

Bachelor eindopdracht

Industrieel Ontwerpen, Universiteit Twente, Enschede

Het ontwerp van een efficiënte warmtewisselaar: **DE GROENE ENERGIEBESPARENDE DOUCHE**

Archimedes Solutions, Diepenveen

Ontwerp, Productie en Management,
Universiteit Twente, Enschede

Bachelor eindopdracht

Industrieel Ontwerpen, Universiteit Twente, Enschede

Het ontwerp van een efficiënte warmtewisselaar: DE GROENE ENERGIEBESPARENDE DOUCHE

Archimedes Solutions, Diepenveen

Ontwerp, Productie en Management,
Universiteit Twente, Enschede

Beoordelaar en eerste begeleider namens Universiteit Twente:

Dr. Ir. W.W. Wits

Beoordelaar en tweede begeleider namens Universiteit Twente:

Dr. Ir. H.J.M Geijselaers

Beoordelaar en begeleider namens Archimedes Solutions:

Ir. H.M.D. Lever

Student:

K.A. Peters

Studentnummer:

S0149489

Examen datum:

29-08-2012

Voorwoord

Dit verslag is geschreven naar aanleiding van de uitvoering van de bachelor eindopdracht van de opleiding Industrieel Ontwerpen aan de Universiteit Twente. Graag wil ik mijn begeleiders, ir. K. van Andel, T. Pünt, BSc P.W. Rassers en anderen die geholpen hebben bij het uitvoeren van de opdracht bedanken.

Inhoudsopgave

1. Inleiding	5
2. Theoretisch ontwerp	7
2.1. Warmtewisselaar theorie	9
2.2. Doorstroming	12
3. Praktisch ontwerp	14
3.1. Badkamers en het herziende conceptontwerp	14
3.2. Installateur	14
3.3. Werking	16
3.4. Eindgebruiker	16
3.6. Conceptontwikkeling	17
3.6.1. Hoofdproductideeën	17
3.6.2. De twee andere ideeën	24
3.6.3 Richtlijnenplan	25
4. Prototype	26
4.1 Ontwerp prototype	26
5. Experiment	29
6. Conclusie en aanbevelingen	31
7. Bronnen	32
7.1 Literatuur en internet	32
7.2 Figuren	32
8. Bijlagen	33
Overzicht	33
8.1 Opdrachtomschrijving	34
8.2 Velocity and pressure drop in pipes	35

Samenvatting

Voor de bachelor eindopdracht is er voor het bedrijf Archimedes Solutions een onderzoek gedaan naar de haalbaarheid van een doucheputje dat energie terugwint uit het restwater. Deze energie wordt vervolgens direct gebruikt om het koude water dat naar de mengkraan loopt voor te verwarmen. Bij de start lag er een grof conceptontwerp dat heeft gediend als aanknopingspunt om de opdracht uit te voeren. Er zijn grofweg drie stappen uitgevoerd om bij te dragen aan de vraag of het een haalbaar product is. Eerst is er gekeken naar de theorie van warmtewisselaars. Hiermee is bepaald dat het in theorie mogelijk is om een warmtewisselaar in het beperkte volume van een doucheputje te verwerken. Tijdens en na deze stap is er onderzocht hoe het product rekening kan houden met de verschillende belanghebbenden. Dit heeft geleid tot een nieuw conceptontwerp, twee productideeën en ontwerprichtlijnen voor een definitief product. Als laatste stap zijn er van de twee prototypes gemaakt waarmee door middel van een proef een nauwkeurigere schatting van het rendement van het uiteindelijke product kan worden gemaakt. Tevens kunnen de prototypes dienen als demonstratiemateriaal voor de opdrachtgever. De conclusie is dat het idee haalbaar kan zijn, maar dat er nader onderzoek nodig is om dit volledig vast te stellen.

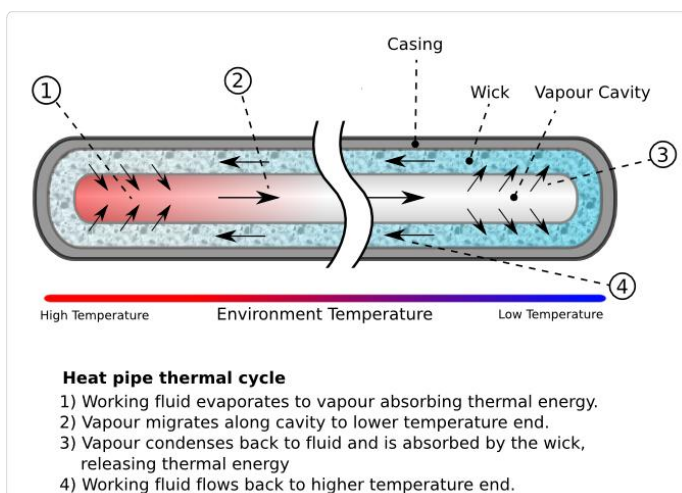
Abstract

Research on viability of a shower drain which recovers energy from the waste water has been done on behalf of the company Archimedes Solutions. In this case energy recovered from the waste water will be used to heat up the water that goes to the faucet. The assignment is the last part in order to complete the bachelor track of the study Industrial Design. A concept design was the starting point of the assignment. Roughly, three steps have been taken to research the viability. At first knowledge about the heat exchanger theory has been gathered. With this information an approximation of the technical viability was possible. After and during this step the practical side was analyzed. This led to a new concept design, two product ideas and design guidelines for the final product. In the final step two prototypes have been made which can be used for testing purposes as well as demonstrating purposes. The conclusion is that a product of this kind might be viable, but more research is needed to determine this.

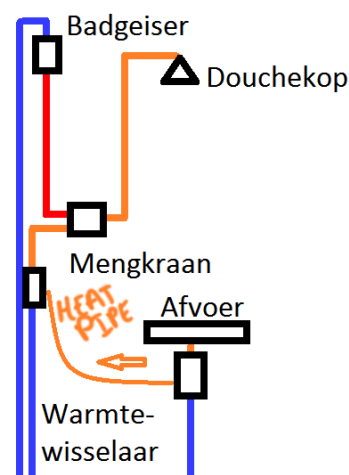
1. Inleiding

In deze tijd zijn groen en duurzaam belangrijke begrippen. Veel bedrijven pogen middels innovatieve ideeën en producten het aanbod te leveren waar de consument om vraagt. Archimedes Solutions is zo'n bedrijf. Het bedrijf wil een efficiënte warmtewisselaar ontwerpen die de warmte uit het restwater van het douchen direct wil hergebruiken om het koude water dat naar de douche loopt voor te verwarmen, zodat er minder energie wordt gebruikt. Een warmtewisselaar is een constructie die warmtewisseling tussen twee stoffen, in dit geval vloeistoffen, met een verschillende temperatuur mogelijk maakt zonder dat deze met elkaar gemengd worden. Er zijn producten, voor in de badkamer, op de markt die deze functie vervullen, maar deze zijn vaak weinig compact en door de werking alleen in specifieke situaties in te bouwen. Het te ontwerpen product zal een nieuwe toepassing hebben in de markt. Het product zal kunnen worden toegepast in een badkamer met een vlakke vloer en het zal kunnen worden ingebouwd bij een renovatie. Het is dan niet nodig om buiten de badkamer aanpassingen te doen aan bijvoorbeeld het leidingwerk. Er zijn twee doelgroepen. De eerste doelgroep zijn particulieren die hun badkamer willen renoveren, verbouwen of bouwen. De tweede doelgroep zijn huurstichtingen die met het product de huizen of appartementen aantrekkelijker kunnen maken. Zo zouden ze bijvoorbeeld een groene uitstraling kunnen geven aan de woonruimte en zo een hogere huur kunnen vragen terwijl de huurder in totale kosten niet perse omhoog hoeft te gaan, omdat de energierekening lager uitvalt.

Bij de start van de opdracht lag er een conceptontwerp dat gebruik maakte van heat pipes. Een heat pipe is specifieke buis, die een hoge warmteoverdracht heeft met een lage warmtecapaciteit. Figuur 1 geeft schematisch weer hoe een heat pipe werkt.



Figuur 1^[7.2.1]: Werkingsprincipe heat pipe.



Figuur 2: Oorspronkelijk conceptontwerp.

In het originele conceptontwerp worden heat pipes tussen de mengkraan en de afvoer geplaatst. Figuur 2 geeft dit schematisch weer. Er is echter spoedig gekozen om dit conceptontwerp te herzien. Later in het verslag zal duidelijk worden waarom dit is gebeurd. Mijn taak in het traject is om uit te zoeken of het idee haalbaar is. Dit is gedaan door, grofweg, drie stappen te doorlopen. In eerste instantie is er vanuit de theorie van warmtewisselaars naar een theoretisch ontwerp^(hoofdstuk 2) gewerkt. Op die manier is het mogelijk een schatting te maken van de haalbaarheid. Vervolgens heeft er een conceptontwikkeling^(hoofdstuk 3) plaatsgevonden waarin er naast de technische specificatie ook met functionele eisen rekening gehouden wordt. Van de tot stand gekomen productideeën zijn tot slot prototypes^(hoofdstuk 4) gebouwd om zo meer inzicht in de te verwachten prestaties^(hoofdstuk 5) te krijgen.

2. Theoretisch ontwerp

Om tot een goed technisch ontwerp te komen is er uitgezocht welke fysische modellen van belang zijn en hoe deze moeten worden toegepast. Verder is er ook gekeken welke onderdelen bepalend zijn voor de efficiëntie van de warmtewisselaar en hoe je deze gegevens kunt gebruiken om het ontwerp te optimaliseren. Met het geoptimaliseerde ontwerp kun je vervolgens het theoretische vermogen van de warmtewisselaar bepalen.

Voor het technische ontwerp zijn er twee onderdelen van belang. Als eerste is er de efficiëntie van de warmtewisselaar en als tweede is er de doorstroom van het systeem voor zowel de restwater afvoer als de toevoer van koud water. De efficiëntie zal sterk bepalend zijn voor de uiteindelijke energie en geld besparing wat samen met kosten en het installatie- en onderhoudsgemak de aantrekkelijkheid van het systeem sterk beïnvloed. De doorstroom moet op pijl zijn zodat er geen water ophoopt boven het putje en dat er niet te weinig water beschikbaar is om een comfortabele waterstroom mogelijk te maken. Voor de berekeningen van de efficiëntie wordt gebruik gemaakt van het boek “FUNDAMENTALS OF THERMAL-FLUID SCIENCES”^[7.1.1].

2.1. Aannames en eerste berekeningen

Om te kunnen rekenen aan de warmtewisselaar zijn er een aantal gegevens opgezocht en zijn er aannames voor bepaalde waarden gedaan^[7.1.1, 7.1.2, 7.1.3, 8. 1]:

$T_{lh} = 60\text{ °C}$, temperatuur heetwaterleiding

$T_c = 10\text{ °C}$, temperatuur koudwaterleiding, temperatuur koude kant warmtewisselaar ($T_{c\text{ in}}$)

$T_{dk} = 40\text{ °C}$, temperatuur bij douchekop

$T_h = 35\text{ °C}$, temperatuur bij putje, temperatuur warme kant warmtewisselaar ($T_{h\text{ in}}$)

$P_p = 15\text{ kW}$, vermogen van het putje

$C = 4180\text{ J/kg*°K}$, specifieke warmte water

Met deze gegevens zijn de massa- en volumestromen van de restwaterstroom en de individuele heet- en koudwaterstroom te berekenen. De specifieke warmte is de eenheid die aangeeft hoeveel energie het kost om één kilogram materiaal één graad te verwarmen. Deze waarde is in deze applicatie redelijk constant en daarom als zodanig gebruikt. Het “vermogen van het putje” dient ook wat nadere uitleg. Dit vermogen wordt bepaald aan de hand van het de afgeleide naar tijd van de hoeveelheid energie die er door het putje gaat welke berekend kan worden aan de hand van de standaard formule. De hoeveelheid energie is afhankelijk van de massa van het restwater, het

mogelijke temperatuur verschil en de specifieke warmte. Het verband wordt in de standaard formule weergegeven:

$$(1) Q = m * C * \Delta T$$

Met:

$$\Delta T = T_h - T_c$$

Met eenheden:

$$[J] = [kg] * \left[\frac{J}{kg * K} \right] * [K]$$

Zoals gezegd is het vermogen ($\dot{Q}$) van het putje de afgeleide naar de tijd van de hoeveelheid energie (Q). Aan de rechterzijde van de formule wordt dit gecompenseerd door de afgeleide naar de tijd van de massa te nemen:

$$(2) \dot{Q} = \dot{m} * C * \Delta T$$

Met eenheden:

$$\left[\frac{J}{s} \right] = [W] = \left[\frac{kg}{s} \right] * \left[\frac{J}{kg * K} \right] * [K]$$

Deze formule is eenvoudig om te schrijven naar de massastroom ($\dot{m}$) welke op zijn beurt weer om te schrijven is naar een volumestroom met behulp van de dichtheid:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}}{C * \Delta T} = \frac{15.000}{4180 * (35 - 10)} = 0,1435 \text{ kg/s} \approx 8,6 \text{ l/min}$$

De waarde 8,6 l/min lijkt plausibel te zijn. In een later stadium kan deze waarde worden gebruikt om de doorstroom van het putje te berekenen.

Met een algebraïsche vergelijking is er bepaald dat de massastroom van het koude water 40 procent is van het totaal als de warmtewisselaar nog niets heeft gedaan. Als het koude water wordt opgewarmd tot zijn theoretische maximum temperatuur van 35 °C (in het systeem kan deze immers

maximaal de temperatuur krijgen van de ingang van de warme kant) dan zal de massa stroom van het opgewarmde water 80 procent van het totaal zijn.

$$aandeel\ koudwater\ \% = \frac{(T_{lh} - T_{dk}) / (T_{dk} - T_{c\ out})}{((T_{lh} - T_{dk}) / (T_{dk} - T_{c\ out})) + 1}$$

Dit komt voort uit de vergelijkingen:

$$T_{dk} = \frac{(T_{lh} * 1) + (T_{c\ out} * x)}{x + 1},$$

$$x = (T_{lh} - T_{dk}) / (T_{dk} - T_{c\ out}),$$

$$aandeel\ koudwater\ \% = \frac{x}{x + 1}$$

In deze functie staat x voor het aantal delen koud water en 1 voor het deel heet water.

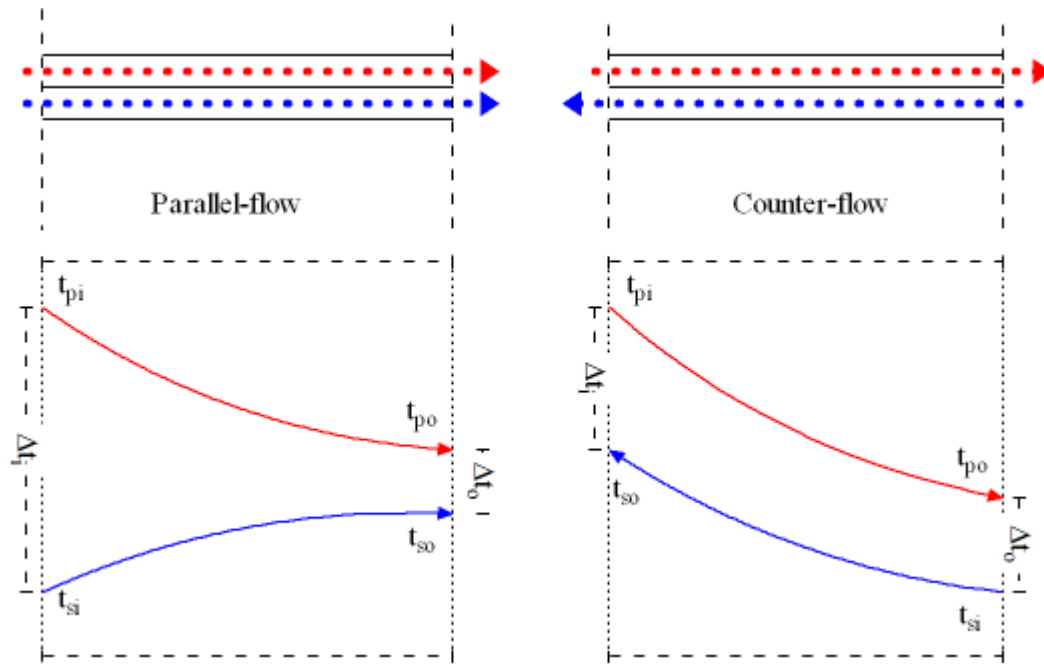
De waarden die hier uit komen kunnen later worden gebruikt om te bepalen of de doorstroom van de koudwaterleiding van voldoende niveau is. De geometrie van de warmtewisselaar dient zo gekozen te worden deze doorstroom van voldoende niveau is. Een ander interessant gegeven dat hieruit afgeleid kan worden is welk vermogen er theoretisch nuttig gebruikt kan worden, omdat alle gegevens hiervoor bekend zijn. De formule die hiervoor gebruikt kan worden is dezelfde als die is gebruikt voor het berekenen van het vermogen van het putje:

$$\dot{Q} = \dot{m} * aandeel\ koudwater\ \% * C * \Delta T = 0,1435 * 0,8 * 4180 * (35 - 10) = 12kW$$

Het berekende vermogen is het theoretisch haalbare limiet wat geldt voor het conceptontwerp.

2.2. Warmtewisselaar theorie

Om het hierboven genoemde theoretische maximum temperatuur van 35 °C voor de koudwaterstroom te halen zal er gebruikt moeten worden gemaakt van een tegenstroomwarmtewisselaar. Bij dit type warmtewisselaar zitten de inlaat van de warme kant aan dezelfde zijde als de uitlaat van de koude kant en voor de andere zijde geldt dan het omgekeerde. In figuur 3 wordt dit schematisch weergegeven. De efficiëntie van deze warmtewisselaars is hoger dan andere soorten, omdat het gemiddelde temperatuurverschil van het geheel tussen de warme en de koude kant het hoogst zal zijn.



Figuur 3^[7.2.2]: Temperatuur verloop bij een meestroomwarmtewisselaar (links) en tegenstroomwarmtewisselaar (rechts).

De formule die gebruikt kan worden bij het berekenen van het vermogen van een warmtewisselaar is:

$$(3) \dot{Q} = U * A * \Delta T_{lm}$$

Met:

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

Met:

$$\Delta T_1 = T_{h\ in} - T_{c\ out}$$

$$\Delta T_2 = T_{h\ out} - T_{c\ in}$$

Hierbij dient wel opgemerkt te worden dat de invulling van ΔT_1 en ΔT_2 gelden voor een tegenstroomwarmtewisselaar zoals er gebruikt zal worden vanwege zijn hogere efficiëntie.

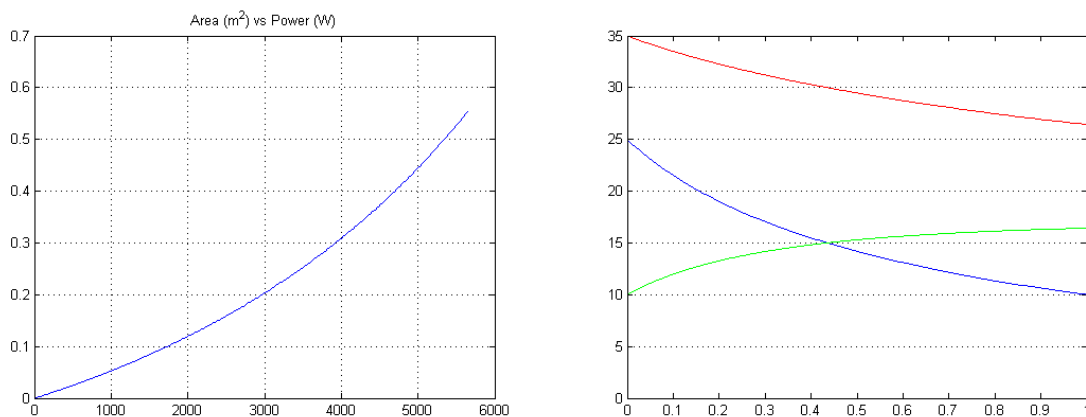
In de formule, waarmee het vermogen van een warmtewisselaar kan worden berekend, staan nog twee niet verklaarde termen. De term A staat voor de oppervlakte waar warmte wordt uitgewisseld en de U staat voor de warmteoverdrachtscoëfficiënt. Deze U heeft als eenheid $[W/m^2 * K]$ en voor een water naar water warmtewisselaar zijn typische waarden voor U , 850 tot 1700^[7.1.1]. In de

berekeningen zal $U = 850 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ aangehouden worden om een veilige marge aan te nemen, zodat het uiteindelijke resultaat naar allerwaarschijnlijkheid niet minder zal zijn dan het berekende.

De formule voor het berekenen van het vermogen van een warmtewisselaar kan eenvoudig worden omgeschreven, zodat het benodigde oppervlakte kan worden uitgerekend bij een gegeven U , Q en ΔT_{lm} :

$$A = \frac{\dot{Q}}{U * \Delta T_{lm}}$$

Vanuit een gekozen $T_{h \text{ out}}$ kunnen samen met de andere gegevens het verkregen vermogen en het daarbij behorende oppervlakte van de warmtewisselaar worden berekend. Om overzicht te krijgen van de verschillende aspecten van de warmtewisselaar is er met behulp van een rekenprogramma (Matlab) een programma geschreven waarmee dit gerepresenteerd kan worden. Een voorbeeld hiervan is een grafiek waarin het vermogen en het bijbehorende oppervlak tegen elkaar worden uitgezet en een grafiek waarin het temperatuurverloop van een specifieke warmtewisselaar in kaart wordt gebracht.



Figuur 4 (links): Oppervlakte (m^2 , y) uitgezet tegen vermogen (W, x).

Figuur 5 (rechts): Temperatuurverloop over de warmtewisselaar (x). Warme kant (rood, $^{\circ}\text{C}$, y), $T_{h \text{ in}}$ linkerzijde. Koude kant (blauw, $^{\circ}\text{C}$, y), $T_{c \text{ in}}$ linkerzijde. Temperatuur verschil (groen, $^{\circ}\text{C}$, y)

In theorie kan er nu aan de efficiëntie van de warmtewisselaar worden gerekend. In de praktijk zou dit weleens anders kunnen uitpakken, omdat de gebruikte modellen een beperkte toepasbaarheid hebben. Zeker als het gaat om een complexere vorm kunnen de modellen significant afwijken. Dit is duidelijk geworden na de gesprekken met ir. K. van Andel. Om een nauwkeurigere verwachting te krijgen van het eindproduct wordt daarom meestal een prototype gemaakt. Om deze reden is er gekozen om dit ook voor dit product te doen. Het gedane rekenwerk geeft hier voor een goede basis.

Bij berekeningen voor de doorstroom geldt ook dat de eenvoudigere theoretische modellen eigenlijk te kort schieten bij een complexere vorm, maar omdat ook dit als basis dient wordt hier toch aan gerekend. Het prototype zal echter niet dienen om hier extra informatie over te krijgen.

2.3. Doorstroming

Om aan de doorstroming te rekenen wordt er gebruik gemaakt van de term drukverlies. De druk aan de aanvoerszijde moet groter of gelijk zijn aan het drukverlies over het af te leggen stuk bij een bepaalde stroomsnelheid. Voor de douche betekent dit dat bij de aanvoer van de koude water het systeem niet teveel weerstand mag bieden zodat er niet genoeg water beschikbaar is omdat dit een matige douchestraal ten gevolg heeft. Een hoge doorstroom kan dan uiteraard door de kraan worden beperkt. Aan de afvoerszijde betekend dat als de druk bij de ingang van het putje groot genoeg moet zijn om geen water ophoping boven het putje te krijgen. Om te rekenen aan de doorstroming wordt de volgende functie gebruikt^[8.2]:

$$(4) \Delta p = \frac{v^2 * f * L * \rho}{2D}$$

Hierin staat Δp voor het drukverschil, ofwel het drukverlies. De v staat voor de snelheid, de L staat voor lengte van het af te leggen pad en ρ staat voor de dichtheid, in dit geval van water. De D staat voor de diameter van de buis. Voor een rechthoekige vorm wordt er een hydraulische D gebruikt: de D_h . Deze wordt als volgt berekend:

$$D_h = \frac{4 * w * h}{2 * (w + h)}$$

De w en de h staan hierin voor de breedte en de hoogte. In de formule voor de doorstroming staat ook nog de term f . Deze term staat voor de Fanning friction factor. Deze is afhankelijk van het Reynoldsgetal. Er geldt:

$$f = \frac{64}{Re}, \quad Re < 2300$$

$$f = 0,3164 * Re^{-0,25}, \quad 2300 < Re < 100.000$$

Waarbij Re als volgt wordt berekend^[7.1.4]:

$$Re = \frac{v * D}{\nu}$$

Bij deze vergelijking staat ν voor de kinematische viscositeit en deze is voor water van ongeveer 25°C $0,9 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

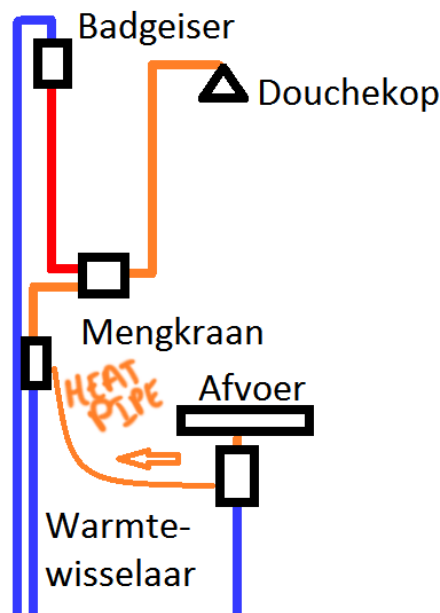
Met behulp van deze formules kan worden vastgesteld hoe bepaalde elementen, zoals de koudwaterleiding, ongeveer gedimensioneerd moeten worden. Omdat deze methode niet accuraat is voor complexere vormen is het niet meer dan een ruwe schatting die wel als richtlijn kan dienen. Om snel verschillende opzetten met elkaar te vergelijken is er een programma geschreven waarin de variabelen kunnen worden aangepast. Ook voor de doorstroming geldt dat een prototype testen veelal het meest praktisch is om te achterhalen wat het uiteindelijke product zal doen.

3. Praktisch ontwerp

Het praktisch ontwerp is voortgekomen uit een wisselwerking tussen de theorie, het onderzoek naar verschillende badkamers, het gebruiksgemak en het installatie gemak. Verder zijn er nog een aantal factoren waar rekening mee is gehouden zoals regelgeving en kostprijs.

3.1. Badkamers en het herziende conceptontwerp

Uit de gesprekken met de opdrachtgever is gebleken dat er een product moet worden ontwikkeld voor in een vlakke vloer. Tijdens het onderzoek naar verschillende badkamers is het idee geboren voor het aangepaste conceptontwerp. Allereerst volgt hieronder, in figuur 6, een weergave van het originele conceptontwerp.

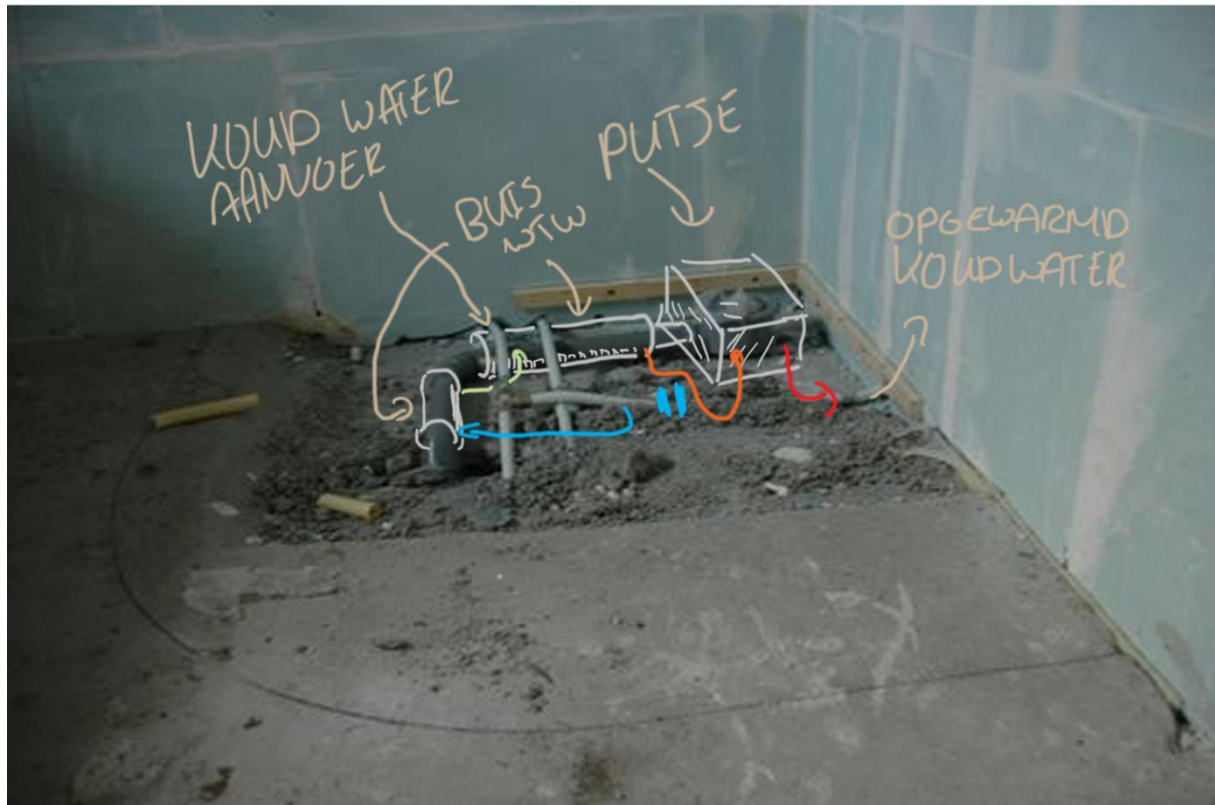


Figuur 6: Oorspronkelijk conceptontwerp.

3.2. Installateur

Het idee van het originele conceptontwerp is dat de warmte van het restwater wordt getransporteerd met behulp van heat pipes naar een koppelpunt nabij de mengkraan. De grote uitdaging bij dit concept is de installatie. Heat pipes zijn niet in te korten of langer te maken en de installateur zou voor iedere situatie moeten bepalen welke maat heat pipe benodigd is. Daarbij komt dat er meerdere heat pipes gebruikt moeten worden om genoeg vermogen te kunnen bieden. Deze verschillende heat pipes kunnen elkaar bij de installatie in de weg zitten. Hiervoor is een oplossing bedacht die deze uitdaging omzeilt. Dit idee heeft geresulteerd in nieuw conceptontwerp dat naast

het oplossen van het genoemde probleem nog een aantal voordelen biedt ten opzichte van het originele conceptontwerp. Het nieuwe concept laat zich het best uitleggen aan de hand van een afbeelding met een beschrijving.



Figuur 7: Aangepast conceptontwerp.

Hierboven is in figuur 7 een representatie te zien van het nieuwe concept. In de afbeelding is de koudwateraanvoer en de warmwateraanvoer te zien. De koudwateraanvoer zal door de installateur moeten worden onderbroken en omgeleid via de verschillende warmtewisselaars. Eerst moet de leiding naar de warmtewisselaar_(BUIS WTW) welke het verst van de afvoer verwijderd is welke op zijn beurt weer aangesloten zit op de warmtewisselaar die daaropvolgend het verst van de afvoer verwijderd is. De laatste, in de tekening de derde, warmtewisselaar zal weer op de oorspronkelijke leiding, die naar de mengkraan gaat, worden aangesloten. Het grootste verschil met het originele concept is dat de warmteoverdracht volledig in de vloer plaatsvindt waardoor het eerder genoemde heat pipe probleem kan worden omzeild. De installateur hoeft niet met heat pipes te werken, maar wel met waterleidingen. Dit is een vaardigheid die de installateur beheerst en het zal dus geen drempel vormen. Uit het onderzoek naar verschillende badkamers is gebleken dat een deel van de badkamers het leidingwerk, voor de aanvoer van heet en koud water, in de vloer verwerkt heeft. De badkamer in figuur 7 is daar een voorbeeld van. Bij dit type badkamer ontstaat als voordeel dit er bij

dit concept niet in de muur gebroken hoeft te worden. Mocht het leidingwerk niet in de vloer zitten dan kan deze voor de mengkraan worden afgesplitst. In dat geval zal er wel in de muur gebroken moeten worden, maar dat is niet veel anders dan in het oorspronkelijke concept behalve dat de installateur dan vervolgens met heat pipes in plaats van waterleidingen had moeten werken.

3.3. Werking

Het idee van het concept is dat de koudwaterleiding voor de mengkraan wordt omgeleid via de warmtewisselaar in het putje en eventueel via een andere warmtewisselaar die in de afvoerbuis verwerkt zit. Figuur 7 geeft dit op een schematische manier weer. De theorie van de warmtewisselaar laat zien er een exponentieel verband zit tussen de oppervlakte en het rendement en dus ook tussen de kosten en het rendement. Hier moet het juiste compromis worden gevonden. De warmtewisselaar in de afvoerbuis kan worden gezien als een optie die onderzocht moet worden als het rendement van het putje zelf niet hoog genoeg is. Ook is dit een mogelijke toevoeging als de koudwaterleiding, naast naar de mengkraan, ook naar de badgeiser loopt. Voor deze warmtewisselaar in de buis zijn reeds geschikte producten op de markt. Een voorbeeld hier van is de “power pipe” van RenewABILITY ENERGY inc. welke in figuur 8 te zien is.



Figuur 8^[7.2.3]: Mogelijke warmtewisselaar bij afvoerbuis: de “power pipe”.

3.4. Eindgebruiker

Naast de installateur is een andere belanghebbende de eindgebruiker. Dit kan iemand zijn die gebruikt maakt van de douche en het kan ook degene zijn die het onderhoud pleegt. Tijdens de conceptontwikkeling is er rekening gehouden met de wensen van deze belanghebbende. Zo is er een oplossing bedacht waardoor de gebruiker een minimum aan onderhoud hoeft te plegen. Helaas zal er wel wat meer werk moeten worden verricht dan bij een standaard putje. Doordat bevuilding zoals zeepresten, wat zich afzet op het oppervlakte van de warmtewisselaar, zal deze minder efficiënt worden. Om dit tegen te gaan zal het putje zo af en toe gereinigd moeten worden. Het idee is dat er een grof filter gebruikt wordt dat al het standaard onderhoud mogelijk maakt. Verder zullen de oppervlaktes van de



Figuur 9^[7.2.4]: Reinigings slang afvoer.

warmtewisselaar zo gepositioneerd worden dat ook deze redelijk eenvoudig schoon te maken zijn. Een langdurige praktijktest zal moeten uitwijzen wat de invloed van de bevuilding is en wat het schoonmaakinterval dan eventueel zou moeten zijn. Het doel is dat dit interval ongeveer een jaar is. Als laatste kan er nog gekeken worden of het wenselijk is om de aansluiting van het putje naar het vervolg van de afvoer behoorlijk open te houden, zodat bijvoorbeeld een spuitinstallatie, zoals in figuur 8 te zien is, toegang heeft tot de afvoerbuizen.

3.6. Conceptontwikkeling

Gedurende het gehele proces is er gewerkt aan de conceptontwikkeling. Dit heeft geleid tot twee hoofdproductideeën welke direct aansluiten bij de opdracht en twee productideeën welke volgens een soortgelijk concept elk een nieuwe markt kunnen bedienen. De productideeën zijn niet volledig uitgekristalliseerd, maar kunnen wel dienen als basis voor een definitief product. Om deze laatste stap te vergemakkelijken is er een “richtlijnenplan” opgezet waarmee andere ontwerpers aan de slag kunnen. Om een beter beeld te krijgen van de te verwachten efficiëntie en dus de energiebesparing zijn er bij de twee hoofdproductideeën prototypes gemaakt. Deze prototypes worden in het volgende hoofdstuk behandeld.

3.6.1. Hoofdproductideeën

De twee productideeën zijn aardig vergelijkbaar op bepaalde vlakken, maar berusten op andere principes. Bij het eerste productidee, “de conventionele warmtewisselaar”, wordt er gebruik gemaakt van een meer conventionele manier van warmtewisseling. In dat geval worden de twee stromen gescheiden door een wand welke warmtegeleidend is. In figuur 12 wordt getoond hoe het product werkt en verderop zal dit ook nader worden toegelicht. Bij het tweede productidee wordt er gebruik gemaakt van heat pipes. Hierbij wordt de warmte van het restwater naar een deel getransporteerd dat onder de vloer zit. In dat gedeelte komt dan de uitwisseling met het koude water. Het voordeel hiervan is dat het gedeelte waar het koude water stroomt wat groter kan zijn zodat bijvoorbeeld het oppervlakte aan deze zijde niet een sterk limiterende factor is. Beide productideeën worden hieronder met meer diepgang besproken.

Productidee: de conventionele warmtewisselaar

Een enkele wand volstaat helaas niet bij dit idee, want de Nederlandse wetgeving stelt dat de restwaterstroom en de drinkwaterstroom altijd dubbelwandig gescheiden behoren te zijn wat dus ook voor de

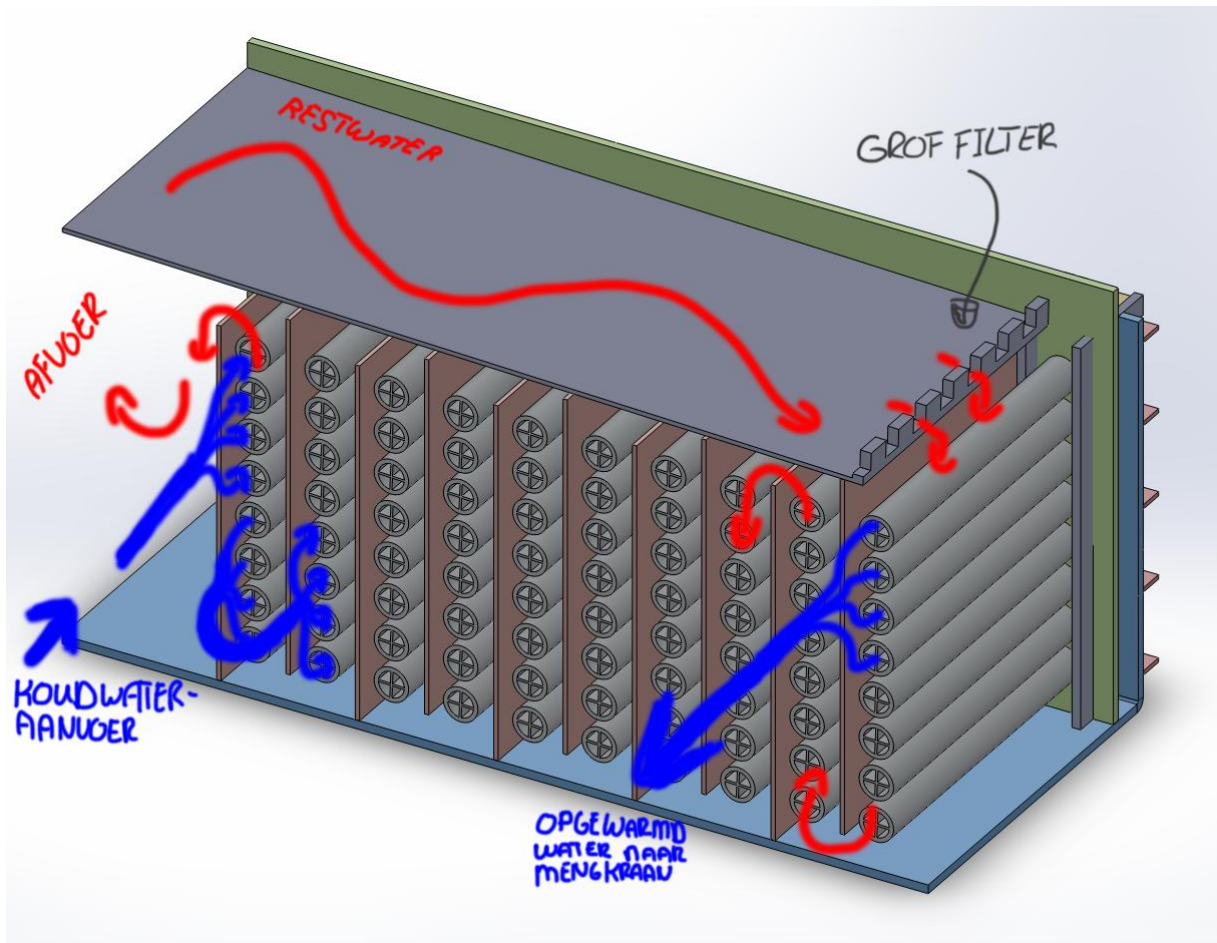


Figuur 10^[7.2.5]: Doorsnede van de dubbelwandige warmtewisselaar van Bries Energietechniek.

warmtewisselaar geldt. Hiervoor bestaan reeds oplossingen. In bijvoorbeeld een product van de concurrent, Bries energietechniek, wordt dit toegepast. In figuur 10 is een voorbeeld te zien van een dubbelwandig gescheiden warmtewisselaar. De toepassing is in dit product echter wel anders. Voor het productidee zou er eventueel onderzocht kunnen worden of het nuttig is om de binnenste wand of buis te vervangen door een buis met vinnen aan de binnenzijde. Omdat de buizen relatief kleine diameters ten opzichte van hun wanddikte hebben zit er een verschil in het interne en het externe oppervlak welke waarschijnlijk niet te verwaarlozen is. Een buis met vinnen aan de binnenzijde zal hier daarom een significant verschil kunnen maken. Ook hier bestaan reeds producten voor. Een voorbeeld hier van is te zien in figuur 11. Deze buis heeft ook vinnen aan de buitenzijde welke niet gewenst zijn in het uiteindelijke product, omdat hier de externe buis op zou moeten worden geklemd. Eventueel zou er op de buitenste buis nog wel een profiel aangebracht kunnen worden, maar deze moet dan wel zo gedimensioneerd worden dat het gemakkelijk schoon te houden is. In figuur 12 worden een aantal elementen uit het productidee benadrukt.



Figuur 11^[7.2.6]: Buis met interne en externe vinnen.



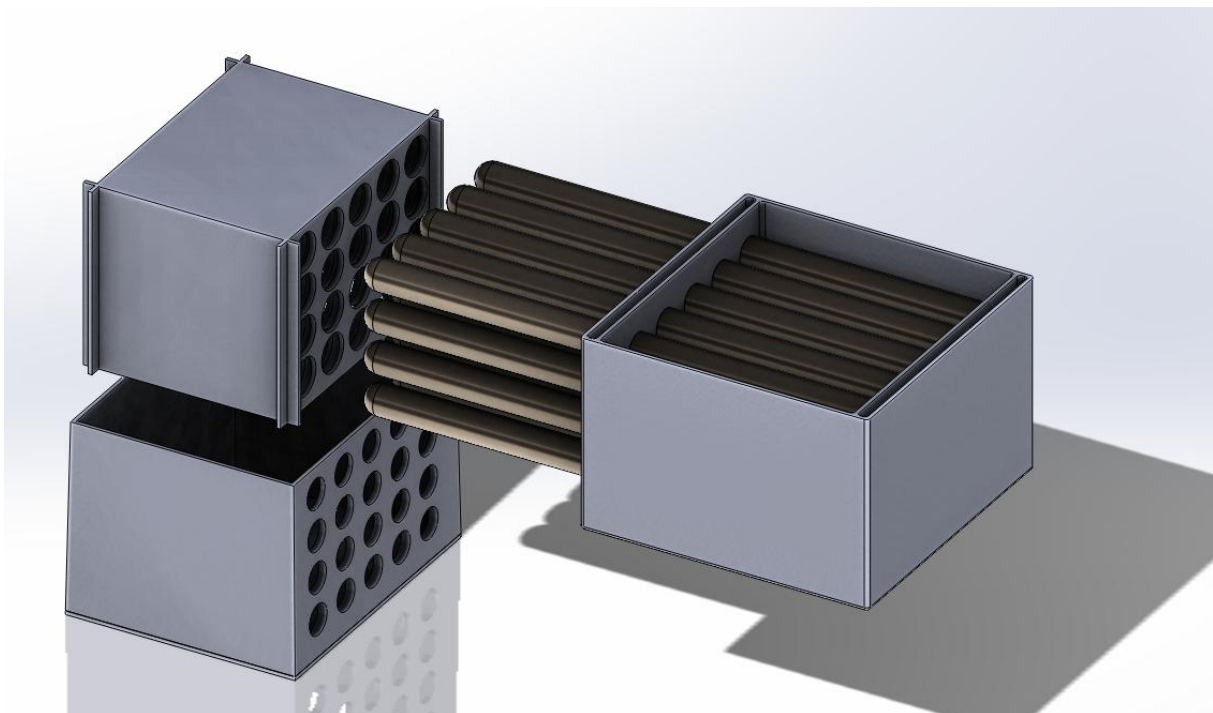
Figuur 12: Doorsnede van een model dat een aantal kern elementen van “de conventionele warmtewisselaar” laat zien.

In figuur 12, wat een doorsnede is van het productidee, is er te weergegeven wat er onder het putdeksel plaatsvindt. Het restwater zal eerst op de plaat lopen waar ook het grof filter in verwerkt zit. Deze plaat zal aflopend zijn om zo het water via het grof filter in de warmtewisselaar te laten lopen. Dit wordt aangegeven met de rode pijlen. Het filter is een belangrijk onderdeel dat in ieder idee terug komt. Het is de bedoeling dat dit filter het standaard onderhoud op een gemakkelijke wijze mogelijk maakt. Vuil zoals haren zullen achter de “tanden” blijven hangen en eens in de zoveel tijd kan dit vuil dan gemakkelijk worden verwijderd door eerst het deksel te lichten en vervolgens het vuil weg te pakken. Om zeepresten en ander aangekoekt vuil op de buizen en schotten te kunnen verwijderen moet ook het grof filter verwijderd kunnen worden, zodat de buizen en schotten bereikbaar zijn. Ook is het aan te bevelen om de schotten verwijderbaar te maken zodat de buizen en schotten gemakkelijker schoon te maken zijn. Het schoonmaken van de buizen kan bijvoorbeeld met een borsteltje. Het ontwerp dient zo uitgevoerd te zijn dat de schotten identiek zijn en niet verkeerd geplaatst kunnen worden, zodat het systeem niet onjuist geassembleerd kan worden door de gebruiker. Ook dit geldt voor het tweede productidee. Doordat er een grof filter wordt toegepast zou de schoonmaak van de buizen en schotten niet vaak gedaan hoeven te worden. Het idee is dat dit eens in het jaar moet gebeuren. Dit zal uiteraard getest moeten worden. In figuur 12 geven de

blauwe pijlen de richting van de koudwateraanvoer aan. Deze aanvoer begint bij de uitgang van de restwaterstroom zodat de warmtewisselaar beter voldoet aan de eigenschappen van een tegenstroomwarmtewisselaar, zoals besproken paragraaf 2.2. De aanvoerleiding zal intern worden opgesplitst naar bijvoorbeeld 4 kleinere buizen, zodat de drukval binnen de perken blijft. Als de koudwateraanvoer van de badgeiser ook door het putje loopt moet er met deze extra doorstroom rekening gehouden worden.

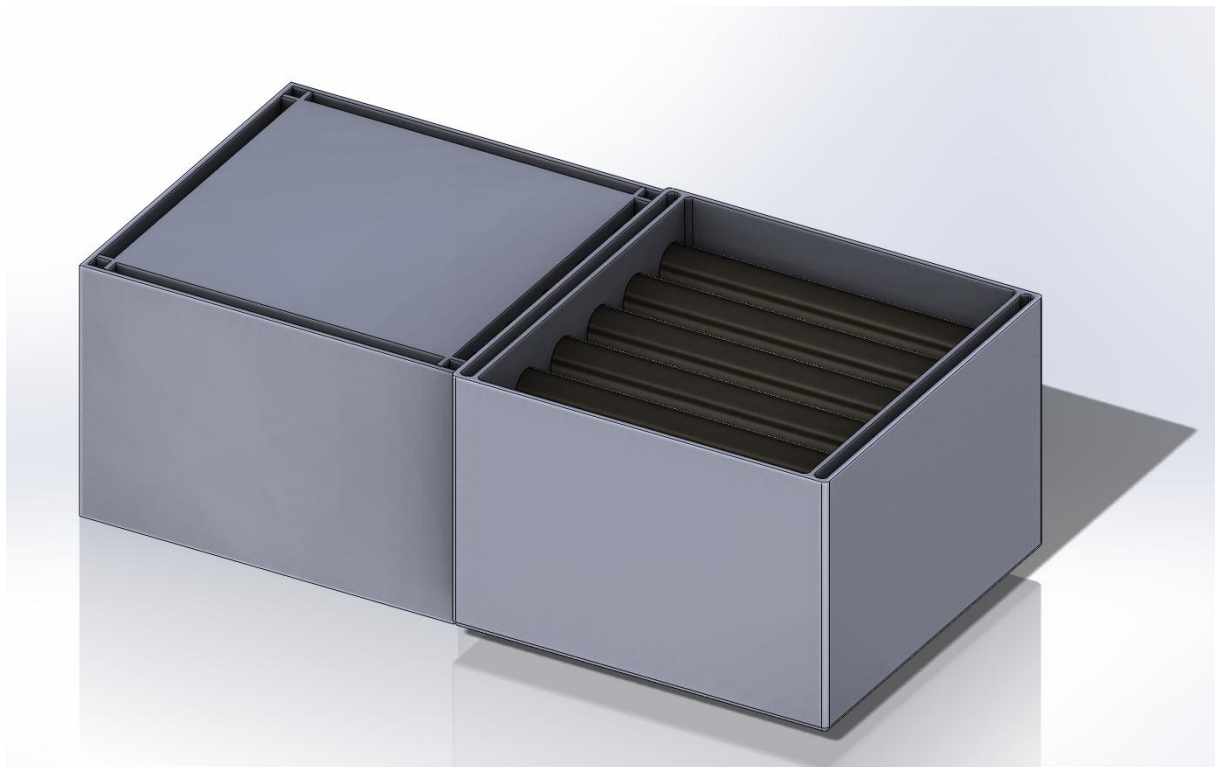
Productidee: de heat pipe warmtewisselaar

De heat pipe warmtewisselaar vertoont deelt veel kenmerken met de conventionele warmtewisselaar. Zo zal deze er voor de eindgebruiker zeer gelijk uitzien aangezien het binnenwerk van het restwater gedeelte op dezelfde manier vormgegeven is. Ook hier zal een grof filter worden toegepast welke het onderhoud vergemakkelijkt. Verder zal het restwater ook door een labyrinth stromen dat gevormd wordt door schotten. Het grote verschil zit er in de werking van de warmtewisselaar. De heat pipes zullen de warmte naar een gedeelte transporteren dat onder de vloer en het tegelwerk weggewerkt zit. In dat gedeelte zal het koude water langs de heat pipes stromen om daar de warmte op te nemen. Ook hier zal de stroom zo gekozen moet worden dat het principe van de een tegenstroomwarmtewisselaar benaderd. Dit is mogelijk door een labyrinth. Het labyrinth aan deze zijde kan nauwere kanalen bevatten dan die van het restwater, omdat er geen significante vervuiling zal plaatsvinden en de druk bij de aanvoer hoger zal liggen.



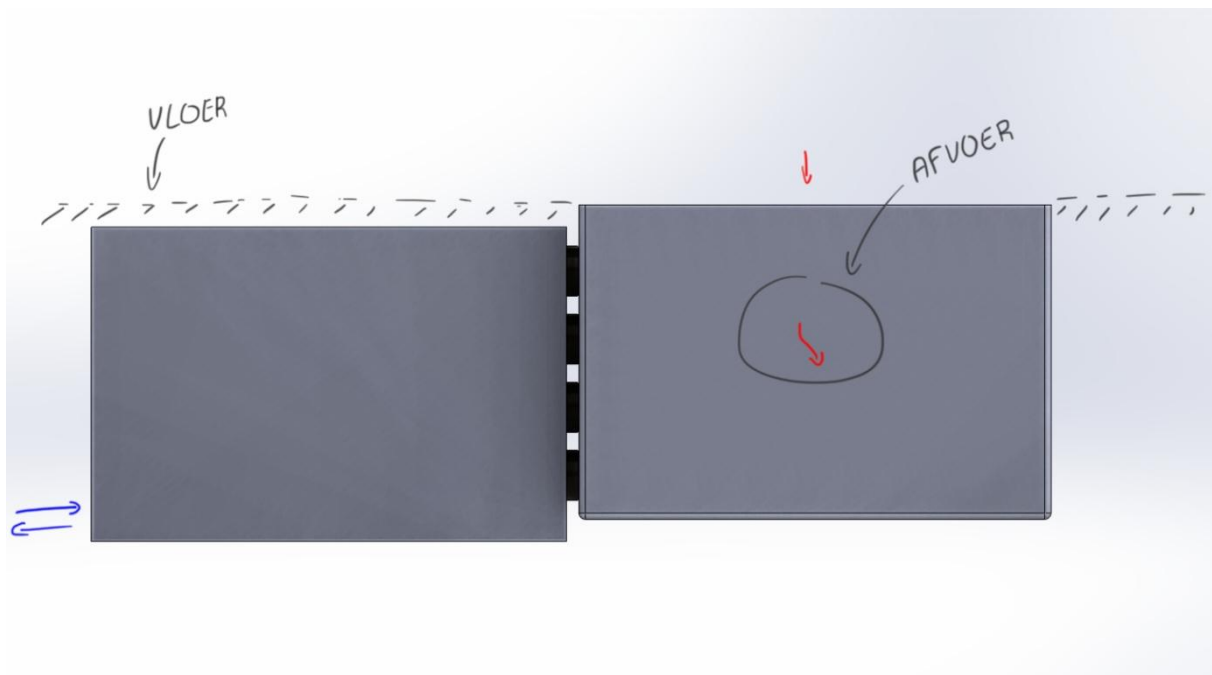
Figuur 13: Exploded view van de heat pipe warmtewisselaar.

In figuur 13 is te zien wat het idee van de opbouw is. Er dient wel opgemerkt te worden dat de maat van de heat pipes en de hoeveelheid heat pipes niet representatief hoeven te zijn. Verderop in het verslag zal er een suggestie worden gedaan voor de maatvoering van verschillende componenten. In de afbeelding is te zien dat de behuizing uit drie onderdelen bestaat. Deze onderdelen kunnen gemakkelijk in elkaar worden gezet door ze in elkaar te schuiven. In figuur 14 is er te zien hoe dit er uit ziet. De smalle holle ruimtes die dan ontstaan kunnen worden afgevuld met een PU-rubber zoals “PMC-121 – DRY” of een andere vuller met een redelijk lage verwerkingsviscositeit welke voor een duurzame afdichting kan zorgen en weinig last heeft van krimp^[7.1.5].



Figuur 14: De heat pipe warmtewisselaar met de behuizing in afvulbare toestand.

Een dergelijke methode kan ook bij de conventionele warmtewisselaar worden toegepast. Het voordeel hiervan is dat het een eenvoudige productie ^(SPUITGIETEN) en assemblage mogelijk maakt met een minimale kans op lekkages. Dit laatste zal nog wel onderzocht moeten worden. In figuur 15 is te zien dat de bovenkant van het gedeelte waar het koude water door stroomt lager ligt dan de bovenkant van het gedeelte waar het restwater langs stroomt waardoor dat gedeelte onder de vloer geplaatst kan worden.



Figuur 15: De positie van de onderdelen van de heat pipe warmtewisselaar ten opzichte van de vloer.

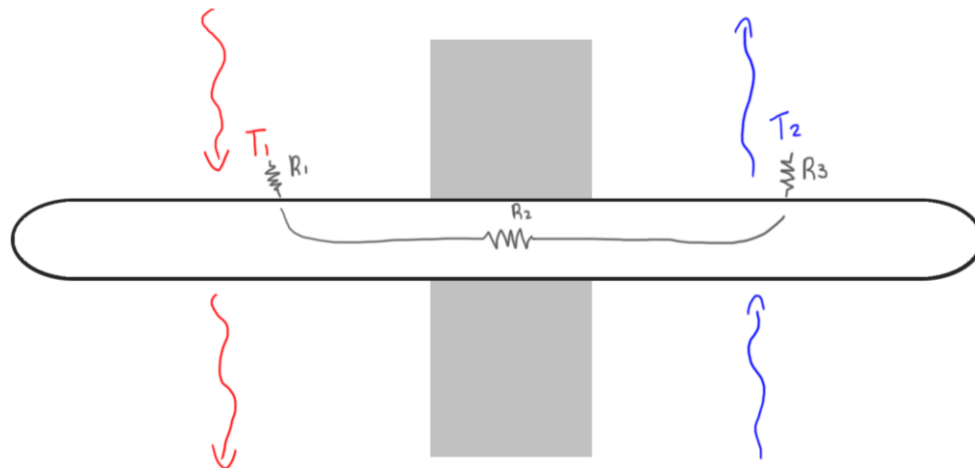
De heat pipe warmtewisselaar heeft geen aparte manier om de dubbelwandige scheiding mogelijk te maken. Zoals eerder gezegd kan de mogelijkheid van een groter uitwisselend oppervlak aan de koudwaterzijde een beperking wegnemen. Om dit te verklaren kan er gebruikt worden gemaakt van de volgende formule:

$$(5) \dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{R_{total}}$$

In deze formule is de rol van de thermische weerstand, R_{total} , dat als deze kleiner wordt dat gunstig uitpakt voor het vermogen bij een gelijk temperatuurverschil. De R_{total} bestaat op zich weer uit een aantal elementen:

$$R_{total} = R_{1,conv} + R_{2,cond} + R_{3,conv}$$

Dit wordt duidelijker aan de hand van figuur 16:



Figuur 16: Schematische weergave thermische weerstanden bij een heat pipe.

Hierbij is voornamelijk de R_3 interessant, want R_1 wordt voornamelijk bepaald door de afmetingen van het putje welke niet te groot mag worden. Voor R_2 , welke in werkelijkheid geldt deze wat complexer is opgebouwd dan de afbeelding doet vermoeden, geldt dat deze erg laag is. De waarde van R_3 wordt door twee factoren bepaald in het volgende verband:

$$R = \frac{1}{h * A}$$

De factor h heeft te maken met de stof en het type stroming en de factor A is het oppervlakte van dat stuk buis welke bij een gegeven diameter afhankelijk is van de lengte. Als deze beide hoger worden betekend dat de thermische weerstand omlaag gaat. Als de R_3 minder wordt, wordt de R_{total} ook minder. Dit uit zich in een ontwerp richtlijn dat er voor pleit om een sterke stroming te creëren bij een voldoende oppervlak aan de koudwaterzijde. Uiteraard dient hier het juiste compromis te worden gevonden. Een sterkere stroming betekend namelijk dat er meer drukval is. Een groter oppervlak betekend dat het product groter moet zijn wat op zijn beurt weer hogere kosten meebrengt.

Productidee: resumerend

Beide productideeën zijn op verschillende manieren vernieuwend binnen de groep van douchewarmtewisselaars en passen binnen de oorspronkelijke doelstelling. Er zijn nog wel aantal zaken onduidelijk en nog niet volledig uitwerkt. Beide productideeën zijn gemakkelijk in te bouwen en vergen betrekkelijk weinig onderhoud. Dit zal echter wel getest moeten worden. Als maatvoering

is het zichtbare oppervlakte als referentie genomen. Een suggestie voor het zichtbare oppervlak is dat deze 15 bij 15 centimeter is. Eventueel kan er gekeken worden naar een oppervlakte van 20 bij 20 cm. Dit betekent dat de putjes groter zijn dan de meer gangbare putjes. Bij een diepte van 10 of 15 cm betekent dit dat er vier suggesties voor maten zijn. Als er gebruikt wordt gemaakt van buizen of heat pipes met een diameter van 10 millimeter kunnen er ongeveer 40 tot 90 stuks worden gebruikt. Met het warmtewisselendoppervlak dat dit oplevert zal er volgens de berekeningen, met de gestelde gegevens in hoofdstuk 2, ongeveer een vermogen geleverd worden van 4 tot 5,5 kW. Een volgende stap is om een test uit te voeren met een prototype van beide productideeën. Een test met de prototypes zal meer duidelijkheid moeten geven in de prestatieverschillen tussen beide productideeën en de absolute prestaties. Met andere geometrieën en kan eventueel nog een beter resultaat gehaald worden bij een lagere kostprijs. Als er gekeken wordt naar de prijs van producten die in een soortgelijke markt beschikbaar zijn dan lijken de productideeën nog steeds interessant. Zo is er bijvoorbeeld de 190 euro kostende “Heatsnagger”^[7.1.6] en een 410 euro kostende warmtewisselaar voor in de meterkast^[7.1.7]. De prijs van de dubbelwandige buizen en de heat pipes zijn een van de meest bepalende onderdelen voor de totaalprijs. Heat pipes kosten bij grootschalige inkoop rond de 1 a 2 euro per stuk en hiermee kan een ruwe schatting voor de kostprijs worden van de productie worden gemaakt. Dit zal neerkomen op een kostprijs van rond de 150 tot 200 euro per stuk. Dit zou gereduceerd kunnen worden als er bijvoorbeeld minder, maar dikker buizen gebruikt worden.

3.6.2. De twee andere ideeën

Tijdens het uitvoeren van de opdracht zijn er nog twee andere ideeën geboren welke kort besproken zullen worden. Momenteel zijn er nog twee potentiële markten welke de moeite van het onderzoeken waard zijn. Er kan zowel gekeken worden naar de markt voor meer specifieke dan wel custom douchegoten waarin een warmtewisselaar verwerkt zit. Voor gewone rechte douchegoten bestaan er al producten waar een warmtewisselaar in zit. Er zal uitgezocht moeten worden of er nog wat toe te voegen is aan de markt. Een compleet andere markt is die van douchegelegenheden bij kleedkamers. Dit zijn plekken waar veel water en energie wordt gebruikt en een besparing kan daarom zeer interessant zijn.

3.6.3 Richtlijnenplan

Voor het product is er een richtlijnenplan gemaakt. Deze is verdeeld in drie delen: algemeen, de conventionele warmtewisselaar en de heat pipe warmtewisselaar.

Algemeen

- Grof filter voor eenvoudiger onderhoud.
- Buizen horizontaal allen in één richting op verticale lijnen geplaatst zodat er met een borsteltje goed schoongemaakt kan worden.
- Schotten die een labyrint vormen.
- Schotten verwijderbaar, van gelijke vorm en niet verkeerd plaatsbaar.
- Aansluiting naar waterleiding met een standaard leiding en koppelstuk.
- Tegenstroomwarmtewisselaar zoveel mogelijk benaderen.
- Sifon en putje zo ontwerpen dat er een schoonmaakslang gebruikt kan worden.
- Behuizing van in elkaar schuifbare onderdelen die met spuitgieten te maken zijn waarbij holtes afgedicht kunnen worden met een geschikt PU-rubber voor een goedkope fabricage.
- Een systeem met een totaal rendement van minimaal 30%.

De conventionele warmtewisselaar

- Dubbelwandige buis met interne vinnen.

De heat pipe warmtewisselaar

- De lengte van de heat pipe dat blootgesteld wordt aan het koude water langer laten zijn dan het stuk aan de restwaterzijde zodat de thermische weerstand “minimaal” is.
- Extra “sterk” labyrint toevoegen aan de koudwaterzijde voor een betere warmtewisseling.

4. Prototype

Om duidelijk te krijgen hoe beide hoofdproductideeën presteren zijn er van beide een vereenvoudigd prototype gemaakt waar dit mee te testen is. Naast deze functie kunnen de prototypes ook worden gebruikt door de opdrachtgever voor een demonstratie. Door de behuizing transparant te maken zijn de prototypes hier zeer geschikt voor.

4.1 Ontwerp prototype

Voor het ontwerp van het prototype is er eerst gekeken naar welke materialen beschikbaar waren. Het aanbod in heat pipes is zeer beperkt als het om kleine oplages gaat en de kosten zijn relatief hoog. Bij aantallen vanaf ongeveer 1.000- 10.000 stuks ligt de prijs rond de 1 a 2 euro per stuk en bij een aantal van 10 stuks ligt de prijs rond de 10 a 15 euro per stuk. Aan de hand van het gestelde budget is er voor gekozen om een prototype te maken met 10 heat pipes van het type QG-SHP-D8-250MN van het merk QuikCool. Deze heat pipe heeft een diameter van 8mm en een lengte van 250mm. Verdere specificaties, die door de

fabrikant zijn gegeven, kunnen gevonden worden in de tabel 1. Na de keuze voor de heat pipe is warmteuitwisselingbuis voor in het andere prototype gekozen. Hiervoor zal een 12mm koperen buis met een interne diameter van 10mm worden gebruikt. Deze buizen zijn eenvoudig te verkrijgen bij zo goed als iedere

bouwmarkt. Het verschil in diameter is gecompenseerd door de lengte van het stuk waar het warme water (restwater) langs stroomt. Dit wordt verduidelijkt in figuur 17. Bij de heat pipe warmtewisselaar is er gekozen voor een breedte van 90 millimeters bij de restwaterkant en een breedte van 125 millimeter bij de kant van het koude water. Ook is er te zien hoe het extra sterke labrynt wordt gevormd. Bij de conventionele warmtewisselaar is de kant van het restwater 60 millimeter breed om zo voor een gelijk uitwisselend oppervlak te komen:

Technische specificaties	
Type	QG-SHP-D8-250MN
Qmax bij Te (70 °C)	± 50 W
Rth	0.10 - 0.20 K/W
Afm.	(Ø x l) 8 mm x 250 mm
T(diff.)	-1 - -2 °C
Conform RoHS	Ja
Sluitlengten	(hoofd-/achtereind) 12/6 mm
Uitvoering	Mesh
Materiaal	Koper (vernikkeld)/water

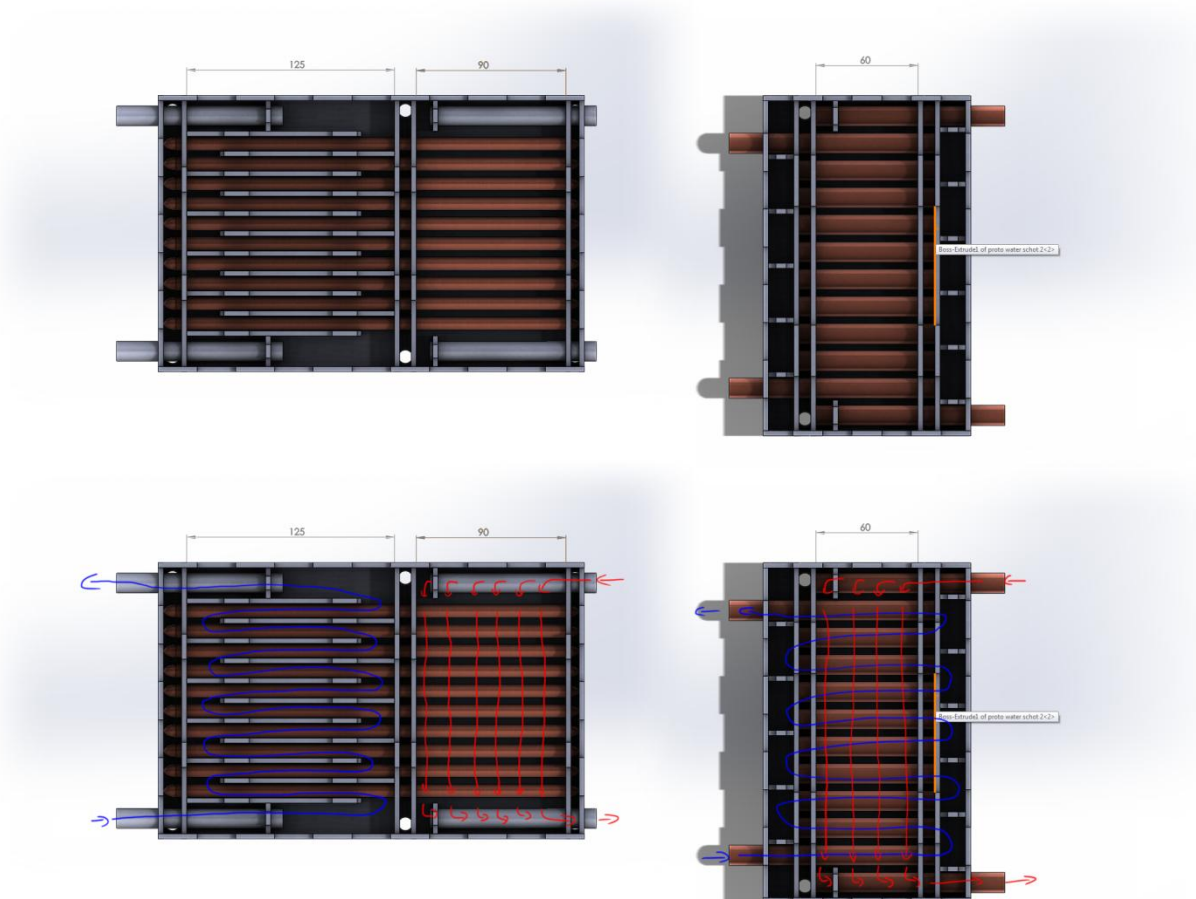
Tabel 1: Technische specificaties van de gebruikte heat pipe.

$$A = 2\pi r * L * aantal,$$

$$2\pi r * L * aantal = 2\pi r * L * aantal,$$

$$r * L = r * L,$$

$$4 * 90 = 6 * 60$$



Figuur 17: De prototypes van respectievelijke de heat pipe warmtewisselaar en de conventionele warmtewisselaar met daar onder de koudwaterstroom en de restwaterstroom.

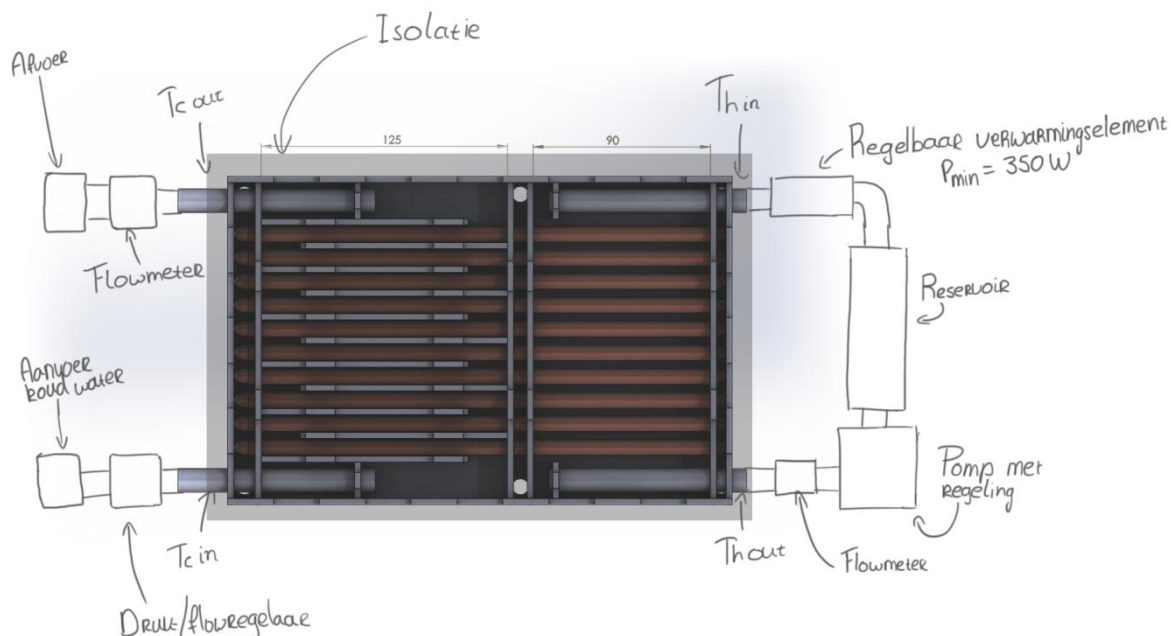
Om deze prototypes naast testdoeleinden ook voor demonstratiedoeleinden te kunnen gebruiken is voor gekozen om de behuizing van het transparante kunststof PMMA te maken. Het resultaat hiervan is te zien figuur 18.



Figuur 18: Foto's van de beide prototypes.

5. Experiment

Om een beter beeld te krijgen van de te verwachten resultaten zal er een experiment moeten worden uitgevoerd. Bij het experiment zal er een warmwaterstroom en een koudwaterstroom door de warmtewisselaars lopen. De stroomsnelheid zal moeten worden gemeten en geregeld. Ook de temperaturen aan alle in- en uitgangen moet worden gemeten. De temperatuur, $T_{h\ in}$, moet kunnen worden geregeld. Bij dit experiment moet goed worden opgelet voor de beperkingen van de heat pipes. Zo heeft de gebruikte heat pipe een vermogen van ongeveer 50 Watt. Om een veilige marge aan te houden kan hier bijvoorbeeld 30 Watt per heat pipe voor worden aangehouden. Het prototype kan dus ongeveer 300 Watt aan warmte overzetten. Voor het gemak is het verstandig om eerst de heat pipe warmtewisselaar te test. Met behulp van formule 2 kan de ΔT dan ongeveer 4,3 °C is bij een stroomsnelheid van 1 l/min ofwel 0,0166 kg/s. Als deze waarde voor de restwater kant wordt aangenomen dan kan voor de koudwaterkant een stroomsnelheid van 60% van die waarde, 0,6 l/min, worden aangenomen met een ΔT van 7,2 °C. Door, met deze gegevens en de eerder gegeven waarde voor U, formule 3 op te lossen worden de gewenste waarden voor $T_{h\ in}$ en $T_{c\ in}$ bekend. Het verband is namelijk zo: $T_{h\ in} \cong T_{c\ in} + 11$. Een van de eerste stappen van de proef is dan ook het meten van $T_{c\ in}$ en het daar op bijstellen van $T_{h\ in}$. Overigens is het belangrijk om de prototypes tijdens de test thermisch te isoleren zodat de verliezen naar buiten minimaal zijn. In figuur 19 is een schematische weergave van de proefopstelling te zien.



Figuur 19: Schematische weergave proefopstelling.

Mocht tijdens de proef duidelijk worden dat het verschil in temperatuur van $T_{c\ in}$ en $T_{c\ out}$ groter is dan 7,9 °C dan zal het experiment opnieuw moeten worden uitgevoerd met een kleiner

temperatuurverschil tussen $T_{h\ in}$ en $T_{c\ in}$. Dit moet zich herhalen totdat er wel aan deze conditie wordt voldaan. Dit zal betekenen dat het opgenomen vermogen ongeveer 300W of minder is en dat dus het vermogen van de heat pipes niet de belemmerende factor is. Met de verkregen gegevens kan wederom formule 3 opgelost worden, maar nu kan de warmteoverdrachtcoëfficiënt van het prototype worden bepaald. Dezelfde proef kan ook worden herhaald met bijvoorbeeld een stroomsnelheid van 0,5 l/min en 2 l/min. Uiteraard dienen de overige waarden dan ook te worden aangepast. Het is interessant om te weten of de stroomsnelheid nog significante invloed op de warmteoverdrachtcoëfficiënt heeft. Als deze testen uitgevoerd zijn kunnen deze worden herhaald met de conventionele warmtewisselaar. De resultaten zijn zeer belangrijk voor de haalbaarheid van het concept.

6. Conclusie en aanbevelingen

Het doel van de opdracht is geweest om de haalbaarheid te onderzoeken van een warmtewisselaar die verwerkt zit in een doucheputje. Er is gebleken dat dit systeem potentie heeft, maar een definitief antwoord over de haalbaarheid kan niet nog niet gegeven worden. Er is een nieuwe productie en assemblage methode bedacht welke nader onderzoek nodig heeft. Deze methode voegt wel mogelijkheden toe waardoor het systeem beter kan werken. De mogelijke toepassing van heat pipes in het concept is ook vernieuwend. Het uitvoeren van experiment_(HOOFDSTUK 5) zal meer duidelijkheid moeten geven over de uiteindelijke prestaties van het systeem. Dit experiment zal ook als indicatie dienen voor de onderlinge verhouding in prestatie tussen de conventionele warmtewisselaar en de heat pipe warmtewisselaar. De aanpassing van het oorspronkelijke conceptontwerp heeft geleid tot een nieuw ontwerp waarmee iedere installateur zou moeten kunnen werken, omdat er amper tot geen nieuwe vaardigheden nodig zijn. Het enige waarschijnlijke kritieke punt voor de installatie is het juist aansluiten van de in- en uitgang op de koudwaterleiding. Verder is het interessant om te kijken of het product zo ontworpen kan worden dat het ook in een systeem past waar de badgeiser ook op de warmtewisselaar kan worden aangesloten. Eventueel zou dit ook kunnen worden uitgevoerd met een hybride oplossing waar de badgeiser wel op een buiswarmtewisselaar, in de vloer of in de meterkast, aangesloten zit, maar niet op het putje. Bij een systeem waar enkel een putje met heat pipes wordt gebruikt moet er rekening gehouden worden met het maximaal transporteerbare vermogen van de heat pipes. In het experiment staat beschreven hoe dit beperkend kan zijn en bij het ontwerp dienen hierover weloverwogen keuzes in gemaakt te worden. Een ander belangrijk aspect is de doorstroming. Het uiteindelijke ontwerp zal zo moeten worden gemaakt dat het vies worden van het systeem niet of niet direct voor een slechte doorstroom moet zorgen. Aangezien de afzetting van zeepresten en dergelijke de warmteoverdracht zullen verminderen zou het product wel zo kunnen worden gemaakt dat de doorstroom op een gegeven moment wel beduidend slechter wordt zodat dit als indicatie kan dienen, voor de gebruiker, dat het putje gereinigd moet worden.

7. Bronnen

7.1 Literatuur en internet

- 7.1.1 Çengel, Y.A. en Turner, R.H. (2001). Fundamentals of thermal-fluid sciences. New York, New York: McGraw-Hill.
- 7.1.2 <http://www.zonpower.nl/wordpress/?p=490>, (17-05-2012)
- 7.1.3 <http://www.wilo-onderhoudsbedrijf.nl/douche.html>, (17-05-2012)
- 7.1.4 http://nl.wikipedia.org/wiki/Getal_van_Reynolds, (02-06-2012)
- 7.1.5 <http://www.formx.nl/products/polyurethanes/pu-rubber/index.php>, (25-06-2012)
- 7.1.6 <http://www.heatsnagger.com/product/heatsnagger-dwhr-for-shower/>, (15-08-2012)
- 7.1.7 <http://www.groene-energiewinkel.nl/Douche+warmte-terugwinning/Douche-pijp+warmtewisselaar/63112030.html>, (15-08-2012)

7.2 Figuren

- 7.2.1 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a3/Heat_Pipe_Mechanism.png, (17-08-2012)
- 7.2.2 http://docs.engineeringtoolbox.com/documents/436/logarithmic_mean_temperature_difference.png, (20-05-2012)
- 7.2.3 <http://assets.inhabitat.com/wp-content/blogs.dir/1/files/2011/10/power-pipe2-537x402.jpg> (14-08-2012)
- 7.2.4 <http://www.verstopt.nl/images/spuitkop1.jpg>, (14-08-2012)
- 7.2.5 http://www.brieswaterenenergie.nl/productinformatie/DDWTW/DDWTW_0310.pdf, (21-06-2012)
- 7.2.6 <http://www.cemal.com.pl/img/cemal012.jpg>, (08-07-2012)

8. Bijlagen

Overzicht

8.1 Opdrachtschrijving

8.2 Velocity and pressure drop in pipes

8.1 Opdrachtschrijving

Ontwerp een efficiënte warmtewisselaar

Om het energieverbruik in huishoudens te verminderen is het volgende bedacht:

- Een badgeiser verbruikt ongeveer 20-30 kW en is daarmee met de CV de grootste energiegebruiker in veel huishoudens.
- Bij het douchen verdwijnt ongeveer 15 kW in het putje. Dit is warmte van relatief lage kwaliteit/temperatuur: 34°C
- Het is echter erg interessant om hiermee het koude water wat wordt bijgemengd in de douchekraan voor te verwarmen.
- Als dit verwarmd kan worden van 10°C naar bijvoorbeeld 25°C hoeft er veel minder warm water te worden bijgemengd om tot een aangename douchetemperatuur te komen.
- Dit kan een aanzienlijk energie besparing opleveren.

Voor nieuwbouw zijn er al goede douche warmtewisselaars op de markt, zie bijvoorbeeld:

<http://www.groene-energiewinkel.nl/Douche+warmte-terugwinning/Douche-pijp+warmtewisselaar/63112010.html?sid=a7ef5128324e6a062>

Deze ontwerpen zijn helaas weinig compact en daardoor moeilijk in bestaande bouw in te bouwen. Hier zit natuurlijk wel een enorme markt potentieel.

Jouw onderzoeksvraag

Ontwerp een efficiënte warmtewisselaar (bijv. d.m.v. 2fase systemen) tussen het (warme) afvoerwater en het (koude) leidingwater handig in te bouwen voor bestaande douches.

Deze opdracht is van een bedrijf uit de buurt van Deventer dat zich richt op de ontwikkeling en exploitatie van duurzame oplossingen.

Contact

Wessel Wits

Kamer: Horstring W.260

Email: w.w.wits@utwente.nl

Telefoon: 053 489 2266

8.2 Velocity and pressure drop in pipes

VELOCITY AND PRESSURE DROP IN PIPES

Velocity

The velocity of hydraulic fluid through a conductor (pipe, tube or hose) is dependent on flow rate and cross sectional area. Recommended fluid velocities through pipes and hoses in hydraulic systems are as follows:

Service	Velocity (ft/sec)	Velocity (m/sec)
suction/intake	2 - 4	0.6 - 1.2
return	4 - 13	1.5 - 4
pressure/discharge	7 - 18	2 - 5.5

Use values at the lower end of the range for lower pressures or where operation is continuous. Refer to the flow/velocity nomograms on pages four and five for more information, alternatively, fluid velocity can be calculated using the following formula:

$$v = \frac{Q \times 0.408}{D^2}$$

Where

v = velocity in feet per second (ft/sec)
Q = flow rate in US gallons per minute (USgpm)
D = inside diameter of pipe or hose in inches (in)

In metric units

$$v = \frac{Q \times 21.22}{D^2}$$

Where

v = velocity in metres per second (m/sec)
Q = flow rate in litres per minute (L/min)
D = inside diameter of pipe or hose in millimetres (mm)

Pressure drop

Friction between the fluid flowing through a conductor and its inside wall causes losses, which are quantified as pressure drop. Pressure drop in conductors is an important consideration for the designer especially in systems where long pipe or hose runs are necessary. The pressure drop over a length of pipe or hose can be calculated using the following formula, which for ease of calculation uses metric units. Before proceeding to the pressure drop calculations, the following variables need to be known:

Flow rate in litres per minute (L/min)	Q
Inside diameter of pipe or hose in millimetres (mm)	D
Kinematic viscosity of fluid (at operating temperature) in centistokes (cSt)	v
Density of the fluid in kilograms per cubic metre (kg/m ³)	ρ
Length of the pipe, tube or hose in metres (m)	L

1. Calculate fluid velocity:

$$v = \frac{Q \times 21.22}{D^2}$$

Where

v = velocity in metres per second (m/sec)
Q = flow rate in litres per minute (L/min)
D = inside diameter of pipe or hose in millimetres (mm)

2. Calculate the Reynolds Number (Re):

$$Re = \frac{1000 \times v \times D}{\nu}$$

Where

Re = Reynolds Number
v = velocity in metres per second (m/sec)
D = inside diameter of pipe or hose in millimetres (mm)
 ν = kinematic viscosity of fluid (at operating temperature) in centistokes (cSt)

3. Calculate the friction factor (f)

The formula used to calculate the friction factor is dependent on the magnitude of the Reynolds Number.

If the Reynolds Number is less than 2300, flow is laminar and the following formula is used to calculate the friction factor:

$$f = \frac{64}{Re}$$

Where

f = friction factor
Re = Reynolds Number < 2300

If the Reynolds Number is between 2300 and 4000, flow is transition and greater than 4000 flow is turbulent. For Reynolds Numbers greater than 2300 and less than 100,000 the following formula can be used to calculate the friction factor:

$$f = 0.3164 \times Re^{-0.25}$$

Where

f = friction factor
Re = Reynolds Number > 2300 and < 100,000

In instances where the Reynolds Number is greater than 100,000, friction is highly dependant on the roughness of the conductor's inner surface. In these cases *Colebrook's* equation, which considers pipe roughness, is used to calculate the friction factor. However, due to the relatively low fluid velocities and high fluid viscosities present in hydraulic systems, Reynolds Numbers of this magnitude should not be encountered.

4. Calculate the pressure drop:

Finally, pressure drop can be calculated using the following formula:

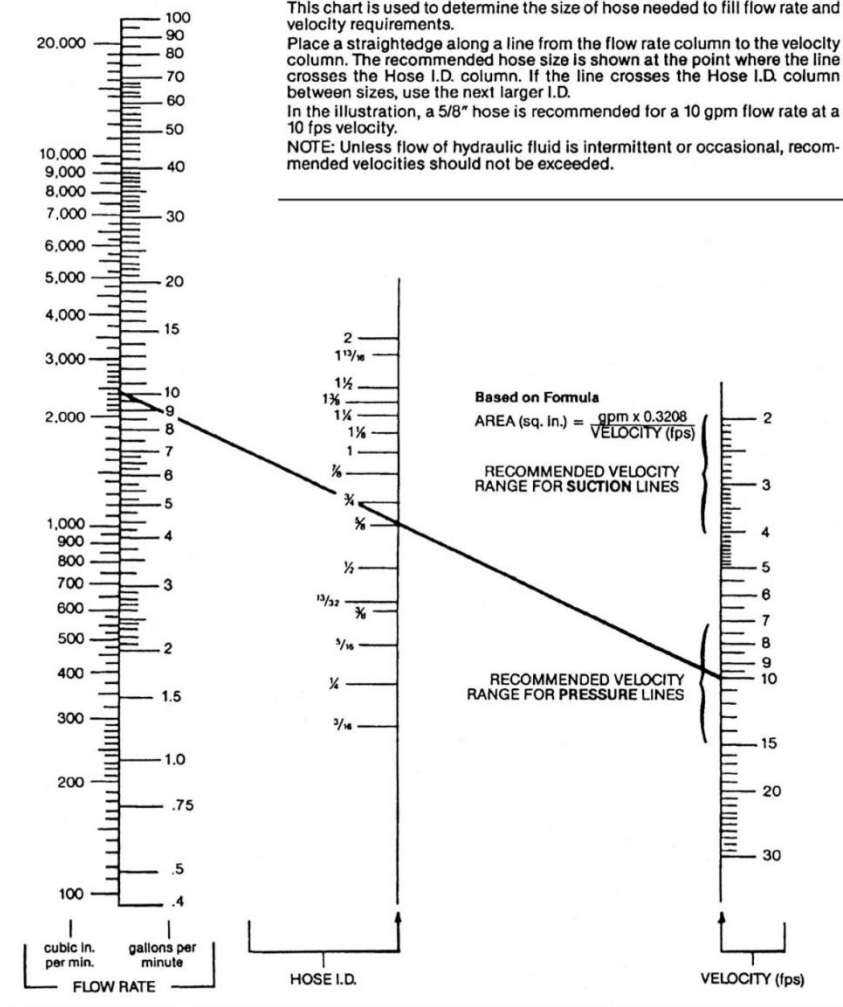
$$\Delta p = \frac{v^2 \times f \times L \times \rho}{2D}$$

Where

Δp = pressure drop in Pascals (Pa)
 v = velocity in metres per second (m/sec)
 f = friction factor
 L = length of pipe or hose in metres (m)
 ρ = density of the fluid in kilograms per cubic metre (870-890 kg/m³ for hydraulic oil)
 D = inside diameter of pipe or hose in metres (m)

Conversions			
SUS (32 – 99)	cSt = 0.2253 × SUS – (194.4 ÷ SUS)		
SUS (100 – 240)	cSt = 0.2193 × SUS – (134.6 ÷ SUS)		
SUS (> 240)	cSt = SUS ÷ 4.635		
US gallon	×	3.785	= litre
inch	×	25.4	= millimetre
inch	×	0.0254	= metre
feet	×	0.3048	= metre
lb/ft ³	×	16.02	= kg/m ³
Pascal (Pa)	÷	100000	= bar
Pascal (Pa)	×	0.000145	= psi

FLOW / VELOCITY NOMOGRAM (U.S. imperial)



FLOW / VELOCITY NOMOGRAM (metric)

