

A close-up, black and white photograph of an espresso machine's spout pouring a stream of dark coffee into a clear glass cup. The background is blurred, showing the metallic components of the machine. The coffee stream is captured in mid-pour, creating a sense of motion.

Optimalisatie van de temperatuurconstantheid van een espressomachine

Timothy Teoh
Bachelor Eindopdracht

Optimalisatie van de temperatuurconstantheid van een espressomachine

Een onderzoek naar de beste manier om het water wat een espressomachine verlaat een zo constant mogelijke temperatuur te geven.

Bijlage

Eindverslag van de bachelor eindopdracht van Timothy Teoh (s1103261),
student Industrieel Ontwerpen aan de Universiteit Twente te Enschede,
uitgevoerd bij Kees van der Westen Espressonistic Works BV te Waalre in 2014.

© 2014, Timothy Teoh, Enschede.

INLEIDING

In deze bijlage is alle verdere informatie te vinden die helpt de teksten in het onderzoeksrapport en het eindverslag te verhelderen. Elk onderwerp heeft zijn eigen nummer, die in het eindverslag of onderzoeksrapport genoemd wordt, dit nummer is in de inhoudsopgave terug te vinden. Hier zullen extra meetgegevens staan, metingen die het verhaal verhelderen en de logboeken van de metingen. Alle wiskundige berekeningen die in het verslag gebruikt worden staan achterin de bijlage. Op de achterkant zit de CD waar alle ruwe data op staat.

Voor elke meting is er een logboek bijgehouden. Deze logboeken staan op de CD in de map “logboeken”. Het wordt erg aangeraden om deze erbij te pakken als u een duidelijker beeld van de temperatuur wil krijgen, omdat hier per shotreeks de bijbehorende grafiek gegeven is. Het doorkijken van de logboeken geeft een goed inzicht in de ruwe data zonder de excel-sheets te hoeven openen. Elke shotreeks wordt aangeduid met de tijd waarop hij plaatsvond. Deze tijd wordt in de verslagen ook genoemd. Mocht u de ruwe data op willen zoeken die bij een bepaalde grafiek hoort, dan moet u ook deze naam gebruiken om de data in de excel-sheet te kunnen vinden.



INHOUDSOPGAVE

Inleiding	2
Inhoudsopgave	3
1 Gebruikte materialen en onderdelen in de machine	5
1.1 Materialen	6
1.2 E6 I	6
1.3 Boiler	7
1.4 PPI	7
2 Gebruikte onderzoeksmaterialen	9
2.1 Datalogger en thermokoppel	10
2.2 Aangepaste moeren	11
2.3 Aangepast blindfilter	12
3 De nulmeting	13
3.1 Herhaalbaarheid	14
3.2 Temperatuur simulatie	23
3.3 Crossflow bij onderste bajonet	24
4 De 3-weg-klep	29
4.1 Geïsoleerde 3-weg-klep	30
4.2 Verbonden 3-weg-klep	31
4.3 RVS 3-weg-klep	31
4.4 Aanvullende meetresultaten	32
5 Het Mixblok	47
5.1 Verschillende inbouw opstellingen	48
5.2 Aanvullende meetresultaten en berekeningen	50
6 Overige metingen	69
6.1 Behuizing vs handdoek	70
6.2 Temperatuur in de machine	71
6.3 Stabilisatie van het groepshoofd	72
6.4 Temperatuur verschil tussen meetpunten I en J	73
6.5 Maximum temperatuur RVS-klep	74
7 Aanpassingen machine	75
7.1 De 3-weg-Klep	76
7.2 Mixblok voor warm en koud water	76
7.3 Splitsing van het koude water bij de flowmeter	78
7.4 Boiler voor koude water	78
7.5 PPI	79
7.6 Kortere toevoerbuis warmtewisselaar	79
8 Wiskundige berekeningen	81
8.1 Verhouding temperatuur en druk	82
8.2 Verstelbaar stuwte	83
8.3 Thermische geleidbaarheid	84

GEBRUIKTE MATERIALEN EN ONDERDELEN IN DE MACHINE



KEES VAN DER WESTEN

In dit hoofdstuk zullen de materialen die in de Mirage gebruikt worden verder uitgelegd worden. Verder zullen een aantal belangrijke onderdelen van de Mirage verder toegelicht worden.



GEBRUIKTE MATERIALEN EN ONDERDELEN IN DE MACHINE

1.1 MATERIALEN

CU70-MESSING

Alle messing producten die in de Mirage gebruikt worden zijn Cu70-messing. Dit houdt in dat de dat er 70% koper en 30% zink in zit. Dit wordt gebruikt omdat dit erg goed bewerkbaar is. Dit messing staat bekend als een alfa messing, wat betekend dat het koud gesmeed kan worden.

KOPEREN BUIZEN

De buizen die in de Mirage gebruikt worden zijn van koper. Deze buizen worden ook gebruikt in andere toepassingen met water. Deze buizen zijn met de hand nog te buigen en dus makkelijk te bewerken.

AISI304 RVS

De RVS-groepsklep die tijdens het onderzoek naar de beste klep is gebruikt is AiSi304 RVS. Dit bestaat uit 18% chroom en 8% nikkel. Dit roestvaststaal is goed lasbaar en wordt vaak gebruikt in de voedselindustrie. Dit materiaal is een austeniet.

1.2 E6I

In de Mirage wordt een door geëvolueerde E6I¹ groepshoofd gebruikt. Het oorspronkelijke E6I systeem is in 1961 geïntroduceerd in de E6I machine van Faema. De machine is vernoemd naar de zonsverduistering (eclipse) van 1961. In de koffiewereld zorgde deze machine ook voor een aardverschuiving. Dit was de eigenlijk de eerste machine die gebruik maakte van pompdruk in plaats van de daarvoor altijd gebruikte boilerdruk. Hierdoor konden er ineens veel krachtigere en beter espresso's gezet worden. Het groepshoofd is heeft later de naam van de machine over genomen. Toen de E6I geïntroduceerd werd waren er nog geen elektrische 3-weg-kleppen. Daarom zat er aan de zijkant van het groepshoofd een hendel waar de gebruiker de groep mee kon open zetten. Verder was dit het eerste groepshoofd wat messing als stabiliserend materiaal introduceerde, dit zorgde voor veel constantere watertemperaturen.



Afbeelding 1.1: E6I groepshoofd²

¹ zie bronnenlijst, bron 3.1

² zie bronnenlijst, bron 3.2

1.3 BOILER

In de Mirage wordt één grote boiler gebruikt. In de Duette is dit een 14 liter boiler en in de Triplette een 20 liter boiler. Deze is gevuld met water wat onder 1,35 bar druk wordt gebracht. Hierdoor neemt het water een temperatuur aan van 125 °C, waardoor een deel van het water in krachtige stoom veranderd. Dit stoom kan de barista gebruiken om het melk op te schuimen. Het warme water wordt gebruikt voor het theewater. Door deze boiler lopen twee of drie warmtewisselaars die het water opwarmen voor het koffiewater. Deze warmtewisselaars bevatten 450 cc water. De koper is van boiler en wordt opgewarmd door een warmte-element.

1.3 BOILER

Sommige machines van Kees van der Westen maken gebruik van een zogeheten **Progressieve Pre-Infusie** (ofwel PPI). Het doel van deze PPI is de druk die de pomp levert even bij de koffie langzaam op te bouwen, waardoor het koffiebed wat kan voorweken, om zo een beter extractie te krijgen. De werking hiervan wordt hieronder uitgelegd. Belangrijk is om in het achterhoofd te houden dat water altijd de weg met de minste weerstand zoekt. Afbeelding 1.2 geeft de begin toestand weer, hierbij is de 3-weg-klep gesloten.



Afbeelding 1.2: Begin toestand

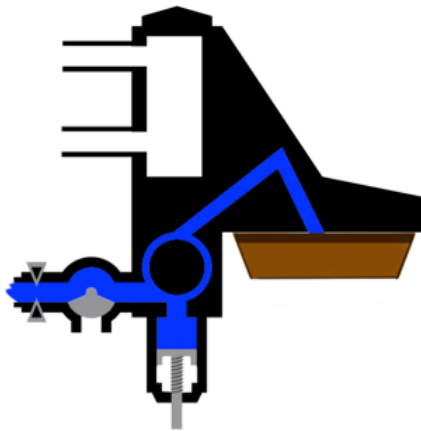


Afbeelding 1.3: Stap 1

Stap 1: De gebruiker zet de groep open, hierdoor slaat de klep om en gaat de pomp aan. De pomp drukt met ongeveer 9 bar het water van achter door de klep naar het groepshoofd. Het water vult het hele groepshoofd opzoek naar de weg met de minste weerstand. Aangezien de gemalen koffie in het koffiebed met ongeveer 150 N is platgedrukt geeft dit meer weerstand dan het veertje in de pre-infusiekamer. Dit is in afbeelding 1.3 te zien.

Stap 2: Het water stroomt de PPI-kamer binnen en drukt het veertje naar beneden. Hierdoor word de kamer van ongeveer 30 cc helemaal gevuld. Dit hele proces duurt ongeveer 3 seconde. Dit is in afbeelding 1.4 te zien.

GEBRUIKTE MATERIALEN EN ONDERDELEN IN DE MACHINE



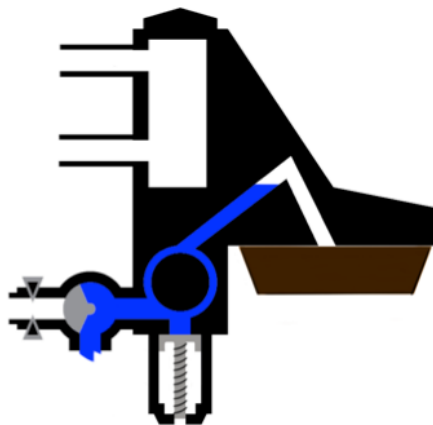
Afbeelding 1.4: Stap 2



Afbeelding 1.5: Stap 3

Stap 3: De PPI-kamer is helemaal gevuld met water en de veer is helemaal ingedrukt, hierdoor kan het water hier niet verder, en komt de volle pompdruk op het koffiebed te staan, zodat de extractie van vetten en suikers uit de gemalen koffie kan beginnen. Dit is in afbeelding 1.5 te zien.

Stap 4: Het shot is voorbij, en de 3-weg-klep slaat weer om. Het water dat nog in het groepshoofd zat, dus vooral in de PPI-kamer, wordt door de afvoer de machine uit geleid. Afbeelding 1.6 laat zien hoe dit eruit ziet.



Afbeelding 1.6: Stap 4

2

GEBRUIKTE ONDERZOEKSMATERIALEN



KEES VAN DER WESTEN

In deze bijlage zullen alle materialen die gebruikt zijn voor de metingen verder verduidelijkt worden. Zo komt de gebruikte datalogger, thermokoppel en software aan bod.



GEBRUIKTE ONDERZOEKSMATERIALEN

2.1 DATALOGGER EN THERMOKOPPEL

Voor het meten van de temperaturen wordt een Pico Technology TC-08 Thermokoppel data logger (zie afbeelding 2.1) gebruikt. Hierop kunnen acht thermokoppels tegelijk worden aangesloten. De logger moet altijd aangesloten zijn op een computer met de bijgeleverde PicoLog Recorder software. In deze software is de sampling ingesteld op 1 meting per seconde, wat betekent dat het programma elke seconde de temperatuur van alle acht de thermokoppels opslaat. Voor de verder verwerking van de data is Microsoft Excel gebruikt.



Afbeelding 2.1: De TC-08 data logger¹



Afbeelding 2.2: De twee Fluke's

Voor het meten van zelfstandige metingen wordt een Fluke 54-IIB (zie afbeelding 2.2) thermometer gebruikt. Om de data van de Fluke 54-IIB op de computer te krijgen wordt de FlukeView Forms versie 3.6.0004 gebruikt in samenwerking met de IR189-USB (Infrarood naar USB) kabel.

Verder wordt de temperatuur gemeten door middel van thermokoppel type K². Deze thermokoppels hebben een reactietijd van 0.1 seconden. Deze kabels maken gebruik van het Seebeck-effect. Dit is de omzetting van een temperatuur naar een elektrische spanning op het grensvlak tussen twee halfgeleiders. In het geval van type K is dit bij de pluspool Chromel (nikkel en chroom) en bij de minpool Alumel (nikkel en aluminium). Deze twee materialen hebben een temperatuurbereik van -270 °C tot 1372 °C.



Afbeelding 2.3: Thermokoppel³

¹ zie bronnenlijst, bron 3.3

² zie bronnenlijst, bron 2.1

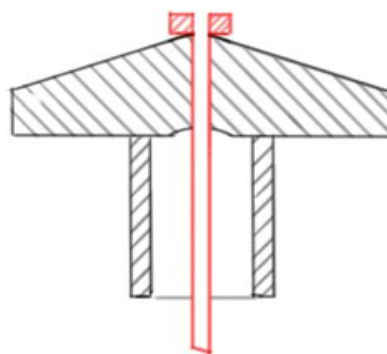
³ zie bronnenlijst, bron 3.4

2.2 AANGEPASTE MOEREN

Om het water in de bovenkamer van het groepshoofd te meten is de er een gat in de bovenste moer geboord, hier is een koperen buisje ingedraaid. In dit buisje is het thermokoppel strak tegen de bodem vastgebonden. Op afbeelding 2.4 is te zien hoe dit er in het echt uitzag en afbeelding 2.5 geeft een schematische dwarsdoorsnede weer. Het rode gedeelte is het koperen buisje waar de thermokoppel instak.



Afbeelding 2.4: Foto van de bovenste moer

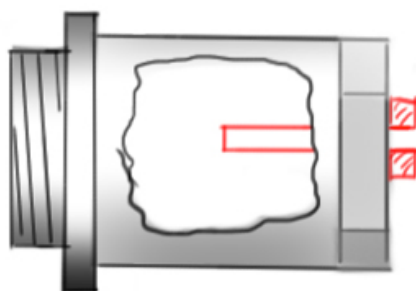


Afbeelding 2.5: Schematische tekening van de bovenste moer

Om de temperatuur van het water onder in het groepshoofd te meten is de moer die aan de zijkant in het groepshoofd gedraaid wordt aangepast. Hierbij is er een gat geboord waar een koperen buisje in gedraaid is. Afbeelding 2.6 geeft weer hoe dit er in het echt uitzag. Afbeelding 2.7 is een tekening waarom een indicatie gegeven wordt hoe dit eruitzag.



Afbeelding 2.6: Foto van de moer aan de zijkant van het groepshoofd



Afbeelding 2.7: tekening van de moer aan de zijkant

GEBRUIKTE ONDERZOEKSMATERIALEN

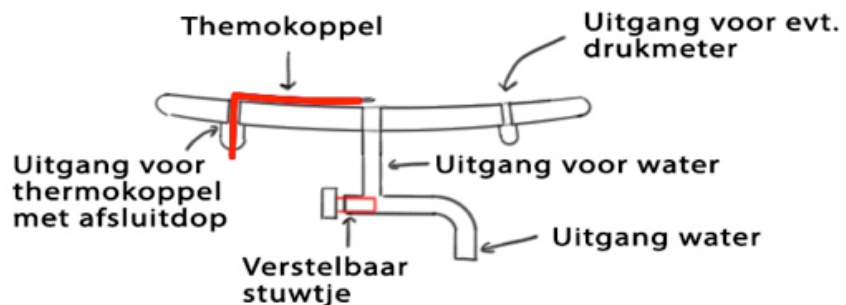
2.3 AANGEPAST BLINDFILTER

In deze filterdrager zit een blindfilter met daaronder een kraantje. Deze kan zo afgesteld worden dat de filterdrager de permeabiliteit van koffie simuleert. Verder zit er daar waar het water wegstroomt een thermokoppel om de temperatuur te kunnen meten van het water wanneer het normaal de koffie bereikt.

Een blindfilter is een bakje wat in een filterdrager geplaatst kan worden die normaal geen opening heeft. Hierdoor wordt het water weer terug in de machine geleid wordt. Dit wordt meestal gebruikt om de machine schoon te maken. Voor dit doeleinde is hij wat aangepast. In afbeelding 2.8 is een normaal blindfilter te zien.



Afbeelding 2.8.: Normaal blindfilter¹



Afbeelding 2.8: Schematische doorsnede van de aangepaste filterdrager

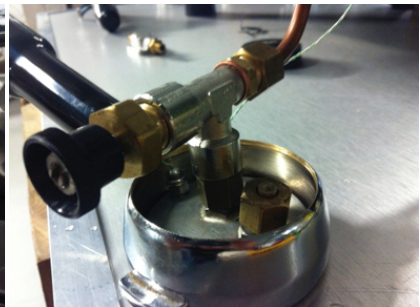
Dit aangepaste blindfilter heeft twee functies. Allereerst moet het de temperatuur van het water wat hier doorheen loopt meten. Bij normaal gebruik is het blindfilter het koffiebed. Dit is dus de belangrijkste temperatuur om te weten, omdat hier de koffie bereid wordt. Om dit te meten zit er een thermokoppel precies boven het uitgang van het aangepaste blindfilter. Het blindfilter heeft verder de functie om de tegendruk van koffie (9 bar) te simuleren. Dit wordt opgelost doormiddel van een verstelbaar stuwte. Op afbeelding 2.9 is een schematische tekening van het uiteindelijke blindfilter te zien. Afbeeldingen 2.10, 2.11 en 2.12 geven weer hoe deze aangepaste filterdrager er in het echt uitzagen.



Afbeelding 2.10: Bovenaanzicht van de aangepaste blindfilter



Afbeelding 2.11: Blindfilter in een filterdrager in de machine



Afbeelding 2.12: Zij aanzicht blindfilter

¹ zie bronnenlijst, bron 3.5

3

DE NULMETING



KEES VAN DER WESTEN

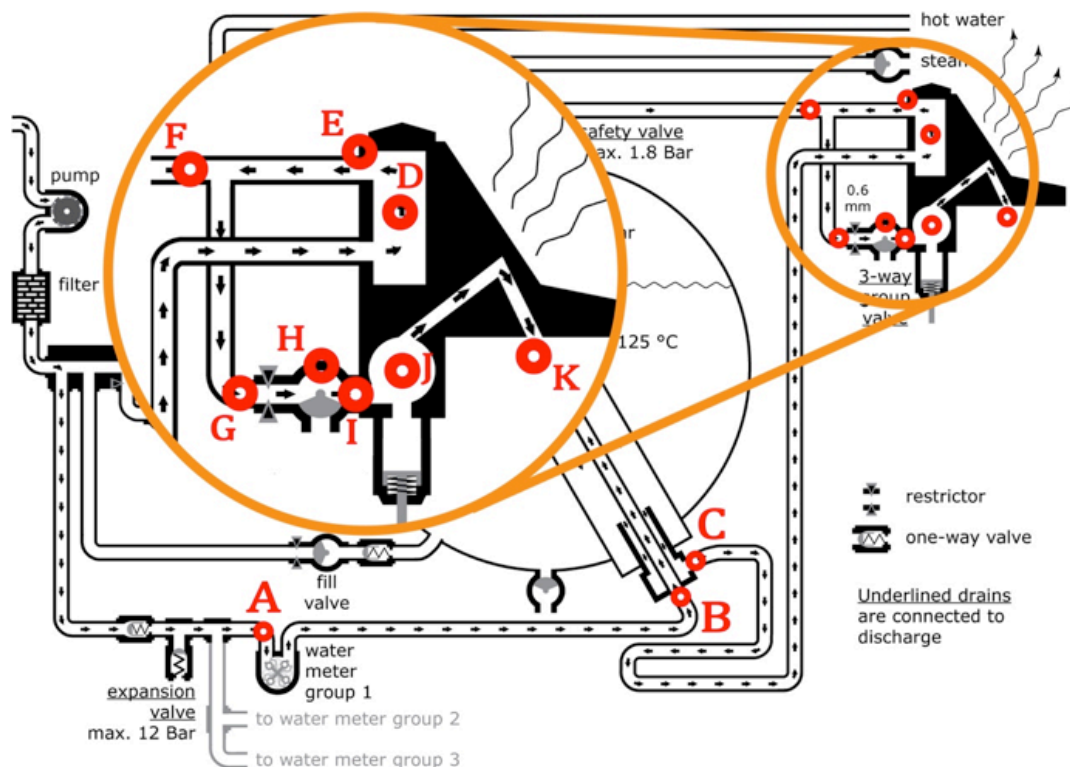
In dit hoofdstuk van de bijlage zullen de aanvullende meetgegevens van de nulmeting weergegeven worden. Dit is de meting waarbij de machine nog volgens fabriekstandaarden was.



DE NULMETING

3.1 HERHAALBAARHEID

Om te bewijzen dat de metingen nauwkeurig zijn moet aangetoond worden dat de metingen onder dezelfde omstandigheden op andere momenten hetzelfde resultaat geven. Om dit aan te tonen is gekozen voor twee shotreeksen waarbij beide keren de machine 30 minuten niet gebruikt is geweest. Vervolgens zijn de shots zonder flush gezet. De gebruikte shotreeksen zijn 10:11 en 13:07¹. Om de herhaalbaarheid aan te tonen zijn de shots uit elkaar getrokken en wordt elk meetpunt apart onder de loep genomen. In afbeelding 3.1 zijn de meetpunten te zien.

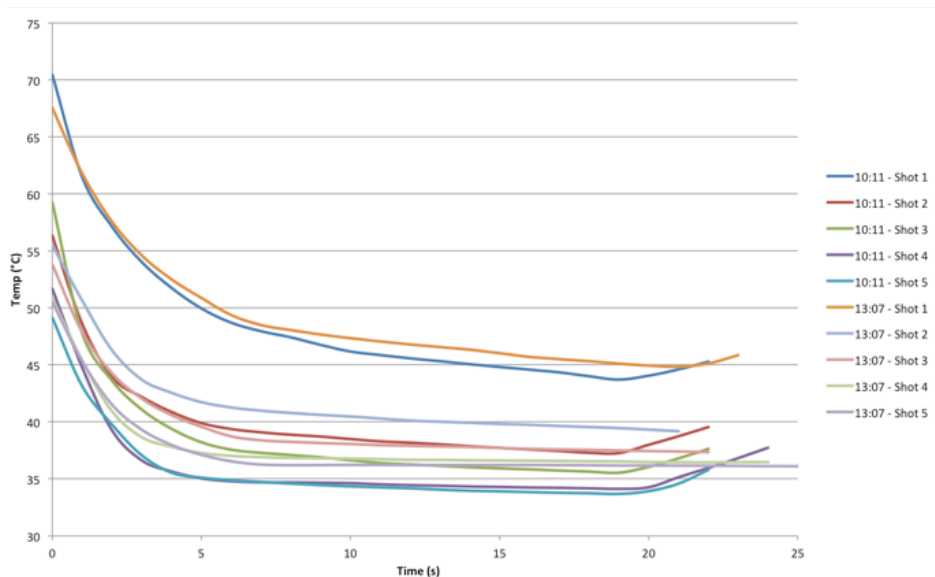


Afbeelding 3.1: De meetpunten in de machine

¹ deze shotreeksen kunnen opgezocht worden in het logboek op de CD

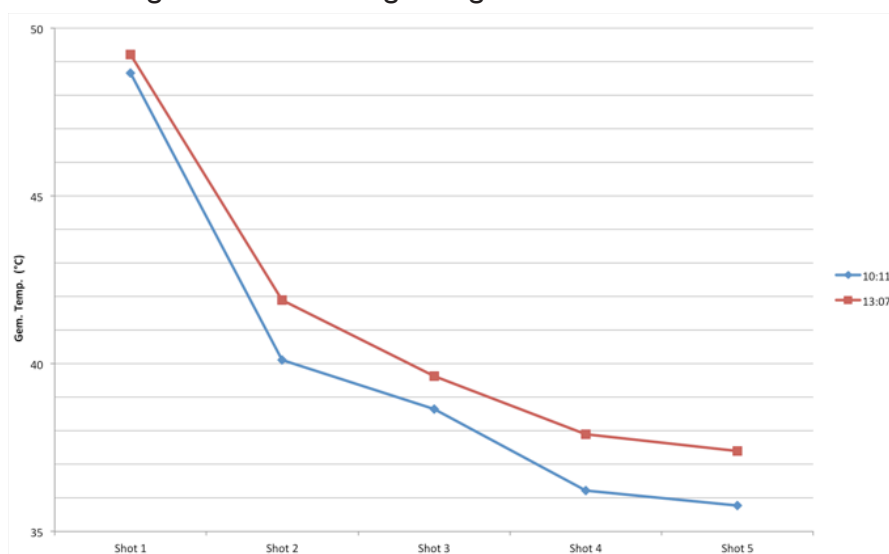
DE NULMETING

B



Grafiek 3.1: Watertemperatuur bij meetpunt B uitgezet tegen de tijd

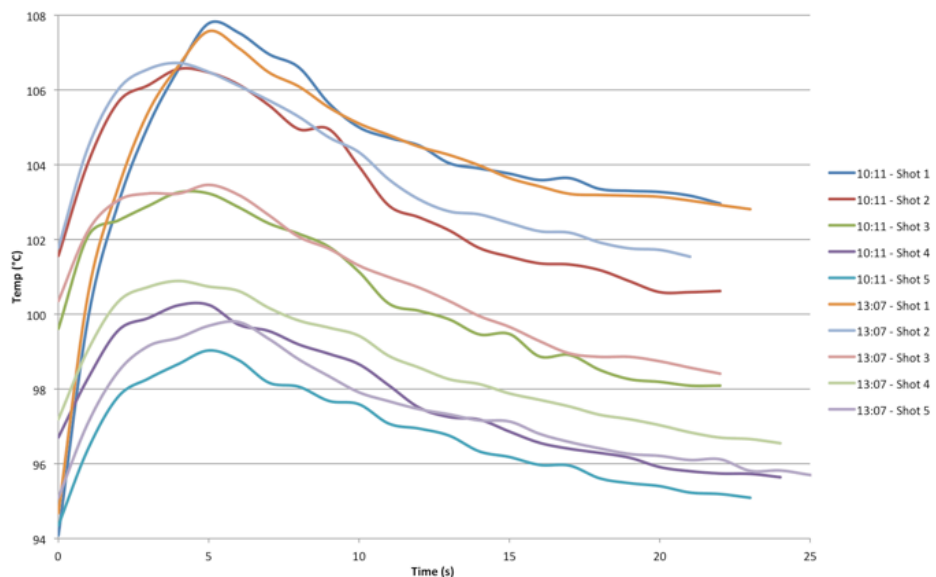
Dit meetpunt meet het koude kraanwater voordat het de warmtewisselaar ingaat. Tijdens het stilstaan van de machine zakt de warmte uit de warmtewisselaar naar beneden waardoor het water op deze plek opwarmt. Het gevolg hiervan is dat tijdens het shot eerst nog warm water de warmtewisselaar ingaat, waardoor het warme water wat uit de onderste bajonet naar de groep gaat niet genoeg gekoeld kan worden. Hierbij zou vooral het eerste shot de hoogste waarde geven, omdat hier het opgewarmde water nog niet weggestroomd is. Verder is in grafiek 3.1, misschien een beetje moeilijk te zien, weergegeven dat dit proces zich herhaalt wanneer de meting op een ander moment plaatsvindt. Dit wordt verder weergegeven in grafiek 3.2, hierbij zijn de gemiddelde temperaturen voor de verschillende shots weergegeven. Duidelijk is te zien dat in beide gevallen de shots hetzelfde temperatuurprofiel hebben. Wat betekent dat de machine zich in beide gevallen hetzelfde gedraagt.



Grafiek 3.2: Gemiddelde watertemperatuur in meetpunt B per shot

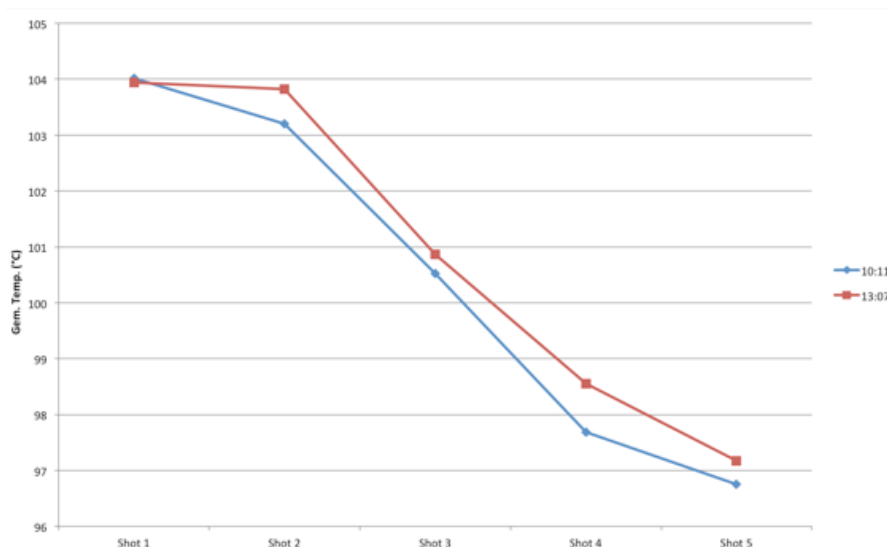
DE NULMETING

C



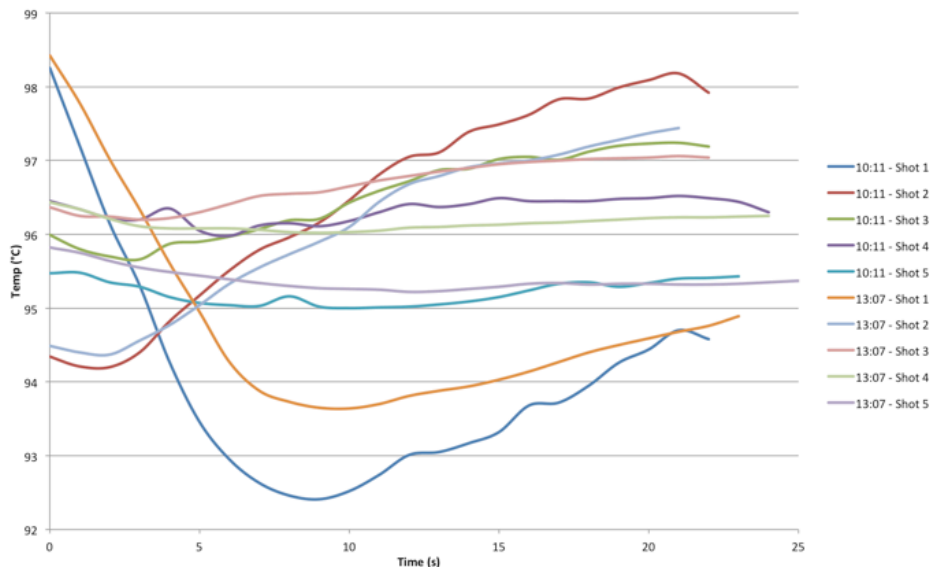
Grafiek 3.1: Watertemperatuur bij meetpunt C uitgezet tegen de tijd

Dit meetpunt meet het water wat uit de onderste bajonet komt. Wanneer het shot aangezet wordt moet dit water gekoeld worden door het koude water wat de warmtewisselaar ingaat. In grafiek 3.3 is de temperatuur van beide shotreeksen uitgezet tegen de doorlooptijd. Hierbij is bij de eerste drie shots duidelijk te zien dat in beide gevallen hetzelfde shot in de reeks hetzelfde temperatuurprofiel heeft. Bij de laatste twee shots lopen de lijnen een beetje door elkaar, maar wel is te zien dat ze in beide gevallen dezelfde curve behandelen. Het gemiddelde verschil tussen twee bij elkaar horende shots is maximaal $0,8^{\circ}\text{C}$, wat betekent dat ook hier de machine ongeacht het moment op de dag dezelfde resultaten levert. Dit wordt ook bewezen in grafiek 3.4 waar duidelijk te zien is dat de gemiddelde temperatuur van de shots niet meer dan 1°C verschillen, wat een geaccepteerd verschil is, omdat het vooral gaat om het herhalende patroon.



Grafiek 3.2: Gemiddelde watertemperatuur in meetpunt C per shot

D



Grafiek 3.5: Watertemperatuur bij meetpunt D uitgezet tegen de tijd

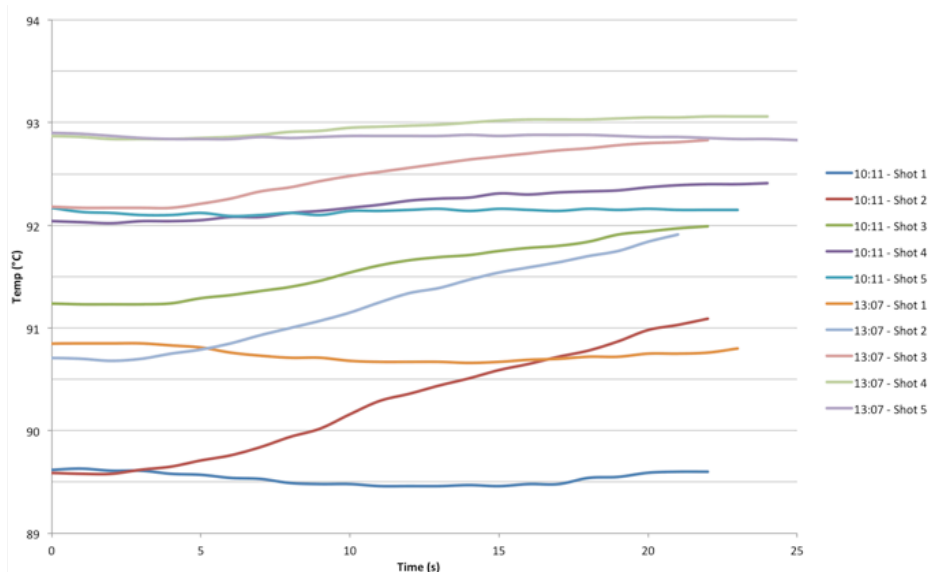
Meetpunt D geeft de temperatuur van het water in het groepshoofd weer. In grafiek 3.5 is weer de watertemperatuur van alle shots weergegeven, hierbij is het allereerst is het belangrijk om op te merken dat wederom alle shots gelijk op lopen, wat betekent dat de machine op elk gegeven moment zich hetzelfde gedraagt. Interessanter is om te zien dat het eerste shot afwijkt van de andere vier. De laatste vier shots hebben een steeds meer afvlakkende lijn, met bij het laatste (5e) shot steeds bijna een rechte lijn, wat betekent dat de temperatuur gedurende het shot nagenoeg constant blijft. De reden dat het eerste shot afwijkt is omdat hier het water de andere kant op gaat lopen. Voordat het eerste shot begint en de machine in rust is, loopt door het thermosifon-systeem het water van de bovenste bajonet via het groepshoofd naar beneden richting het onderste bajonet. Als de shots lopen loopt het water van de onderste bajonet naar boven tot na het groepshoofd. Dit houdt in dat het warmere water in het groepshoofd afkoelt wanneer het al afgekoelde water weer terug komt. Dit is verder voor de herhaalbaarheid, op het feit dat het telkens gebeurt na, verder niet belangrijk.



Grafiek 3.6: Gemiddelde watertemperatuur in meetpunt D per shot

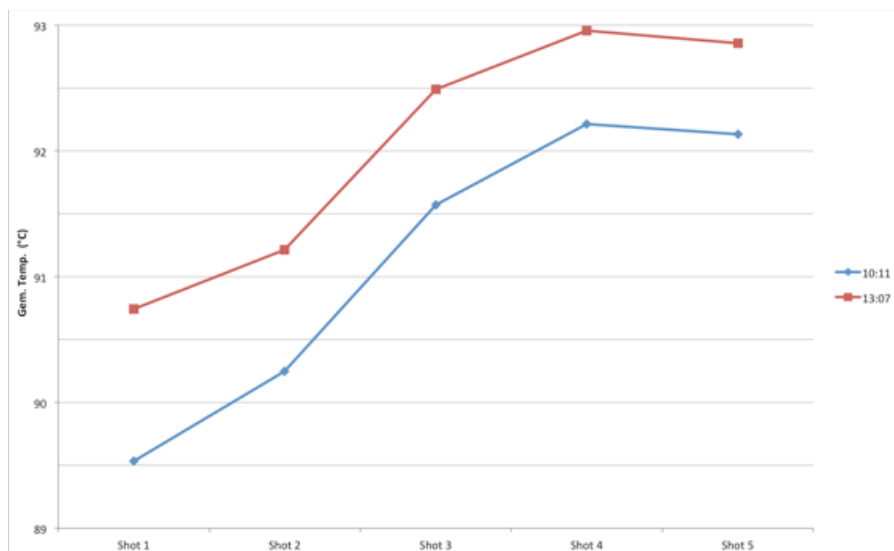
DE NULMETING

E



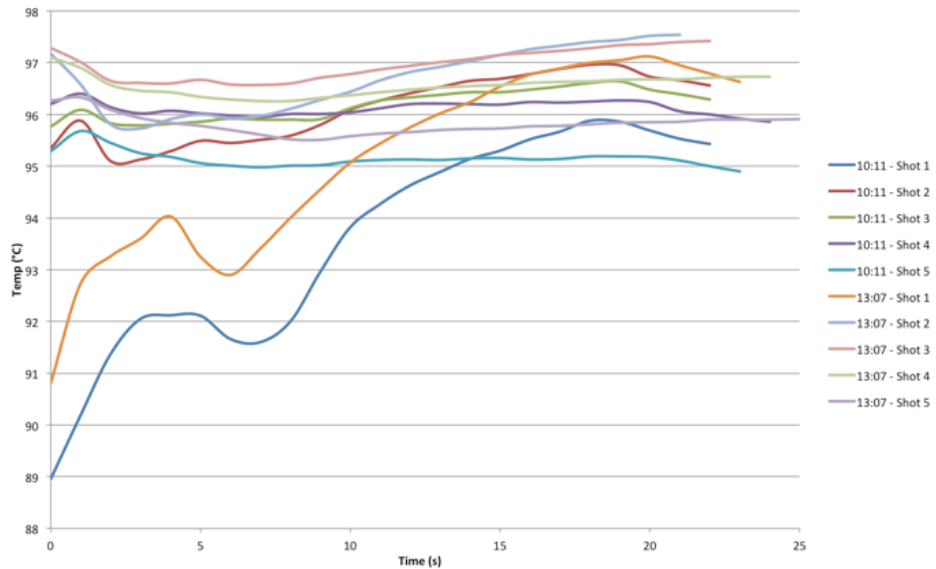
Grafiek 3.7: Watertemperatuur bij meetpunt E uitgezet tegen de tijd

Meetpunt E geeft de temperatuur van het groepshoofd weer. Zoals bekend is het doel van het vier kilo zware messing blok om het water vlak voordat het uit de groep komt nog te stabiliseren, hiervoor moet het groepshoofd zelf ook constant zijn. Dit is te zien aan het feit dat de maximale temperatuur toename 1,5 °C is. Dit is bij het eerste shot, hierna wordt het nog constanter. Wel is in grafiek 3.7 te zien dat temperatuur van het groepshoofd bij de 2e serie 1,5 °C tot 2 °C hoger ligt. Dit heeft te maken met het feit dat de temperatuur van het groepshoofd ook afhankelijk is van de omgevingstemperatuur om rond de machine. Toch kan hieruit geconcludeerd worden dat de machine op elk gegeven moment zichzelf hetzelfde gedraagt, omdat de lijnen allemaal hetzelfde pad volgen.



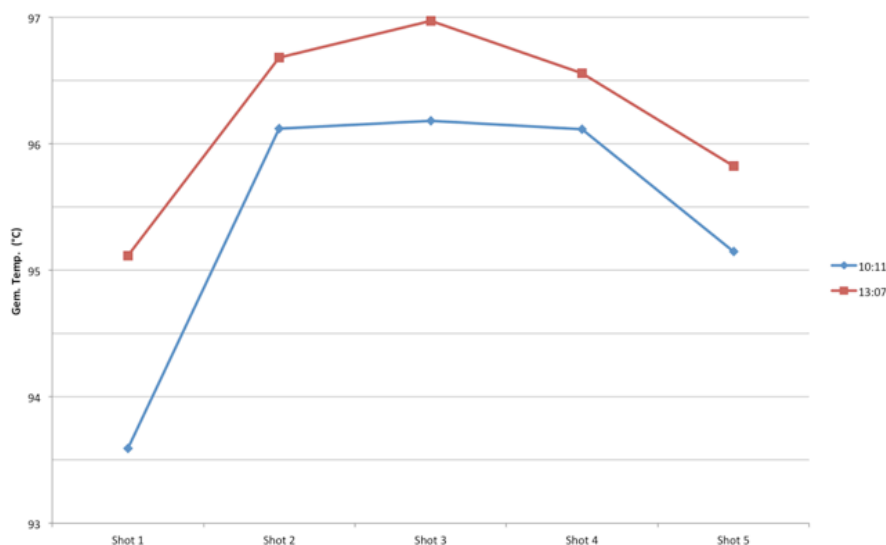
Grafiek 3.8: Gemiddelde watertemperatuur in meetpunt E per shot

G



Grafiek 3.9: Watertemperatuur bij meetpunt G uitgezet tegen de tijd

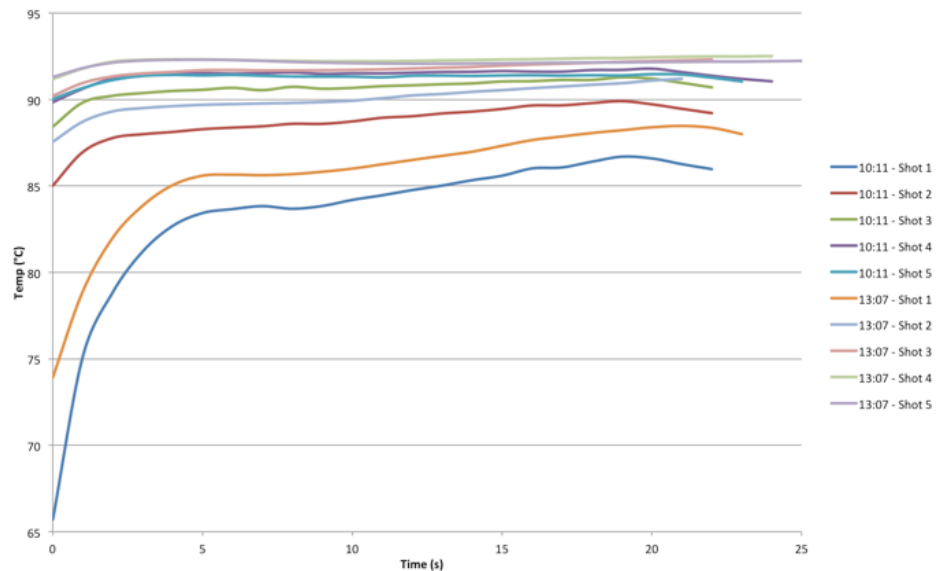
Bij dit meetpunt wordt de temperatuur van het water vlak voor de groepsklep gemeten. In grafiek 3.9 is duidelijk is te zien dat de temperatuur van deze plek flink is afgenomen, omdat het water hier 7 °C kouder is dan het gemiddelde wat het water later op deze plek heeft. Opmerkelijk is dat dit gebeurt in tegenstelling tot de hogere temperatuur wat het water heeft aan het begin van het eerste shot zonder flush (zie meetpunt C). Verder is in grafiek 3.10 iets beter te zien dat shot 4 en 5 een lager temperatuurgemiddelde hebben, dit heeft te maken met hetgeen wat uitgelegd is bij meetpunt D. Verder is in grafiek 3.11 goed te zien dat op het 1e shot na alle shots constant zijn en allemaal binnen de 95 °C en de 97 °C.



Grafiek 3.10: Gemiddelde watertemperatuur in meetpunt G per shot

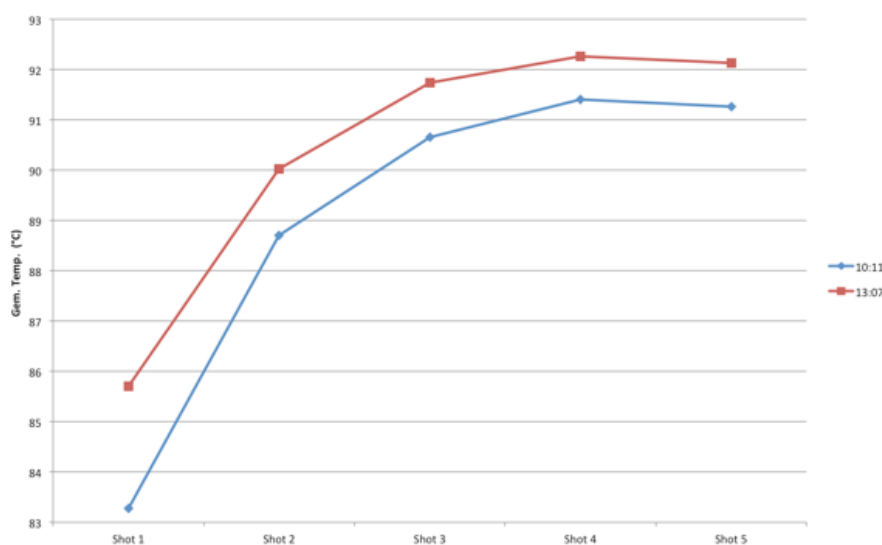
DE NULMETING

H



Grafiek 3.11: Watertemperatuur bij meetpunt H uitgezet tegen de tijd

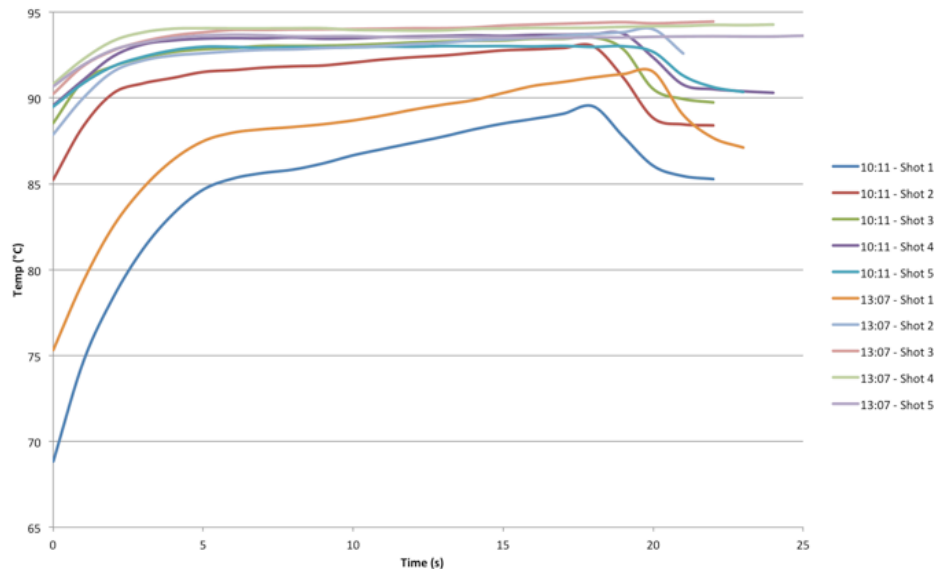
Ook in grafiek 3.11 is aan de temperatuur van de messing 3-weg-klep (of groepsklep) is goed te zien dat eigenlijk alleen beide eerste shots buiten de norm vallen. Toch volgen beide shots dezelfde curve, wat inhoudt dat de machine ook bij de eerste shots constant is. De latere shots vallen allemaal binnen 1 °C, waarvan zelfs als het shot eindigt het de 0,5 °C nadert. Dat de machine ook rond de 3-weg-klep op de verschillende momenten nagenoeg identiek reageert is te zien in grafiek 3.12. Hier is te zien dat ze beide ongeveer dezelfde curve volgen. Er zit wel ongeveer 1 °C verschil tussen beide situaties, maar dit komt doordat het groepshoofd (zie meetpunt E) een hogere temperatuur heeft.



Grafiek 3.12: Gemiddelde watertemperatuur in meetpunt H per shot

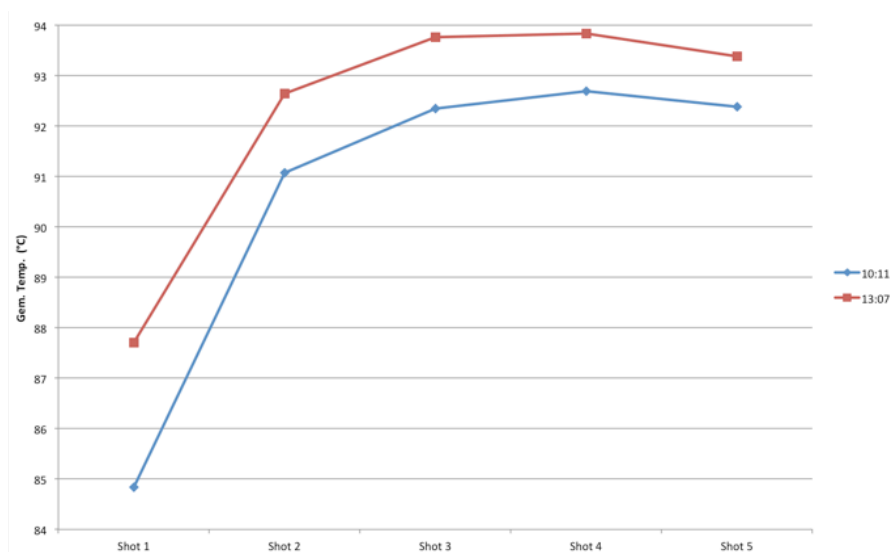
DE NULMETING

I



Grafiek 3.13: Watertemperatuur bij meetpunt I uitgezet tegen de tijd

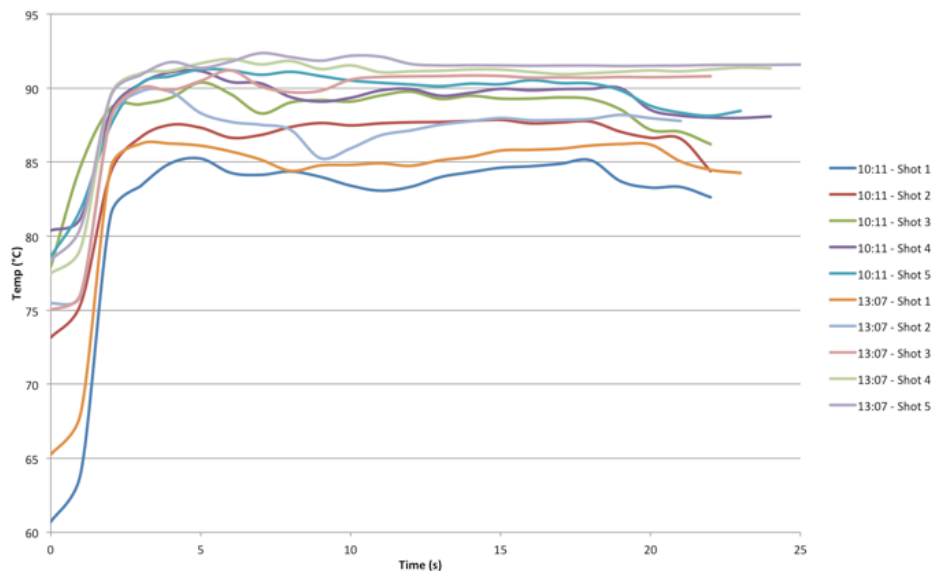
Het meetpunt I bevindt meteen achter het groepshoofd. In grafiek 3.13 is te zien dat de temperatuur van het water ongeveer 0,5 °C hoger is dan de temperatuur van de 3-weg-klep. Verder is het temperatuurprofiel nagenoeg gelijk. Wederom liggen de eerste shots lager in temperatuur, maar volgen ze wel dezelfde curve. Ook hier geven dezelfde meetresultaten weer dat deze metingen op verschillende momenten dezelfde uitkomst geven, wat betekend dat het herhaalbare metingen zijn. Grafiek 3.14 geeft de gemiddelde temperatuur van de shots weer.



Grafiek 3.14: Gemiddelde watertemperatuur in meetpunt I per shot

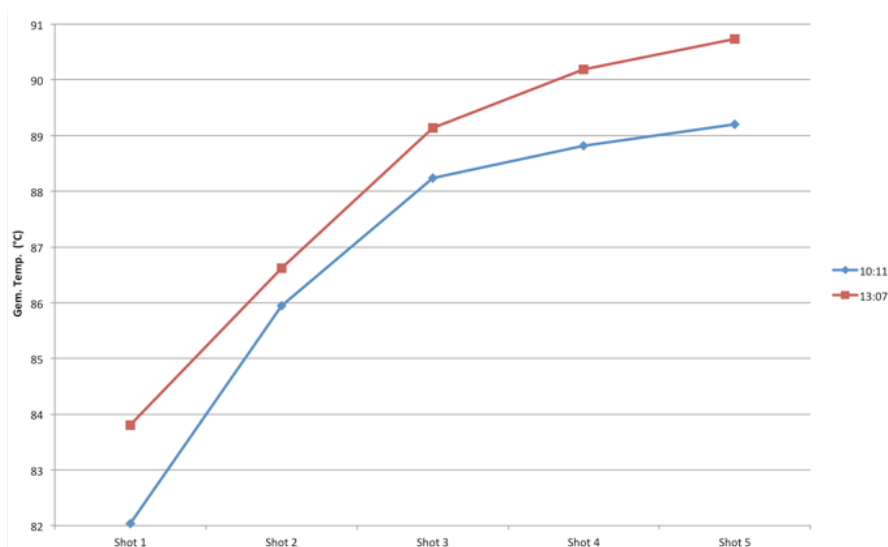
DE NULMETING

K



Grafiek 3.15: Watertemperatuur bij meetpunt K uitgezet tegen de tijd

Het laatste meetpunt voordat het water de machine verlaat is meetpunt K, in de aangepaste filterdrager. De lijnen in grafiek 3.15 zijn moeilijk uit elkaar te halen, wat tegelijk betekend dat de meetwaarden allemaal dicht, uiteindelijk binnen de 0,5 °C, bij elkaar liggen, wat betekend dat de metingen in beide situaties nagenoeg dezelfde meetresultaten geven, wat dus betekend dat de metingen in elke situatie representatief zijn. Dit wordt ook aangetoond in grafiek 3.16, waar het temperatuurverschil wel uitloopt tot ongeveer 1,5 °C, maar wel dezelfde curve volgen.



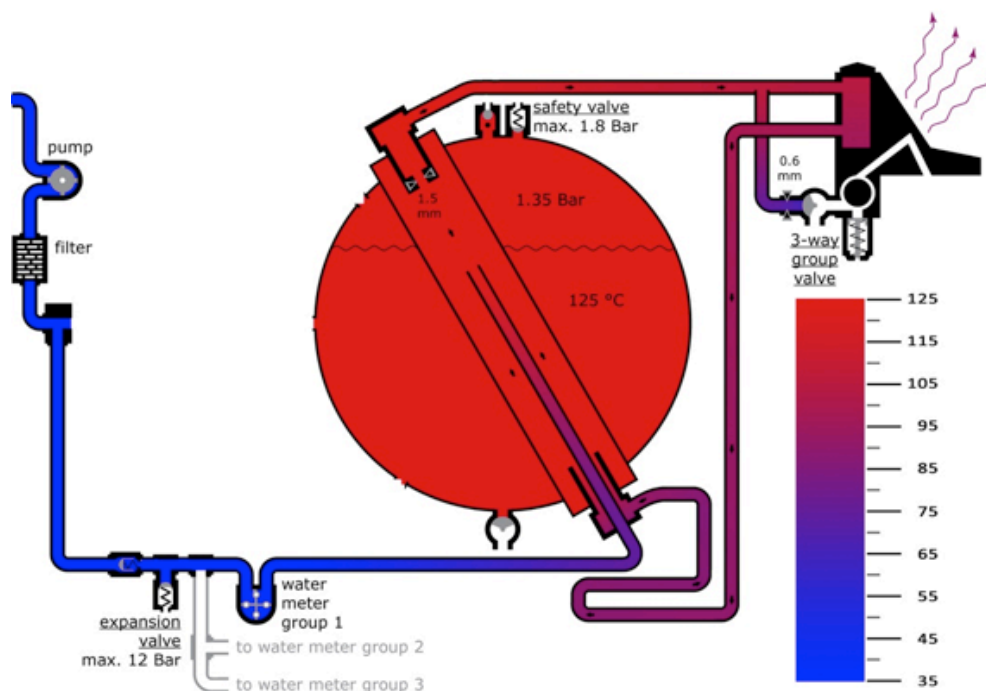
Grafiek 3.16: Gemiddelde watertemperatuur in meetpunt K per shot

DE NULMETING

3.2 TEMPERATUUR SIMULATIE

3.2.1 MACHINE IN RUST

Voor deze simulatie zijn de meetgegevens van 14:15 gebruikt. Op dat moment had de machine 59 minuten stil gestaan. In afbeelding 3.2 is doormiddel van de kleur weergegeven hoe warm de machine op alle plekken is. In tabel 3.1 zijn de ruwe meetgegevens op de verschillende meetpunten te zien.



Afbeelding 3.2: Simulatie van de temperatuur in de machine tijdens stilstand

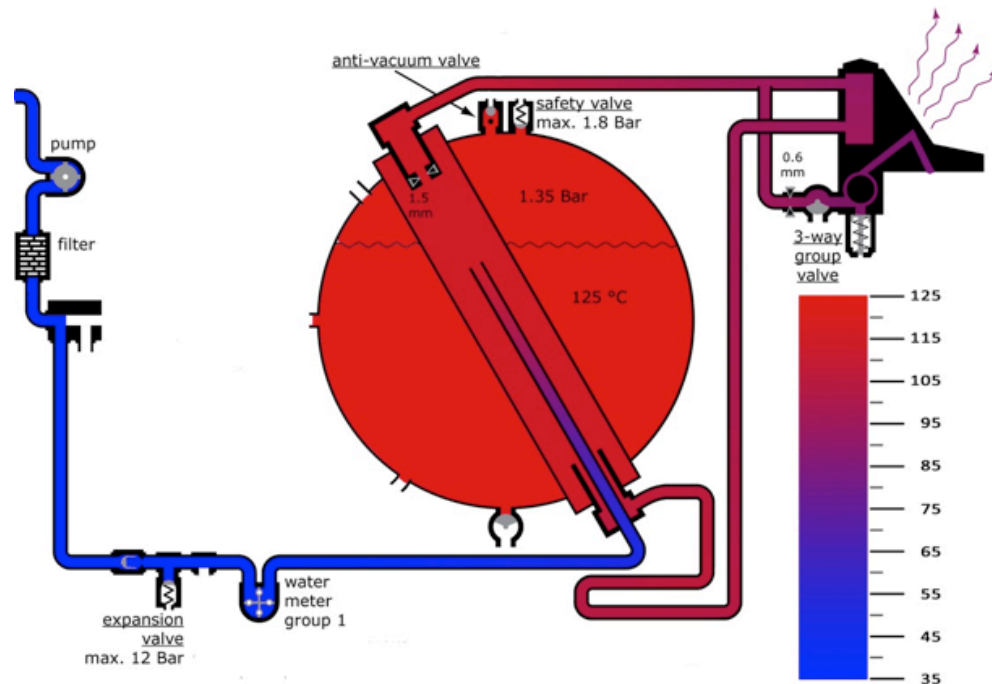
B	C	D	E	G	H	I	K
73,26 °C	85,44 °C	98,65 °C	90,8 °C	65,82 °C	63,66 °C	69,21 °C	53,79 °C

Tabel 3.1: De ruwe meetresultaten van de meting op 14:15

3.2.2 MACHINE IN GEBRUIK

Voor deze simulatie is het eerste shot van de reeks om 13:07 gebruikt. Voor dit eerste shot is er geen flush geweest, ook had de machine 30 min rust gehad. Van dit shot is de 10e seconde gebruikt. Afbeelding 3.3 geeft het temperatuurprofiel door de machine weer tijdens de bereiding. Dit is weergegeven doormiddel van de kleuren die in de legenda staan. In tabel 3.2 zijn de ruwe meetgegevens gepresenteerd.

DE NULMETING



Afbeelding 3.3: Simulatie van de temperatuur in de machine tijdens gebruik

B	C	D	E	G	H	I	K
47,67 °C	105,53 °C	93,65 °C	90,71 °C	94,55 °C	85,82 °C	88,47 °C	84,78 °C

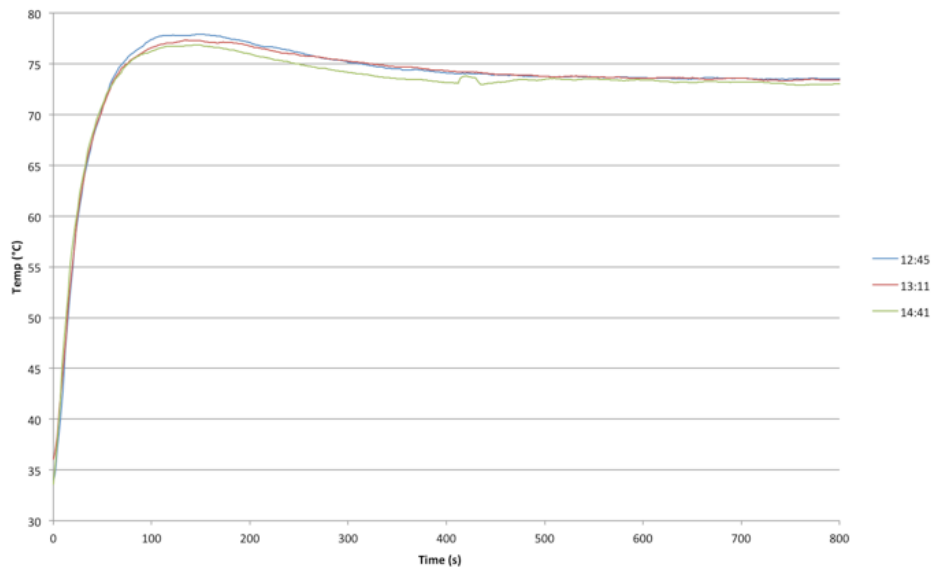
Tabel 3.2: De ruwe meetresultaten van de 10e seconde van het eerste shot om 13:07

3.3 CROSSFLOW BIJ ONDERDSTE BAJONET

In deze paragraaf zou het toenemen van de temperatuur van het koude water door de neerdalende warmte uit de warmtewisselaar en de invloed hiervan op het koeleffect van dit water verder onderzocht worden. Hier wordt de aanvullende informatie voor hoofdstuk 4 paragraaf 4 uit het onderzoeksrapport weergegeven worden.

3.3.1 OPWARMEN VAN HET KOUDE WATER

In grafiek 3.17 is de temperatuur van het koude water uitgezet tegen de tijd. Hierbij zijn drie verschillende rustsituaties weergegeven. In alle gevallen wordt het weergegeven meteen nadat het laatste shot geëindigd was. Te zien is dat vooral de eerste 100 seconde explosief zijn, hierbij neemt de klep tot wel 45 °C toe in temperatuur. Ook is te zien dat de lijn rond de 75 °C blijft hangen, wat betekent dat het water op deze plek deze temperatuur aan blijft houden. Verder is aan de overlappende lijnen te zien dat het wederom niet uitmaakt welk tijdstip bekeken wordt, omdat het in alle gevallen dezelfde uitkomst geeft.



Grafiek 3.17: Temperatuur van het koude water uitgezet tegen de tijd

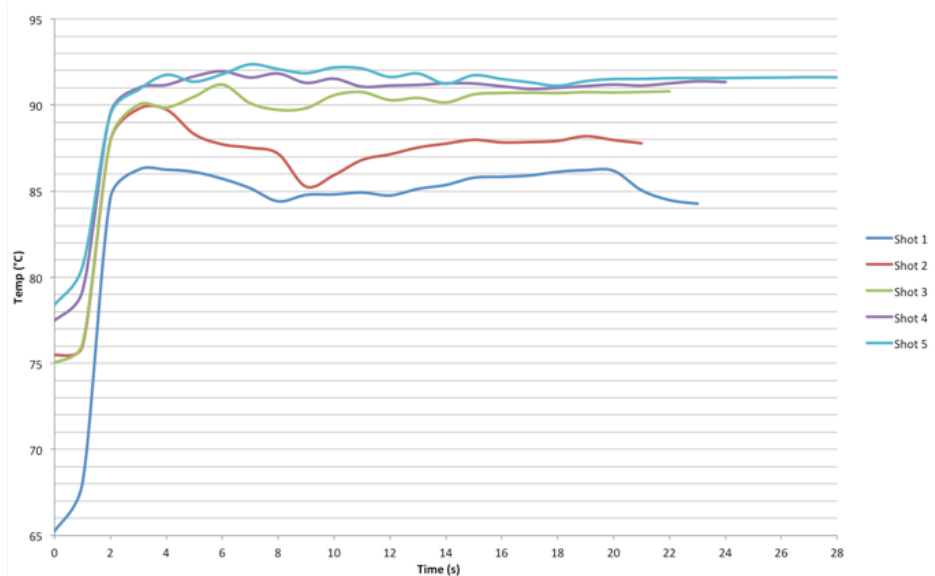
3.3.2 CONSTANTHEID VAN DE SHOTS

In deze bijlage wordt de constantheid van de shots tijdens een shotreeks bekeken. Hiervoor wordt elke hoeveelheid flush apart bekeken, omdat dit invloed heeft op de temperatuur van alle onderdelen in de machine. Wel heeft de machine in alle gevallen 30 minuten stil gestaan. Hiervoor wordt de temperatuur gemeten wanneer het uit de machine komt, dus meetpunt K.

GEEN FLUSH

Bij dit voorbeeld is zijn de shots van 13:07 uit de nulmeting gebruikt. Hierbij is geen flush vooraf geweest, wat betekent dat de machine nog afgekoeld was. In grafiek 3.18 is de temperatuur van deze shots te zien. Duidelijk is te zien dat elk shot warmer is dan de vorige, waarbij de eerste twee shots er echt buiten vallen. Zo is het eerste shot bijna 6 °C kouder dan het gemiddelde. De gemiddelde temperatuur van het eerste shot is 83,81 °C. Verder zijn de laatste 3 shots na 12 seconde eigenlijk best constant. Het grootste probleem zit hem dus in de eerste twee shots. Wel zit er in alle shots een temperatuurschommel.

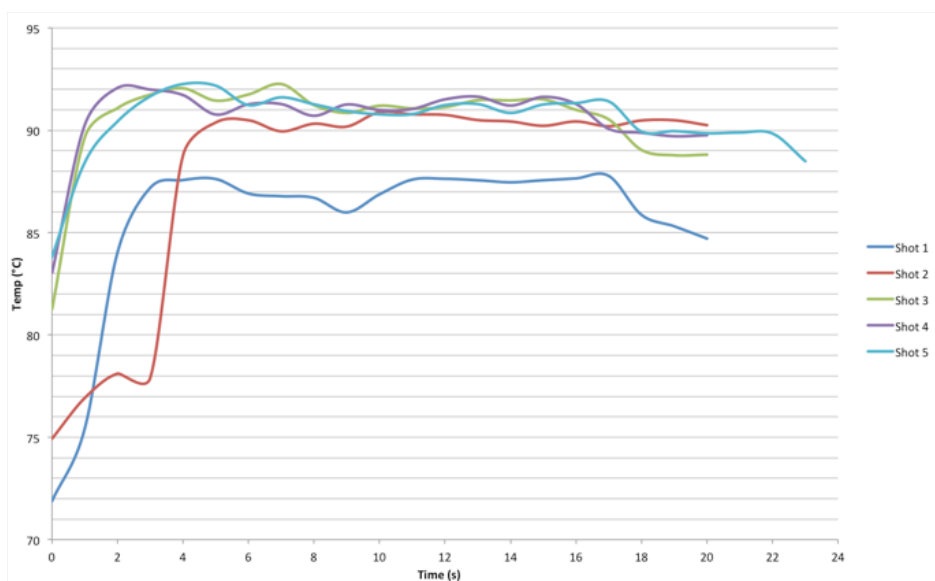
DE NULMETING



Grafiek 3.18: Temperatuur van het water wat uit de machine komt zonder flush

30 CC FLUSH

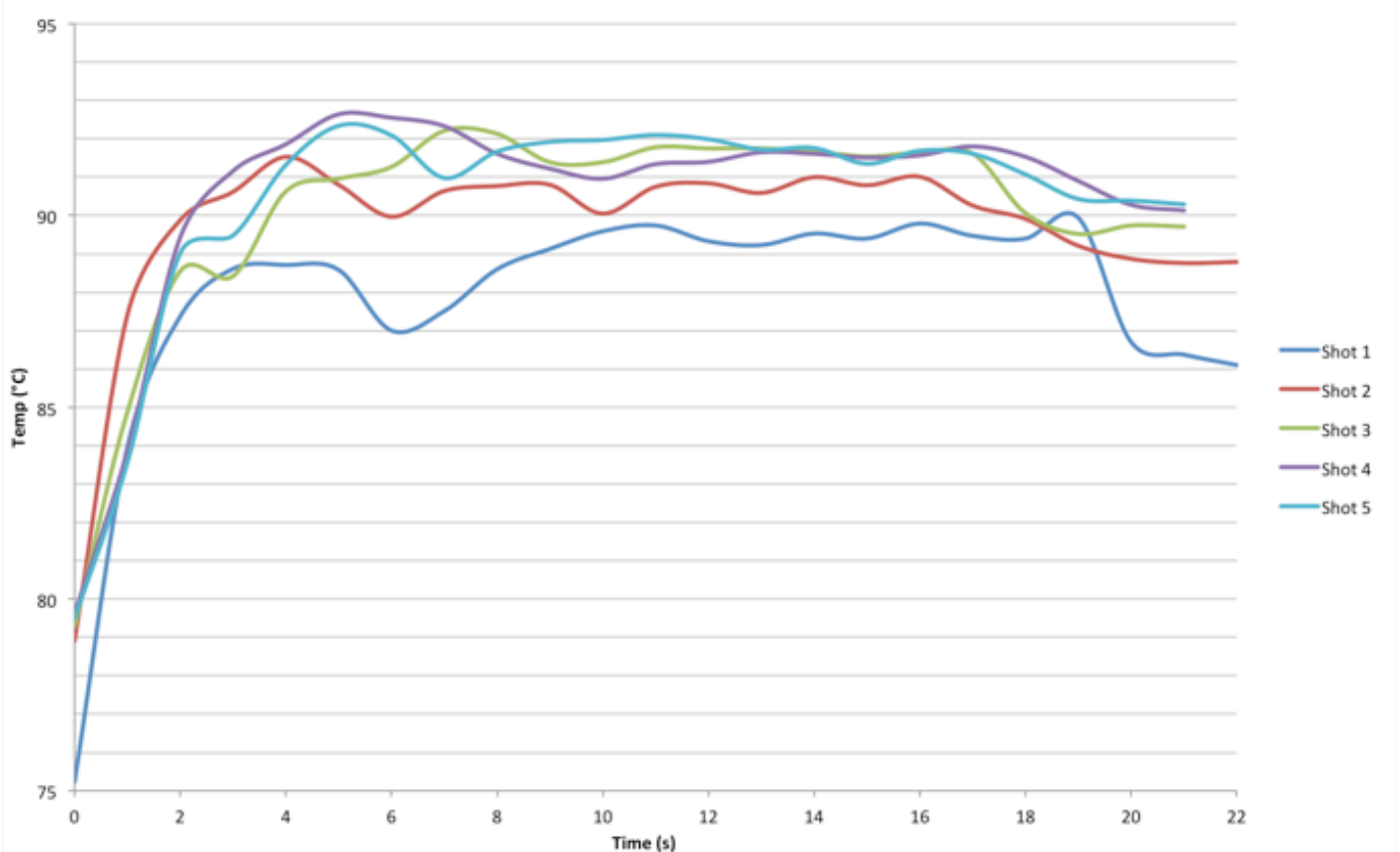
Bij dit voorbeeld is zijn de shots van 10:44 van de nulmeting gebruikt. Hier is een 30 cc flush aan vooraf gegaan, de onderdelen van de machine hebben dus een klein beetje kunnen opwarmen. In grafiek 3.19 is de temperatuur van deze shots uitgezet tegen de tijd. Hierbij is te zien dat ten opzichte van de shotreeks waar geen flush aan voorafgegaan is te zien dat de eerste 2 shots beide 3 °C warmer zijn, wat tot gevolg heeft dat nu al vanaf het 2e shot de shots ongeveer een constante uitkomende temperatuur hebben. De gemiddelde temperatuur van het eerste shot is hier 85,53 °C. Wel schommelt de temperatuur van alle 5 de shots hier meer, soms zit er zelfs een schommeling van meer dan 1 °C in.



Grafiek 3.19: Temperatuur van het water wat uit de machine komt met een 30 cc flush

45 CC FLUSH

Voor het 45 cc flush shot is gebruik gemaakt van de shot reeks op 11:18 van de nulmeting. In grafiek 3.20 is de temperatuur van deze shots weergegeven. Wederom ligt de gemiddelde temperatuur van het eerste shot weer hoger, namelijk 87,80 °C. Dit komt natuurlijk omdat hier de machine nog meer heeft kunnen opwarmen. Wel zit er een flinke schommeling in de temperatuur van de shots gedurende de doorlooptijd. Onder andere bij het 5e is te zien dat dit wel kan oplopen tot 2 °C.

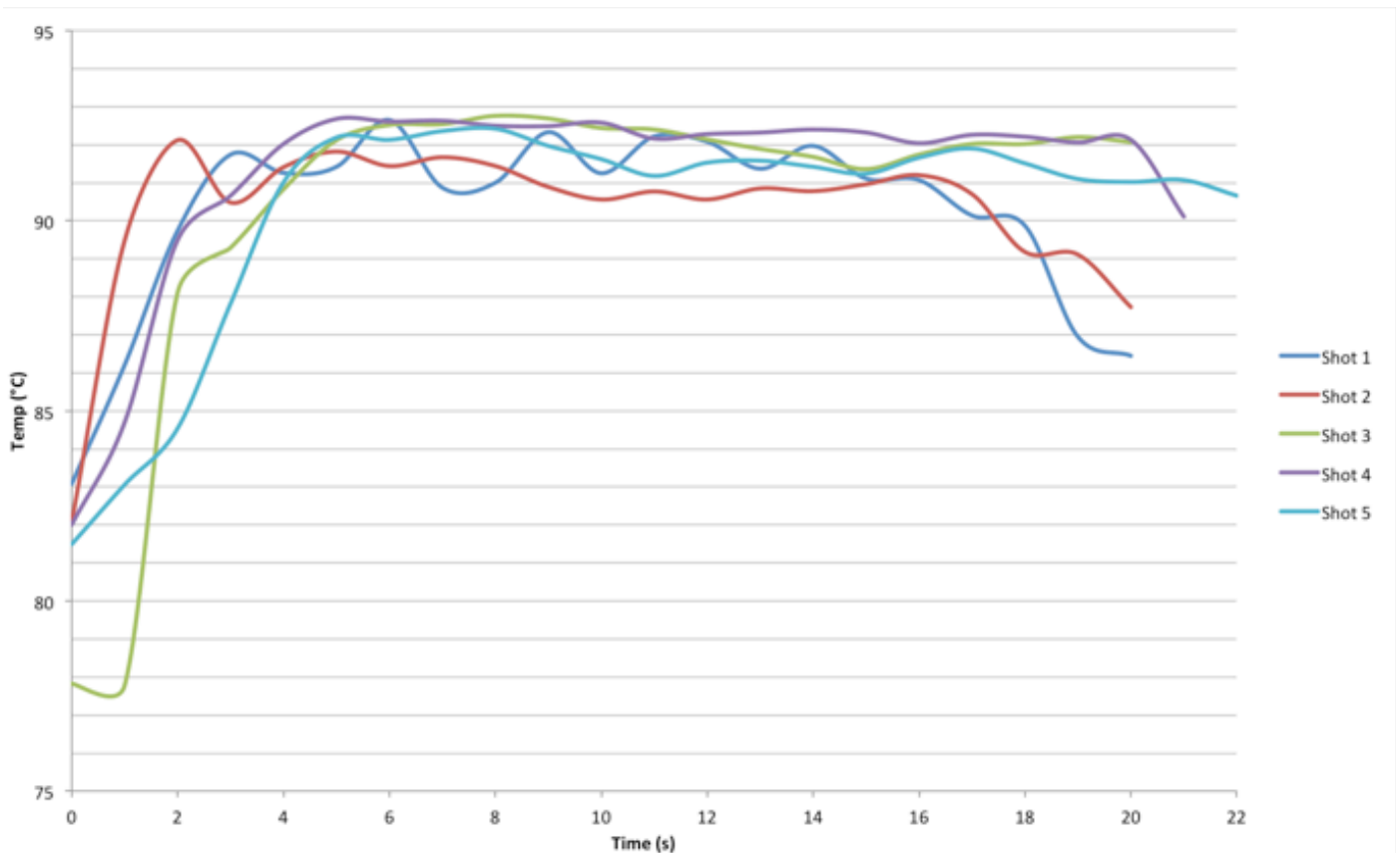


Grafiek 3.20: Temperatuur van het water wat uit de machine komt met een 45 cc flush

DE NULMETING

60 CC FLUSH

Bij deze shot reeks is er eerst een 60 cc flush geweest, wat dus eigenlijk betekend dat er een volledig shot aan voorafgegaan is. De gebruikte shotreeks is die van 11:52 van de nulmeting. In grafiek 3.21 is te zien dat alle shots rond dezelfde temperatuur liggen. Wel is de temperatuurschommeling vrij groot, bij bijvoorbeeld het eerste shot is dit dik 2 °C. De gemiddelde temperatuur van dit eerste shot is 90,23 °C. Opmerkelijk is om te zien dat deze 5 shots onderling het minst constant zijn van de vier behandelde situaties.



Grafiek 3.21: Temperatuur van het water wat uit de machine komt met een 60 cc flush

4

DE 3-WEG-KLEP



KEES VAN DER WESTEN

In dit hoofdstuk wordt extra informatie over het onderzoek naar de 3-weg-klep gegeven. Hierbij wordt eerst behandeld hoe de messing klep geïsoleerd is. En wordt over de verbonden en RVS 3-weg-klep wat extra informatie gegeven.

DE 3-WEG-KLEP

4.1 GEÏSOLEERDE 3-WEG-KLEP

Om het warmteverlies van het water aan de 3-weg-klep te verminderen is er gekozen de messing 3-weg-klep tijdens rust minder te laten afkoelen. Dit wordt verkregen door een PUR-schuim (afbeelding 4.1) deklaag. PUR-schuim zorgt voor een laag stilstaande lucht rondom de klep. De thermische geleidbaarheid van hiervan is ongeveer $0,0306 \text{ W}/(\text{m}^*\text{K})^1$.

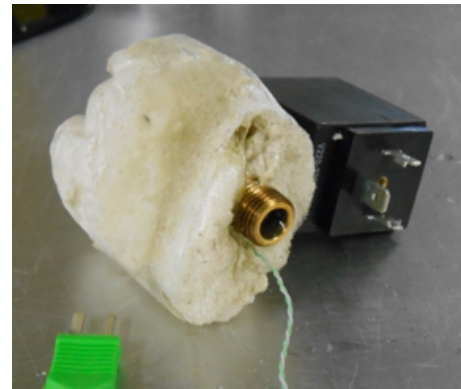
Om te zorgen dat het PUR-schuim niet alle kanten op gaat en er een mooie laag om de klep blijft zitten is de klep ingepakt in een kunststof buis (afbeelding 4.2). De in en uitgang van de klep is afgedicht met buisjes, zodat het schroefdraad van de wartels mooi schoon blijft. Op afbeelding 4.3 is te zien hoe het PUR-schuim naar de zijkanalen kan ontsnappen. Nadat het schuim opgedroogd was is het overige schuim weggesneden en bleef de klep op afbeelding 4.4 over. Nadat de klep weer gemonteerd was zijn er een hele dag metingen op uitgevoerd. Het logboek hiervan is in bijlage hoofdstuk 9 terug te vinden.



Afbeelding 4.1: Gebruikte PUR-schuim



Afbeelding 4.2: Gebruikte kunststof buis



Afbeelding 4.4: De geïsoleerde messing klep



Afbeelding 4.3: Klep nadat het PUR-schuim is gespoten

¹ zie bijlage, hoofdstuk 8 → wiskundige berekeningen → stilstaande lucht

DE 3-WEG-KLEP

4.2 VERBONDEN 3-WEG-KLEP

Om te voorkomen dat de klep afkoelt als de machine stilstaat, is het een mogelijkheid om de klep te betrekken bij het thermosifon-systeem, waardoor de klep actief verwarmd blijft worden. Dit is voor elkaar gekregen door een messing buis tussen het groepshoofd en de klep te plaatsten. De montage in de machine was hierdoor iets ingewikkelder, maar dat kwam vooral omdat de boiler (die bij de assemblage er nog niet in ligt) in de weg lag. Op afbeelding 4.5 zijn alle onderdelen van deze opstelling te zien.



Afbeelding 4.5: Alle onderdelen voor de verbonden 3-weg-klep

4.3 RVS 3-WEG-KLEP

Om te proberen het warmteverlies van het water aan de 3-weg-klep te verminderen is er gekozen om de messing klep te vervangen voor een klep met een lagere thermische geleidbaarheid. De thermische geleidbaarheid van messing is ongeveer $122 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ en die van RVS is ongeveer $27 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ (beiden bij 293 K). De geleidbaarheid van RVS is dus ongeveer vijf keer kleiner, wat er hopelijk voor zorgt dat de klep allereerst minder snel afkoelt en dus vervolgens minder warmte van het water wat erdoorheen loopt absorbeert.

De leverancier, Parker, levert wel RVS 3-weg-kleppen, maar bij Kees van der Westen gebruiken ze voor andere machines al RVS flenskleppen die samen met een RVS-koppelstuk (zie afbeelding 4.6) tot een 3-weg-klep (zie afbeelding 4.7) uitgebreid kan worden.

Om uit te vinden of deze RVS-klep voor verbeteringen zorgt is er net als bij de messing-klep een hele dag gemeten. Het logboek hiervan op de bijgeleverde CD terug te vinden.

DE 3-WEG-KLEP



Afbeelding 4.6: Het RVS uitbreidstuk



Afbeelding 4.7: De gebruikte RVS 3-weg-klep

4.4 AANVULLENDE MEETRESULTATEN

4.4.1 TEMPERATUUR ABSORPTIE KLEPPEN

Voor deze analyse is het temperatuur verschil tussen de meetpunten voor (meetpunt G) en na (meetpunt I) de klep gebruikt. In tabel 4.1 is te zien welke shotreeksen gebruikt zijn voor deze analyse. Hierbij moet erop gelet worden dat bij de verbonden klep de metingen van dag 1 gebruikt zijn. Verder is hier niet meetpunt I maar meetpunt J gebruikt. Dit heeft te maken met het feit dat de klep nu aan het groepshoofd verbonden zat. Er moet rekening mee gehouden worden dat het water op J ongeveer 1 °C kouder is dan op punt I, omdat het groepshoofd ook wat energie absorbeert, waardoor het water wat afkoelt. Alle ruwe meetdata is te vinden op de bijgeleverde CD (CD > 7-metingen > Verwerking > Verwerking kleppen).

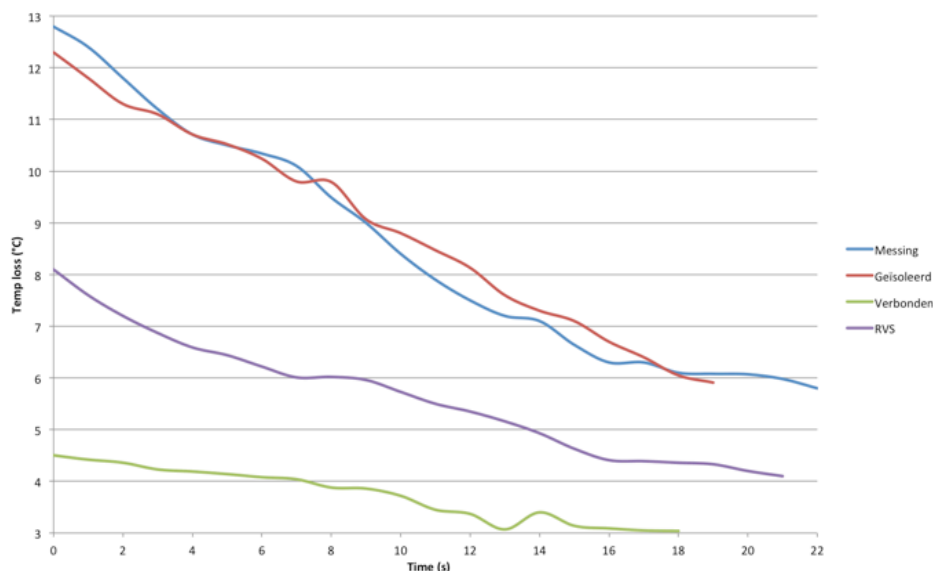
	Messing	Geïsoleerd	Verbonden	RVS
Geen flush	10:11	09:19	13:43	13:47
30 cc flush	10:44	08:46	14:18	14:54
45 cc flush	11:18	08:12	14:51	14:21
60 cc flush	11:53	07:39	15:25	13:12

Tabel 4.1: Tijd van het begin van de gebruikte shotreeksen

GEEN FLUSH

Bij deze shots is er na de 30 minuten rust geen flush gedaan. Het eerste shot had dus te maken met een nog niet voorverwarmde klep. Zoals te zien verliezen zowel het water bij de originele klep als bij de geïsoleerde klep dik 12°C . Te zien is dat beide kleppen ongeveer even snel opwarmen, omdat het absorberende effect van hun op het warme water ongeveer gelijk afneemt. Wel verliest het water aan het eind van het shot nog steeds ruim 6°C aan de klep. De RVS-klep, die minder afkoelt¹, absorbeert ook aanzienlijk minder warmte. Aan het begin van het shot verliest het water ongeveer 8°C aan de klep dit neemt naarmate het shot vordert af tot ongeveer 4°C . Dit is op zich geen schrikbarend temperatuurverlies, maar doordat het naarmate het shot vordert toch fluctueert niet ideaal. Dit is wel het geval bij de verbonden klep, deze is beduidend stabiel, bij het begin van het shot verliest het water van de klep tot het groepshoofd ongeveer $4,5^{\circ}\text{C}$ en aan het eind van het shot ongeveer 3°C . Dit is maar een verschil van $1,5^{\circ}\text{C}$, wat dus voor significant stabielere shots zorgt.

zie grafiek 5.1 in hoofdstuk 5 van het onderzoeksrapport

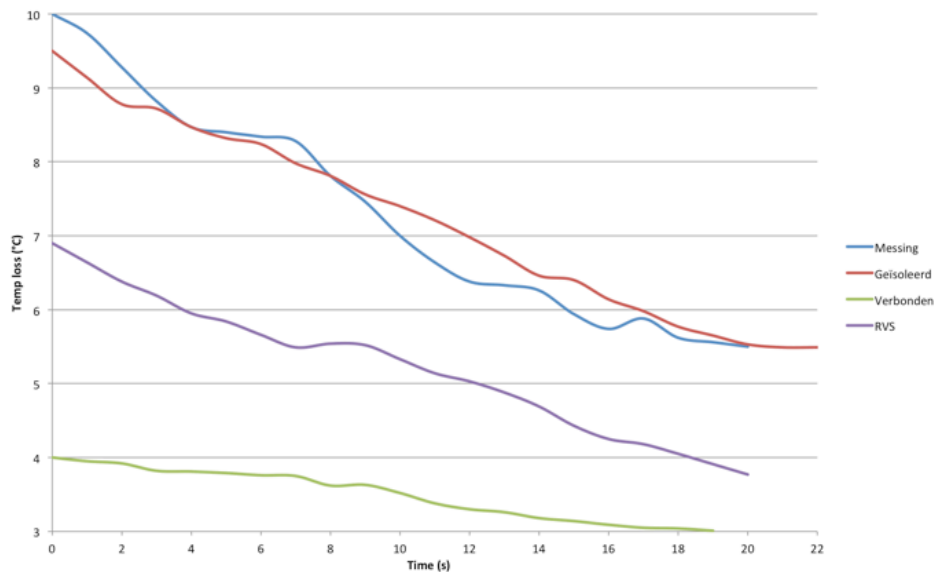


Grafiek 4.1: Temperatuurverlies van het water bij geen flush uitgezet tegen de tijd

30 CC FLUSH

Grafiek 4.2 geeft het temperatuurverlies van het water rond de klep bij een flush van 30 cc weer. Zoals te verwachten is het temperatuurverlies minder hoog dan bij de situatie waar geen flush aanwezig was, maar toch verliest de messing-klep in de originele toestand in het begin 10°C . De geïsoleerde klep, die meer warmte van de flush heeft warm gehouden (hij is hier $78,37^{\circ}\text{C}$ (zie tabel 4.5)) verliest hier ongeveer $9,5^{\circ}\text{C}$. De RVS-klep, die een aan het begin van dit shot een temperatuur heeft van $71,22^{\circ}\text{C}$ absorbeert aan het begin van het shot minder energie, waardoor het water maar iets minder dan 7°C , waarin de klep laat zien dat ondanks zijn lagere temperatuur hij minder energie uit het water absorbeert. De verbonden klep absorbeert het minste energie en het water verliest hier maar 4°C . Ook is dit shot het constantst, gedurende het shot verschilt het temperatuurverlies maar 1°C .

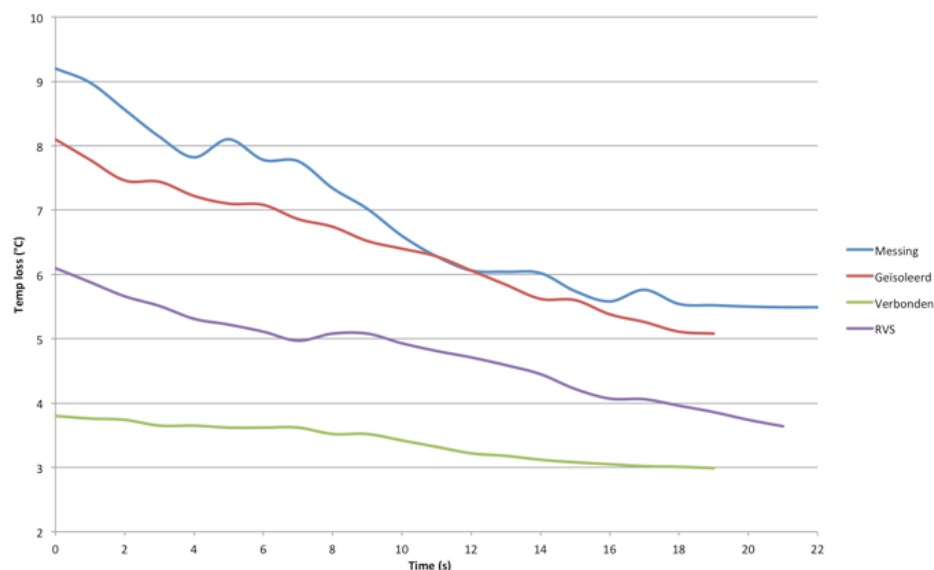
DE 3-WEG-KLEP



Grafiek 4.2: Temperatuurverlies van het water bij 30 cc flush uitgezet tegen de tijd

45 CC FLUSH

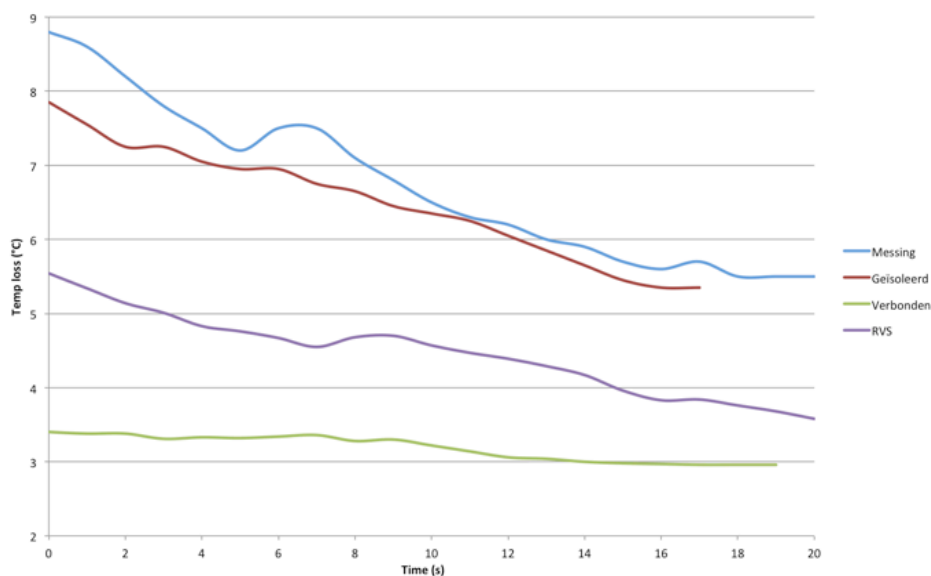
Grafiek 4.3 laat grafisch zien wat het temperatuur van het water is ten gevolge van de verschillende kleppen na een 45 cc flush. De messing-klep zorgt ervoor dat het water aan het begin van het shot ruim 9 °C verliest. De geïsoleerde klep, die na de 45 cc flush aan het begin van het shot een temperatuur van 79,15 °C heeft, absorbeert minder energie dan hiervoor en het water verliest nu ongeveer 8 °C. Dit is een groter verschil in temperatuur afname als bij de 30 cc flush, wat dus betekend dat de isolatie ervoor gezorgd heeft dat de klep meer warmte heeft vastgehouden. De RVS-klep, met een begintemperatuur van 71,09 °C, absorbeert ook minder energie en hier verliest het water maximaal 6 °C. De verbonden klep, begintemperatuur 85,69 °C, absorbeert wederom het minste energie en hier verliest het water maximaal iets minder dan 4 °C. Ook is gehele shot hier stabiel, omdat de temperatuur-afname maar 0,8 °C over het gehele shot verschilt.



Grafiek 4.3: Temperatuurverlies van het water bij 45 cc flush uitgezet tegen de tijd

60 CC FLUSH

Grafiek 4.4 laat de energie absorptie van de kleppen en daarmee de temperatuurafname van het water bij een 60 cc flush zien. Wederom heeft de originele opstelling de grootste temperatuurafnamen. De originele 3-weg-klep, begin temperatuur 78,47 °C, zorgt voor een temperatuur afname van bijna 9 °C. De geïsoleerde klep ligt hier ongeveer 1 °C onder, dit is ongeveer hetzelfde verschil als bij de 45 cc flush, wat inhoudt dat het voor het shot niet veel uitmaakt of er een 45 cc of 60 cc flush gebruikt wordt. Wel is de verbonden klep bij de 60 cc flush nog stabiel, hier zit er maar 0,5 °C verschil in de temperatuur afname. Dit zorgt er dus voor dat de shots nog stabiel zullen zijn als bij de 45 cc flush.

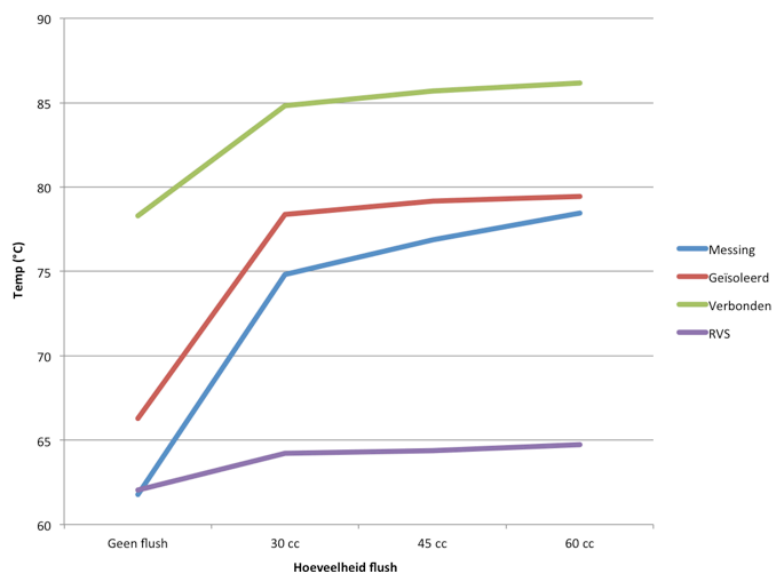


Grafiek 4.4: Temperatuurverlies van het water bij 60 cc flush uitgezet tegen de tijd

4.4.2 TEMPERATUUR VAN DE KLEP VOOR HET SHOT

Hieronder staat grafiek 4.5 die aangeeft hoe warm de klep was aan het begin van het 1e shot na alle verschillende hoeveelheden flush en voor de verschillende kleppen. Duidelijk is te zien dat de verbonden klep die actief warm gehouden wordt de minst drastische temperatuur toename heeft tussen geen flush en 60 cc flush. Verder heeft hij bij geen flush een veel hogere temperatuur. Verder is te zien dat de isolatie de klep toch een tikje warmer houdt, waardoor bij geen flush hij warmer is. Het temperatuur verschil tussen de geïsoleerde klep en de originele klep neemt wel af. Dit heeft er waarschijnlijk mee te maken dat de isolatie in de korte tijd dat de flush duurt relatief minder warmte kan vasthouden. Ook is te zien dat de RVS-klep nauwelijks opwarmt tijdens de flush. De ruwe meetdata van dit onderdeel is te vinden op de bijgeleverde CD (CD > 7-metingen).

DE 3-WEG-KLEP



Grafiek 4.5: Temperatuur van de klep uitgezet tegen de flush

4.4.3 TEMPERATUUR IN DE FILTERDRAGER

In deze paragraaf wordt bekeken hoe warm het water in de filterdrager was nadat ze door de verschillende kleppen zijn geweest en na 30 minuten rust en na verschillende flushes. Hiervoor zijn dezelfde shots gebruikt als bij paragraaf 4.4.1 – temperatuur absorptie kleppen.

GEEN FLUSH

Bij deze shots is er na de 30 minuten rust geen flush gedaan. Het eerste shot had dus te maken met een nog niet voorverwarmde klep. In de tabel 4.2 is te zien van welke metingen de eerste 2 shots zijn bekeken. Ook is weergegeven welke temperatuur de klep had net voor het shot begon. In hoofdstuk 4.4.2 is een grafiek te zien die de temperatuur van de kleppen uitzet tegen de flush, hierbij is de temperatuur van de klep vlak voor dat het shot begint te zien.

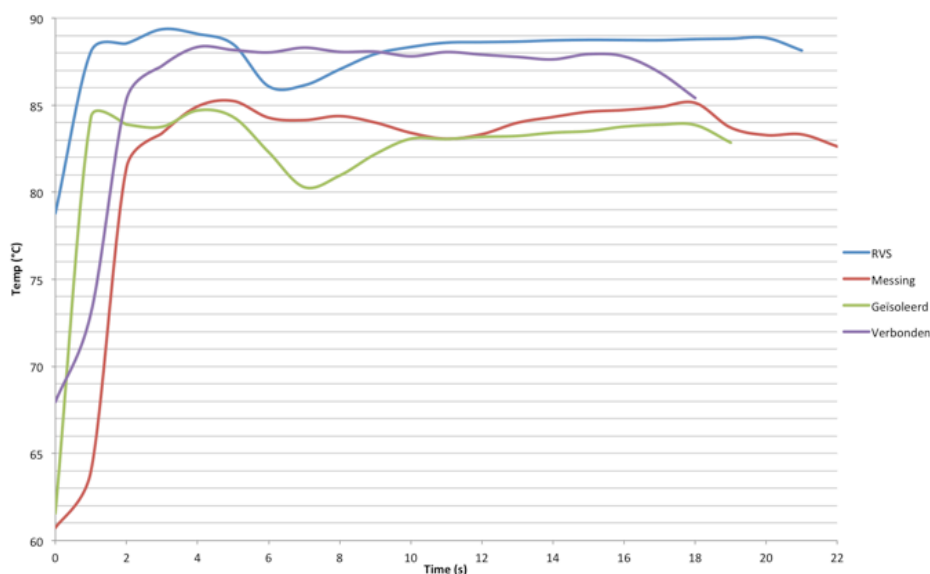
	Tijdstip	Meting	Temperatuur klep
Messing	10:11	Nulmeting	61,78 °C
Geïsoleerd	09:19	Geïsoleerd	66,29 °C
Verbonden	13:43	Verbonden – dag 1	78,28 °C
RVS	13:47	RVS meting	62,08 °C

Tabel 4.2: Parameters van gebruikte meetgegevens bij geen flush

DE 3-WEG-KLEP

I^e SHOT

In grafiek 4.6 is te zien wat de temperatuur van de eerste shots was zonder flush. Hierbij is te zien dat de temperaturen van de shots met de RVS-klep en verbonden klep vlak bij elkaar liggen. De shots die door de geïsoleerde en door de oorspronkelijke klep zijn gelopen zijn allebei ongeveer 4 °C kouder. Verder is te zien dat de verbonden klep de constantste temperatuur geeft. In tabel 4.3 is te zien dat het shot wat door de RVS-klep heeft gelopen gemiddeld 2 °C warmer was, dit komt vooral door het koude begin van het shot wat door de verbonden klep is gelopen.



Grafiek 4.6: Temperatuur van alle I^e shots zonder flush uitgezet tegen de doorlooptijd

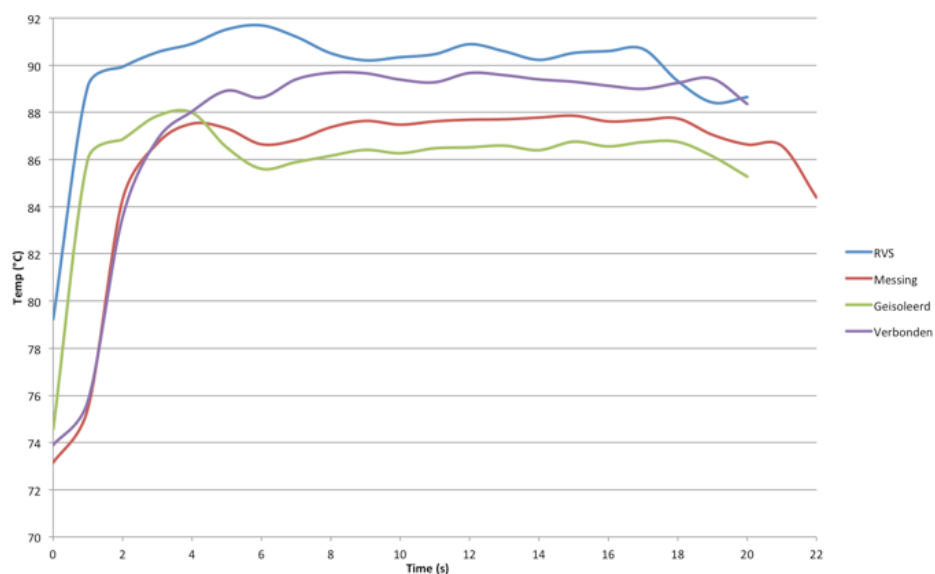
	Messing	Geïsoleerd	Verbonden	RVS
Min Temp	60,72 °C	61,55 °C	67,95 °C	78,79 °C
Max Temp	85,24 °C	84,70 °C	88,34 °C	89,36 °C
Gem Temp	82,04 °C	82,11 °C	85,78 °C	87,88 °C

Tabel 4.3: Temperatuur gegevens van het I^e shot zonder flush

DE 3-WEG-KLEP

2^E SHOT

Bij het tweede shot zonder flush is duidelijk te zien dat de RVS-klep ongeveer 1 °C warmer is. Verder gedragen alle shots zich redelijk constant.



Grafiek 4.7: Temperatuur van alle 2^e shots zonder flush uitgezet tegen de doorlooptijd

	Messing	Geïsoleerd	Verbonden	RVS
Min Temp	73,14 °C	74,57 °C	73,89 °C	77,64 °C
Max Temp	87,86 °C	87,99 °C	89,68 °C	90,09 °C
Gem Temp	85,94 °C	85,92 °C	87,44 °C	88,19 °C

Tabel 4.4: Temperatuur gegevens van het 2^e shot zonder flush

DE 3-WEG-KLEP

30 CC FLUSH

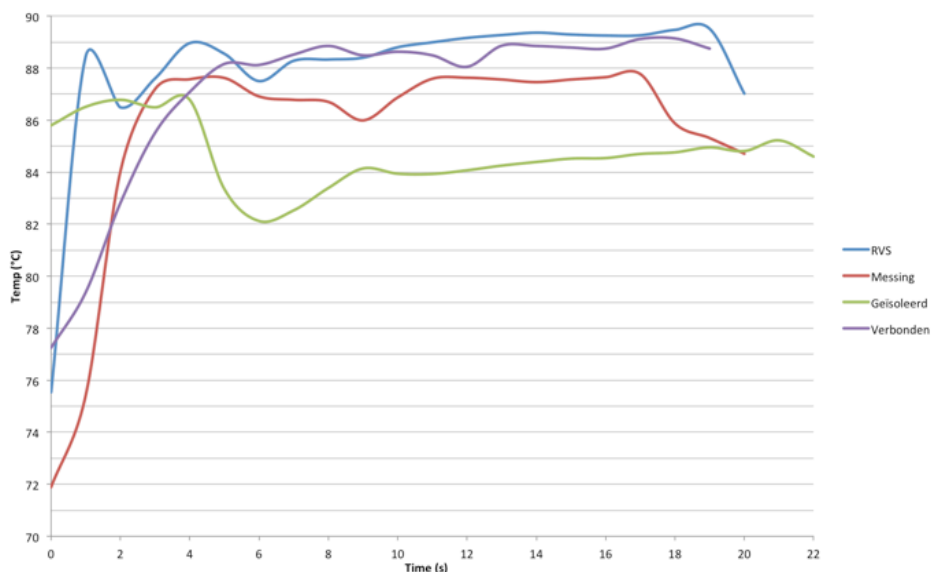
Bij deze shots is er eerst een flush van 30 cc geweest. Hierdoor hebben de kleppen iets kunnen opwarmen. In tabel 4.5 is te zien wat de temperatuur van de kleppen was aan het begin van het eerste shot.

	Tijdstip	Meting	Temperatuur klep
Messing	10:44	Nulmeting	74,80 °C
Geïsoleerd	08:46	Geïsoleerd	78,37 °C
Verbonden	14:18	Verbonden – dag 1	84,81 °C
RVS	14:54	RVS meting	71,22 °C

Tabel 4.5: Parameters van gebruikte meetgegevens bij de 30 cc flush

1^E SHOT

In grafiek 4.8 is vooral duidelijk te zien dat de geïsoleerde klep duidelijk een koudere temperatuur heeft dan de andere shots. Verder ligt de temperatuur van de RVS-klep en verbonden klep vrij dicht bij elkaar. Wel heeft de verbonden klep een constantere temperatuur gedurende het shot.



Grafiek 4.8: Temperatuur van alle 1^{ste} shots met 30 cc flush uitgezet tegen de doorlooptijd

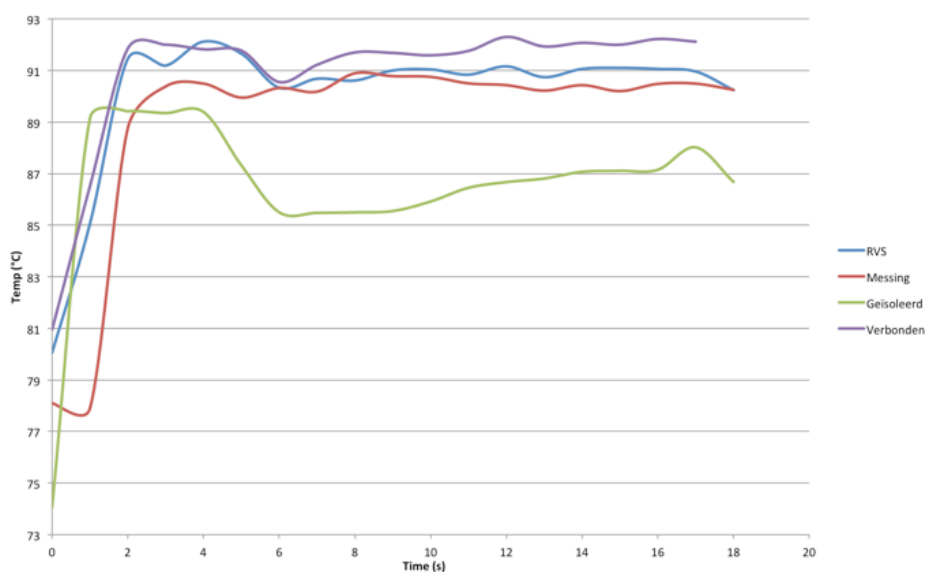
	Messing	Geïsoleerd	Verbonden	RVS
Min Temp	71,89 °C	82,12 °C	77,25 °C	75,54 °C
Max Temp	87,77 °C	86,78 °C	89,14 °C	89,51 °C
Gem Temp	85,43 °C	84,63 °C	87,08 °C	87,98 °C

Tabel 4.6: Temperatuur gegevens van het 1^e shot met 30 cc flush

DE 3-WEG-KLEP

2^E SHOT

In grafiek 4.9 is te zien dat wederom de geïsoleerde klep zelfs een koudere temperatuur heeft dan de oorspronkelijke situatie. Verder zijn de shots redelijk aan elkaar gewaagd, maar is heeft de verbonden klep toch net een hogere temperatuur. Verder is de temperatuur dit shot ook constanter.



Grafiek 4.9: Temperatuur van alle 2^e shots met 30 cc flush uitgezet tegen de doorlooptijd

	Messing	Geïsoleerd	Verbonden	RVS
Min Temp	74,90 °C	74,06 °C	77,52 °C	80,05 °C
Max Temp	87,89 °C	89,42 °C	91,82 °C	92,12 °C
Gem Temp	86,03 °C	86,54 °C	89,32 °C	90,12 °C

Tabel 4.7: Temperatuur gegevens van het 2^e shot met 30 cc flush

DE 3-WEG-KLEP

45 CC FLUSH

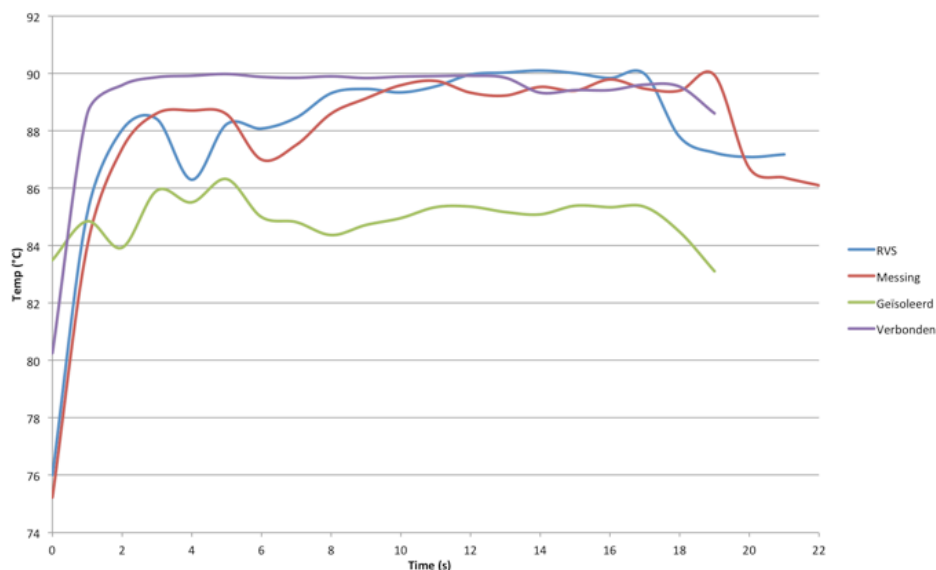
Hier is er voor de shots een flush van 45 cc geweest. In tabel 4.8 zijn de temperaturen van de kleppen te zien bij het begin van het eerste shot.

	Tijdstip	Meting	Temperatuur klep
Messing	11:18	Nulmeting	76,88 °C
Geïsoleerd	08:12	Geïsoleerd	79,15 °C
Verbonden	14:51	Verbonden – dag 1	85,69 °C
RVS	14:21	RVS meting	71,09 °C

Tabel 4.8: Parameters van gebruikte meetgegevens bij de 45 cc flush

I^E SHOT

In grafiek 4.10 is goed te zien dat de temperatuur van het shot met de verbonden klep aanzienlijk constanter (op de halve graad nauwkeurig) is dan de andere shots. Wel komt de temperatuur de shots met de RVS-klep en de oorspronkelijke klep dicht bij de temperatuur van de verbonden klep, maar deze shots zijn wel minder constant.



Grafiek 4.10: Temperatuur van alle I^{ste} shots met de 45 cc flush uitgezet tegen de doorlooptijd

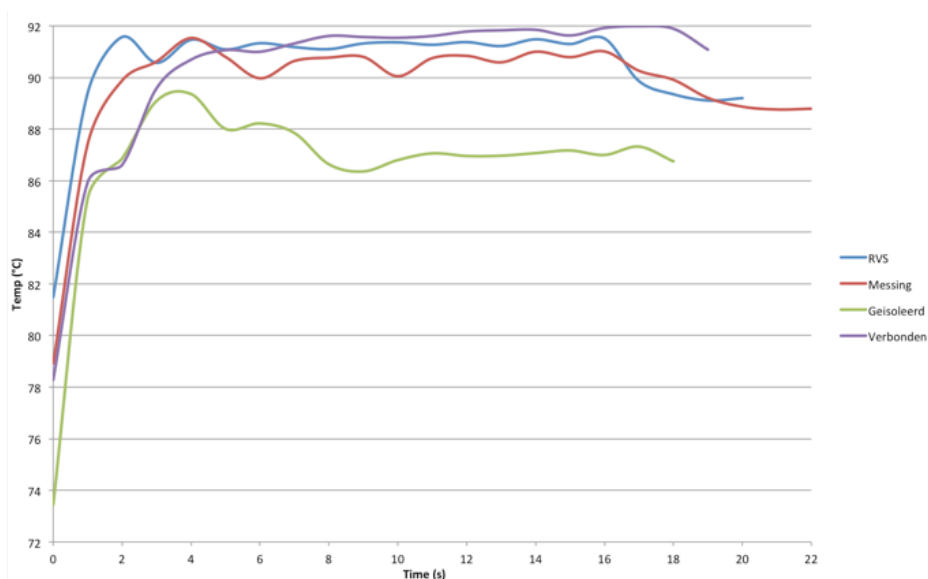
	Messing	Geïsoleerd	Verbonden	RVS
Min Temp	75,23 °C	83,11 °C	79,76 °C	76,00 °C
Max Temp	89,94 °C	86,32 °C	89,48 °C	90,10 °C
Gem Temp	87,80 °C	84,93 °C	88,66 °C	87,98 °C

Tabel 4.9: Temperatuur gegevens van het I^e shot met 45 cc flush

DE 3-WEG-KLEP

2^E SHOT

In grafiek 4.11 waar de tweede shots na een flush van 45 cc tegen de tijd zijn uitgezet, is duidelijk te zien dat de geïsoleerde klep weer voor het koudste shot zorgt. De verbonden klep heeft de meest constante temperatuur, verder is dit ook de hoogste temperatuur. Welk heeft dit shot door een kouder begin een lagere gemiddelde temperatuur van het shot die door de RVS-klep is gelopen.



Grafiek 4.11: Temperatuur van alle 2^e shots met de 45 cc flush uitgezet tegen de doorlooptijd

	Messing	Geïsoleerd	Verbonden	RVS
Min Temp	75,91 °C	73,45 °C	78,29 °C	81,49 °C
Max Temp	88,53 °C	89,36 °C	91,99 °C	91,57 °C
Gem Temp	86,66 °C	86,54 °C	90,24 °C	90,36 °C

Tabel 4.10: Temperatuur gegevens van het 2^e shot met 45 cc flush

DE 3-WEG-KLEP

60 CC FLUSH

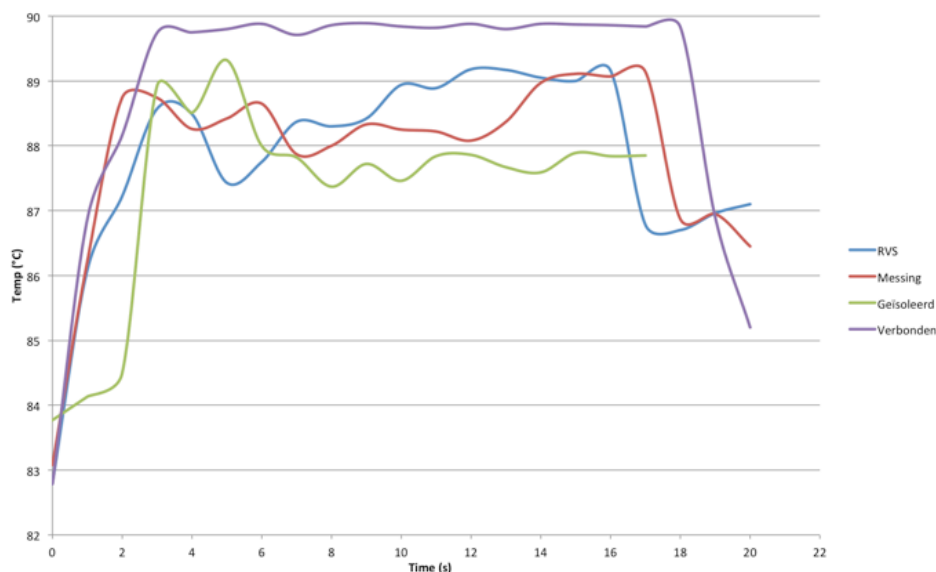
Bij deze shots is er eerst een 60 cc flush geweest. Dit is het equivalent van een volledig shot, de kleppen hebben hierdoor goed op kunnen warmen, waardoor ze als het goed is minder energie uit het water absorberen, waardoor deze een constantere temperatuur hebben.

	Tijdstip	Meting	Temperatuur klep
Messing	11:52	Nulmeting	78,47 °C
Geïsoleerd	07:39	Geïsoleerd	79,46 °C
Verbonden	15:25	Verbonden – dag 1	86,15 °C
RVS	13:12	RVS meting	71,73 °C

Tabel 4.11: Parameters van gebruikte meetgegevens bij de 60 cc flush

1^E SHOT

De temperatuur van de eerste shots na een 60 cc flush zijn uitgezet tegen de tijd in grafiek 4.12. Dit grafiek geeft het meest extreme verschil tussen de verschillende shots weer. Hierin is duidelijk te zien dat de verbonden klep het warmste en constantste shot geeft. Verder is wederom de geïsoleerde klep het koudst.



Grafiek 4.12: Temperatuur van alle 1^{ste} shots met de 60 cc flush uitgezet tegen de doorlooptijd

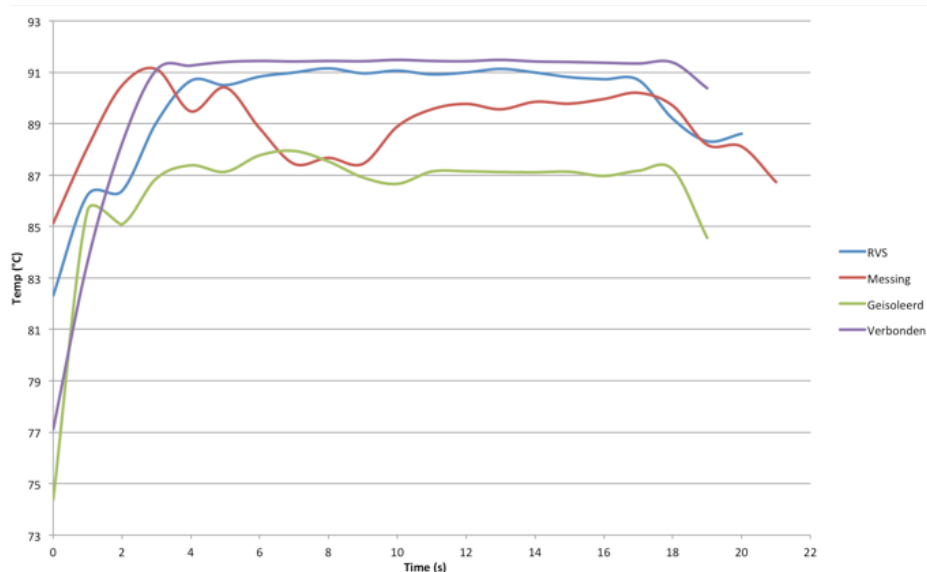
	Messing	Geïsoleerd	Verbonden	RVS
Min Temp	83,08 °C	83,77 °C	82,78 °C	82,80 °C
Max Temp	89,14 °C	89,32 °C	89,89 °C	89,18 °C
Gem Temp	87,89 °C	87,34 °C	88,91 °C	87,83 °C

Tabel 4.12: Temperatuur gegevens van het 1^e shot met 60 cc flush

DE 3-WEG-KLEP

2^E SHOT

De temperatuur van de tweede shots na een 60 cc flush zijn uitgezet tegen de tijd in grafiek 4.13. Hierin is te zien dat de temperatuur van de shots die door de RVS-klep en de verbonden klep hebben gelopen vrij dicht bij elkaar liggen. Toch is de temperatuur van de verbonden klep hoger en constanter door het shot heen.



Grafiek 4.13: Temperatuur van alle 2^e shots met de 60 cc flush uitgezet tegen de doorlooptijd

	Messing	Geïsoleerd	Verbonden	RVS
Min Temp	83,12 °C	74,88 °C	77,52 °C	83,12 °C
Max Temp	89,12 °C	88,44 °C	91,88 °C	91,95 °C
Gem Temp	86,92 °C	86,74 °C	90,48 °C	90,44 °C

Tabel 4.13: Temperatuur gegevens van het 2^e shot met 60 cc flush

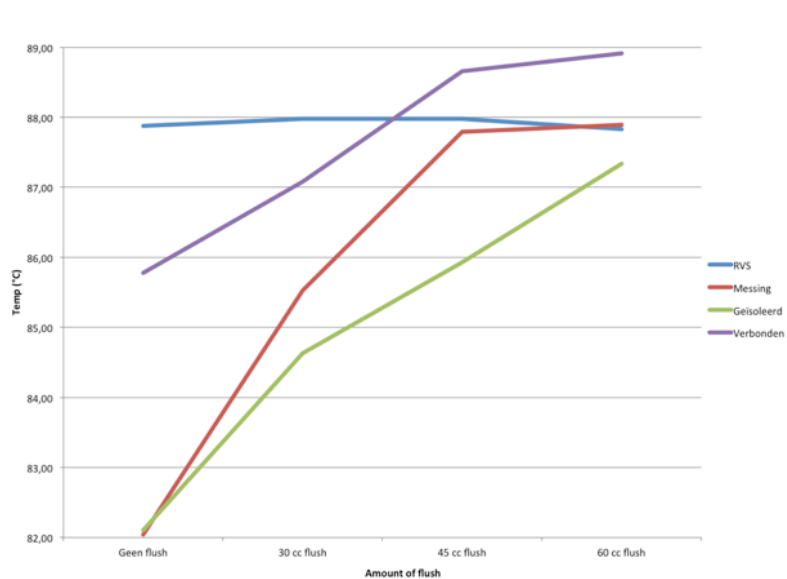
DE 3-WEG-KLEP

4.4.4 GEMIDDELDE TEMPERATUUR VAN DE SHOTS

In deze paragraaf is te zien wat de gemiddelde temperatuur van de shots is uitgezet tegen de grootte van de flush. Dit is voor zowel het eerste shot als het tweede shot gedaan.

EERSTE SHOT

In grafiek 4.14 is de gemiddelde temperatuur van de eerste shots uitgezet tegen de flush. In tabel 4.14 zijn de waardes per klep per flush weergegeven. Duidelijk is te zien dat de gemiddelde temperatuur van de shots die door de RVS-klep zijn gegaan bij de verschillende flushes hetzelfde is. Dit houdt dus in dat de temperatuur van de shots niet afhankelijk is van de flush die hieraan voorafgegaan is. De gemiddelde temperatuur van de shots die door de verbonden klep zijn gegaan neemt naarmate de flush groter wordt met 3 °C toe. Dit zou minder geweest zijn als de verbinding tussen de klep en het groepshoofd beter was geweest, omdat de klep dan minder was afgekoeld, en dus eerder de ideale temperatuur had bereikt. De geïsoleerde en originele klep hebben beide een lagere gemiddelde temperatuur als de andere twee situaties. Verder hebben deze twee kleppen ook het grootste temperatuur verschil tussen de verschillende flushes, waardoor ze onvoorspelbaar zijn. Hieruit kan geconcludeerd worden als de verbonden klep beter verbonden wordt met het groepshoofd, dit shots met de beste temperatuur geeft.



Grafiek 4.14: Gemiddelde temperatuur van de eerste shots uitgezet tegen de flush

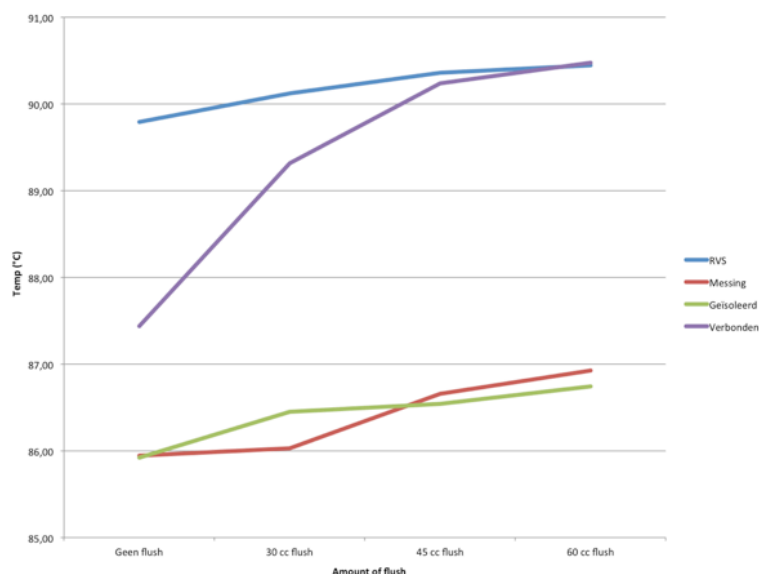
	Messing	Geïsoleerd	Verbonden	RVS
Geen flush	82,04 °C	82,11 °C	85,78 °C	87,88 °C
30 cc flush	85,43 °C	84,63 °C	86,93 °C	87,98 °C
45 cc flush	87,80 °C	85,93 °C	88,66 °C	87,98 °C
60 cc flush	87,89 °C	87,34 °C	88,91 °C	87,83 °C

Tabel 4.14: Gemiddelde temperatuur van de shots bij het eerste shot

DE 3-WEG-KLEP

TWEEDE SHOT

In grafiek 4.15 is de gemiddelde temperatuur voor de tweede shots tegen de flush uitgezet. In tabel 4.15 zijn de waardes hiervan weergegeven. Wederom is te zien dat de RVS-klep weinig invloed heeft van de grootte van de flush die daarvoor heeft plaats gevonden. De verbonden klep heeft weer een gemiddelde temperatuur toename van 3 °C. Opmerkelijk is om te zien dat de toename van de gemiddelde temperatuur tussen de flushes bij de geïsoleerde en originele klep minder is, namelijk maar 1 °C. Wel ligt de gemiddelde temperatuur aanzienlijk lager, waardoor het niet relevant is om dit verder te onderzoeken.



Grafiek 4.15: Gemiddelde temperatuur van de tweede shots uitgezet tegen de flush

	Messing	Geïsoleerd	Verbonden	RVS
Geen flush	85,94 °C	85,92 °C	87,44 °C	88,19 °C
30 cc flush	86,03 °C	86,45 °C	89,32 °C	90,12 °C
45 cc flush	86,66 °C	86,54 °C	90,24 °C	90,36 °C
60 cc flush	86,92 °C	86,74 °C	90,48 °C	90,44 °C

Tabel 4.15: Gemiddelde temperatuur van de shots bij het tweede shot

5

HET MIXBLOK



KEES VAN DER WESTEN

In dit hoofdstuk zal extra informatie over het mixblok gegeven worden. Zo worden de twee eerdere concepten die voor de eindversie getest waren besproken. Verder wordt berekend met welk vaste stuwte het beste temperatuurdomein bereikt wordt. En wat de wisselende boiler temperatuur doet aan de stabiliteit van de temperatuur van het uitkomende water.



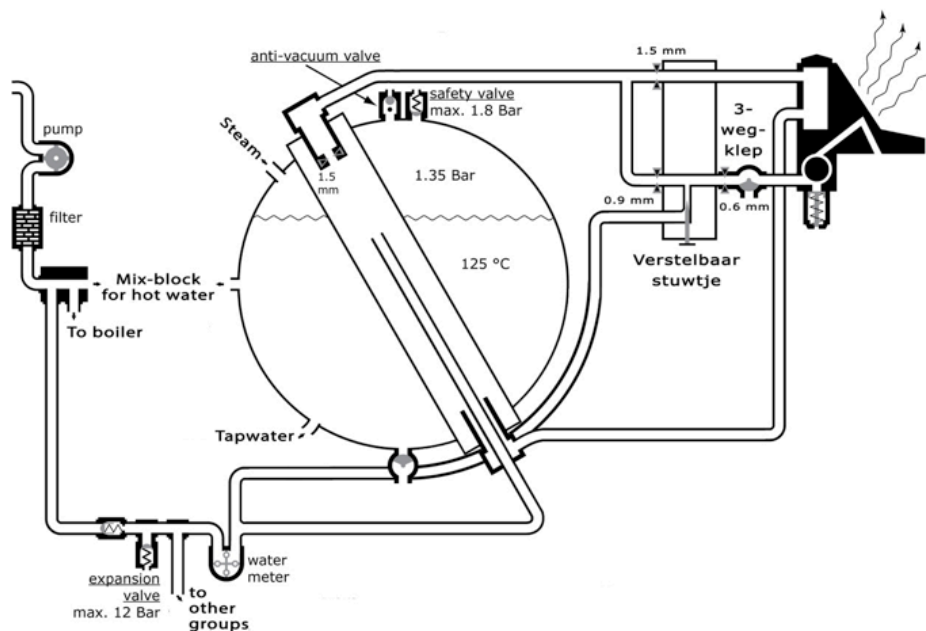
HET MIXBLOK

5.1 VERSCHILLENDE INBOUW OPSTELLINGEN

Voordat de uiteindelijke opstelling van het mixblok was bereikt is hij het koude water op verschillende manieren naar het mixblok gebracht. Dit is gedaan omdat het koude water op een zo constant mogelijke manier moest worden aangeleverd. Omdat er een aantal onderdelen zijn toegevoegd aan de machine zijn de meetpunten ook aangepast, dit zijn meetpunten L tot en met P, deze zijn in hoofdstuk 2.1 van het onderzoeksrapport al aangegeven.

VERSIE 1.0

Bij versie 1.0 werd het koude water na de flowmeter gesplitst, het water wat naar het mixblok ging werd onder de boiler langs geleid richting het mixblok. Uit metingen bleek dat dit geen geschikte oplossing was, omdat het water vrij lang langs de boiler liep, waardoor het water door middel van radiatie van de warme boiler veel warmte overnam. Afbeelding 5.1 geeft een schematische weergave van de inbouw in de machine weer.

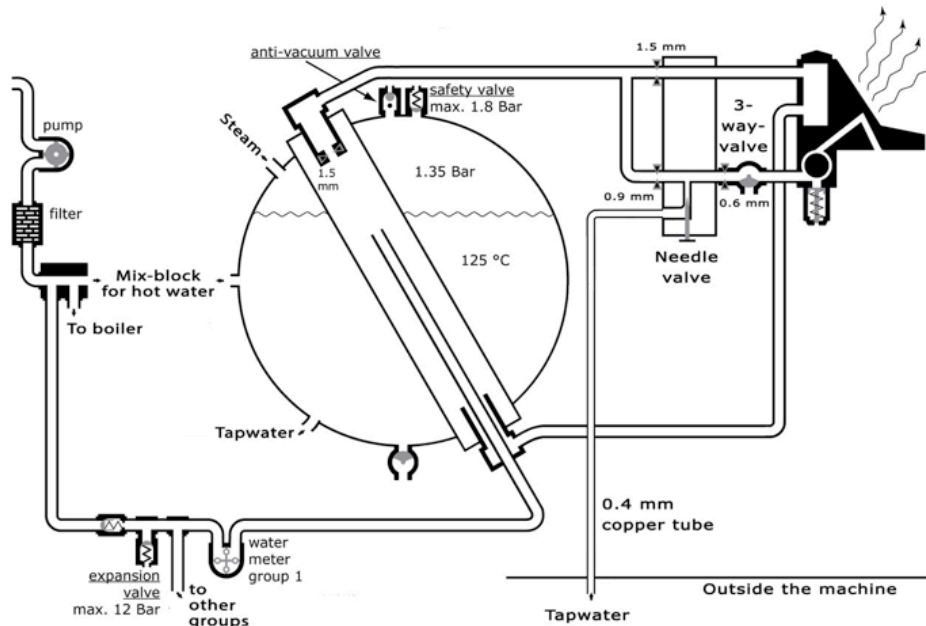


Afbeelding 5.1: Eerste versie van de inbouw van het mixblok

VERSIE 2.0

Bij versie 2.0 wordt het koude water buiten de machine direct uit de kraan gehaald. De watertoevoer naar de machine wordt door middel van een T-splitsing afgesplitst. Vervolgens wordt het water via een 4 mm dunne koperen buis naar het mixblok gebracht om zo min mogelijk water in de buis te hebben. Hierdoor wordt ook het minste water opgewarmd door het warme mixblok. Na metingen bleek dat het water toch nog teveel opwarmde, omdat het mixblok op een constante 88 °C wordt gehouden. Op afbeelding 5.2 is een schematische weergave van de inbouw in de machine te zien.

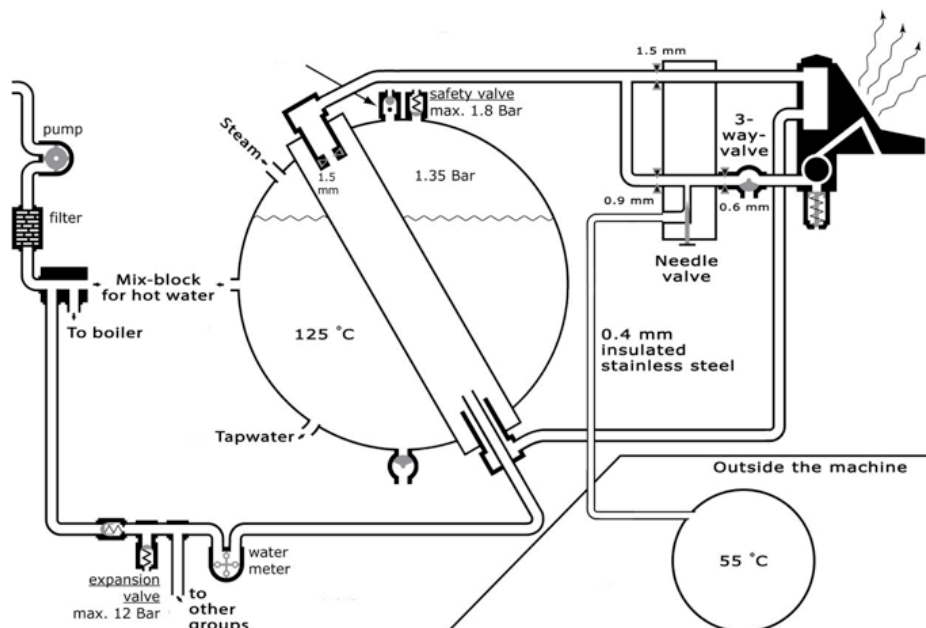
HET MIXBLOK



Afbeelding 5.2: Tweede versie van de inbouw van het mixblok

EINDVERSIE

Het koude water wordt hier doormiddel van een geïsoleerde 4 mm RVS-buis naar het mixblok gebracht. Hierdoor wordt het koude water door de isolatie en lagere warmtegeleidbaarheid minder opgewarmd en zit er minder water in de buis, wat ervoor zorgt dat er sneller water direct uit de boiler komt. Afbeelding 5.3 laat een schematische weergave van de inbouw van de definitieve versie zien.



Afbeelding 5.3: De derde en definitieve versie van de inbouw van het mixblok

HET MIXBLOK

5.2 AANVULLENDE MEETRESULTATEN EN BEREKENINGEN

In deze paragraaf zullen de overige meetresultaten die uit de metingen van het mixblok komen gepresenteerd worden. Bij alle shots kan de temperatuur van het water bij B genegeerd worden, omdat dit geen invloed meer heeft op de temperatuur van het uitkomende water. Dit meetpunt is wel meegenomen in de meting omdat hier, door het snel opwarmen van het water vanuit de warmtewisselaar, goed te zien is wanneer een shot begint en eindigt.

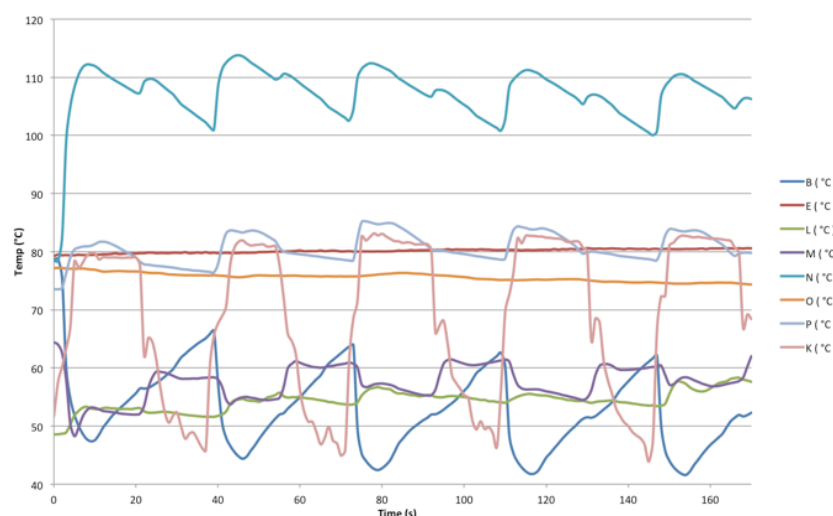
5.2.1 VASTE STUWTJES

0,9 MM

Hier zullen de watertemperaturen van drie scenario's gepresenteerd worden. De eerste is dat het verstelbare stuwttje helemaal open staat, wat het koude water een doorgang van 3 mm geeft. Hierdoor is de verhouding warm/koud water 1:3,33¹. Bij de tweede situatie is het verstelbare stuwttje drie slagen open gezet, maar is er geen flush aan voorafgegaan. Bij drie slagen open is de doorlating van het koude water 0,11 mm², wat betekent dat de verhouding warm/koud water 1:0,1563¹ is. Bij laatste situatie die behandeld wordt is het verstelbare stuwttje drie slagen open en is er een 5 seconde flush gedaan gevolgd door 10 shots.

HELEMAAL OPEN

Grafiek 5.1 laat de shotreeks van 15:44 van de eerste meting zien. Hierbij is het verstelbare stuwttje helemaal open gezet. De machine heeft hier 10 minuten stilgestaan en er is geen flush aan vooraf geweest. Er vallen een aantal dingen op. Allereerst zijn de laatste drie shots vrijwel identiek. Verder valt tijdens het shot de temperatuur van het warme water weg. Deze zakt van 113 °C naar 110 °C, de val die hij hierna maakt is wanneer de machine in rust is. Verder valt op dat het water bij meetpunt P, dus meteen na de 3-weg-klep precies deze trend volgen. Deze dalende temperatuur tijdens het shot wordt deels opgevangen door het groepshoofd waardoor de temperatuur in de filterdrager bij de laatste drie shots maar 2,5 °C varieert. Wel moet hierbij gezegd worden dat bij alle drie de shots de eerste 2 seconde genegeerd worden, omdat hierbij de filterdrager nog moet opwarmen. De gemiddelde temperatuur van deze laatste drie shots samen is 82 °C.

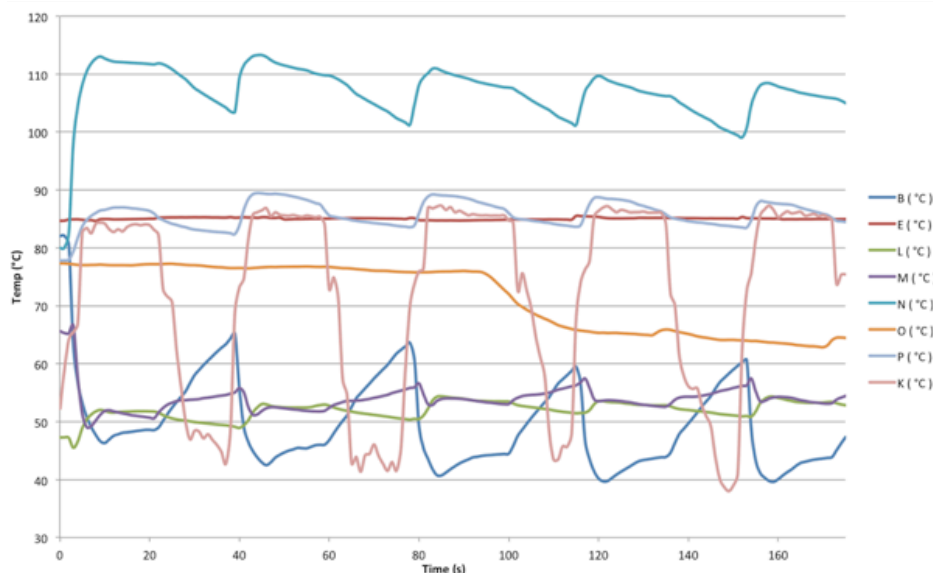


Grafiek 5.1: Vaste stuwttje 0,9 mm en verstelbare stuwttje helemaal open

¹ zie bijlage, hoofdstuk 8

DRIE SLAGEN OPEN

Grafiek 5.2 laat de shotreeks van 15:53 van de tweede meting zien. De machine heeft op dit punt 10 minuten stil gestaan en er is geen flush geweest. Het verstelbare stuwttje is hierbij drie slagen opengedraaid. Hierbij valt gelijk op dat de temperatuurdaling van het warme water tijdens het shot minder groot is, namelijk nu nog maar van 110 °C naar 107 °C. Ook is het effect van deze daling minder groot op de temperatuur van het water wat uit het mixblok komt, deze fluctueert tijdens het shot nog maar 2 °C, verder is telkens de laatste 10 seconde van het shot binnen 0,5 °C constant. De gemiddelde temperatuur van de laatste drie shots is **86 °C**. Aan de oranje lijn is te zien dat de temperatuur van het mixblok tijdens de shotreeks daalt, waarbij tijdens het 3e shot er ineens een behoorlijke daling is, dit heeft verder nauwelijks invloed op de temperatuur van het uitkomende water.

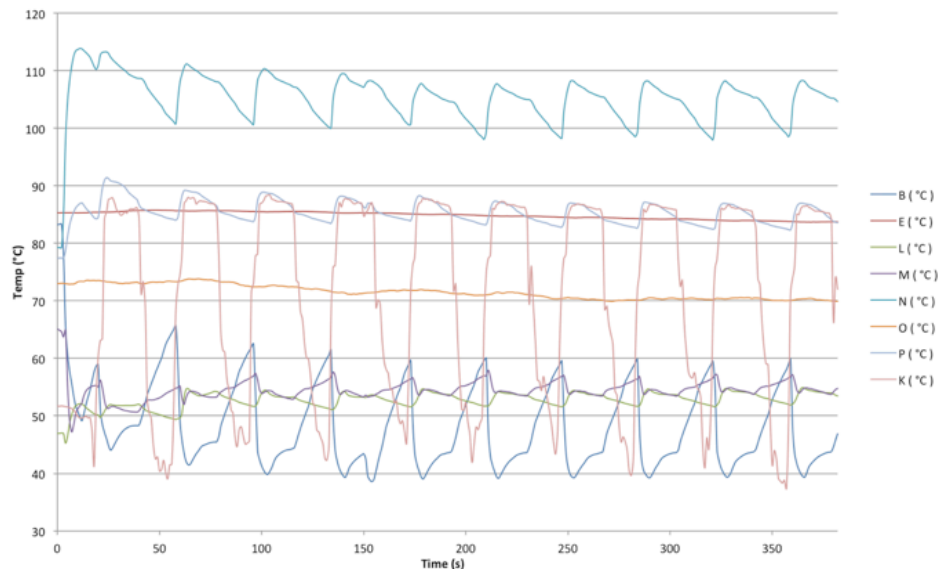


Grafiek 5.2: Vaste stuwttje 0,9 mm en verstelbare stuwttje 3 slagen open

10 SHOTS ACHTER ELKAAR

In grafiek 5.3 is te zien dat er op 14:18 van de derde meting 10 shots achter elkaar zijn gezet. Hierbij stond het verstelbare stuwttje weer drie slagen open. Voordat de shots begonnen is er een flush van 10 seconden geweest. Het doel van deze test is om te kijken hoe het mixblok onder grote druk presteert. Er is te zien dat de temperatuur van het warme water nog steeds een dalende temperatuur heeft tijdens de shots. Verder is te zien dat de shots nagenoeg constant zijn, alle shots liggen een 1 °C rond de **86 °C**. Tijdens het shot fluctueert de temperatuur maximaal 4 °C, maar gemiddeld 2,5 °C.

HET MIXBLOK



Grafiek 5.3: 10 shots met een vast stuwkje van 0,9 mm en het verstelbare stuwkje 3 slagen open

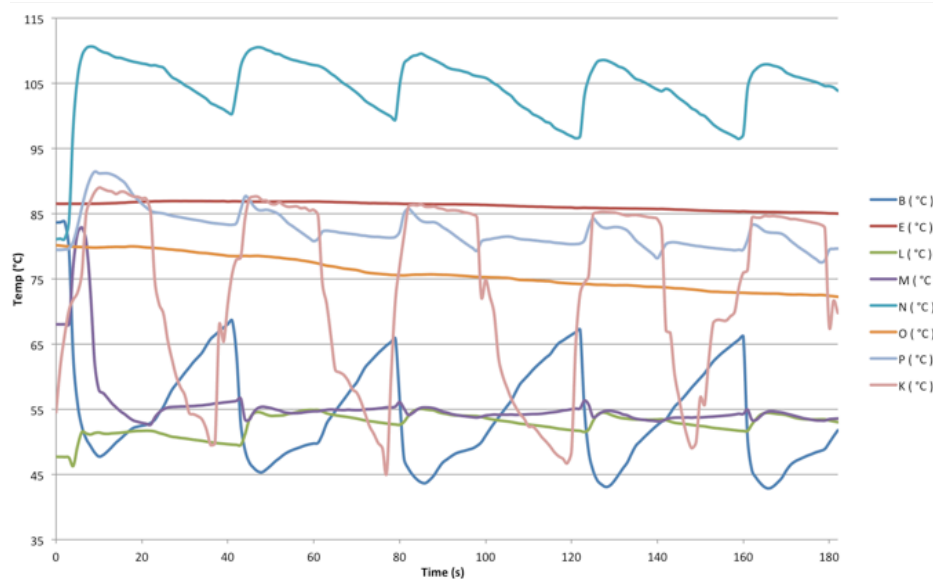
1,0 MM

Uit het onderzoek hierboven kan geconcludeerd worden dat het 0,9 mm stuwkje te klein is, omdat het temperatuurdomein van het uitkomende water te laag uitvalt. Er is voor gekozen om het stuwkje voor het warme water te vergroten tot 1,0 mm. Hierbij is weer onderzocht wat het temperatuurdomein van dit stuwkje is. De verhouding warm/koud water is bij dit stuwkje is als het verstelbare stuwkje helemaal open staat 1:3¹. Als het verstelbare stuwkje drie slagen open gedraaid wordt, dus een doorgang van 0,11 mm² beschikbaar stelt, is de verhouding warm/koud water 1:0,1407.

HELEMAAL OPEN

In grafiek 5.4 is de shotreeks van 14:35 van de eerste meting te zien. Hierbij heeft de machine 10 minuten stilgestaan en is er geen flush geweest. Grafiek 5.4 geeft de temperaturen van de shots weer. Opmerkelijk is om te zien dat het eerste shot warmer is dan de andere, wat betekend dat de machine niet veel afgekoeld was. Verder daalt de temperatuur van het hete water weer tijdens de shots maar ook tussen de shots, wat als gevolg had dat elk shot kouder wordt. De gemiddelde temperatuur is van de laatste drie shots is **84,5 °C**, zoals al te zien is in grafiek 5.4 ligt de gemiddelde temperatuur van het eerst shot hoger, deze is namelijk 87 °C. Verder is opmerkelijk om te zien dat de shots nog constanter zijn dan bij het 0,9 mm stuwkje, zo schommelt het laatste shot maar 1,9 °C in temperatuur.

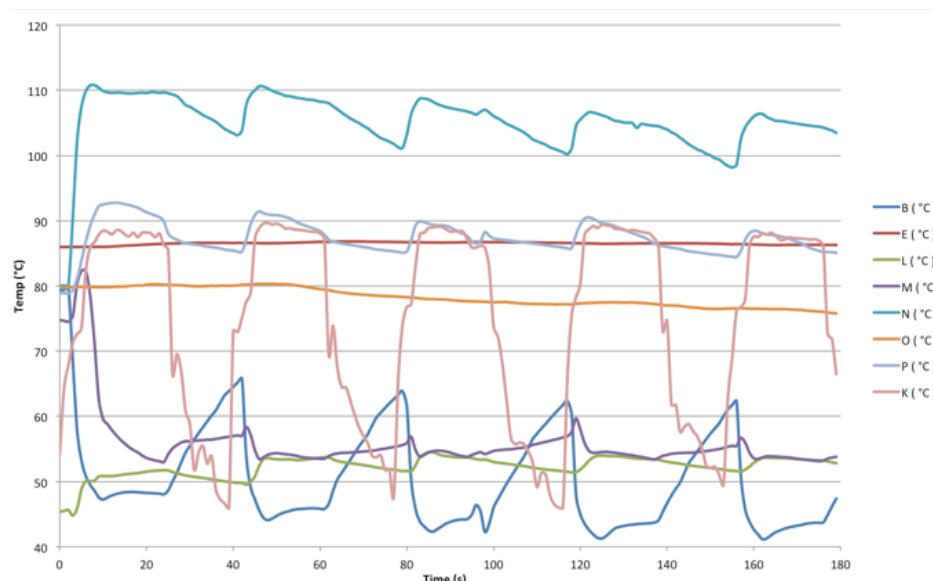
¹ zie bijlage, hoofdstuk 8



Grafiek 5.4: Vaste stuwte 1,0 mm en verstelbare stuwte helemaal open

3 SLAGEN OPEN

Grafiek 5.5 laat de shotreeks van 15:01 van de tweede meting van het 1,0 mm stuwte zien. Hierbij is het verstelbare stuwte 3 slagen open gedraaid. Voor de shotreeks is er geen flush geweest en heeft de machine 10 minuten stilgestaan. De temperatuur van het groepshoofd is gedurende de shotreeks constant 86 °C. De temperatuur van het inkomende warme water daalt tussen de shots wel van 110 °C naar ongeveer 106 °C. Dit heeft echter nauwelijks effect op de temperatuur van het uitkomende water, omdat het groepshoofd dit stabiliseert. De gemiddelde temperatuur van de shots is **87,5 °C**.



Grafiek 5.5: Vaste stuwte van 1,0 mm en het verstelbare stuwte 3 slagen op

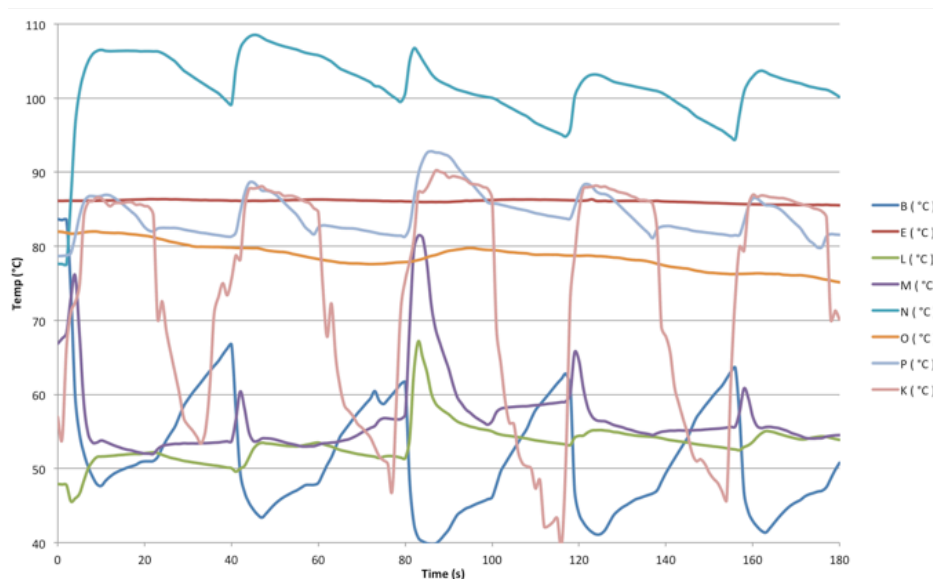
HET MIXBLOK

1,5 MM

Het 1,5 mm stuwkje geeft 150% meer doorgang dan het 1,0 mm stuwkje, waardoor het warme water een groter aandeel heeft. Wanneer het verstelbare stuwkje helemaal openstaat, is de verhouding van het warme op het koude water 1:2. Wanneer het verstelbare stuwkje bijna helemaal gesloten is, slechts drie slagen geopend, dan is de verhouding 1:0,0938.

HELEMAAL OPEN

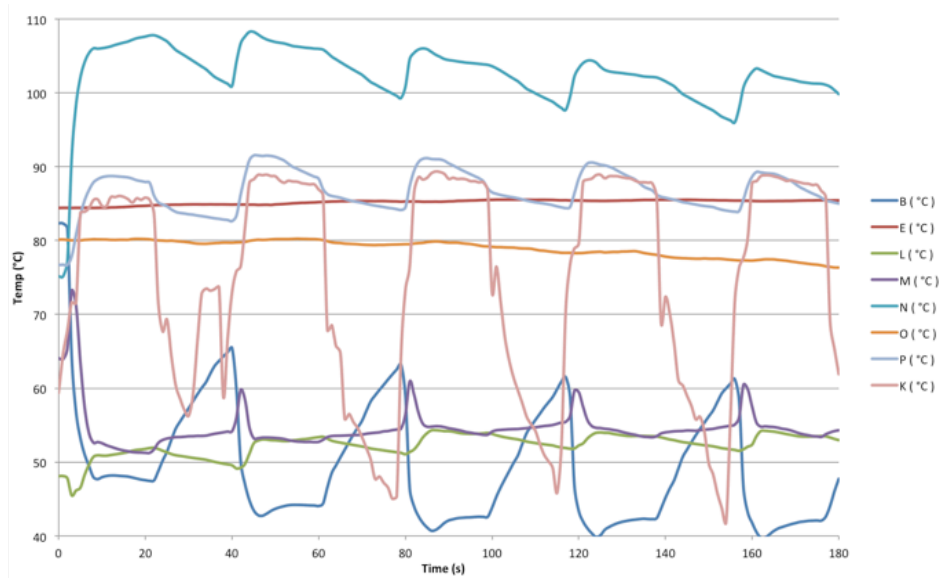
Grafiek 5.6 laat de shotreeks op 11:30 van de eerste meting van het 1,5 mm stuwkje zien. Hierin valt meteen op dat het 3^e shot zich raar gedraagt. Dit komt omdat de temperatuur van het inkomende koude water al vanaf de boiler extreem hoog ligt, de temperatuur van het water net buiten de boiler is namelijk op het hoogste punt 67 °C. Dit is veel hoger dan de ingestelde 55 °C. Dit komt omdat de boiler van 1 liter niet genoeg buffer levert om het binnenkomende water vanuit de kraan op te warmen, waardoor het warmte-element het water moet verwarmen en blijkbaar een keer is doorgeschooten in temperatuur. Het 3^e shot wordt om deze reden niet mee genomen in de berekening. De andere vier shots hebben als gemiddelde temperatuur **86,5 °C**.



Grafiek 5.6: Vaste stuwkje van 1,5 mm en het verstelbare stuwkje helemaal open

3 SLAGEN OPEN

De shotreeks die in grafiek 5.7 gepresenteerd wordt is die van 11:43 van de eerste meting van het 1,5 mm stuwkje. De temperatuur van het warme water daalt tussen de shots van 107 °C tot 101 °C. De temperatuur van het inkomende koude water blijft rond de 55 °C. Tijdens de shots fluctueert de temperatuur van de shots maar 2,5 °C tot 3 °C. De gemiddelde temperatuur van de laatste vier shots is **88,1 °C**.



Grafiek 5.7: Vaste stuwte van 1,5 mm en het verstelbare stuwte 3 slagen op

5.2.1 VASTE STUWTJES

In deze bijlage zullen de shots met 10 seconde flush van de afwisselende boiler temperatuur kort toegelicht worden. De boiler temperatuur wordt tussen de 55 °C en 75 °C telkens met 2 °C omhoog hoger gezet. De machine heeft tussen alle shotreeksen telkens 15 minuten stil gestaan. Hier zal vervolgens telkens de gemiddelde temperatuur van het uitkomende water uit opgemaakt worden. Hierna zou van deze gemiddelde temperaturen een grafiek gemaakt worden waaruit de temperatuur van het uitkomende water uitgezet wordt tegen de boiler temperatuur. Hierbij was de machine nog niet van een PPI voorzien. Het logboek van deze metingen is te vinden op de CD.

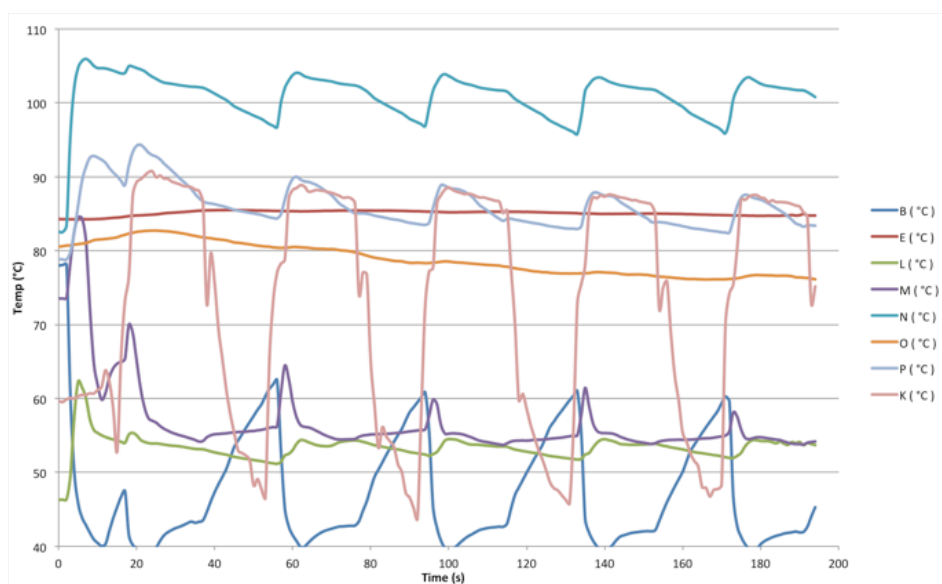
HET MIXBLOK

BOILERTEMPERATUUR 55 °C

Dit is de mening van 11:14 van de eerste meting. Afbeelding 5.8 geeft de shotreeks weer en in tabel 5.1 worden de maximale, minimale en gemiddelde temperatuur van elk shots weergegeven. De gemiddelde temperatuur van vijf shots samen is 87,55 °C.

	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Shot 4	Shot 5
Min. Temp	86,44 °C	86,36 °C	85,09 °C	84,79 °C	85,18 °C
Max. Temp	90,74 °C	88,86 °C	88,56 °C	87,59 °C	87,53 °C
Gem. Temp	89,15 °C	87,80 °C	87,33 °C	86,81 °C	86,68 °C

Tabel 5.1: Temperatuur gegevens per shot met een boiler temperatuur van 55 °C



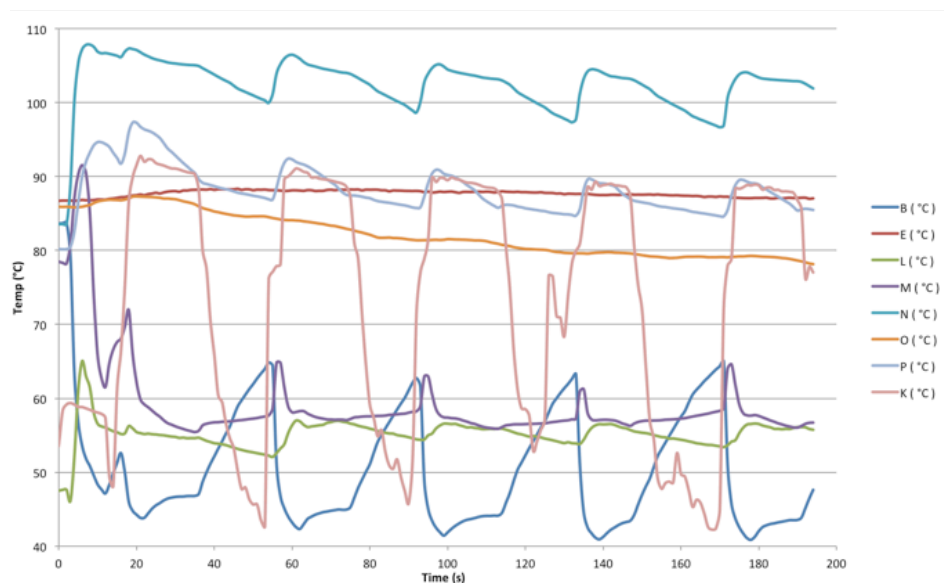
Afbeelding 5.8: Shotreeks bij een boiler temperatuur van 55 °C

BOILERTEMPERATUUR 57 °C

Dit is de meting van 11:51 van de eerste meting. De temperatuur van het groepshoofd is 88 °C. Afbeelding 5.9 geeft de shotreeks weer en in tabel 5.2 worden de maximale, minimale en gemiddelde temperatuur van elk shots weergegeven. De gemiddelde temperatuur van vijf shots samen is 87,83 °C.

	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Shot 4	Shot 5
Min. Temp	85,49 °C	86,11 °C	85,76 °C	79,36 °C	84,44 °C
Max. Temp	91,68 °C	89,99 °C	88,77 °C	88,21 °C	87,82 °C
Gem. Temp	89,80 °C	88,61 °C	87,95 °C	85,76 °C	87,02 °C

Tabel 5.2: Temperatuur gegevens per shot met een boiler temperatuur van 57 °C



Afbeelding 5.9: Shotreeks bij een boiler temperatuur van 57 °C

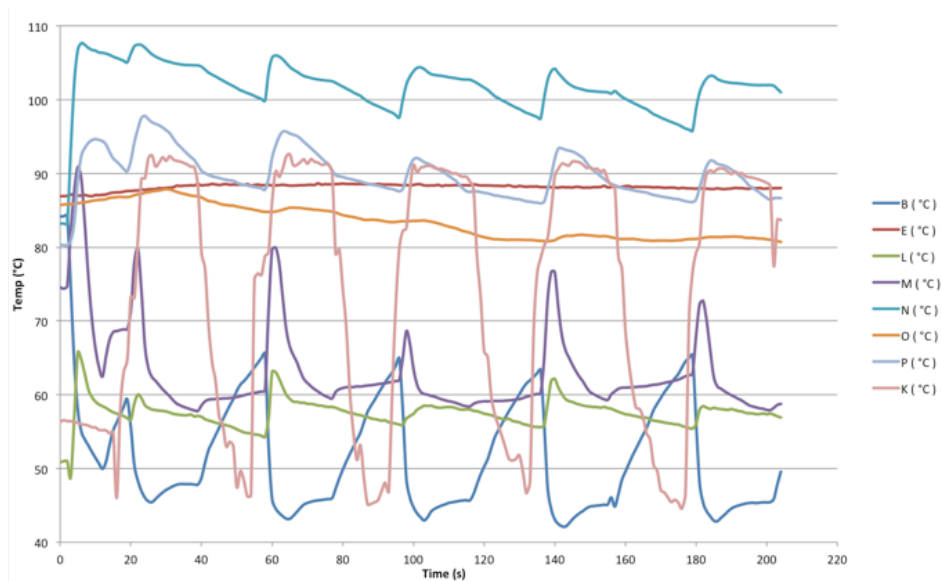
HET MIXBLOK

BOILERTEMPERATUUR 59 °C

Dit is de meting van 12:42 van de eerste meting. Afbeelding 5.10 geeft de shotreeks weer en in tabel 5.3 worden de maximale, minimale en gemiddelde temperatuur van elk shots weergegeven. De gemiddelde temperatuur van vijf shots samen is 88,18 °C.

	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Shot 4	Shot 5
Min. Temp	78,74 °C	84,09 °C	85,64 °C	85,91 °C	84,90 °C
Max. Temp	90,25 °C	90,40 °C	88,92 °C	89,42 °C	88,51 °C
Gem. Temp	88,39 °C	88,77 °C	87,98 °C	88,30 °C	87,45 °C

Tabel 5.3: Temperatuur gegevens per shot met een boiler temperatuur van 59 °C



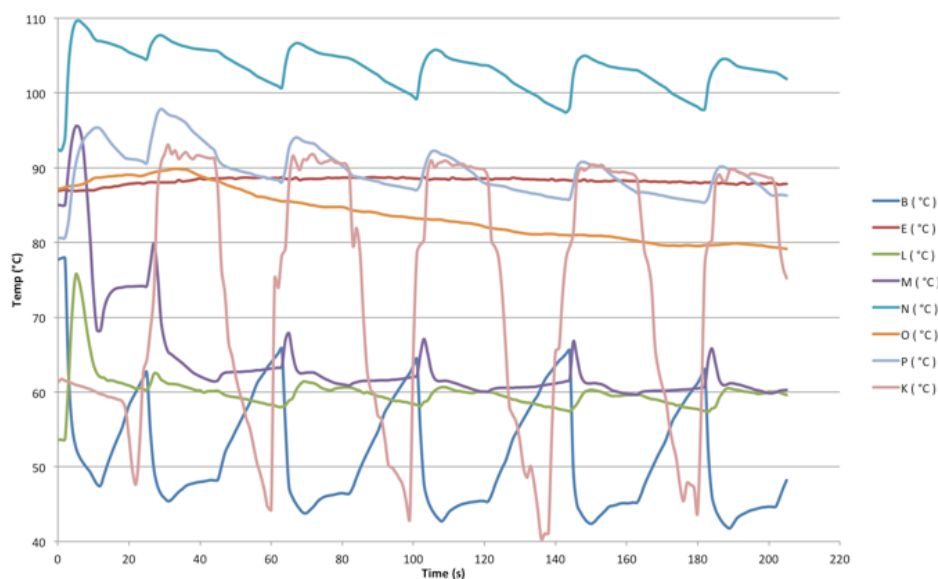
Afbeelding 5.10: Shotreeks bij een boiler temperatuur van 59 °C

BOILERTEMPERATUUR 61 °C

Dit is de meting van 13:19 van de eerste meting. Afbeelding 5.11 geeft de shotreeks weer en in tabel 5.4 worden de maximale, minimale en gemiddelde temperatuur van elk shots weergegeven. De gemiddelde temperatuur van vijf shots samen is 88,57 °C.

	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Shot 4	Shot 5
Min. Temp	85,24 °C	86,24 °C	87,15 °C	86,88 °C	85,32 °C
Max. Temp	91,57 °C	90,24 °C	89,48 °C	88,89 °C	88,39 °C
Gem. Temp	89,59 °C	89,12 °C	88,68 °C	88,09 °C	87,35 °C

Tabel 5.4: Temperatuur gegevens per shot met een boiler temperatuur van 61 °C



Afbeelding 5.11: Shotreeks bij een boiler temperatuur van 61 °C

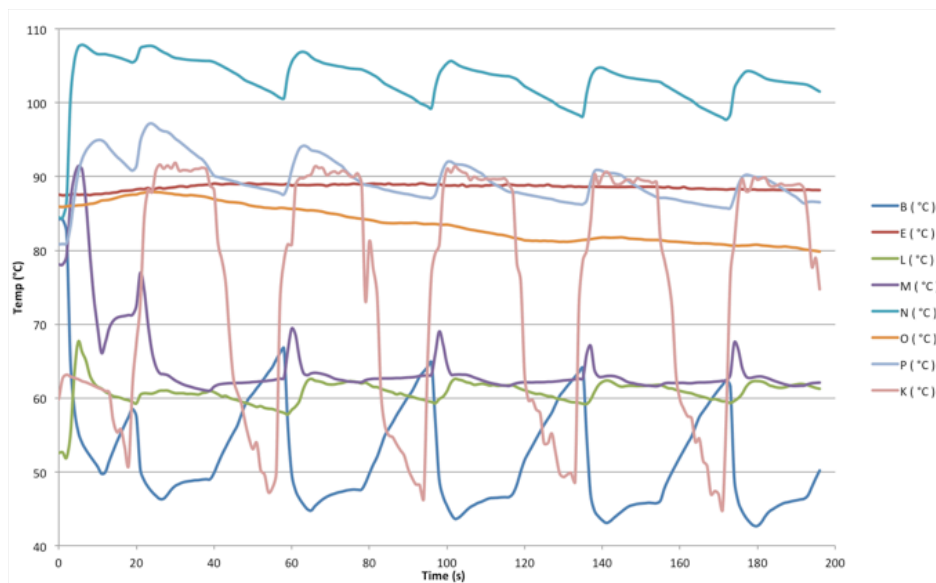
HET MIXBLOK

BOILERTEMPERATUUR 63 °C

Dit is de meting van 13:56 van de eerste meting. Afbeelding 5.12 geeft de shotreeks weer en in tabel 5.5 worden de maximale, minimale en gemiddelde temperatuur van elk shots weergegeven. De gemiddelde temperatuur van vijf shots samen is 88,68 °C.

	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Shot 4	Shot 5
Min. Temp	86,87 °C	87,82 °C	86,75 °C	82,86 °C	83,18 °C
Max. Temp	90,86 °C	90,38 °C	90,38 °C	89,65 °C	88,83 °C
Gem. Temp	89,47 °C	89,28 °C	88,82 °C	88,21 °C	87,63 °C

Tabel 5.5: Temperatuur gegevens per shot met een boiler temperatuur van 63 °C



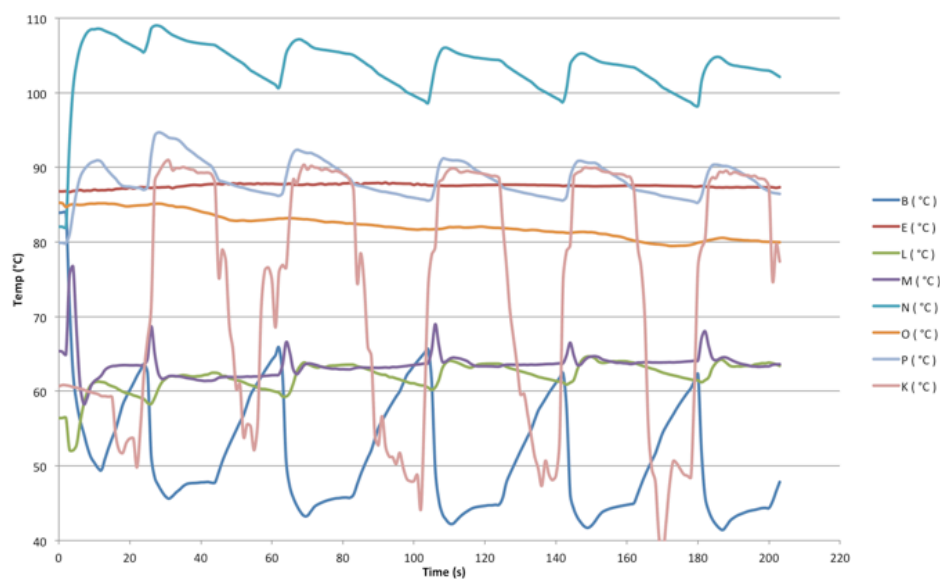
Afbeelding 5.12: Shotreeks bij een boiler temperatuur van 63 °C

BOILERTEMPERATUUR 65 °C

Dit is de meting van 15:10 van de eerste meting. Afbeelding 5.13 geeft de shotreeks weer en in tabel 5.6 worden de maximale, minimale en gemiddelde temperatuur van elk shots weergegeven. De gemiddelde temperatuur van vijf shots samen is 89,18 °C.

	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Shot 4	Shot 5
Min. Temp	87,72 °C	86,93 °C	87,93 °C	86,81 °C	87,27 °C
Max. Temp	90,92 °C	90,35 °C	89,87 °C	89,97 °C	89,55 °C
Gem. Temp	89,54 °C	89,24 °C	89,14 °C	89,21 °C	88,78 °C

Tabel 5.6: Temperatuur gegevens per shot met een boiler temperatuur van 65 °C



Afbeelding 5.13: Shotreeks bij een boiler temperatuur van 65 °C

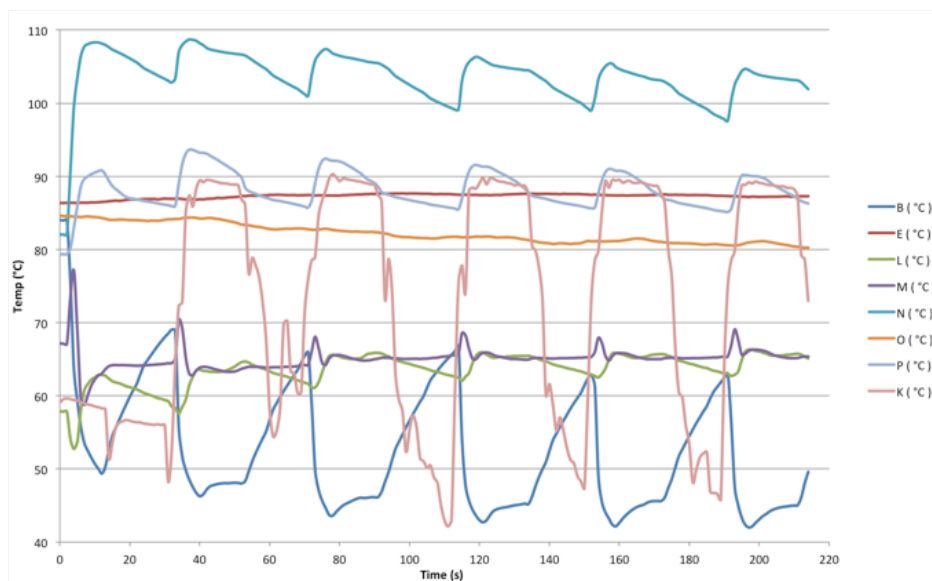
HET MIXBLOK

BOILERTEMPERATUUR 67 °C

Dit is de meting van 15:46 van de eerste meting. Afbeelding 5.14 geeft de shotreeks weer en in tabel 5.7 worden de maximale, minimale en gemiddelde temperatuur van elk shots weergegeven. De gemiddelde temperatuur van vijf shots samen is 89,36 °C.

	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Shot 4	Shot 5
Min. Temp	85,79 °C	85,36 °C	88,19 °C	85,83 °C	86,20 °C
Max. Temp	90,21 °C	90,99 °C	90,51 °C	90,23 °C	89,99 °C
Gem. Temp	88,99 °C	89,52 °C	89,61 °C	89,48 °C	89,21 °C

Tabel 5.7: Temperatuur gegevens per shot met een boiler temperatuur van 67 °C



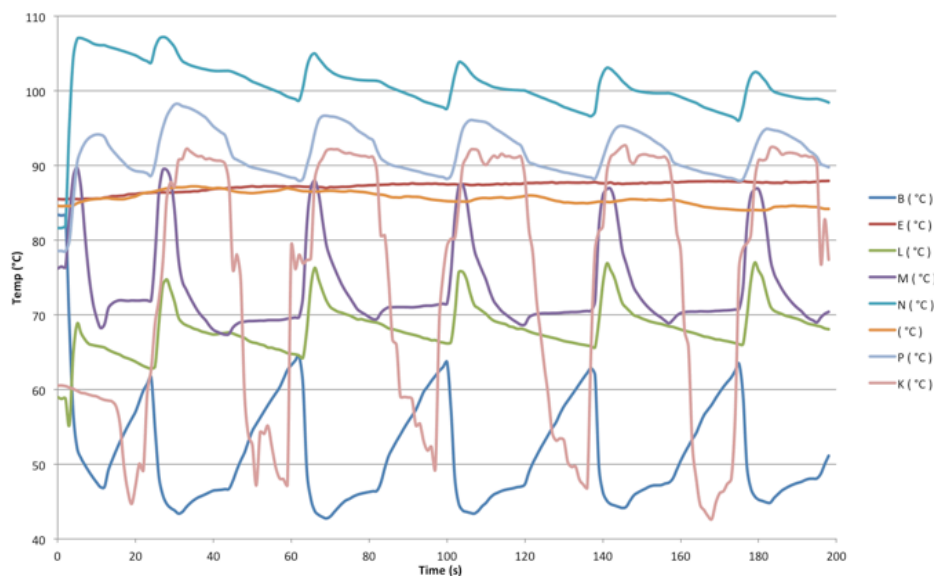
Afbeelding 5.14: Shotreeks bij een boiler temperatuur van 67 °C

BOILERTEMPERATUUR 69 °C

Dit is de meting van 13:27 van de tweede meting. Afbeelding 5.15 geeft de shotreeks weer en in tabel 5.8 worden de maximale, minimale en gemiddelde temperatuur van elk shots weergegeven. De gemiddelde temperatuur van vijf shots samen is 89,87 °C.

	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Shot 4	Shot 5
Min. Temp	85,58 °C	87,97 °C	84,66 °C	88,95 °C	87,94 °C
Max. Temp	92,20 °C	92,18 °C	92,16 °C	92,59 °C	92,45 °C
Gem. Temp	89,10 °C	90,13 °C	89,75 °C	90,18 °C	90,18 °C

Tabel 5.8: Temperatuur gegevens per shot met een boiler temperatuur van 69 °C



Afbeelding 5.15: Shotreeks bij een boiler temperatuur van 69 °C

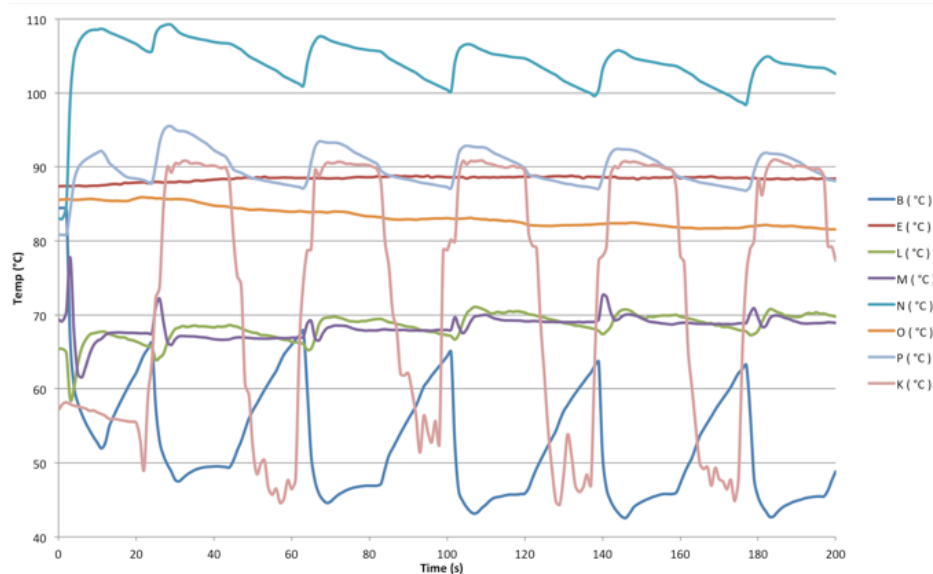
HET MIXBLOK

BOILERTEMPERATUUR 71 °C

Dit is de meting van 14:12 van de tweede meting. Afbeelding 5.16 geeft de shotreeks weer en in tabel 5.9 worden de maximale, minimale en gemiddelde temperatuur van elk shots weergegeven. De gemiddelde temperatuur van vijf shots samen is 89,95 °C.

	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Shot 4	Shot 5
Min. Temp	84,63 °C	87,71 °C	88,66 °C	86,83 °C	86,18 °C
Max. Temp	90,81 °C	90,70 °C	90,87 °C	90,75 °C	90,97 °C
Gem. Temp	89,80 °C	90,05 °C	90,21 °C	89,96 °C	89,74 °C

Tabel 5.9: Temperatuur gegevens per shot met een boiler temperatuur van 71 °C



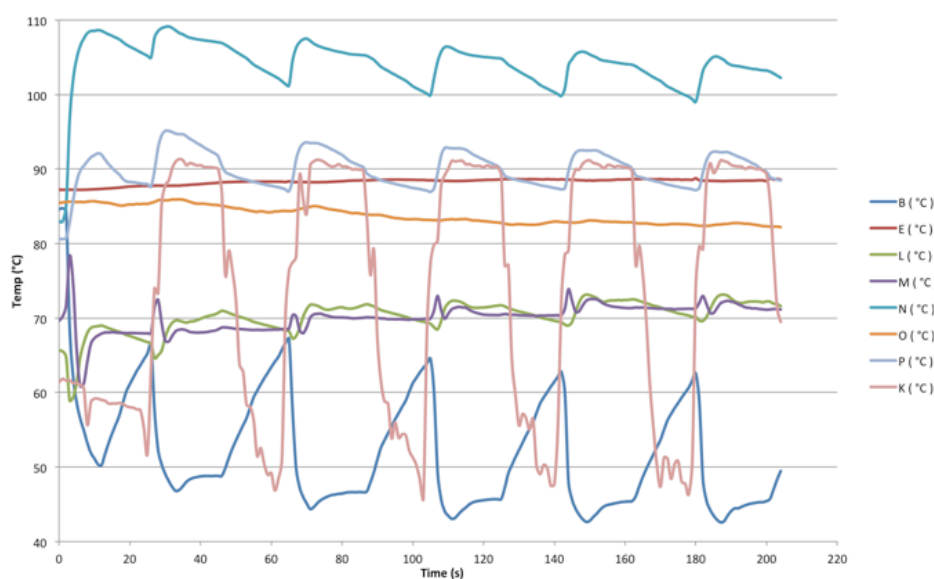
Afbeelding 5.16: Shotreeks bij een boiler temperatuur van 71 °C

BOILERTEMPERATUUR 73 °C

Dit is de meting van 14:49 van de tweede meting. Afbeelding 5.17 geeft de shotreeks weer en in tabel 5.10 worden de maximale, minimale en gemiddelde temperatuur van elk shots weergegeven. De gemiddelde temperatuur van vijf shots samen is 90,25 °C.

	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Shot 4	Shot 5
Min. Temp	85,29 °C	83,65 °C	80,38 °C	88,07 °C	85,55 °C
Max. Temp	91,34 °C	91,25 °C	91,11 °C	91,17 °C	91,15 °C
Gem. Temp	90,18 °C	89,91 °C	90,14 °C	90,68 °C	90,32 °C

Tabel 5.10: Temperatuur gegevens per shot met een boiler temperatuur van 73 °C



Afbeelding 5.17: Shotreeks bij een boiler temperatuur van 73 °C

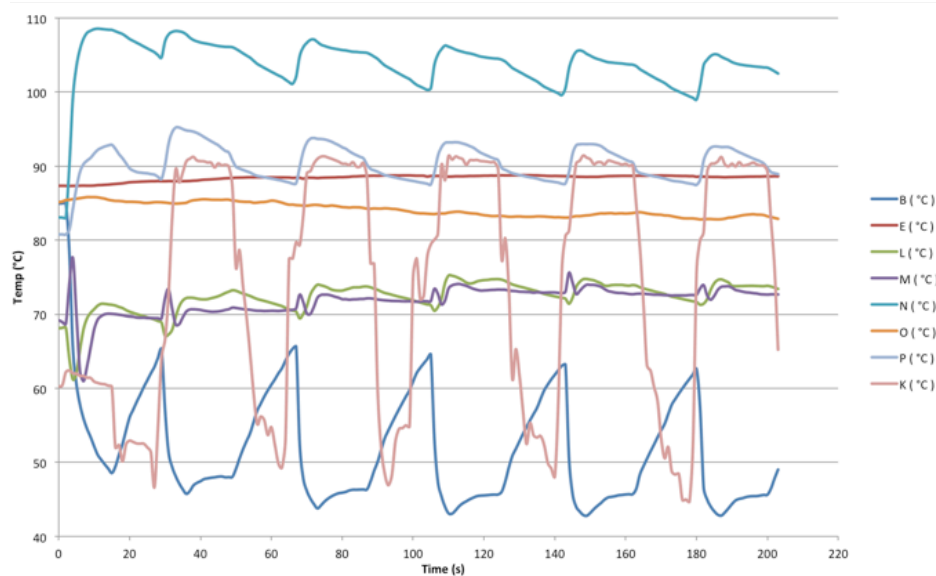
HET MIXBLOK

BOILERTEMPERATUUR 75 °C

Dit is de meting van 15:25 van de tweede meting. Afbeelding 5.18 geeft de shotreeks weer en in tabel 5.11 worden de maximale, minimale en gemiddelde temperatuur van elk shots weergegeven. De gemiddelde temperatuur van vijf shots samen is 90,56 °C.

	Shot 1	Shot 2	Shot 3	Shot 4	Shot 5
Min. Temp	82,94 °C	83,28 °C	88,10 °C	90,03 °C	89,23 °C
Max. Temp	91,25 °C	91,32 °C	91,36 °C	91,43 °C	91,23 °C
Gem. Temp	90,01 °C	90,35 °C	90,92 °C	90,93 °C	90,59 °C

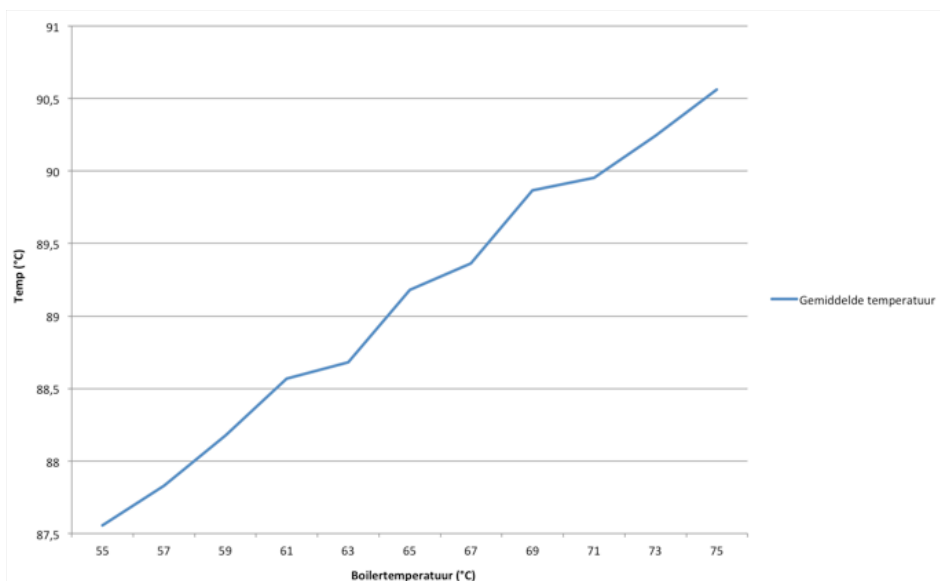
Tabel 5.11: Temperatuur gegevens per shot met een boiler temperatuur van 75 °C



Afbeelding 5.18: Shotreeks bij een boiler temperatuur van 75 °C

GEMIDDELDE TEMPERATUUR

Grafiek 5.19 geeft grafisch weer wat de gemiddelde temperatuur van de vijf shots is. Hierin is goed te zien dat als de boiler 20 °C warmer wordt, de temperatuur van het uitkomende water 3 °C warmer wordt. Alle harde waardes zijn in tabel 5.12 weergegeven, hier is te zien dat er ongeveer 0,3 °C bijkomt per 2 °C warmere boilertemperatuur.



Grafiek 5.19: Gemiddelde temperatuur van de 5 shots

Boiler-temperatuur	Gemiddelde temperatuur
55 °C	87,55 °C
57 °C	87,83 °C
59 °C	88,18 °C
61 °C	88,57 °C
63 °C	88,68 °C
65 °C	89,18 °C
67 °C	89,36 °C
69 °C	89,87 °C
71 °C	89,95 °C
73 °C	90,25 °C
75 °C	90,56 °C

Tabel 5.12: Gemiddelde temperatuur van de 5 shots bij elke boilertemperatuur

6 OVERIGE METINGEN



KEES VAN DER WESTEN

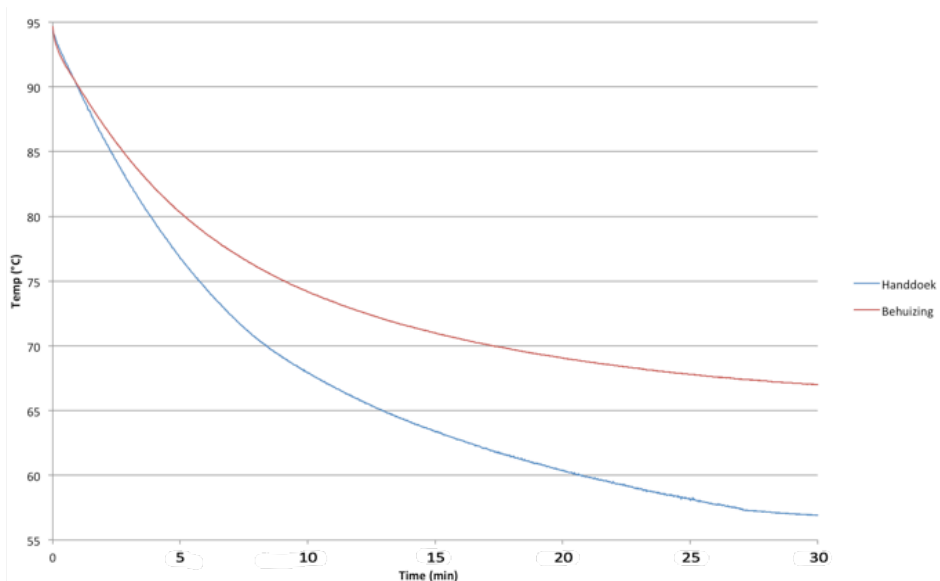
In dit hoofdstuk zullen de overige metingen geanalyseerd worden. Deze metingen hebben geen direct verband met één van de twee aandachtspunten of de nulmeting, maar de resultaten van deze metingen hebben wel invloed op het onderzoek.

OVERIGE METINGEN

6.1 BEHUIZING VS HANDDOEK

Oorspronkelijk was het idee om de machine af te denken met een handdoek om de warmte binnen in de machine te houden. Hiervoor was gekozen zodat alle onderdelen van de machine dan nog wel makkelijk te bereiken waren. Na een aantal metingen bleek dat de machine met handdoek rare meetresultaten gaf. De hypothese werd gesteld dat de handdoek toch teveel warmte doorliet, waardoor de machine meer kon afkoelen. Dit is onderzocht door twee meetpunten te pakken, de messing 3-weg-klep en de filterdrager. De 3-weg-klep is gekozen omdat deze tijdens de shots het meest opwarmt en tijdens de rust van de machine het meest afkoelt. Dit was uit eerdere metingen al gebleken. De filterdrager is onderzocht omdat dan het effect van de beide scenario's (met handdoek of met behuizing) op de temperatuur van het water kon worden onderzocht. Voor de metingen naar de machine met de behuizing is de machine gebruikt die door het personeel gebruikt wordt.

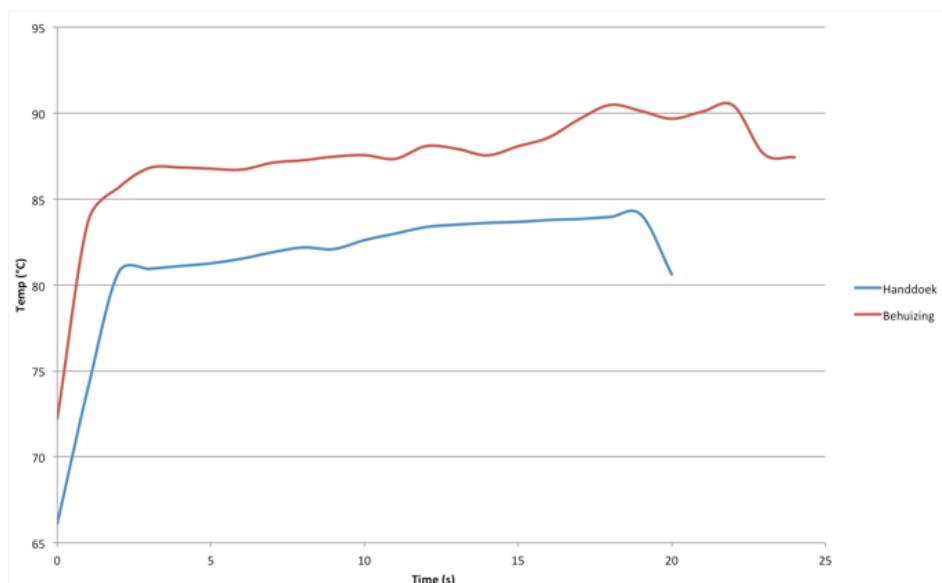
De metingen zijn als volgt uitgevoerd. De machines waren aangezet volgens het meetprotocol. Vervolgens was er op beide machines 5 shots gezet om hem warm te maken, hierna is er 30 minuten gewacht. Hierdoor kregen de machines de kans om af te koelen. In grafiek 6.1 is te zien hoeveel de kleppen afkoelen. Ook is te zien dat beide kleppen ongeveer dezelfde temperatuur (94 °C) hebben aan het begin van de rust.



Grafiek 6.1: Temperatuur van de klep uitgezet tegen de tijd

In grafiek 6.1 is verder te zien dat het uiteindelijke temperatuurverschil tussen de situatie met handdoek of met behuizing ongeveer 10 °C is. Te zien is dat beide lijnen na 30 minuten uitvlakken, wat betekent dat ze hoogstwaarschijnlijk hierna deze temperatuur zullen vasthouden. Dit betekent dat de kleppen ongeveer de omgevingstemperatuur van de machine hebben bereikt, zodat de klep geen energie meer aan de omgeving kan kwijtraken.

OVERIGE METINGEN



Grafiek 6.2: Temperatuur van het water in de blindfilter uitgezet tegen de tijd

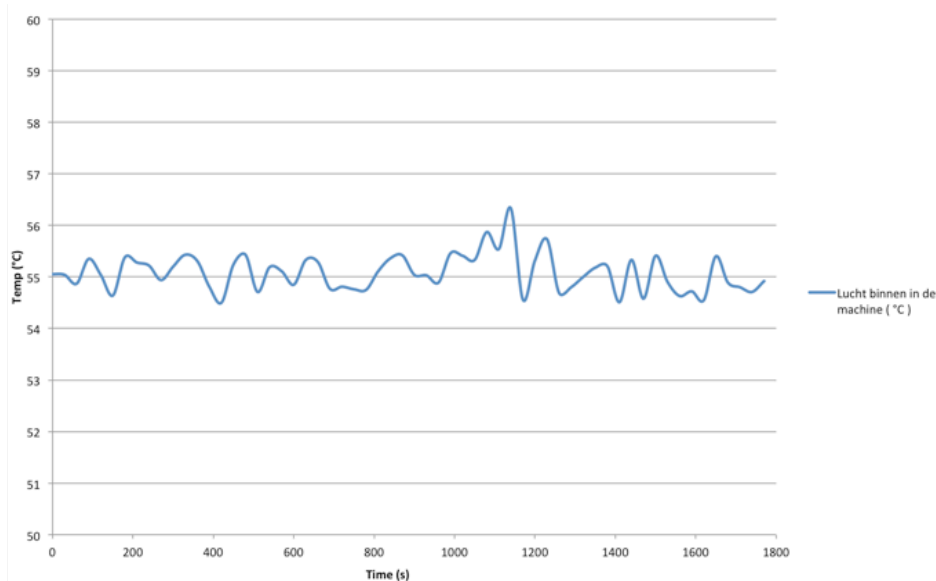
In grafiek 6.2 is de temperatuur van het water in de blindfilter uitgezet tegen de tijd. Te zien is dat het water wat uit de machine met de behuizing komt warmer is, gemiddeld ongeveer 4 °C. Dit komt omdat de klep bij de machine met de handdoek aanzienlijk kouder is. Dit heeft tot gevolg dat het water wat erdoorheen loopt meer energie aan de klep verliest, waardoor het afkoelt.

Uit het grote temperatuurverschil kan worden geconcludeerd dat om de metingen representatief voor de werkelijkheid te maken, de machine van een behuizing moet worden voorzien.

6.2 TEMPERATUUR IN DE MACHINE

Om bij de externe boiler het water dezelfde temperatuur te geven als de omgevingstemperatuur in de machine moest dit gemeten worden. Hiervoor is er een thermokoppel los in de machine gehangen op de plek waar de het waterreservoir zou moeten komen. Dit is aan de voorkant boven in de machine, vlak achter de drukmeter. Op deze plek is een half uur lang gemeten. Zoals in grafiek 6.3 te zien is schommelt de temperatuur ongeveer tussen de 54 °C en 56 °C. De gemiddelde temperatuur is 55 °C. Op deze temperatuur wordt de externe boiler ingesteld.

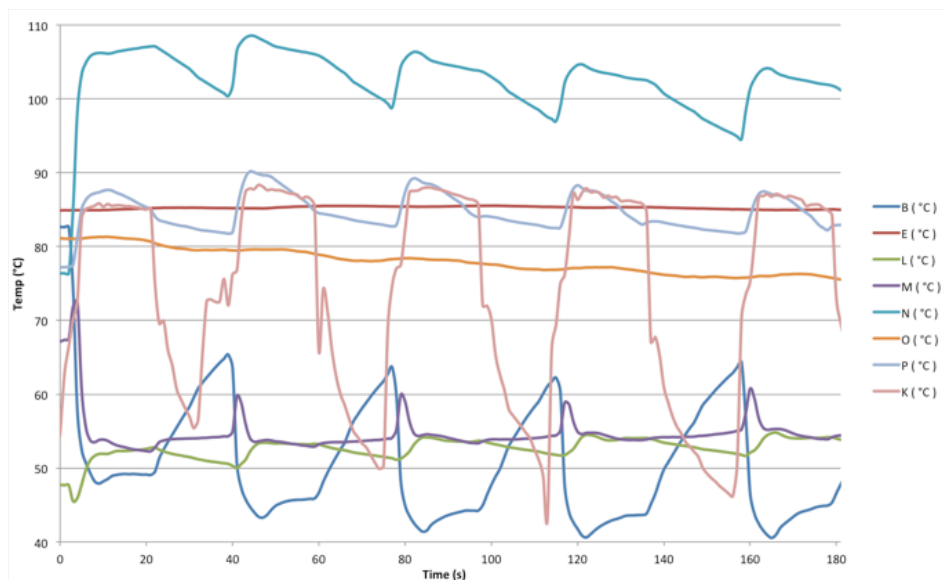
OVERIGE METINGEN



Grafiek 6.3: Temperatuur in de machine

6.3 STABILISATIE VAN HET GROEPSHOOFD

Het messing groepshoofd van vier kilo stabiliseert het water wat erdoorheen komt. Dit komt omdat messing een goede warmtegeleider is ($160,19 \text{ W/(m}^2\text{K)}$) bij 90°C ¹, waardoor hij van warmer water het energie makkelijk kan absorberen, waardoor het afkoelt. En bij kouder water hij juist energie afstaat waardoor het water opwarmt. Om dit te demonstreren is de shotreeks van 11:56 van de eerste meting van de 1,5 mm stuwmeting gebruikt. Hoe dit eruit ziet is te zien in grafiek 6.4.



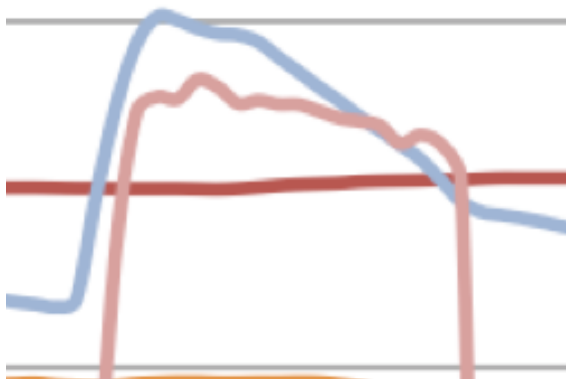
Grafiek 6.4: Shotreeks van 11:56 van de 1,5 mm stuwmeting

¹ zie bijlage, hoofdstuk 8

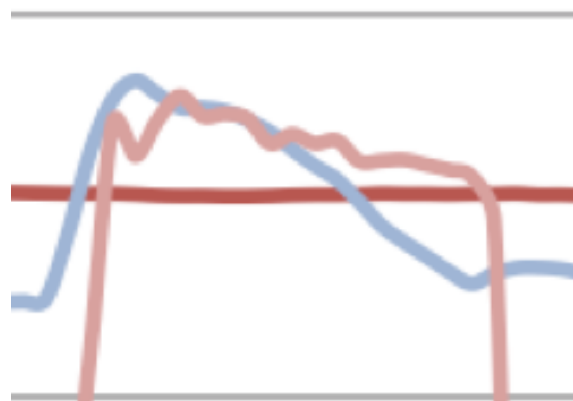
OVERIGE METINGEN

Hierbij zijn drie lijnen belangrijk:

- Donker rood, dit is de temperatuur van het groepshoofd, deze blijft rond de 85,5 °C.
- Lichtblauw, dit is de temperatuur van het water voordat het water het groepshoofd binnen gaat.
- Roze, dit is de temperatuur van het water in de filterdrager, hier is het water dus al door het groepshoofd geweest.



Afbeelding 6.1: Close-up van 2e shot



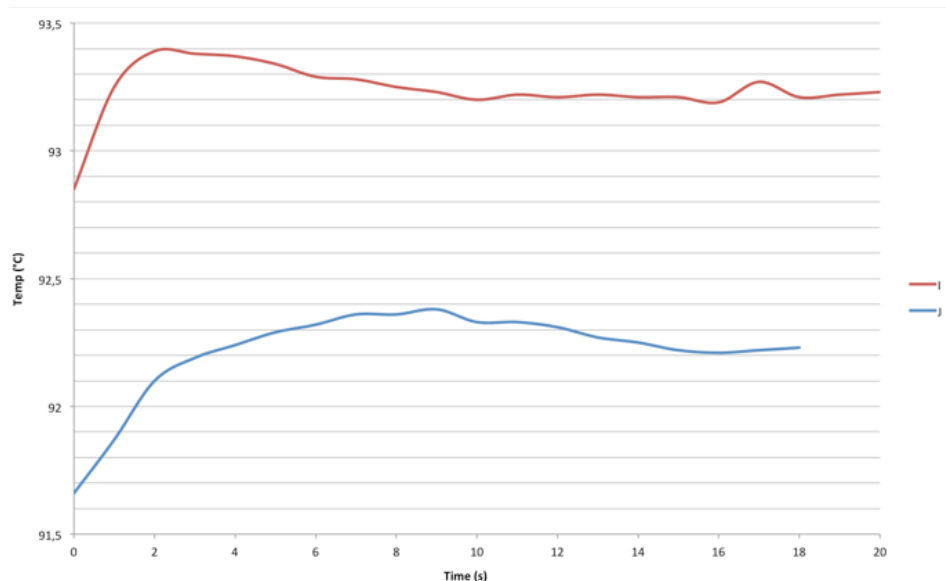
Afbeelding 6.2: Close-up van 4e shot

Afbeelding 6.1 geeft een close-up van de drie lijnen bij het 2e shot. Hier is duidelijk te zien wanneer het inkomende water warmer is dan het groepshoofd de temperatuur daalt. In het begin van het shot is de temperatuur van het inkomende water 87,6 °C terwijl het water door het groepshoofd loopt koelt het 4 °C. De temperatuur van het uitkomende water is daarna 83,6 °C. Het omgekeerde is te zien bij afbeelding 6.2, wat een close-up van het 4e shot is. Hier is aan het eind van het shot te zien dat de temperatuur van het inkomende water 82,9 °C is. Dit wordt door het groepshoofd met 3 °C opgewarmd. De temperatuur van het uitkomende water is 85,7 °C. Deze twee situaties laten duidelijk het stabiliserende effect van het groepshoofd zien.

6.4 TEMPERATUURVERSCHIL TUSSEN MEETPUNTEN I EN J

Omdat bij de metingen met de verbonden klep er geen ruimte meer tussen de 3-weg-klep en het groepshoofd zit kon meetpunt I hier niet gebruikt worden. Daarom moest meetpunt J, wat zicht in het groepshoofd bevind, hiervoor gebruikt worden. Omdat dit invloed heeft op de meetresultaten moet berekend worden hoeveel temperatuurverschil tussen deze punten zit. Hiervoor is de temperatuur van twee shots bekeken. Voor meetpunt I was dit van de RVS-meting het 5e shots bij 13:12. Voor meetpunt J was dit van de Verbonden klep-meting het 5e shots om 15:25. Grafiek 6.5 laat het temperatuurverloop van beide meetpunten bij de shots zien. Hier is te zien dat het temperatuurverschil tussen beide meetpunten gemiddeld 1 °C is.

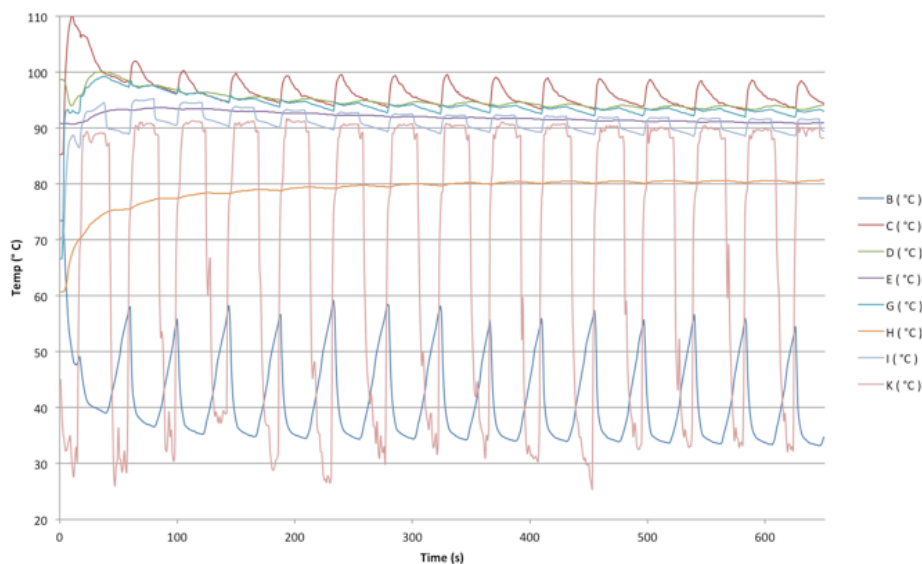
OVERIGE METINGEN



Grafiek 6.5: Temperatuur van de meetpunten I en J tijdens hun 5e shot

6.5 MAXIMUM TEMPERATUUR RVS-KLEP

Roestvast staal heeft een erg lage thermische geleidbaarheid van $16,30 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ bij 80°C ¹. Dit betekent dat het erg lang duurt voordat de klep opwarmt. Zoals grafiek 6.6 laat zien komt zelfs tijdens extreem gebruik, 15 shots vlak achter elkaar, de RVS-klep nauwelijks boven de 80°C .



Grafiek 6.6: Shotreeks van 15 shots achter elkaar

¹ zie hoofdstuk 8.2.2

7

AANPASSINGEN MACHINE



KEES VAN DER WESTEN

In dit hoofdstuk is te lezen welke aanpassingen er gedurende de opdracht aan de oorspronkelijke Kees van der Westen Mirage zijn doorgevoerd.

AANPASSINGEN MACHINE

7.1 DE 3-WEG-KLEP

Bij het testen bleek er een temperatuurwisseling te zijn die onder andere zijn oorsprong leek te hebben in de bestaande 3-weg-klep. Om die temperatuurwisseling te verkleinen is een aantal aanpassingen aan de 3-weg-klep getest. Zoals in hoofdstuk 5 van het eindverslag is besproken zijn er naast de originele messing klep drie kleppen getest. De geïsoleerde messing is op dezelfde plek als de originele klep gemonteerd, hoe deze klep er verder uit zag is terug te lezen in hoofdstuk 4.1. Ook de RVS klep hing op dezelfde plek als de originele messing klep, ook hierbij is te lezen hoe deze klep eruit zag in hoofdstuk 4.1. In de derde testopstelling was de messingklep met een messing blok (zie afbeelding 7.1) direct verbonden met het groepshoofd. Hierdoor zat deze klep direct achter het groepshoofd. Om bevestiging mogelijk te maken moest een stuk uit de voorplaat gevild worden en de onderkant van het zwarte kunststof blok tussen het groepshoofd en de voorplaat afgezaagd worden.

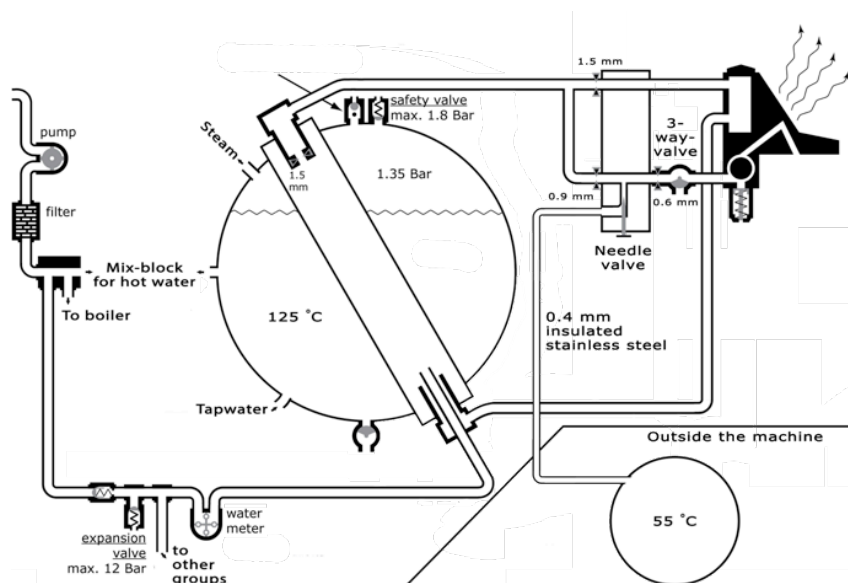


Afbeelding 7.1: Messing verbindstuk

7.2 MIXBLOK VOOR WARM EN KOUD WATER

Om een zo constant mogelijke temperatuur te proberen te krijgen is er zo dicht mogelijk bij het groepshoofd een mixblok geplaatst om het koude en warme water te mengen (zie hoofdstuk 6 van het eindverslag). Om het mixblok in te bouwen zijn er een aantal aanpassingen aan de machine gemaakt. Allereerst is het 1,5 mm stuwte dat in de bovenste bajonet in de warmtewisselaar zit weggehaald. Dit is gedaan omdat nu juist dit water gebruikt gaat worden, en deze buis een vrije doorstroom naar van het hete water naar het mixblok geeft. Verder is deze buis ingekort en er een T-splitsing opgezet. De ene uitgang van de T-splitsing wordt de toelevering van warm water naar het blok, de ander zorgt ervoor dat het blok en de groep op temperatuur blijft (thermosifon). Na de T-splitsing en voor het blok is het 1,5 mm stuwte terug geplaatst om ervoor te zorgen dat het blok en het groepshoofd niet te warm worden. Het mixblok is met twee buizen aan het groepshoofd verbonden. De eerste is voor de thermosifon, dit is een korte (ongeveer 2 cm) 10 mm buis. De tweede verbindt de messing klep, die aan het mixblok vastzit, met een 2 cm lange 6 mm buis met de onderkant van het groepshoofd, hier zou uiteindelijk het water doorheen lopen wat uit het groepshoofd komt. Afbeelding 7.2 is een schematische tekening van de opbouw. Afbeelding 7.3 geeft het mixblok los uit de machine weer. Op afbeelding 7.4 zie je het mixblok in de machine.

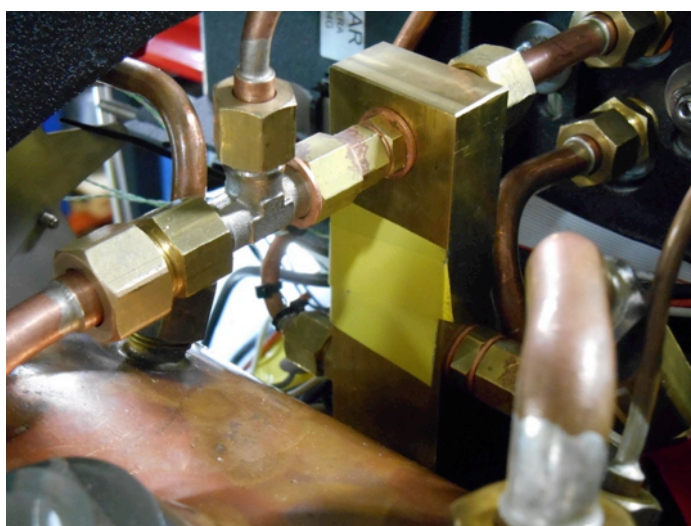
AANPASSINGEN MACHINE



Afbeelding 7.2: Schematische weergave van het mixblok in de machine



Afbeelding 7.3: Opbouw rond het mixblok



Afbeelding 7.4: Inbouw in de machine

AANPASSINGEN MACHINE

7.3 SPLITSING VAN HET KOUDE WATER BIJ DE FLOWMETER

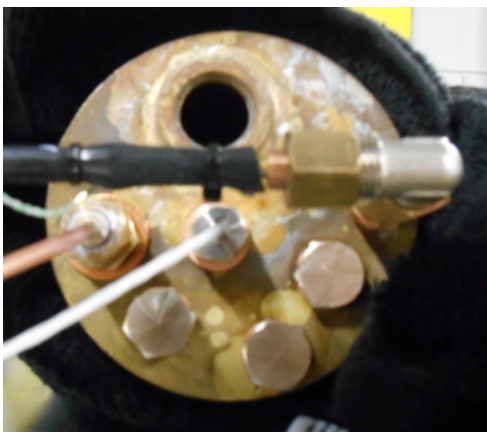
Om het mixblok van koud water te voorzien is er in eerste instantie na de watermeter een afsplitsing gemaakt van het water wat naar het mixblok gaat en het water wat naar de warmtewisselaar gaat (zie afbeelding 7.5). Vervolgens ging het water via een lange buis onder de boiler door naar het mixblok. In deze buis bleek het water uiteindelijk teveel en onvoorspelbaar op te warmen, waardoor dit hele systeem vervangen is door de boiler naast de machine.



Afbeelding 7.5: De splitsing bij de flowmeter

7.4 BOILER VOOR KOUDE WATER

Nadat de buis onder de boiler door niet geschikt bleek en er was vastgesteld dat een water massa voor constantheid zorgt. Was er besloten om een groot waterreservoir in de machine te bouwen die het koude water voor het mixblok zou voorzien. Dit reservoir zou enkel door de omgevingstemperatuur van de machine verwarmt worden. Na metingen¹ kwam de gemiddelde temperatuur in de machine uit op 55 °C. Omdat in de huidige machine geen plaats was voor zo'n buis is dit gesimuleerd door een verwarmde boiler van 1 liter naast de machine te plaatsten, zie afbeelding 7.8. In deze boiler zat een element die aangestuurd werd door een PID. Deze PID krijgt zijn stroom vervolgens van een low voltage-SSR die naast de bestaande SSR aan de andere kant van de machine op de heatsink geplaatst is, zie afbeelding 7.7.



Afbeelding 7.6: De externe boiler van 1 liter



Afbeelding 7.7: De 2^e SSR

¹ zie hoofdstuk 6.2

AANPASSINGEN MACHINE

Het inkomende water voor de boiler werd onder aan de machine doormiddel van een T-splitsing afgesplitst van het kraanwater wat de machine inging. Het water werd vervolgens van de boiler naar het mixblok getransporteerd door een geïsoleerde RVS-buis van 4 mm (zie afbeelding 7.8).



Afbeelding 7.8: Geïsoleerde RVS-buis

7.5 PPI

Tijdens het meten is de machine zowel met als zonder PPI gebruikt. Dit is gedaan om te kijken hoe de machine zich in beide scenario's gedraagt. Hoe een PPI precies werkt is in hoofdstuk 1.4 te lezen. Deze PPI wordt onder aan het groepshoofd bevestigd (zie afbeelding 7.9).



Afbeelding 7.9: PPI bevestigd in het groepshoofd

7.6 KORTERE TOEVOERBUIS WARMTEWISSELAAR

Oorspronkelijk zit er een lange (20 cm) toevoerbuis voor het koude water in de warmtewisselaar in de Mirage. Dit is gedaan omdat in het oorspronkelijke systeem het water van onder uit de warmtewisselaar vooral gebruikt wordt voor de shots, waardoor dit water zo min mogelijk beïnvloed moet worden door het koude water wat de warmtewisselaar vanuit de kraan inkomt. Aangezien het mixblok juist het water van boven uit de warmtewisselaar gebruikt moest het kraanwater juist zover mogelijk van de bovenkant de warmtewisselaar inkomen. Hierom is deze toevoerbuis ingekort tot ongeveer 2 cm.

8

WISKUNDIGE BEREKENINGEN



KEES VAN DER WESTEN

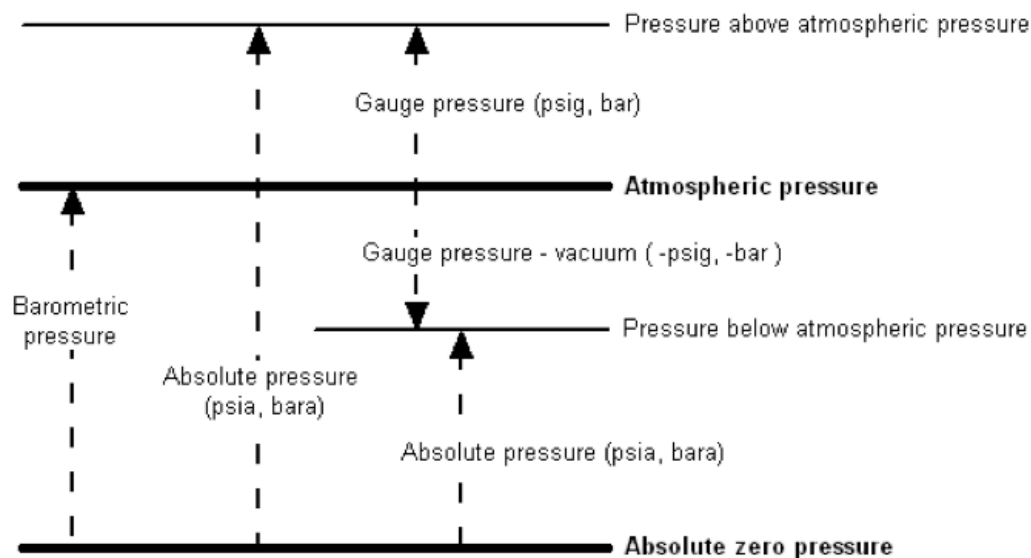
In deze bijlage zijn alle berekeningen te vinden die voor het verslag uitgevoerd zijn.



WISKUNDIGE BEREKENINGEN

8.1 VERHOUDING TEMPERATUUR EN DRUK

In de koffiewereld wordt de boilertemperatuur bijna altijd uitgedrukt in de druk. Wanneer het volume gelijk blijft en de temperatuur toeneemt, neemt de druk toe. Dit heeft te maken met het feit dat de moleculen dan meer energie krijgen en sneller gaan bewegen. Het verband kan opgezocht worden in zogeheten stoomtabellen. Als je de temperatuur wil weten aan de hand van de boilerdruk die de drukmeter op de machine aangeeft, moet er wel 1,01325 bar (bij zeeniveau)¹ bij opgeteld worden omdat de drukmeter alleen de overdruk (gauge pressure) meet. Deze 1,01325 bar is de omgevingsdruk (atmospheric pressure) bij zeeniveau. Afbeelding 8.1 laat zien hoe dit in zijn werk gaat.



Afbeelding 8.1: Uitleg van de druk²

Tabel 8.1 geeft de verhouding van de watertemperatuur op de druk. De weergegeven druk is de absolute druk. Deze tabel is gevormd door middel van een stoomtabel³.

Temperatuur (°C)	Absolute druk (bar)	Overdruk (bar)
100	1,013	0
105	1,208	0,195
110	1,433	0,420
115	1,691	0,678
120	1,985	0,972
125	2,321	1,308
130	2,701	1,688

Tabel 8.1: Verhouding watertemperatuur druk

¹ zie bronnenlijst, bron 3.6

² zie bronnenlijst, bron 3.7

³ zie bronnenlijst, bron 3.8

WISKUNDIGE BEREKENINGEN

8.2 VERSTELBAAR STUWTJE

Afmetingen:

De punt is 10 mm lang. Loopt af van 3 mm naar 0,5 mm. Per omwenteling verplaatst het uiteinde van het stuwttje 0,75 mm.

In het verslag wordt telkens gesproken over een “slag” dit houdt in dat het stuwttje ongeveer een kwartslag gedraaid wordt. Het draaien van dit stuwttje zou nooit een heel nauwkeurige uitslag geven, maar aangezien het stuwttje heel fijn is, zou het uiteindelijk hoogstwaarschijnlijk geen grote verschillen opleveren.

De punt neemt 2,5 mm af in 10 mm, dus 0,25 mm afname per mm.

Dit houdt dus in dat per omwenteling de diameter afneemt met $(0,75 \cdot 0,25 =) 0,1875$ mm ofwel $(0,1875 / 4 =) 0,0469$ mm afname per “slag”.

8.2.1 DOORLAAT OPPERVLAKTE

Tijdens het meten is het verstelbare stuwttje steeds in andere posities gezet, uiteindelijk is het belangrijk om te weten hoeveel koud water welke positie van het stuwttje doorlaat. Dit wordt berekend met de volgende formule:

$$f(x) = \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 3\right) - \left(\left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 3\right) - \left(\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (x \cdot 0,0469)\right)\right)$$

Deze is als volgt opgebouwd:

Het aantal slagen dat het stuwttje gedraaid is wordt ingevuld in x . Vervolgens wordt gekeken met hoeveel millimeter het stuwttje in diameter is afgenomen. Vervolgens wordt de doorlating berekend door de oppervlakte van het stuwttje nu nog in te trekken van de 3 millimeter doorgang die in het mixblok is geboord. Nu weet je de oppervlakte van het stuwttje op bij het begin van het 3 mm gat. Als je deze oppervlakte van de oppervlakte van het 3 mm gat $(2,356 \text{ mm}^2)$ aftrekt weet je het totale oppervlakte van het gat in die toestand.

De punt verplaatst zich elke slag 0,1875 mm en de punt is 10 mm lang. Na $(10/0,1875=)$ 53 slagen is de punt uit het gat.

De doorlating van het 0,9 mm stuwttje is $0,7069 \text{ mm}^2$, de doorlating van het 1,0 mm stuwttje is $0,7854 \text{ mm}^2$ en de doorlating van het 1,5 mm stuwttje is $1,1781 \text{ mm}^2$.

In de tabel hieronder is te zien wat de doorlating is bij elke gebruikte draai.

WISKUNDIGE BEREKENINGEN

Aantal slagen open	Doorlating (mm ²)	Verhouding warm/koud		
		0,9 mm	1 mm	1,5 mm
Helemaal dicht	0	1:0	1:0	1:0
1	0,0368	1:0,0521	1:0,0469	1:0,0312
2	0,0737	1:0,1043	1:0,0938	1:0,0626
3	0,1105	1:0,1563	1:0,1407	1:0,0938
4	0,1473	1:0,2084	1:0,1875	1:0,1250
5	0,1842	1:0,2606	1:0,2345	1:0,1564
5,5	0,2026	1:0,2866	1:0,2580	1:0,1720
6	0,2210	1:0,3127	1:0,2814	1:0,1876
9	0,3315	1:0,4690	1:0,4221	1:0,2814
12	0,4420	1:0,6253	1:0,5628	1:0,3752
Helemaal open	2,356	1:3,3331	1:3	1:2

Tabel 8.2: Verhoudingen koud/warm water voor de vaste stuwtes

8.2.2 VARIABELE BOILER-TEMPERATUUR

Om een zo'n ideaal mogelijk temperatuur-domein te krijgen is het verstelbare stuwte zo gezet dat de temperatuur van het uitkomende water bij een boiler temperatuur van 55 °C ongeveer 88 °C is. Dit hield in dat het stuwte 5,5 slag gedraaid moest worden.

$$5,5 / 4 = 1,375 \text{ draai}$$

$$1,375 * 0,75 = 1,03 \text{ mm verplaatsing van het stuwte.}$$

De dikte van de punt is dus hier:

$$3 - (1,03 * 0,25) = 2,74 \text{ mm}$$

Het oppervlakte op dit punt van het stuwte is:

$$\frac{1}{4} * \pi * 2,74^2 = 2,15 \text{ mm}^2$$

Aangezien dit verstelbare stuwte in een gat met 3 mm doorsnede steekt, moet dit 2,15 mm² oppervlakte er juist vanaf getrokken worden.

Het oppervlakte van de 3 mm doorgang is:

$$\frac{1}{4} * \pi * 3^2 = 2,36 \text{ mm}^2$$

Het totale oppervlakte van de doorgang is dan:

$$2,36 - 2,15 = 0,20 \text{ mm}^2$$

8.3 THERMISCHE GELEIDBAARHEID

De thermische geleidbaarheid van materialen is afhankelijk van hun temperatuur en kan berekend worden met de volgende formule¹:

$$k = k_0 (1 + \alpha T)$$

Hierbij is k de thermische geleidbaarheid, k₀ de thermische geleidbaarheid 0 °C, α is een constante afhankelijk van het materiaal en T is de temperatuur in °C.

¹ zie bronnenlijst, bron 3.9

WISKUNDIGE BEREKENINGEN

8.3.1 STILSTAANDE LUCHT

Voor stilstaande lucht moest eerst de constante afhankelijke berekend worden. Hiervoor is de thermische geleidbaarheid bij 100 °C gebruikt, deze is hier namelijk 0,0313 W/(m*K)¹.

Hier is te zien hoe α dan berekend wordt:

$$\begin{aligned}k &= k_0 (1 + \alpha T) \\0,0313 &= 0,0243 \cdot (1 + (\alpha \cdot 100)) \\0,0313 &= 0,0243 + 2,43\alpha \\ \alpha &= 0,00288\end{aligned}$$

De stilstaande lucht rond de klep zou ongeveer 90 °C zijn, de thermische geleidbaarheid van stilstaande lucht bij 0 °C is 0,0243 W/(m*K)¹, de constante is 0,00289.

De thermische geleidbaarheid is hier dan dus:

$$\begin{aligned}k &= k_0 (1 + \alpha T) \\k &= 0,0243 \cdot (1 + (0,00288 \cdot 90)) \\k &= 0,0306 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}\end{aligned}$$

8.3.2 MESSING

De temperatuur van de klep varieert ongeveer tussen de 61 °C en 92 °C graden, afhankelijk van het moment. Bij de machines van Kees van der Westen wordt Cu70-messing gebruikt, zie hoofdstuk 1.1. Eerst moet weer de constante afhankelijke berekend worden, hiervoor wordt de thermische geleidbaarheid bij 296 K (22,9 °C) gebruikt, dit is namelijk 125 W/(m * K)². Bij 0 °C is de geleidbaarheid 113 W/(m * K).

Hier is te zien hoe α dan berekend wordt:

$$\begin{aligned}k &= k_0 (1 + \alpha T) \\125 &= 113 \cdot (1 + (\alpha \cdot 22,9)) \\125 &= 113 + 2587,7\alpha \\ \alpha &= 0,00464\end{aligned}$$

De klep is tijdens gebruik ongeveer 90 °C, de thermische geleidbaarheid van Cu70-messing bij 0 °C is 113 W/(m*K)², de constante is 0,00464.

De thermische geleidbaarheid is hier dan dus:

$$\begin{aligned}k &= k_0 (1 + \alpha T) \\k &= 113 \cdot (1 + (0,00464 \cdot 90)) \\k &= 160,19 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}\end{aligned}$$

En bij 60 °C is dit 144,46 W/(m * K).

WISKUNDIGE BEREKENINGEN

8.3.3 RVS

De thermische geleidbaarheid van AISi304 RVS is bij 0 °C 14,5 W/(m * K)¹ en bij 100 °C 16,5 W/(m * K)¹. De RVS-klep wordt tijdens het gebruik ongeveer 80 °C. Eerst wordt weer de constante afhankelijke berekend.

Hier is te zien hoe α dan berekend wordt:

$$\begin{aligned}k &= k_0 (1 + \alpha T) \\16,5 &= 14,5 \cdot (1 + (\alpha \cdot 100)) \\16,5 &= 14,5 + 1450\alpha \\ \alpha &= 0,00138\end{aligned}$$

De thermische geleidbaarheid bij 80 °C is dan dus:

$$\begin{aligned}k &= k_0 (1 + \alpha T) \\k &= 14,5 \cdot (1 + (0,00138 \cdot 80)) \\k &= 16,10 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}\end{aligned}$$

8.3.4 KOPER

De buizen die in de Mirage gebruikt worden zijn van koper. Koper heeft bij 0 °C (273 K) een thermische geleidbaarheid van 401 W/(m * K)² en bij 76,85 °C (350 K) een thermische geleidbaarheid van 394 W/(m * K).

Hier is te zien hoe α dan berekend wordt:

$$\begin{aligned}k &= k_0 (1 + \alpha T) \\394 &= 401 \cdot (1 + (\alpha \cdot 76,85)) \\394 &= 401 + 30816,85\alpha \\ \alpha &= -2,27 \cdot 10^{-4}\end{aligned}$$

De thermische geleidbaarheid bij 90 °C is dan dus:

$$\begin{aligned}k &= k_0 (1 + \alpha T) \\k &= 401 \cdot (1 + (-2,27 \cdot 10^{-4} \cdot 90)) \\k &= 392,80 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}\end{aligned}$$

¹ zie bronnenlijst, bron 3.12

² zie bronnenlijst, bron 3.13