoir wordt geleegd door het volledig uit de PW-8 te verwijderen. Hiervoor is een schuifluikje de beste oplossing. De leidingen kunnen worden ontkoppeld en afgesloten.

De aansluitingen van de leidingen dienen in overeenstemming te zijn met de multistekker. Hier is nog niet veel over bekend, zodat er nog geen uitsluitel gegeven kan worden over de diameters van de leidingen. Wel staat vast dat de pomp een aan- en afvoer heeft met een binnendiameter van een $\frac{1}{2}$ inch. Ook dient er verder uitgezocht te worden hoe de elektriciteit door de PW-8 verspreid wordt. Daarnaast moet er ook een keuze voor de bestuurbaarheid van de pomp worden gemaakt. Op het moment draait deze op maximaal vermogen, wat in ieder geval een goede koeling garandeert.



Figuur 7.1 Ideale oplossing



Figuur 7.1 Oplossing prototype

H7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies

Het doel van de opdracht was een inrichting te ontwerpen voor de basisunit van de PW-8. De uitgangspunten waren een functioneel ontwerp en een ideeënschets. Als eerste is daarom onderzocht welke componenten er per onderdeel in de basisunit moeten. Dat bleken er vele te zijn. De looptijd van de opdracht was niet groot genoeg om alle onderdelen goed te kunnen detaileren. Bovendien was er over verschillende componenten niet altijd adequate informatie voor handen. De totale inrichting bleek daardoor geen haalbaar doel.

Vervolgens is de focus op de koeling van het lasapparaat gelegd. Er zijn berekeningen uitgevoerd om de pompcapaciteit, de inhoud van het reservoir en de noodzaak en het vermogen van een warmtewisselaar te achterhalen. Twee eisen waren daarbij zeer bepalend: een werkhoogte van 6 meter en een compact reservoir van 2 liter. Uit de berekeningen is gekomen dat in deze situatie een pomp drie liter per minuut moet kunnen leveren. Door de opwarming in het apparaat is bij een klein reservoir een warmtewisselaar noodzakelijk. Bij een groot reservoir van 10 liter is dit niet noodzakelijk.

Op basis van de berekende specificaties is een onderzoek naar de verschillende componenten voor het koelsysteem gedaan. Hieruit is een advies gekomen. Voor een eerste prototype zijn de schottenpomp van fluid-o-tech PO-201(rotoflow) en een eenvoudige tien liter kunststof jerrycan de beste oplossing (*fig 7.1*).

Vervolgens zijn deze componenten gedimensioneerd en geplaatst in het basisstation van de PW-8. Het koelsysteem neemt nu 60x20x40cm in beslag. Hiermee is de eerste concrete stap in de realisatie van de complete PW-8 gezet.

7.2 Aanbevelingen

Als eerste volgen hieronder enkele inhoudelijke aanbevelingen op basis van mijn werkzaamheden.

De berekeningen zijn gedaan op basis van een aanname, namelijk dat de temperatuur van de laskop 90 graden is. Dit is de extreme situatie waarbij het koelsysteem niet oververhit mag raken. Geadviseerd wordt om wanneer de laskop verder ontwikkeld is de daadwerkelijke opwarming in de behuizing te bepalen en deze door te voeren in de berekeningen. Hiervoor is een Exelsheet ontwikkeld en bijgevoegd. Ook kunnen er daarna simulaties op het model worden uitgevoerd, waardoor een betere benadering ontstaat. Dit kan leiden tot nieuwe inzichten omtrent de warmtewisselaar en de grootte van het reservoir.

Om de opwarming van een laswerkstuk duidelijk in kaart te brengen is het verstandig om temperatuurmetingen te doen op de testopstelling. Een goede optie hiervoor is een thermokoppel met een chromen of koperen kern.

Om een beter uitsluitsel over de exittemperatuur te geven is het van belang om de berekeningen uit te breiden met een simulatie van het koelsysteem. Er kan dan met meer zekerheid gesteld worden wat de exittemperatuur is.

Er wordt geadviseerd om een pomp aan te schaffen om verdere testen te kunnen doen. Een praktische test om de pomphoogte te verifiëren is een stap die nu genomen dient te worden. In bijlage IX zijn al twee testopstellingen uitgewerkt. Geadviseerd wordt om deze uit te voeren.

Voor het prototype is gekozen voor een reservoir van 10 liter. Dit is een snelle en voor de hand liggende oplossing. Er kunnen nu direct data geverifieerd worden. Wanneer blijkt dat er veel minder vermogen vanuit de laskop in het water terecht komt kan ook worden volstaan met een kleiner reservoir en een kleine warmtewisselaar (fig 7.2). Dit om ook de ontwikkeling van kleinere modellen mogelijk te maken.

Bij het bezoek aan Bouman is door een professionele lasser aangegeven dat deze het handig zou vinden als er ook een normale lastorch aangesloten kan worden op een orbitale machine. De lasser heeft dan nog maar één lasmachine nodig om mee te werken. Voor PenWeld is het interessant om uit te zoeken of dit mogelijk is. Dit zou een nieuw Unique Selling Point voor PenWeld en de PW-8 kunnen zijn.

Tot slot volgt nog een aantal aanbevelingen voor het ontwikkelproces van de PW-8.

PenWeld wordt geadviseerd om de voortgang met betrekking tot de verschillende onderdelen en componenten duidelijk inzichtelijk te maken en deze helder te communiceren bij het verstrekken en aansturen van nieuwe opdrachten tijdens de verdere ontwikkeling van het project.

Een hulpmiddel daarbij zou kunnen zijn een gedetailleerde Work Breakdown Structure (WBS) voor de PW-8. Daarin kunnen voor elk deelproject (laskop; multistekker; basisunit; lasmethode, ICT etc.) de afzonderlijk onderdelen (bijvoorbeeld het koelsysteem in de basisunit) worden gezet. Per onderdeel kunnen dan de planning en realisatie van alle verschillende componenten en hun technische specificaties in beeld worden gebracht. Dat geeft voor alle betrokkenen een helder overzicht.

Bijlagen

De bijlagen zullen in de definitieve versie op een CD worden meegeleverd. Dit omdat het veel pagina's zijn, enkele brochures en ook een Excelsheet. Wanneer u nu graag een bijlage wilt hebben kunt u even mailen naar visscher.pj@gmail.com. Dan stuur ik deze op.

- I Orginele plan van aanpak
- II Bezoek Bouman
- III Samenvatting werk Mathiass Wissen
- IV Schema Fernand de Wolf
- V Excelsheet
- VI Berekeningen opwarming
- VII Achtergrondinformatie besproken pompen
- VIII Brochures Rotoflow en Iwaki
- IX Testen voor de Pomp