

2015•2016
FACULTEIT INDUSTRIËLE INGENIEURSWETENSCHAPPEN
master in de industriële wetenschappen: energie

Masterproef
Optimalisatie van de koelinstallaties te Kautex

Promotor :
ir. Frederik ROGIERS
Dhr. HEINO GEERDENS

Niels Van Moll
Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: energie

Gezamenlijke opleiding Universiteit Hasselt en KU Leuven

2015•2016
Faculteit Industriële
ingenieurswetenschappen
master in de industriële wetenschappen: energie

Masterproef

Optimalisatie van de koelinstallaties te Kautex

Promotor :
ir. Frederik ROGIERS
Dhr. HEINO GEERDENS

Niels Van Moll
Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de industriële wetenschappen: energie

Woord vooraf

Deze masterproef handelt over de optimalisatie van de chillerinstallatie bij Kautex te Tessenderlo. Het vormde een mooie opportuniteit om de opgedane kennis via de opleiding, Master in de Industriële Ingenieurswetenschappen met als afstudeerrichting energie-elektrotechniek, te implementeren in een praktische omkadering.

Ten eerste wil ik mijn interne promotor, ir. Rogiers, bedanken voor de ondersteuning en ideeën die hij aanbracht.

In het bijzonder wil ik een woord van dank richten aan mijn externe promotor, de heer Geerdens van de firma Kautex, voor zijn hulp. Ook wil ik de heer Breugelmans, die me met zijn deskundig advies en praktische ervaring steeds te hulp stond, bedanken. Tevens wil ik ook mijn dankbaarheid uiten aan de ingenieurs en elektriciens waarbij ik steeds met mijn vragen terecht kon.

Daarenboven wil ik mijn familie, vriendin en vrienden bedanken voor de steun en motivatie die ze me gaven om deze opdracht tot een goed einde te brengen.

Niels Van Moll

Juni 2016

Inhoudsopgave

Woord vooraf	1
Abstract	11
Abstract in English	13
1 Inleiding	15
1.1 Het bedrijf: Kautex	15
1.2 Situering	15
1.3 Probleemstelling	16
1.3.1 Koelvermogen	16
1.3.2 Efficiëntie van de installatie	16
1.3.3 De sturing van de koelinstallatie	16
1.3.4 Overbodige componenten	16
1.4 Doelstellingen	16
1.5 Materiaal en methode	16
2 Koelinstallatie en energiestromen	19
2.1 Koelwatercircuits	19
2.2 Koelwater 8°C	19
2.2.1 Abstractie	22
2.2.2 Koudwateraanmaak	22
2.2.3 Koudwaterdistributie	22
2.2.4 Delta T	24
2.2.5 Principe dampcompressiemachine	24
2.3 Koelwater 35°C	25
2.3.1 Principe natte koeltoren	28
2.4 Conclusie	28
3 Vermogen- en debietmetingen pompen	29
3.1 Koelvermogen	29
3.2 Situering	29
3.4 Ultrasonische debietmeting	31
3.4.1 Meetprincipe	31
3.4.2 Meetopstelling	31
3.4.3 Meetparameters	32
3.4.4 Werkpunt pomp	32

3.4.5	Smooklepregeling	33
3.4.6	Frequentieregeling.....	39
3.4.7	Opgemerkte onregelmatigheden.....	43
3.5	Conclusie metingen	45
4	Energiestromen	47
4.1.1	Overzicht koelmachines	47
4.1.2	Prestaties.....	47
4.2	EER metingen.....	50
4.2.1	Situering	50
4.2.2	Opstart van een koelmachine.....	50
4.2.3	Conclusie.....	59
5	PLC-programma	61
5.1	PLC-sturing chillers	61
5.1.1	Startsituering	61
5.2	In- en outputs PLC	61
5.2.1	Trane.....	62
5.2.2	Daikin	63
5.2.3	Interfacerelais	64
5.2.4	Temperaturen.....	65
5.2.5	35°C-circuit aansluitingen.....	65
5.3	Aanpassen bedrading.....	66
5.3.1	Stuurkabels	66
5.3.2	Ster-driehoek pomp	66
5.4	Simatic S7	67
5.4.1	Structuur	67
5.4.2	Werking oud PLC-programma 8°C.....	68
5.4.3	Nieuw PLC-programma 8°C.....	70
5.4.4	PLC 35°C	75
5.5	WinCC Flexible.....	77
5.5.1	8°C-circuit	77
5.5.2	35°C-circuit	85
5.6	Storingsberichten GSM.....	88
5.7	Tracing	89

6	Verbeteringen aan het koelnetwerk	93
6.1	Leidingnetwerk.....	93
6.2	Warmtewisselaars.....	94
6.2.1	Schatting verliezen naar omgeving	94
6.3	Variabel pompdebiet	94
6.4	Procestechnisch	95
6.4.1	Verhogen koelwatertemperatuur	95
6.4.2	Overschakelen naar 35°C	95
6.5	Onderhoudsproblemen	95
7	Besluit.....	97
	Bijlagenlijst	101

Lijst van tabellen

Tabel 1: Aangewezen debiet chillers.....	30
Tabel 2: Leidingen koelmachines.....	32
Tabel 3: Meetdata chiller 1 debietregeling met smoorklepregeling.....	34
Tabel 4: Meetdata chiller 2 debietregeling met smoorklepregeling.....	36
Tabel 5: Meetdata chiller 3 debietregeling met smoorklepregeling.....	37
Tabel 6: Meetdata chiller 2 debietregeling met frequentieregeling.....	40
Tabel 7: Meetdata chiller 3 debietregeling met frequentieregeling.....	41
Tabel 8: Verhoudingen frequentie en geleverd debiet	42
Tabel 9: Verhoudingen vermogen en geleverd debiet.....	42
Tabel 10: Meetdata chiller 1 debietregeling met smoorregeling (geblokkeerd).....	43
Tabel 11: Meetdata chiller 1 debietregeling met frequentieregeling (geblokkeerd)	44
Tabel 12: Overzicht koelmachines	47
Tabel 13: Prestaties Trane [11]	48
Tabel 14: Prestaties Daikin [12].....	49
Tabel 15: Algemene gegevens EER-meting opstart.....	52
Tabel 16: Meetdata van opstart Trane 3	53
Tabel 17: Meetdata regimetoestand Trane 3	56
Tabel 18: Aantal starts per machine	58
Tabel 19: Overzicht uitgewisselde data met PLC	63
Tabel 20: Status ventilatoren Trane 1.....	103
Tabel 21: Probleemomschrijvingen Trane 1	103
Tabel 22: Status ventilatoren Trane 2.....	104
Tabel 23: Probleemomschrijvingen Trane 2	104
Tabel 24: Status ventilatoren Trane 3.....	105
Tabel 25: Status ventilatoren Daikin	105

Lijst van figuren

Figuur 1: Schematische voorstelling koelwater	19
Figuur 2: Process flow diagram 8°C [4].....	20
Figuur 3: Process flow diagram 8°C [4].....	21
Figuur 4: Schematische voorstelling koelwater 8°C	23
Figuur 5: Dampcompressiecyclus	24
Figuur 6: Process flow diagram 35°C [5].....	26
Figuur 7: Process flow diagram 35°C [5].....	27
Figuur 8: Principe natte koeltoren [6]	28
Figuur 9: Datasheet pompen 1500 rpm [10].....	30
Figuur 10: Probes [14].....	31
Figuur 11: Installatielocatie debietmeter [14]	32
Figuur 12: Smoorklepregeling [15].....	33
Figuur 13: Kv-waarden STAG 150 [17]	34
Figuur 14: Werkgebied pomp.....	35
Figuur 15: Chiller 1 debietregeling met smoorregeling	36
Figuur 16: Chiller 2 debietregeling met smoorklepregeling	37
Figuur 17: Chiller 3 debietregeling met smoorklepregeling	38
Figuur 18: Frequentieregeling [15]	39
Figuur 19: Chiller 2 debietregeling met frequentieregeling	40
Figuur 20: Chiller 3 debietregeling met frequentieregeling	41
Figuur 21: Chiller 1 smoorregeling geblokkeerd	44
Figuur 22: Chiller 1 frequentieregeling geblokkeerd	45
Figuur 23: Datasheet pompen 3000 rpm [15].....	46
Figuur 24: Koelmachine Trane [20].....	48
Figuur 25: Koelmachine Daikin [12]	49
Figuur 26: Meting aantal starts Trane 3	51
Figuur 27: In-en outputs Trane [21]	62
Figuur 28: Daikin I/O [22]	63
Figuur 29: Schematische voorstelling signaal flowswitch	64
Figuur 30: Schematische voorstelling vrijgavesignaal.....	65
Figuur 31: Globale werking PLC-programma	67
Figuur 32 : Opstartprocedure oud programma	68
Figuur 33: Afschakelprocedure oud programma.....	69
Figuur 34: Oproepen van een FB	70
Figuur 35: FB interface	71
Figuur 36: Instance DB	72
Figuur 37: Programmastructuur chillers.....	72
Figuur 38: UDT1	73
Figuur 39: Instance DB van UDT1	73
Figuur 40: UDT 2.....	74
Figuur 41: Instance DB van UDT2	74
Figuur 42: Scale tankniveau	74
Figuur 43: DB koeltoren.....	75
Figuur 44: Omschakelen pompen.....	76
Figuur 45: Omschakelen pompen netwerk 2.....	77

Figuur 46: Start scherm	78
Figuur 47: Grafische voorstelling 8°C-circuit.....	79
Figuur 48: Chiller	80
Figuur 49: Text lists	81
Figuur 50: 8°C-circuit detailscherm.....	82
Figuur 51: Buffertank.....	83
Figuur 52: Tanktemperatuur.....	84
Figuur 53: Grafische voorstelling 35°C-circuit.....	85
Figuur 54: 35°C-circuit details	86
Figuur 55: 35°C-circuit pompen.....	87
Figuur 56: Storingsscherm	88
Figuur 57: Tekst storingen	89
Figuur 58: Tracing.....	89
Figuur 59: Schematische voorstelling huidige stuurlogica tracing	90
Figuur 60: Schematische voorstelling voorgestelde stuurlogica tracing	90
Figuur 61: Voorgestelde inputs sturing tracing	91
Figuur 62: Samenstelling procesbuis [26].....	93
Figuur 63: Schematische voorstelling debietregeling	95

Abstract

Kautex in Tessenderlo heeft twee koelwatercircuits, namelijk een 8°C- en 35°C-circuit. De temperatuur van het 8°C-circuit wordt gehandhaafd door koelmachines, ook chillers genaamd, terwijl een koeltoren het 35°C-circuit koelt. Het bedrijf ondervindt twee problemen met het 8°C-koelwatercircuit. Enerzijds zijn de koelprestaties van de koelmachines onvoldoende waardoor in de zomer koelproblemen ontstaan. Anderzijds is de aansturing van de machines inefficiënt waardoor energieverliezen optreden. Tevens is de programmatie van beide circuits onduidelijk waardoor het oplossen van storingen moeizaam verloopt. Het objectief van deze masterproef is een transparante en energiebesparende aansturing te realiseren.

Eerst zijn de energiestromen van het 8°C-circuit in kaart gebracht door middel van temperatuur- en debietmetingen, om deze dan te optimaliseren. De invloed van frequentieregelaars en smoorkleppen op het debiet is opgemeten en ligt aan de basis van deze optimalisatie. Vervolgens is het PLC-programma met bijhorende visualisatie volledig geherprogrammeerd. Deze duidelijk gestructureerde programmatie omvat de sturing van het 8°C-circuit en de visualisatie van zowel het 8°C- als het 35°C- koelwater netwerk.

Na onderzoek en aanpassingen kan men besluiten dat het koelvermogen is toegenomen, er minder energieverlies optreedt en dat de koelwatertemperatuur stabiel is. De transparantere en efficiëntere programmatie leidt ertoe dat de werking van de machines duidelijker opgevolgd kan worden door zowel operators als technici.

Abstract in English

Kautex in Tessenderlo utilises two cooling circuits, one at 8°C and one at 35°C. The temperature of the 8°C-circuit is maintained by chillers, while a cooling tower cools the 35°C-circuit. The plant experiences two problems with its 8°C-circuit. On the one hand the cooling performance of the chillers is insufficient which causes cooling issues. On the other hand the installation suffers from an inefficient electrical control system which causes energy losses. At the same time, the programming of both circuits is indistinct, which leads to hard troubleshooting. The objective of this Master's degree thesis is to realise a transparent and energy efficient operation.

Firstly the energy streams of the 8°C-circuit are mapped by measurements of the temperature and flow, as a base for later improvements. The impact of variable-frequency drives and balancing valves is measured and lays the foundation of this optimisation. Thereafter the PLC-program with accompanying visualisation is completely reprogrammed. This clearly structured program encloses the logic and visualisation of the 8°C-circuit, as well as the visualisation of the 35°C-circuit.

After the study and the accompanying modifications, there can be concluded that the cooling performance is increased and that the process water temperature is more stable. The more transparent and efficient programming makes it easier to follow up the functioning of the installation by the operators as well as the technicians.

1 Inleiding

1.1 Het bedrijf: Kautex

Kautex werd in 1935 door Reinhold Hagen opgericht als Galvanische Werkstätten in het Duitse Bonn. Enkele jaren na de oprichting verlegt hij de bedrijfsactiviteiten naar het dan opkomende domein van kunststofverwerking en wijzigt de naam naar Kautex. Het bedrijf is sindsdien actief in deze branche, voornamelijk als fabrikant van brandstoftanksystemen. Sinds 1996 maakt Kautex onderdeel uit van de Amerikaanse Textron-groep waardoor een internationaler karakter bekomen werd. Kautex behoort wereldwijd tot de honderd grootste leveranciers van onderdelen voor de auto-industrie en heeft ongeveer 5.500 mensen in dienst. Deze masterproef werd uitgewerkt bij de Belgische productie-unit in Tessenderlo, Kautex Textron Benelux bvba.

De kunststof brandstoftanksystemen die Kautex produceert, bieden op vlak van corrosiebestendigheid, gewicht, punctieweerstand, recycleerbaarheid en ontwerprijheid meerdere voordelen ten opzichte van stalen varianten. Deze troeven geven aanleiding tot een grootschalige toepassing in de automobielsector. Bij de Europese autoproductie is momenteel ruim 95% van de wagens uitgerust met een op kunststof gebaseerd brandstoftanksysteem [1].

1.2 Situering

Kautex fabriceert brandstoftanksystemen door middel van het blaasvormprocédé. Het productieproces dat relevant is voor deze masterproef begint wanneer een extruder gesmolten kunststof, die een temperatuur van 200 à 240°C heeft, aan een aluminium matrijs levert. Vervolgens wordt de holle, plastisch vloeibare kunststofmassa opgeblazen zodat deze tegen de matrijs gedrukt wordt in de vorm van een tank. Door deze matrijs stroomt via koelkanaaltjes water, dat warmte van de net gevormde tank onttrekt zodat deze uithardt. Wanneer de tank uit de matrijs komt is deze 100 à 120°C warm. De functie van de matrijs is dus tweeledig; respectievelijk het vormgeven en uitharden van de brandstoftank. Vervolgens wordt deze tank in een met water gevulde koelbak ondergedompeld, die de restwarmte opneemt. Het koelwater, afkomstig van het 8°C-koelcircuit, moet dus per tank een significante hoeveelheid thermische energie opnemen. Tevens koelt het 8°C-circuit grijpende actuatoren en de tussenkoeler van de persluchtinstallatie [2]. Alle warmtewisselingen tussen het koelwatercircuit en de te koelen onderdelen gebeuren via warmtewisselaars, zodat de koudeaanmaak en de gebruikers gescheiden zijn.

Om de temperatuur van het koelwater te handhaven is er een koelinstallatie aanwezig die bestaat uit zeven pompen, een buffertank en vier koelmachines, ook wel chillers genaamd, die werken met het koelmiddel R134a. De installatie schakelt naargelang de vraag naar koelwater en de atmosferische invloeden. Het thermisch koelvermogen van de totale installatie bedraagt 1,45 MW onder standaard atmosferische condities.

Verder is er een koelwatercircuit met een nominale temperatuur van 35°C dat gekoeld wordt door een koeltoren. Dit circuit koelt bepaalde onderdelen van de blaasmachines, hydrauliegroepen en DC-drives [3]. De aansturing van de koeltoren is hardwarematig uitgevoerd, zodat de Programmable Logic Controller (PLC) de koeltoren niet stuurt, maar enkel visualiseert.

1.3 Probleemstelling

1.3.1 Koelvermogen

Bij toenemende temperaturen daalt volgens Tabel 13 (p48) en Tabel 14 (p49) het koelvermogen. Aan het huidige productieniveau is het koelvermogen ontoereikend bij hoge buitentemperaturen. Bijkomend is de vraag naar koeling op dat moment hoger omdat leidingen en productieomgeving opwarmen door de atmosfeer.

1.3.2 Efficiëntie van de installatie

De energiekosten lopen onnodig hoog op omdat de Energy Efficiency Ratio (EER) van de koelinstallatie ondermaats is [2]. Een aan/uit-regeling stuurt de koelunits op basis van de temperatuur van de buffertank van het gekoelde water. Dit is waarschijnlijk niet de meest rendabele oplossing en geeft aanleiding tot onevenwichtige machineslijtage. Bovendien kan het rendement van de pompaandrijvingen met smooklepregeling in vraag worden gesteld.

1.3.3 De sturing van de koelinstallatie

De exacte werking van de aansturing van de koelinstallatie is niet geweten. Verscheidene firma's pasten de oorspronkelijke elektrische kast en schema's aan met als gevolg dat deze niet overeenkomen met de huidige situatie. De werking van het PLC-programma en bijhorende visualisatie van zowel het 8°C- als het 35°C-circuit is onduidelijk omdat deze geen uitleg of symboliek bevat.

1.3.4 Overbodige componenten

Een gedeelte van de hard- en software, daterende uit de periode 1992-2005, is niet meer in gebruik. Deze werd niet verwijderd wanneer men in 2005 drie vervangende koelmachines installeerde. Dit geeft aanleiding tot veel overbodige componenten die ruimte innemen en energie opslorpen vermits er een nullaststroom loopt.

1.4 Doelstellingen

Kautex wil de productiekosten drukken en zoekt daarom naar opportuniteiten. Binnen dit kader past een optimalisatie van de koelinstallatie, het objectief van deze masterproef. De installatie moet geoptimaliseerd worden zodat het koelvermogen stijgt en er minder energieverliezen optreden. Een tweede doelstelling is een transparantere en efficiëntere PLC-aansturing met bijhorende visualisatie programmeren.

1.5 Materiaal en methode

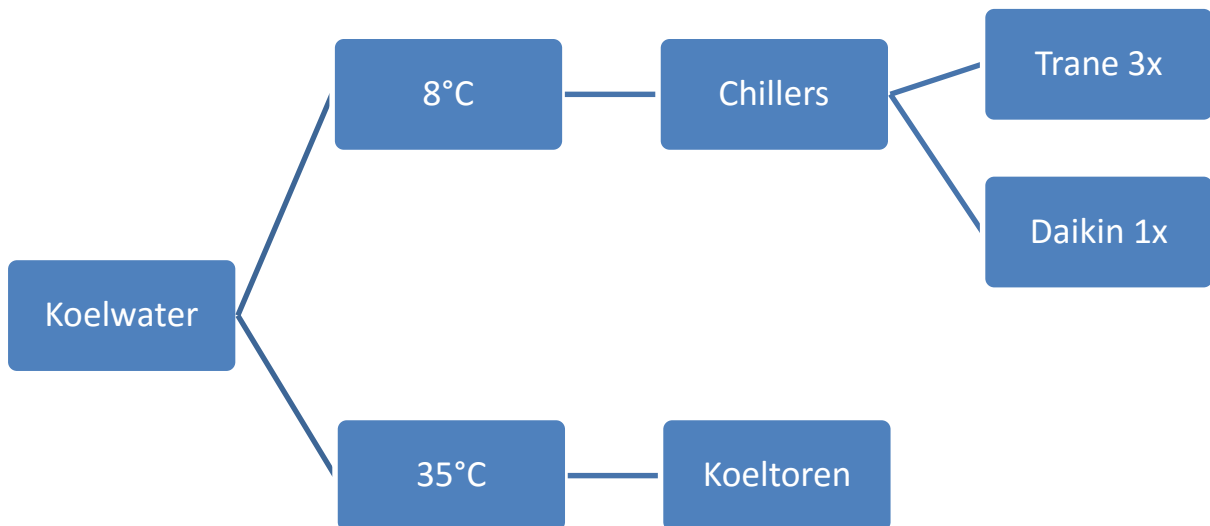
Omdat de werking van de koelinstallatie van het 8°C-circuit onbekend is, is het uitzoeken van de werking een eerste vereiste. Men kijkt de sturing na door de bedrading manueel te volgen om nadien de softwarecode te ontleden en becommentariëren. Het PLC-programma moet dan, samen met de visualisatie, volledig herschreven worden zodat een efficiëntere en transparantere aansturing verkregen wordt.

Vervolgens gaat het onderzoek naar verdere verbeteringen van start. Deze komen tot stand door praktische aanpassingen en een energiezuinige aansturing van zowel pompen als koelmachines. Men onderzoekt de thermische en elektrische energiestromen in de koelinstallatie en poogt deze te optimaliseren. Van deze energiestromen meet men het debiet, de verschiltemperatuur en het elektrisch vermogen. Deze metingen vormen op hun beurt de basis voor het berekenen van de EER. Wanneer deze EER bij de initiële en aangepaste toestand berekend wordt, is het verschil tussen beide waarden een maat voor de rendementsverbetering.

2 Koelinstallatie en energiestromen

2.1 Koelwatercircuits

Op de bedrijfssite worden twee koelwatercircuits gebruikt, namelijk het 8°C en 35°C circuit. Drie koelmachines van het merk Trane en één machine van het merk Daikin handhaven de temperatuur van het 8°C circuit, terwijl een koeltoren het 35°C circuit afkoelt. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Schematische voorstelling koelwater

2.2 Koelwater 8°C

Het koelwatercircuit van 8°C wordt aangewend voor volgende toepassingen:

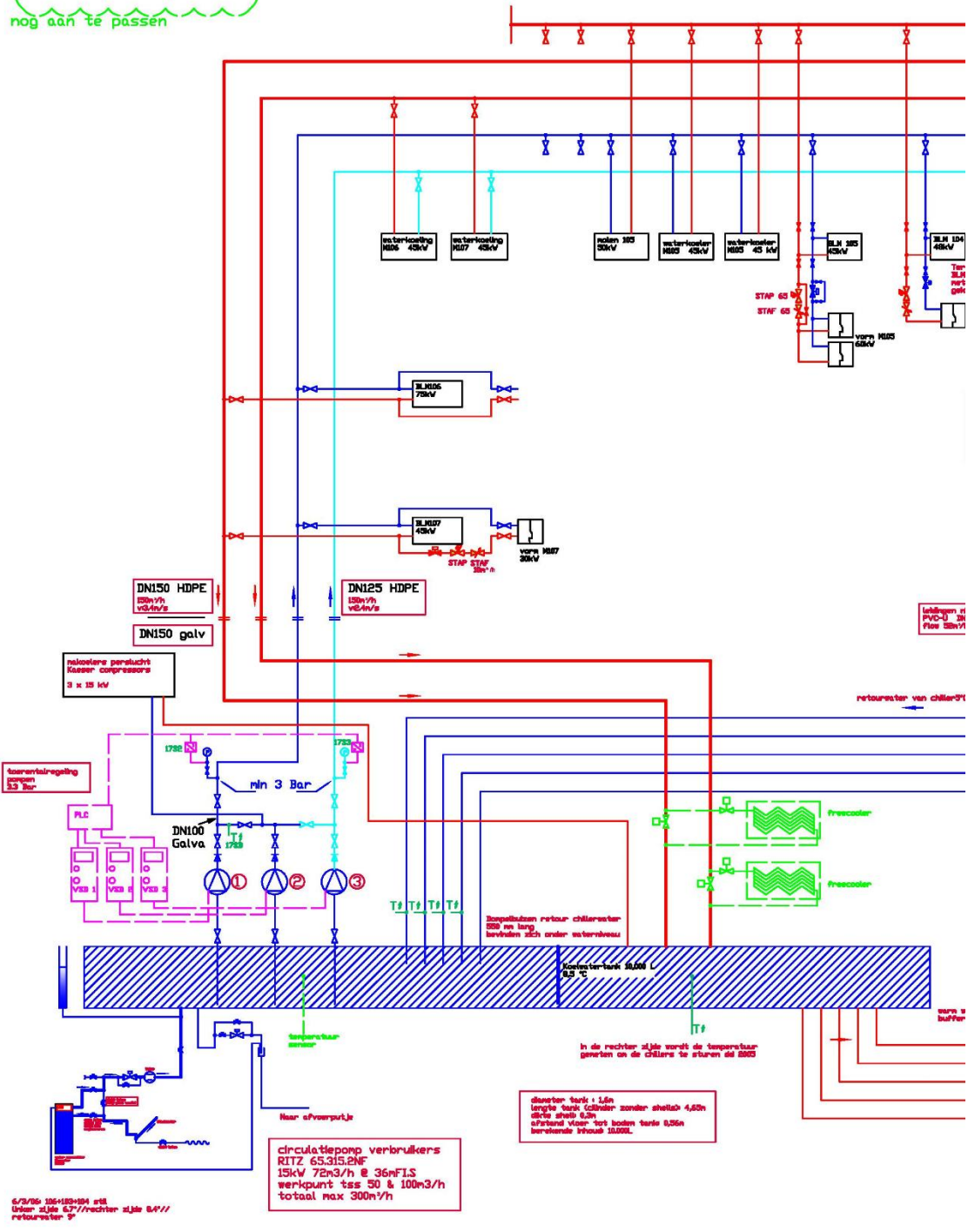
- de aluminium matrijs die de tanks vormgeeft,
- de warmtewisselaars van de koelbakken,
- grijpende actuatoren,
- nakoeler persluchtinstallatie.

Het process flow diagram van het koelwatercircuit van 8°C vindt men in Figuur 2 en Figuur 3 terug, alsook in bijlage B.

Lengte pijpbrug: 70m
 Lengte van compressorlokaal tot pijpbrug 35m
 hoogte grond tot vloer pijpbrug: 8m
 totaal aantal m leiding 40+140+50+70+50+70=420m
 inhoud van de leidingen is ca 8000L
 materialen HD-PE, C-staal, galva, RVS304, Al, messing, rubber, PVC

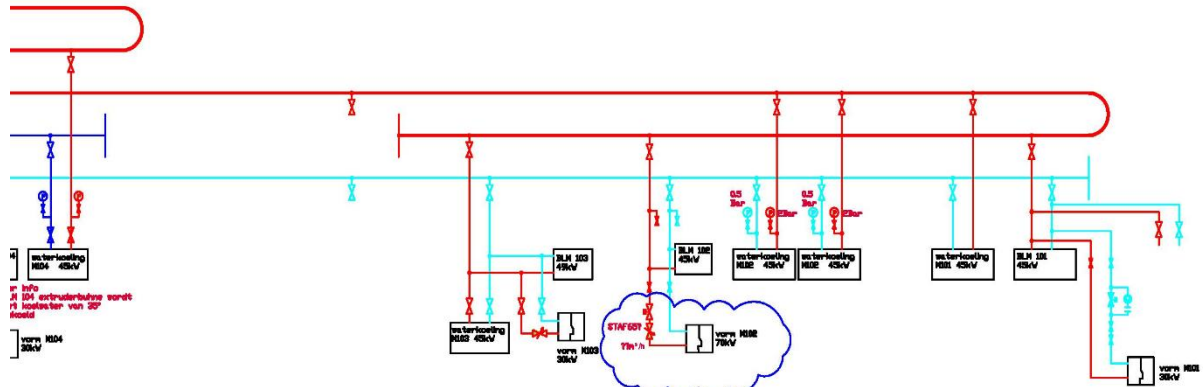
KOELING

3.5.3 Temperatuurbegrenzing
 - te plaatsen van temperatuurvoeler
 - dry cooler voor afvoer van warmte
 nog aan te passen



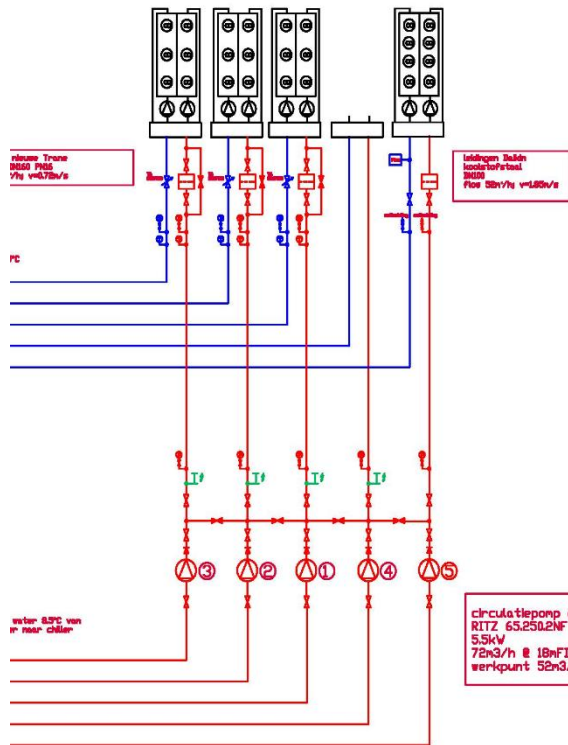
Figuur 2: Process flow diagram 8°C [4]

WATERCIRCUIT 8°



	Trane RTAD 100	Trane RTAD 100	Trane RTAD 100	Dalkin EVAD400-3-XS	totaal
koelvermogen	318kW	318kW	318kW	400kW	
electrisch P	126kW	126kW	126kW	126kW	

chiller 4 defect
 chiller 5 defect sedert aug 2011
 office status verrijkt JA 2011
 chiller 3 vervangen 25-10-2012
 nieuwe chiller 5 Dalkin 25-10-2012



Koelwater in buffertank 8,5°C in warme kant
 Vertrekwater van buffertank naar chiller 8,5°C
 Retourwater van chiller naar buffertank 5°C
 Vertrekwater van buffertank naar fabriekshal 6,5°C
 Retourwater van fabriekshal naar buffertank 9°CII
 Men heeft 52m³/h flow nodig met delta T 5,5°C om 330kW over te brengen van de chiller naar het buffervat
 Circulatiepompen nr verbruikers zijn toerental geregeld, op 3,3 bar
 circulatiepompen naar chillers toe, draaien alleen indien de chillers koude moeten leveren
 tracing op de leidingen naar de chillers

Rood = retour 10°C???
 blauw = voorloop 7°C Linker circuit
 blauw = voorloop 7°C rechter circuit

24-2-2012 - gegevens ton aangevuld - V8
 25-10-2012 nieuwe chiller 5 Dalkin V9
 25-10-2012 Beko 101 weg
 19-11-2012 appendages chiller 5, elec VSD
 22-11-2012 aanduiding sensoren
 date - aanpassing

circulatiepomp chiller
 RITZ 65.250.2NF
 5,5kW
 72m³/h @ 18mFLS
 werkpunt 52m³/h

koelwatercircuit 8°
 ECA 22-11-2012 V11 as build

Figur 3: Process flow diagram 8°C [4]

2.2.1 *Abstractie*

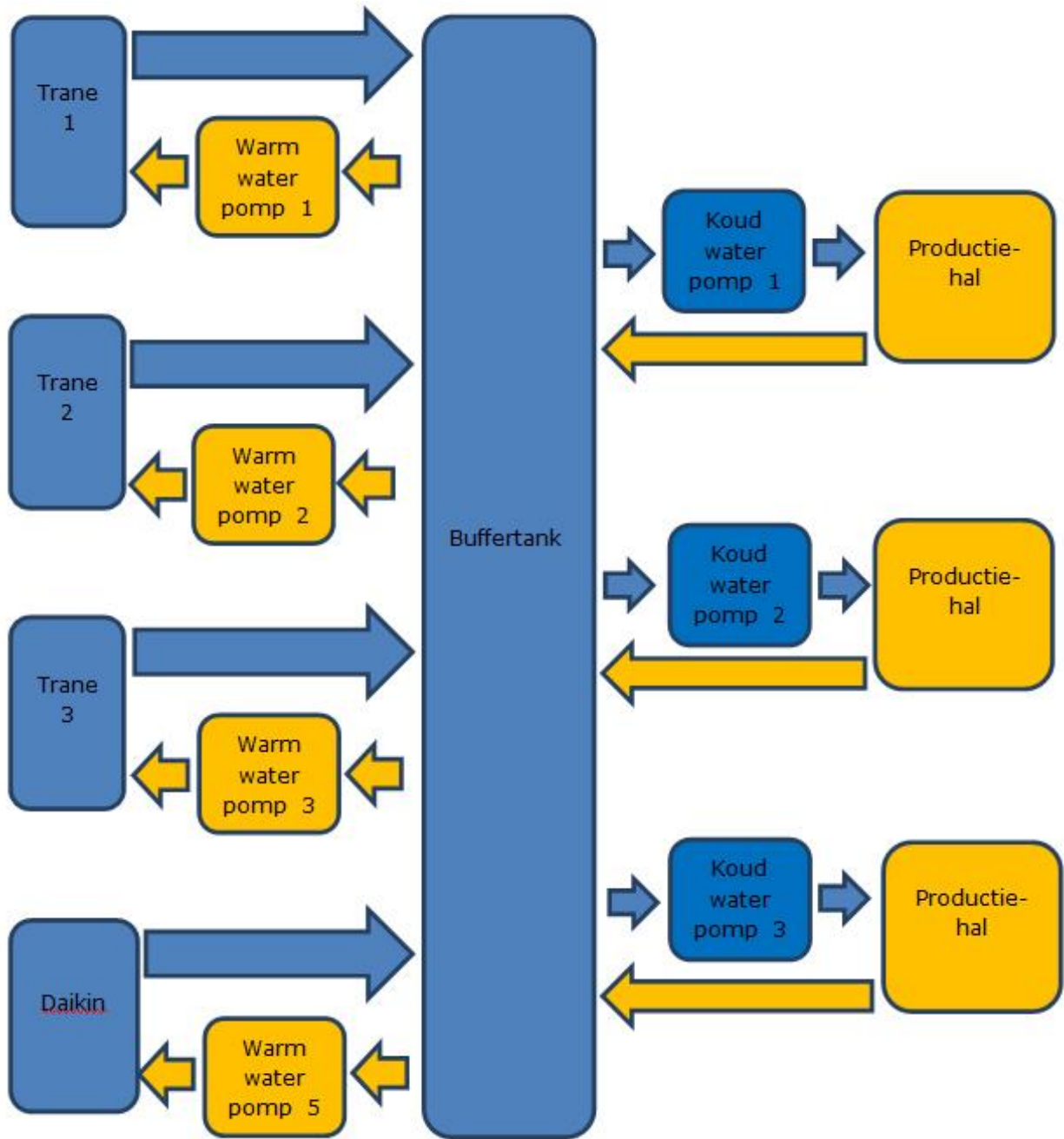
Figuur 4 geeft een schematische voorstelling van het 8°C-circuit weer. De linkerzijde toont de koudwateraanmaak, de rechterzijde de fabriekshal. Centraal staat de geïsoleerde buffertank van 10.000 liter, die zorgt voor een thermische buffer. Paragraaf 2.2.1 en 2.2.3 leggen de werking van dit systeem beknopt uit.

2.2.2 *Koudwateraanmaak*

Elke koelmachine heeft een eigen leidingstelsel en pomp. Deze pomp onttrekt water, dat een hogere temperatuur heeft omdat het van de verbruikers afkomt, van de buffertank. Doordat dit water een hogere temperatuur heeft geeft men deze pomp de benaming warmwaterpomp. Deze pomp pompt water langs de verdamper van de chiller, waarna het gekoelde water via de retourleiding terug in de buffertank vloeit.

2.2.3 *Koudwaterdistributie*

Er zijn drie frequentiegestuurde pompen voorzien die water van de buffertank naar de productiehal pompen, die men koudwaterpompen noemt. Deze pogen een constante druk op de persleiding te bekomen. Door deze drukregeling is de aanvoer van koelwater voor de producerende machines constanter. In de fabriekshal stroomt het koelwater, afkomstig van deze pompen, door de primaire zijde van warmtewisselaars. Doorheen de secundaire zijde stroomt het te koelen water van de machines.



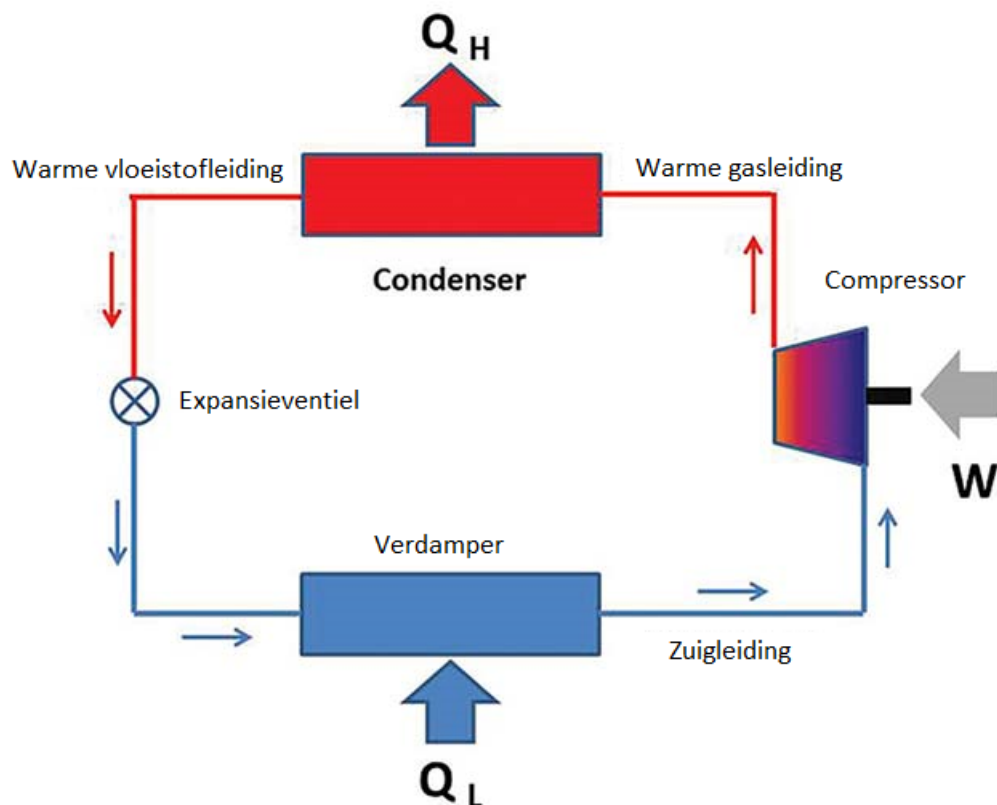
Figuur 4: Schematische voorstelling koelwater 8°C

2.2.4 Delta T

De verschiltemperatuur die de koelmachine op het doorstromende fluïdum realiseert, noemt men delta T (ΔT). Deze waarde is afhankelijk van het koelvermogen van de machine en van het debiet. Hoe kleiner het debiet, hoe groter de verschiltemperatuur is omdat het fluïdum een langere tijd door de verdamper wordt gekoeld.

2.2.5 Principe dampcompressiemachine

De chillers halen hun koelende werking uit het dampcompressieprincipe. Om de werking van de koelinstallatie te kunnen begrijpen, dient men de dampcompressiecyclus uit Figuur 5 te verduidelijken.



Figuur 5: Dampcompressiecyclus

Compressor

De compressor zuigt koudemiddel, dat door de verdamper in gasfase gebracht is, aan via de zuigleiding. Om het gas samen te drukken vraagt de compressor arbeid (W). Tijdens deze compressie stijgen zowel de temperatuur als de druk in waarde. De chillers te Kautex zijn uitgerust met schroefcompressoren.

Condensor

Het hete gas van de persleiding van de compressor stroomt door een warmtewisselaar met als bedoeling het gas af te koelen zodat het begint te condenseren. Deze warmtewisselaar, de condensor genaamd, wisselt warmte (Q_h) met de omgeving uit. Bij de beschouwde machines is er geforceerde luchtkoeling toegepast.

Expansieventiel

De warme vloeistofleiding, afkomstig van de condensor, is gekoppeld aan het expansieventiel. Deze component verlaagt de druk waardoor er een koud tweefasig mengsel van vloeistof en damp ontstaat.

Verdamper

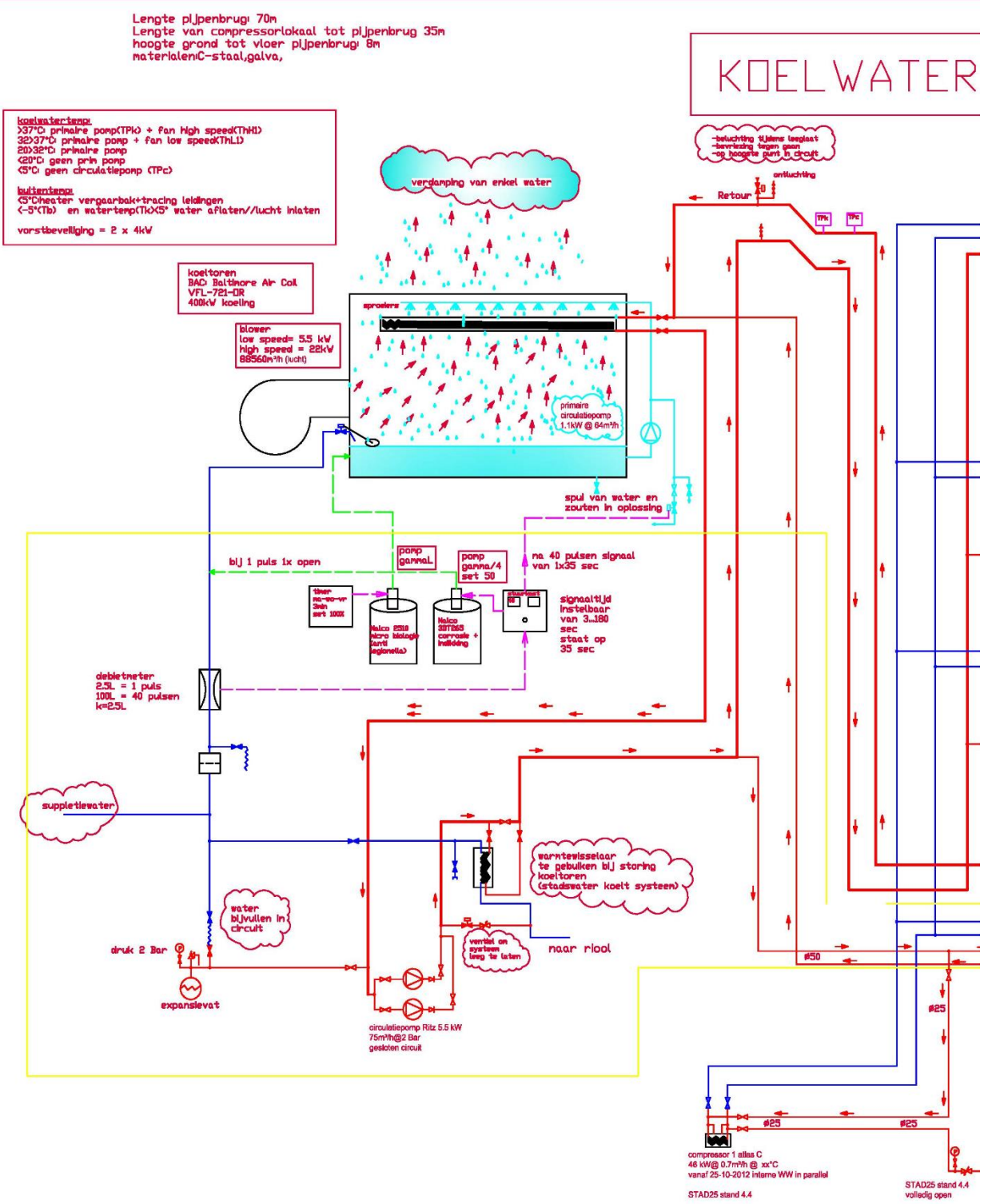
De verdamper neemt warmte (Q_l) op, in dit geval van de waterstroom die er langs wordt gepompt. Door de warmteopname verdampt alle koelvloeistof, zodat deze weer kan aangezogen worden door de compressor.

2.3 Koelwater 35°C

Het koelwatercircuit van 35°C wordt aangewend voor de koeling van:

- onderdelen van blaasmachines,
- hydrauliegroepen,
- waterkoeling DC-drives.

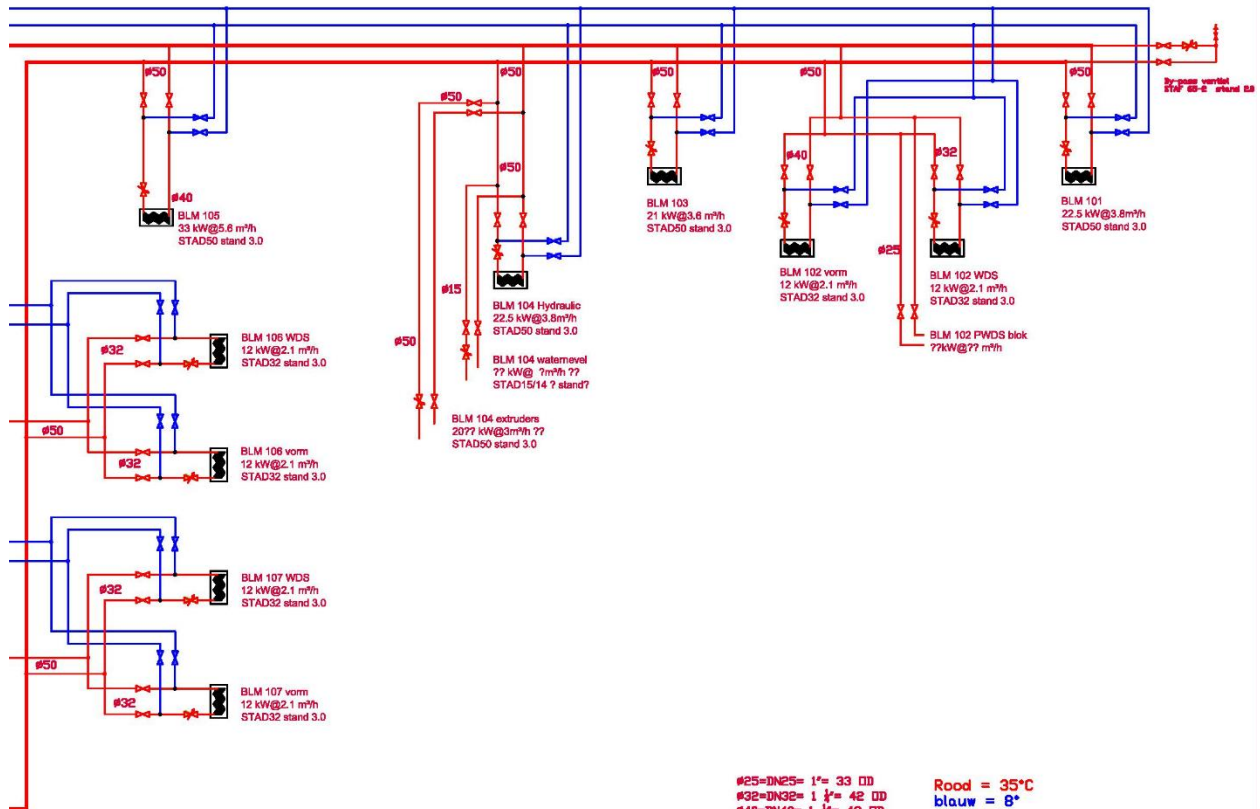
Het process flow diagram van het koelwatercircuit van 35°C vindt men in Figuur 6 en Figuur 7 terug, alsook in bijlage B.



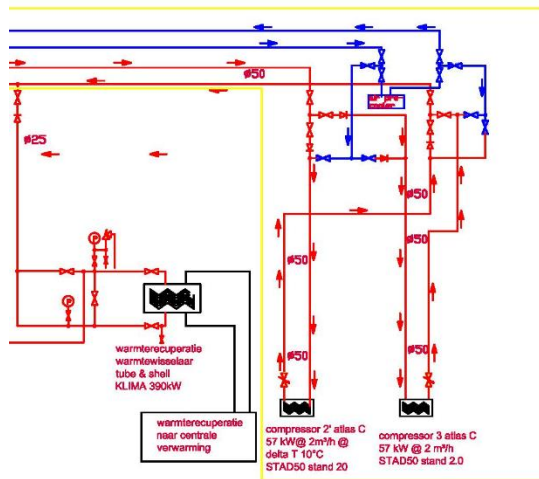
Figuur 6: Process flow diagram 35°C [5]

CIRCUIT 35°

koelwater 32/37°C
olie mobil. ITE25: 40/45°C



#25=DN25= 1" = 33 OD Rood = 35°C
 #32=DN32= 1 1/4" = 42 OD blauw = 8°
 #40=DN40= 1 1/2" = 48 OD
 #50=DN50= 2" = 60 OD
 #65=DN65= 2 1/2" = 77 OD



23-2-2012 aanpassing 2e compressor
 15-6-2012 TA kranen 2e compressor
 25-10-2012 WV in atlas compressi parallel
 25-10-2012 airwegkranen heat rtecup weg

as build
 koelwatercircuit 35°
 ECA 30-10-2012 V13

Figuur 7: Process flow diagram 35°C [5]

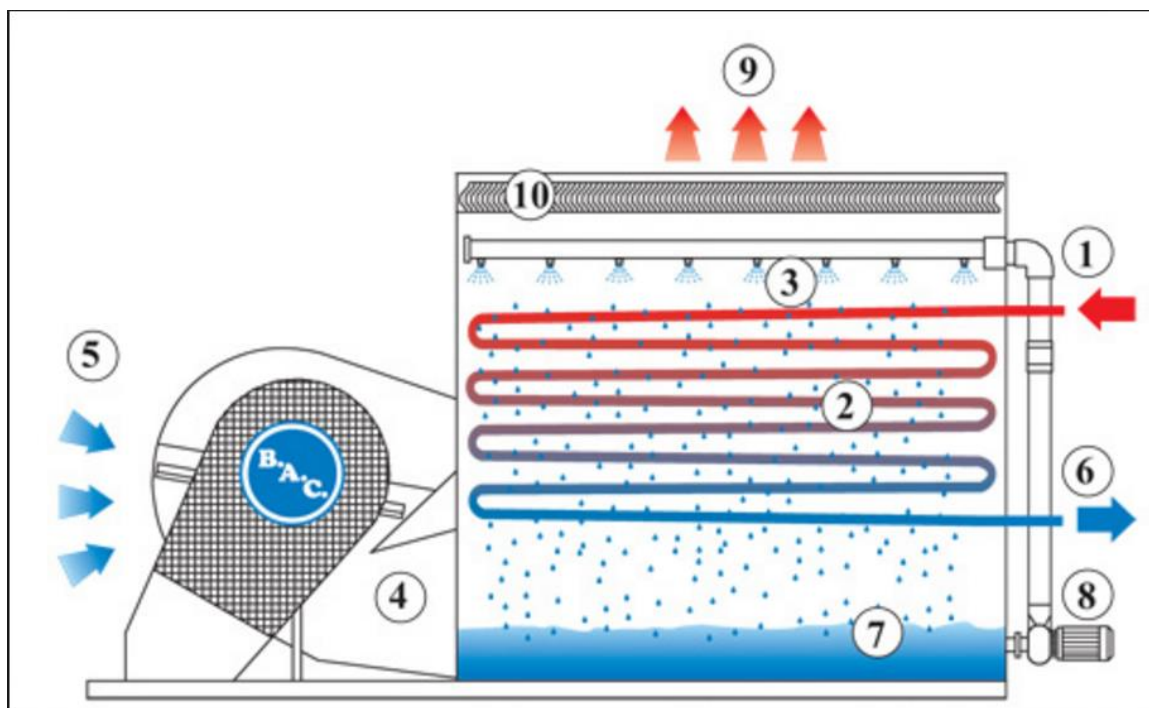
2.3.1 Principe natte koeltoren

Er dient duidelijk gesteld te worden dat er twee gescheiden circuits voorkomen:

- 35°C-circuit: dit koelwater stroomt door de warmtewisselaar (2);
- Intern koelwater koeltoren: dit water zorgt via warmteopname door verdamping voor het koelend effect.

De werking van een natte koeltoren, weergegeven in Figuur 8, is als volgt:

- De pomp (8) onttrekt water uit het bassin (7) en pompt dit water uit de sproeiers.
- Deze sproeiers (3) spuiten verneveld water over de spiraal (2), terwijl de ventilator (4) lucht aanzuigt via (5) en wegblaast via (9).
- Warm koelwater van het 35°C-circuit stroomt via de warmtewisselaar de koeltoren binnen (1).
- De warmtewisselaar, hier uitgevoerd als een spiraal, koelt dit water af door verdamping van het interne koelwater.
- Voor de uitlaat zit een waterafscheider (10), die uit de verzadigde lucht water onttrekt zodat het waterverbruik van de koeltoren daalt.
- Het waterbassin verzamelt het water dat niet verdampt is en het gerecupereerde water van de afscheider, zodat dit herbruikt kan worden. Omdat een natte koeltoren water verdampt, is regelmatig aanvullen vereist.
- Het gekoelde water verlaat via (6) de koeltoren en wordt terug naar de fabriekshal gepompt om nieuwe proceswarmte op te nemen, wat maakt dat de cyclus rond is.



Figuur 8: Principe natte koeltoren [6]

2.4 Conclusie

Dit inleidende hoofdstuk kadert de masterproef en beschrijft de basisprincipes van de koelmachines en koeltoren. In volgende hoofdstukken wordt op deze installaties verder ingegaan.

3 Vermogen- en debietmetingen pompen

3.1 Koelvermogen

Thermodynamisch kan men stellen dat de totale energie die wordt toegevoerd de som is van de overgedragen warmte Q aan het fluïdum en de arbeid W geleverd op het fluïdum. [7]

$$\Delta E = Q + W$$

Het koelwater ondervindt echter alleen een thermische energieoverdracht wanneer het langs de verdamper stroomt. Daarom is de verandering van energie gelijk aan de warmtestroom.

$$\Delta E = Q$$

De Q in bovenstaande formule is in functie van de tijd per definitie gelijk aan:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \text{ [8]}$$

Waarbij de symbolen in deze situatie staan voor:

$$\dot{Q} = \text{Koelvermogen [W]}$$

$$\dot{m} = \text{Massadebiet koelwater } \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}}\right]$$

$$c_p = \text{Warmtecapaciteit van het fluïdum bij constante druk } \left[\frac{\text{J}}{\text{kg K}}\right]$$

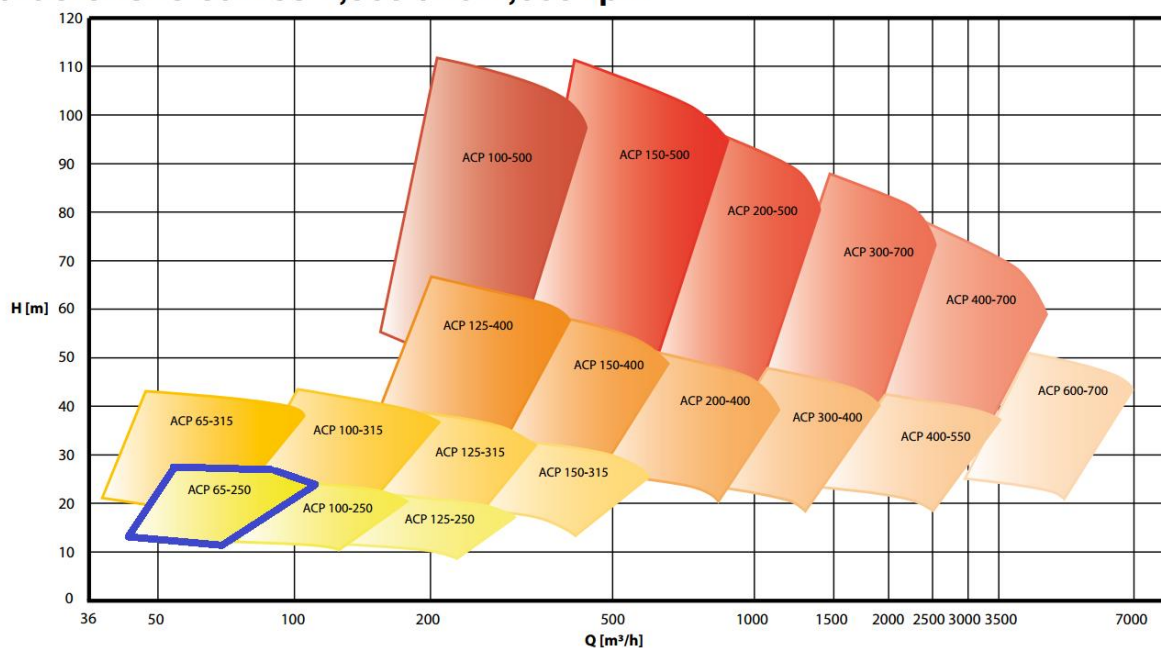
$$\Delta T = \text{Verschiltemperatuur gerealiseerd door de machine [K]}$$

Omdat het debiet dat door de chiller vloeit een belangrijk effect heeft op de warmtewisseling is het voornaam dat dit debiet gekend is. Hoe hoger de flow is, hoe meer warmte de verdamper opneemt. Om het koelvermogen te maximaliseren moet de maximaal toegestane flow stromen. De uitgaande temperatuur van het gekoelde water is in dat geval echter wel hoger. Wanneer het pompdebiet en dus ook het pompvermogen toeneemt, zal de compressiearbeid dalen [9] zodat men tussen beiden een compromis moet vinden.

3.2 Situering

Elke chiller heeft een eigen pomp die het water van de buffertank aanzuigt, door de machine pompt en zo terug naar de buffertank laat stromen. De geïnstalleerde pompen zijn van het merk Andritz-Ritz, type 65-250-2NF. Wanneer men de datasheet van de fabrikant [10] bekijkt, komt dit pomptype bij de huidige serie overeen met het type ACP 65-250, die op Figuur 9 blauw omljnd is.

Characteristic curves 1,500 and 1,000 rpm



Figuur 9: Datasheet pompen 1500 rpm [10]

Het debiet wordt momenteel geregeld door een smoorklepregeling die aansluitpunten heeft voor een drukverschilmeting. Deze meting kon echter niet meer gebruikt worden omdat men de specifieke apparatuur hiervoor niet kan huren en ze aankopen erg kostelijk is. Verder is de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van deze meting ook beperkt in vergelijking met een ultrasone debietmeter. Een meetapparaat steunend op het ultrasone principe is dan ook bij de praktische uitvoering van deze masterproef gebruikt.

Er werden experimenten uitgevoerd met als bedoeling het debiet doorheen de koelmachines te verhogen. Om deze verhoging te bekomen werden tests met zowel smoorkleppen als frequentieregelaars uitgevoerd en opgemeten. Per koelmachine is de regelinstelling (smoorklepinstelling of frequentie), het debiet, het opgenomen vermogen en de persdruk van de radiaalpompe opgemeten. De aangewezen debietwaarden vindt men terug in Tabel 1.

Tabel 1: Aangewezen debiet chillers

	Trane [11]	Daikin [12]
Minimaal debiet	7,3 l/s	/
Maximaal debiet	24,8 l/s	/
Nominaal debiet	/	19,1 l/s

3.4 Ultrasonische debietmeting

Er is gekozen voor een clamp-on ultrasonische debietmeter om de effecten op de flow te bestuderen. Dit type meter heeft een paar grote voordelen ten opzichte van een drukverschilmeting:

- draagbaar,
- accuraat,
- voor veel materialen toepasbaar,
- licht,
- voor veel diameters toepasbaar,
- procesleiding moet niet onderbroken worden.

De ultrasonische debietmeter vereist volgende inputs voor een meting:

- te meten fluïdum,
- materiaal buis,
- diameter buis,
- wanddikte buis,
- afstand tussen ultrasoonprobes.

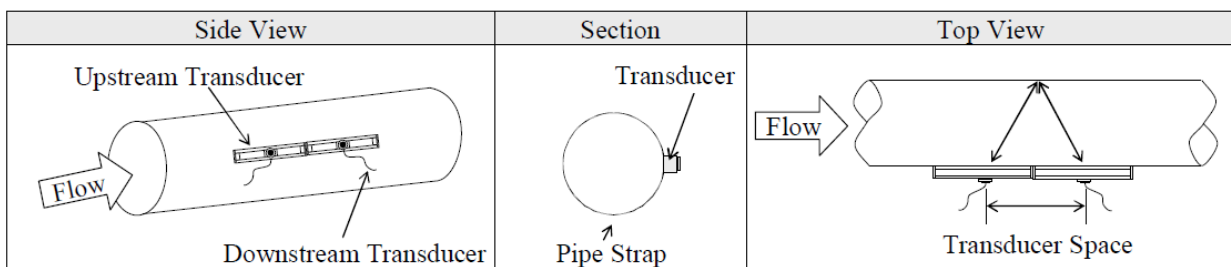
3.4.1 Meetprincipe

Het meetapparaat berust op de werking van het dopplereffect: het apparaat zendt een ultrasonische puls uit en vangt de reflectie ervan op. Een microprocessor berekent verschillende grootheden aan de hand van de snelheid van deze gereflecteerde puls [13].

3.4.2 Meetopstelling

Transducers

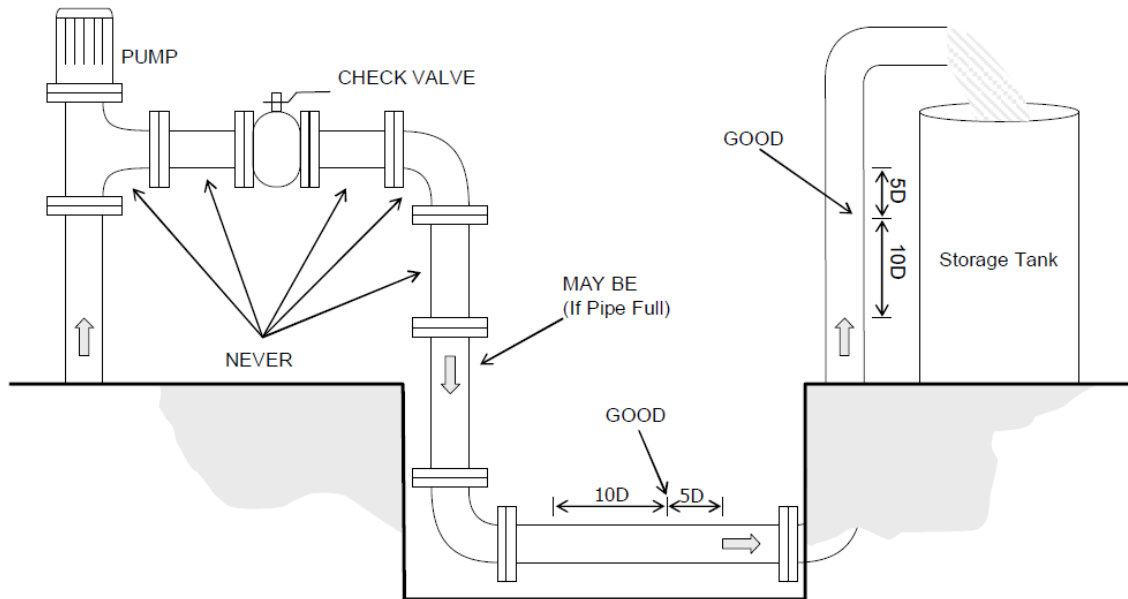
De probes of transducers zenden en vangen de dopplersignalen op. Omdat de meting berust op het tijdsverschil tussen de verzonden en ontvangen puls, is het belangrijk dat men de probes parallel met de leiding plaatst, zoals weergegeven in Figuur 10. Wanneer dit niet het geval is, zal de berekende snelheid van de vloeistof te hoog liggen, omdat de afgelegde weg van de partikels die de puls reflecteren kleiner is.



Figuur 10: Probes [14]

Om een zuiver meetresultaat te bekomen, is de locatie van de debietmeter belangrijk. Zowel voor als na een leidingelement is de stroming verstoord zodat een meting op deze locatie foutieve resultaten oplevert. Elementen die de stroming veranderen zijn onder meer pompen, kranen, kleppen, bochten, reducties en T-stukken. Bij het gebruikte meetapparaat is het vereist de apparatuur op een recht stuk leiding te plaatsen.

Het is aanbevolen dat deze leiding minstens tien maal de buisdiameter voor de meting en minstens vijf maal achter de meting lang is, zoals weergegeven in Figuur 11.



Figuur 11: Installatielocatie debietmeter [14]

Koppelvloeistof

Voor een goede meting moet men tussen de probes en de procesbuis ultrasonische koppelvloeistof aanbrengen. Deze vloeistof heeft als doel de ultrasonische signalen beter te geleiden en een sterker gereflecteerd signaal te bekomen.

3.4.3 Meetparameters

De instellingen van de debietmeter zijn zowel afhankelijk van de kenmerken van de leiding alsook van het te meten fluïdum. Bij iedere koelmachine stroomt water door de leidingen, het gebruikte materiaal is volgens Tabel 2 echter niet bij alle leidingen hetzelfde.

Tabel 2: Leidingen koelmachines

	Trane	Daikin
Materiaal	PVC-U	Koolstofstaal
Diameter	160 mm	4 duim
Wanddikte	7,7 mm	4,50 mm

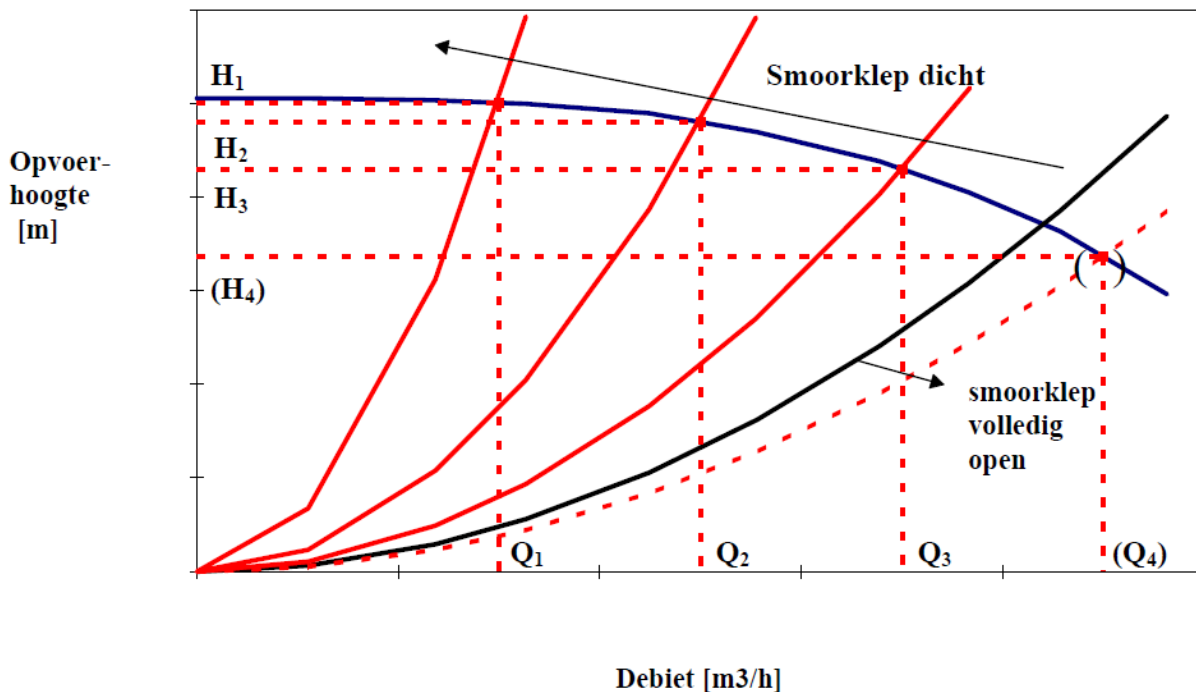
3.4.4 Werkpunt pomp

Eenzijds heeft elke pomp een pompkarakteristiek die afhankelijk is van de constructiewijze. Anderzijds geeft de aangesloten installatie aanleiding tot een leidingkarakteristiek. Voor een gegeven pomp worden de druk en het debiet bepaald door de installatie waarop ze is aangesloten. Het snijpunt van de leidingkarakteristiek met de pompkarakteristiek noemt men het werkpunt. Aanpassingen op beide karakteristieken werden opgemeten en bestudeerd.

3.4.5 Smoorklepregeling

Principe

De leidingkarakteristiek is afhankelijk van de installatie achter de pomp waardoor men deze kan beïnvloeden met een smoorklepregeling. De smoorklep rechtsom draaien geeft een steilere leidingkarakteristiek, linksom geeft een vlakkere karakteristiek. Figuur 12 geeft een voorbeeld van deze regeling weer.



Figuur 12: Smoorklepregeling [15]

Metingen smoorklepregeling

De geïnstalleerde kleppen zijn van het merk Tour-Anderson (TA), type STAF 150 [4]. Per chiller meet men voor verschillende standen van de regelklep volgende grootheden:

- het elektrisch vermogen,
- het debiet,
- de persdruk van de pomp.

Ten eerste werd de instelling van de kraan gewijzigd, zodat het minimum vereiste debiet doorheen de chiller gewaarborgd bleef. Dit meetresultaat is in elke tabel in het rood weergegeven. Vanuit deze instelling is de kraan stapsgewijs opengedraaid en zijn de meetresultaten in de tabel genoteerd. Het groen gekleurde meetresultaat vertegenwoordigt de meting bij de oorspronkelijke instelling van de kraan. In Tabel 3 staat de meetdata van chiller 1 voor een debietregeling met smoorklepregeling.

Het geleidingsvermogen van een klep wordt aangegeven door de Kv-waarde. Deze waarde, die varieert met de instelling van de klep [16], geeft de hoeveelheid doorgestroomd medium per tijdseenheid bij een drukverschil van 1 bar over de klep aan. Uit de datasheet van de fabrikant, getoond in Figuur 13, kan men de Kv-waarden van de klep in de blauwe omkadering aflezen.

DN 65-150

Turns	DN 65-2	DN 80	DN 100	DN 125	DN 150
0.5	1,8	2	2,5	5,5	6,5
1	3,4	4	6	10,5	12
1.5	4,9	6	9	15,5	22
2	6,5	8	11,5	21,5	40
2.5	9,3	11	16	27	65
3	16,3	14	26	36	100
3.5	25,6	19,5	44	55	135
4	35,3	29	63	83	169
4.5	44,5	41	80	114	207
5	52	55	98	141	242
5.5	60,5	68	115	167	279
6	68	80	132	197	312
6.5	73	92	145	220	340
7	77	103	159	249	367
7.5	80,5	113	175	276	391
8	85	120	190	300	420

Figuur 13: Kv-waarden STAG 150 [17]

Er bestaat volgend verband tussen de Kv-waarde van, het debiet door en de drukval over de klep:

$$Kv = 36 \frac{Q}{\sqrt{\Delta P}} [17]$$

Waarbij de symbolen in deze situatie staan voor:

$$Kv = Kv - factor [/]$$

$$Q = \text{Debiet [l/s]}$$

$$\Delta P = \text{Drukverschil over de klep [kPa]}$$

Omgevormd naar ΔP wordt deze formule:

$$\Delta P = \left(36 \frac{Q}{Kv} \right)^2$$

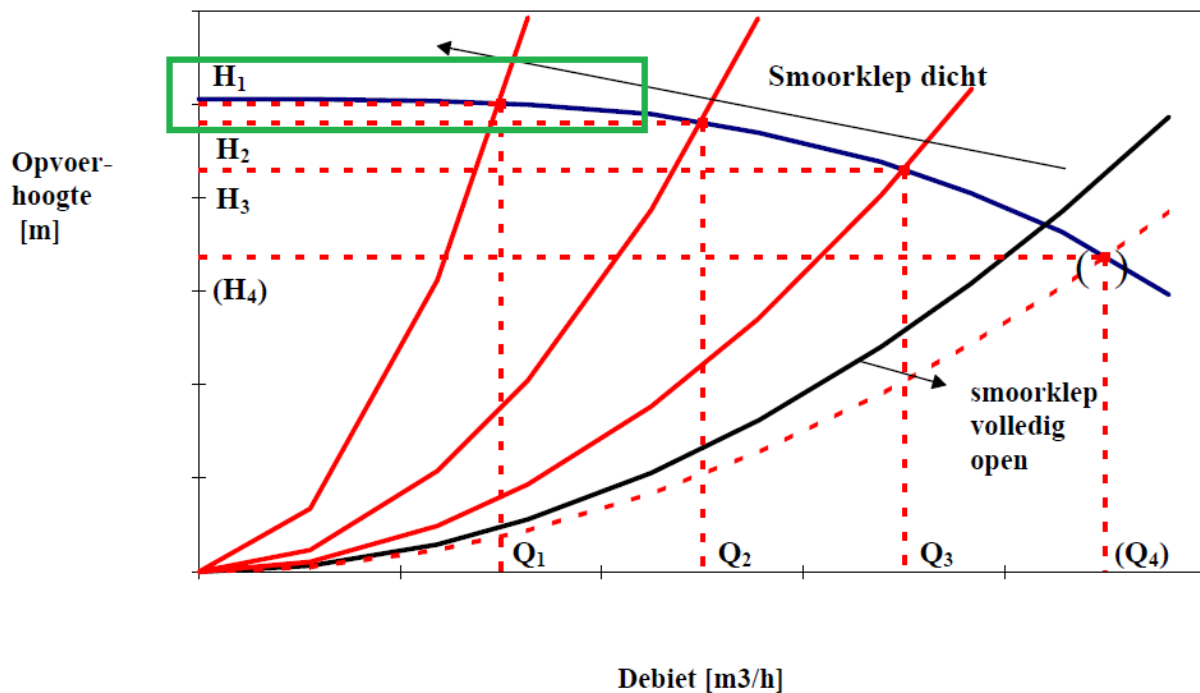
Wanneer men deze formule toepast voor de meetdata bekomt men telkens de rechtse kolom.

Tabel 3: Meetdata chiller 1 debietregeling met smoorklepregeling

Chiller 1 debietregeling met smoorklepregeling					Berekende drukval klep [bar]
Meting nummer	Vermogen [kW]	Instelling TA	Debiet [l/s]	Druk[bar]	
1	4,23	1,6	7,53	1,7	1,518
2	4,80	2,0	10,96	1,7	0,973
3	5,14	2,5	13,40	1,7	0,551
4	5,27	3,0	14,32	1,7	0,266
5	5,34	3,5	14,98	1,7	0,160
6	5,39	4,0	15,05	1,7	0,103

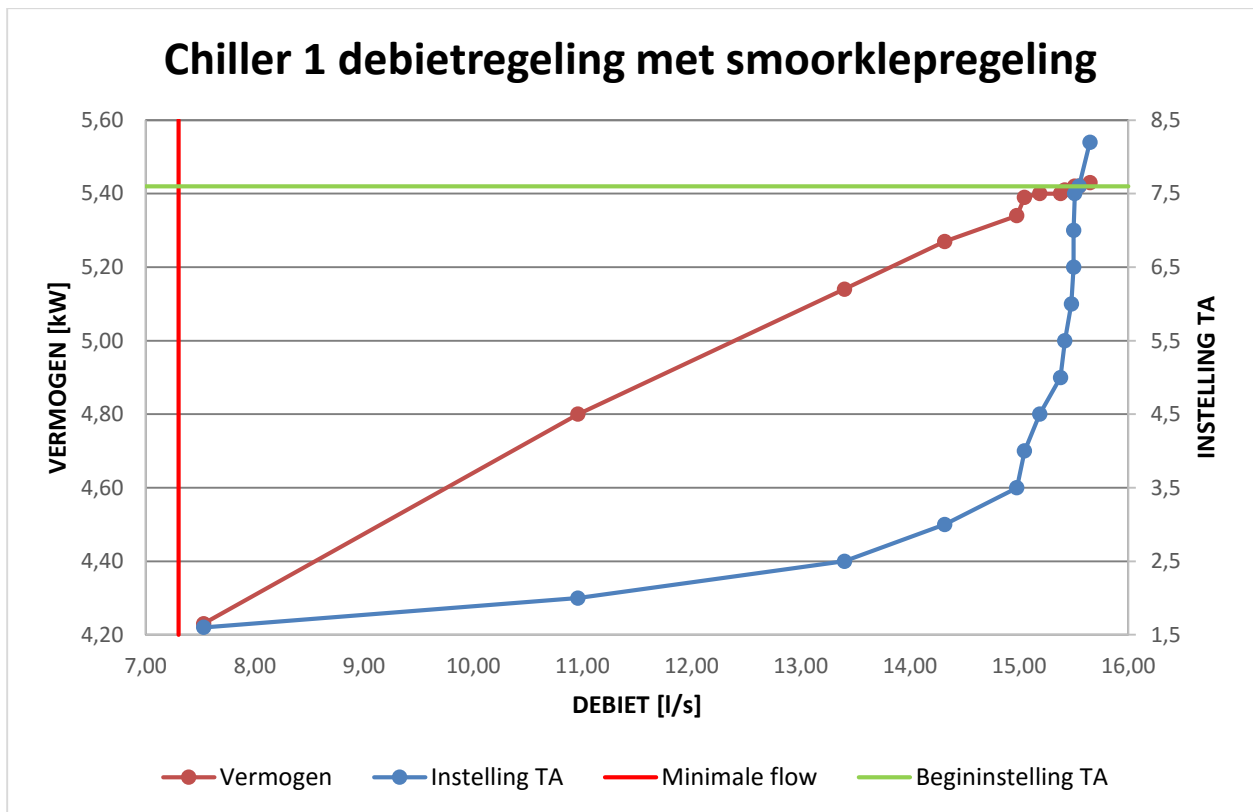
7	5,40	4,5	15,19	1,7	0,070
8	5,40	5,0	15,38	1,7	0,052
9	5,41	5,5	15,42	1,7	0,040
10	5,41	6,0	15,48	1,7	0,032
11	5,41	6,5	15,50	1,7	0,027
12	5,41	7,0	15,50	1,7	0,023
13	5,42	7,5	15,51	1,7	0,020
14	5,42	7,6	15,55	1,7	0,020
15	5,43	8,2	15,65	1,7	0,018

Uit de meetdata kan men afleiden dat zowel het debiet door als de druk over de klep sterk afhankelijk zijn van de klepstand. Bij een volledig geopende klep is de drukval verwaarloosbaar in vergelijking met de pompdruk. Deze pompdruk blijft constant, wat erop wijst dat het werkpunt van de pomp op het vlakke stuk van de pompkarakteristiek ligt, zoals getoond door het groene kader in Figuur 14. Figuur 9 toont dat het debiet van ongeveer 55 m³/h bij een geopende klep wijst op een grote leidingsweerstand, omdat het debiet relatief laag is en de druk relatief hoog.



Figuur 14: Werkgebied pomp

Vanuit de waarden uit Tabel 3 kan men de grafiek van Figuur 15 construeren. Deze grafiek bundelt alle gegevens op een grafische, gemakkelijker interpreteerbare manier. Op de verticale as aan de linkerzijde zet men het vermogen uit, aan de rechterzijde de instelling van de regelkraan. Op de horizontale as zet men het debiet uit.



Figuur 15: Chiller 1 debietregeling met smoorklepregeling

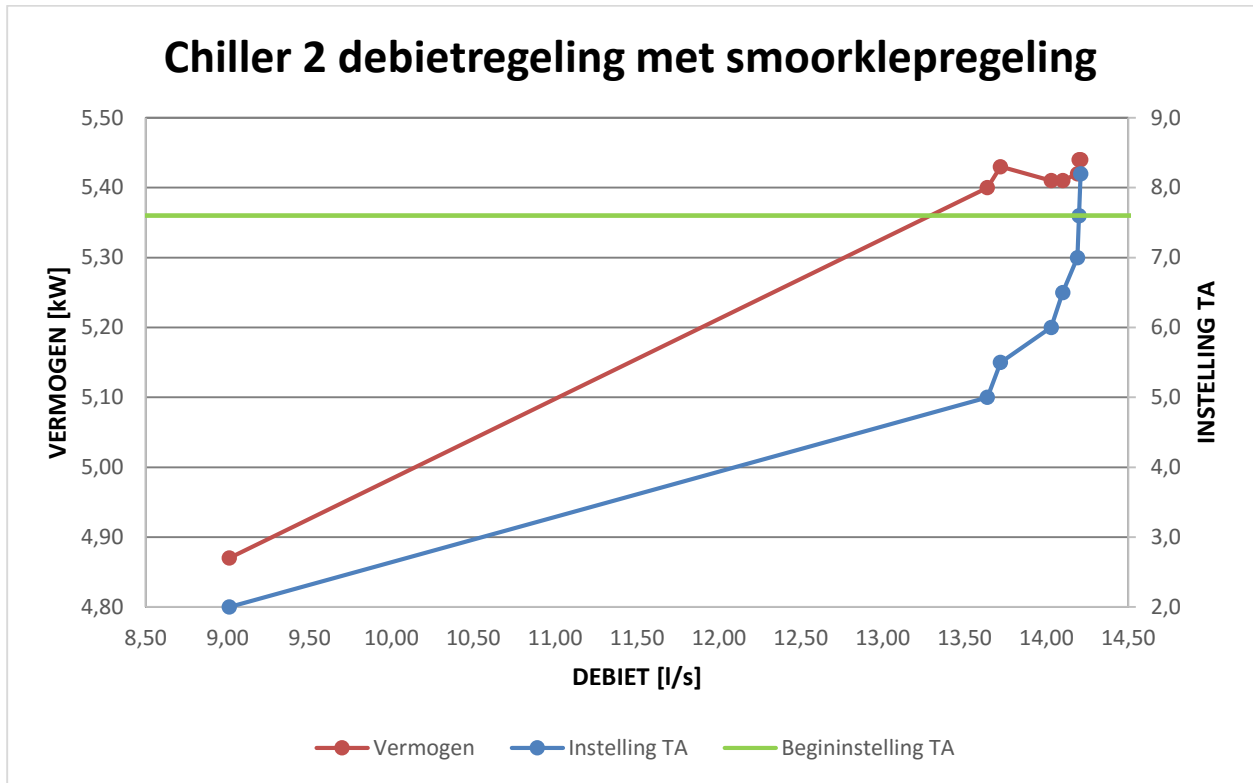
Opvallend bij de grafiek is dat de invloed van de instelling van de regelkraan bij groter wordende waarden afneemt. Bij de laatste meetpunten stroomt er bij een verhoging van de kraaninstelling slechts een beperkt additioneel debiet.

In Tabel 4 staat de meetdata van chiller 2 voor een debietregeling met smoorklepregeling.

Tabel 4: Meetdata chiller 2 debietregeling met smoorklepregeling

Chiller 2 debietregeling met smoorklepregeling					Berekende drukval klep [bar]
Meting nummer	Vermogen [kW]	Instelling TA	Debiet [l/s]	Druk[bar]	
1	4,87	2,0	9,01	1,7	0,658
2	5,40	5,0	13,64	1,5	0,041
3	5,43	5,5	13,72	1,5	0,031
4	5,41	6,0	14,03	1,5	0,026
5	5,41	6,5	14,10	1,5	0,022
6	5,42	7,0	14,19	1,5	0,019
7	5,44	7,6	14,20	1,5	0,017
8	5,44	8,2	14,21	1,5	0,015

De metingen in Tabel 4 tonen aan dat de regelmogelijkheden van de kraan ten opzichte van de begininstelling erg beperkt zijn. Het debiet doorheen deze koelmachine kan via een herinstelling van de smookkraan dan ook niet verhogen. Vanuit de waarden uit bovenstaande tabel kan men de grafiek op Figuur 16 construeren. Omwille van het geringe effect van de kraan verkrijgt men een vreemd verloop van de grafiek.



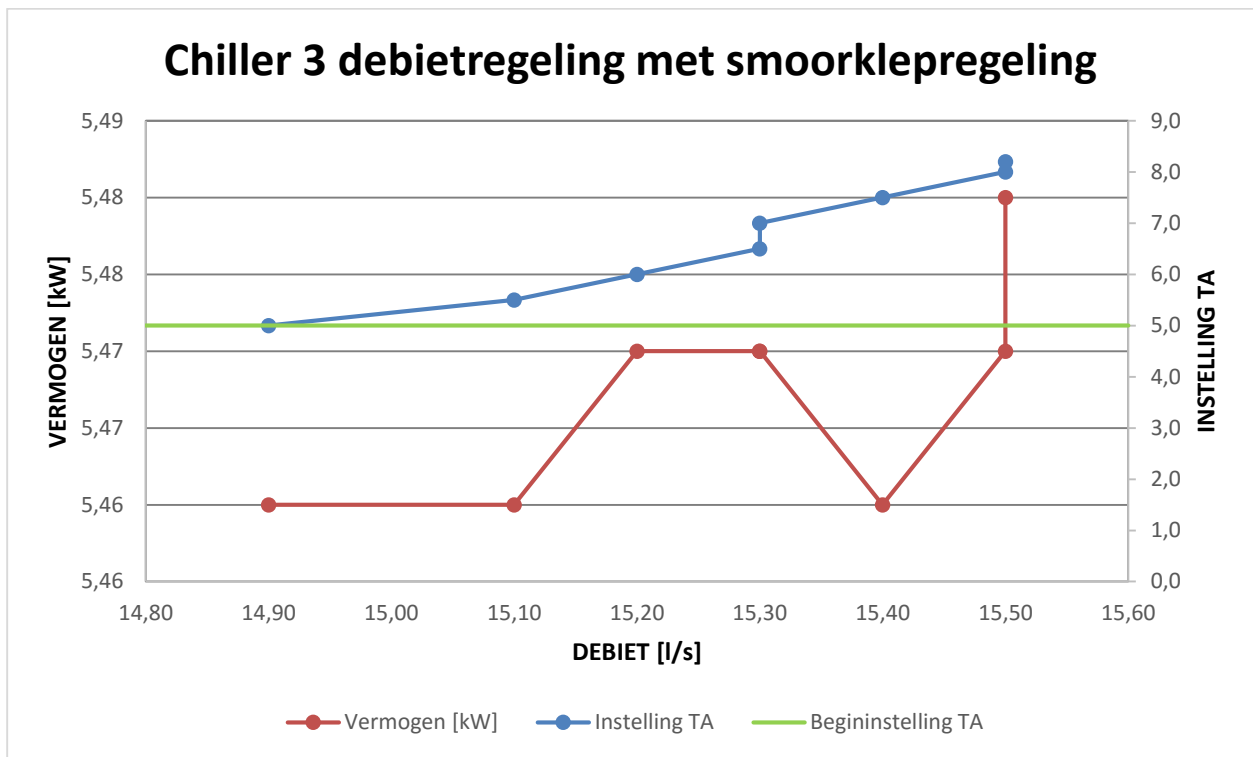
Figuur 16: Chiller 2 debietregeling met smookklepregeling

In Tabel 5 staat de meetdata voor chiller 3 voor een debietregeling met smookklepregeling.

Tabel 5: Meetdata chiller 3 debietregeling met smookklepregeling

Chiller 3 debietregeling met smookklepregeling					Berekende drukval klep [bar]
Meting nummer	Vermogen [kW]	Instelling TA	Debiet [l/s]	Druk[bar]	
1	5,46	5,0	14,90	1,5	0,049
2	5,46	5,5	15,10	1,5	0,038
3	5,47	6,0	15,20	1,5	0,031
4	5,47	6,5	15,30	1,5	0,026
5	5,47	7,0	15,30	1,5	0,023
6	5,46	7,5	15,40	1,5	0,020
7	5,47	8,0	15,50	1,5	0,018
8	5,48	8,2	15,50	1,5	0,018

Naar analogie met de vorige meetresultaten kan men ook hier besluiten dat het opendraaien van de regelkraan slechts een beperkt additioneel debiet oplevert. Vanuit de waarden uit bovenstaande tabel kan men de grafiek van Figuur 17 construeren.



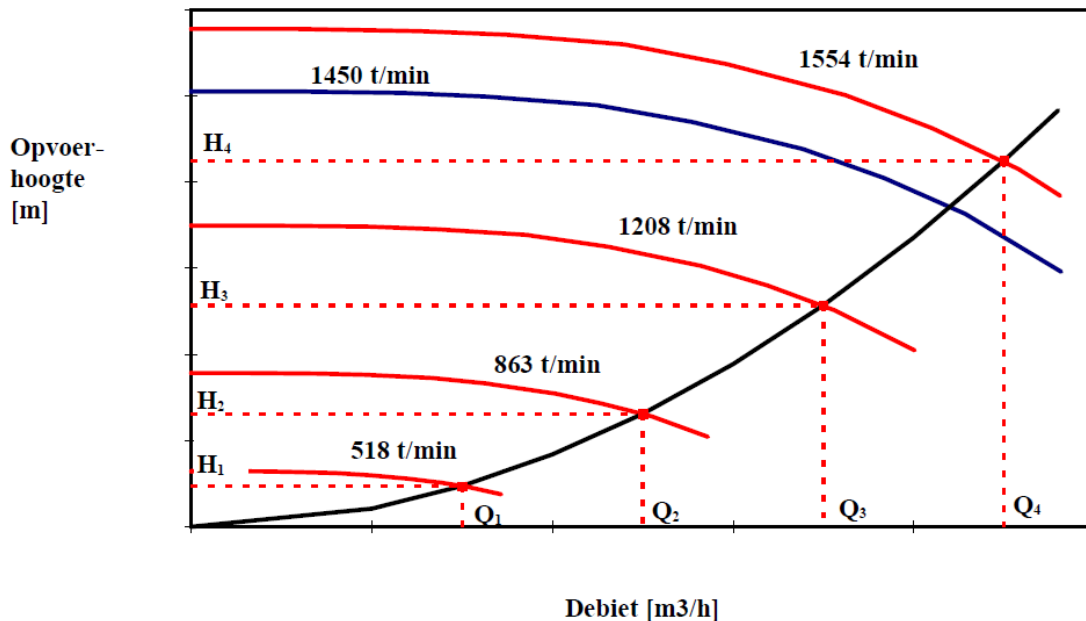
Figuur 17: Chiller 3 debietregeling met smoorklepregeling

Er werden geen analoge meting op chiller 5 verricht omdat bij deze koelmachine geen smoorklep in de leiding staat.

3.4.6 Frequentieregeling

Principe

De pompkarakteristiek is eigen aan de pomp, maar kan veranderd worden door een frequentieregelaar toe te passen [18]. Hoe hoger de frequentie, hoe hoger de pompcurve komt te liggen. Figuur 18 geeft een grafische voorstelling van het effect van de frequentieregeling weer.



Figuur 18: Frequentieregeling [15]

Het debiet dat de pomp levert is lineair afhankelijk van het toerental [18].

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Het gevraagde vermogen neemt met de derde macht toe in functie van het debiet [18].

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^3$$

Deze vergelijkingen worden later in deze scriptie gebruikt om de meetresultaten te verifiëren.

Metingen frequentieregeling

Bij de metingen werd vertrokken van de standaard motorfrequentie van 50 Hz om deze dan op te drijven tot hogere waarden. Omdat het vermogen via de derde macht afhankelijk is van het debiet liep de motorstroom boven de nominale waarden op door de zwaardere belasting. Omdat de warmteontwikkeling kwadratisch afhankelijk is van de motorstroom [19] was bijkomende koeling vereist. Om de temperatuur niet te sterk te laten oplopen koelde een ventilator deze motor.

Per meetopstelling meet men voor verschillende instellingen van de frequentieregelaar volgende grootheden:

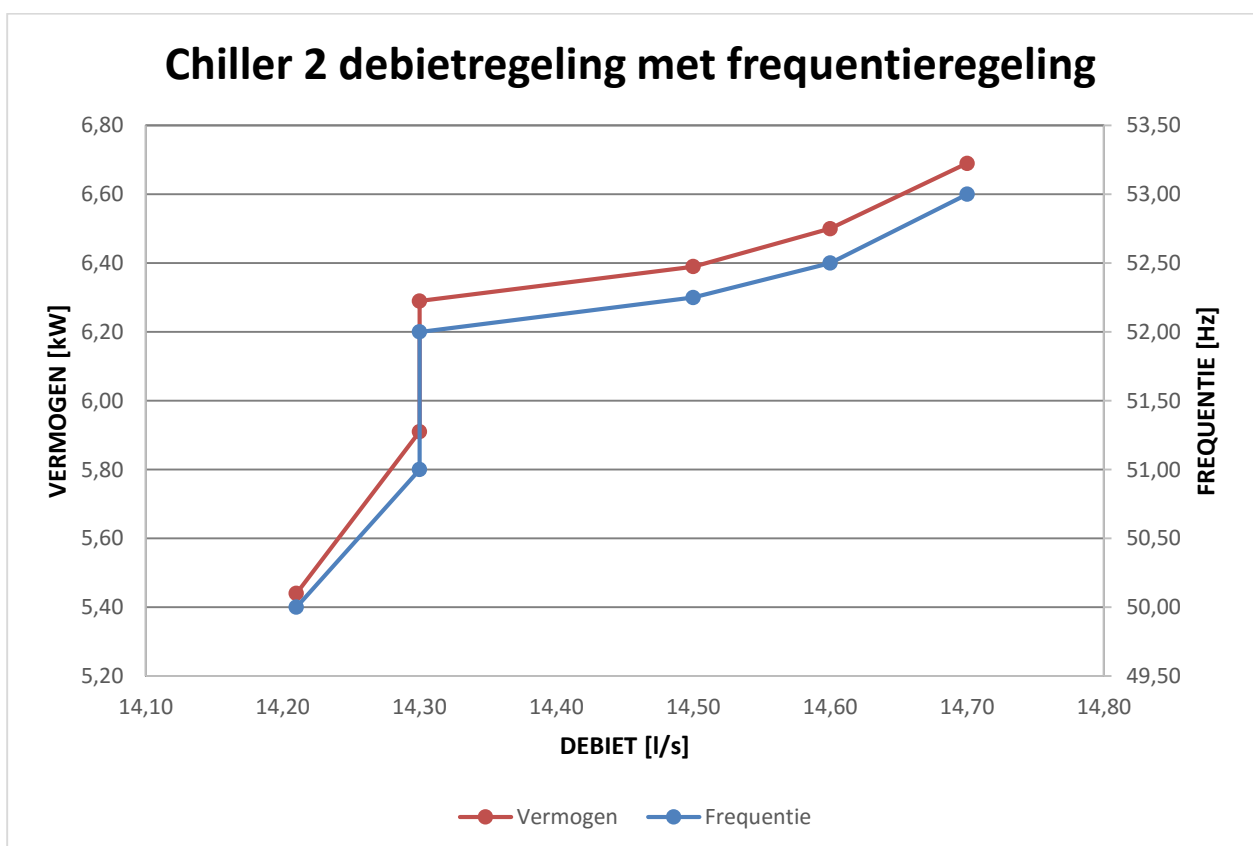
- het elektrisch vermogen,
- het debiet,
- de persdruk van de pomp.

In Tabel 6 staat de meetdata van chiller 2 voor een debietregeling met frequentieregeling.

Tabel 6: Meetdata chiller 2 debietregeling met frequentieregeling

Chiller 2 debietregeling met frequentieregeling				
Meting nummer	Vermogen [kW]	Frequentie [Hz]	Debiet [l/s]	Druk[bar]
1	5,44	50,00	14,21	1,5
2	5,91	51,00	14,30	1,6
3	6,29	52,00	14,30	1,6
4	6,39	52,25	14,50	1,6
5	6,50	52,50	14,60	1,6
6	6,69	53,00	14,70	1,6

De metingen tonen aan dat bij een verhoogde frequentie het debiet en de druk toenemen, wat bevestigd wordt door Figuur 18. De meetdata kan men gebruiken om een grafiek te plotten, waar men op de verticale as aan de linkerzijde het vermogen uitzet en aan de rechterzijde de instelling van de frequentieregelaar. Op de horizontale as zet men het debiet uit.



Figuur 19: Chiller 2 debietregeling met frequentieregeling

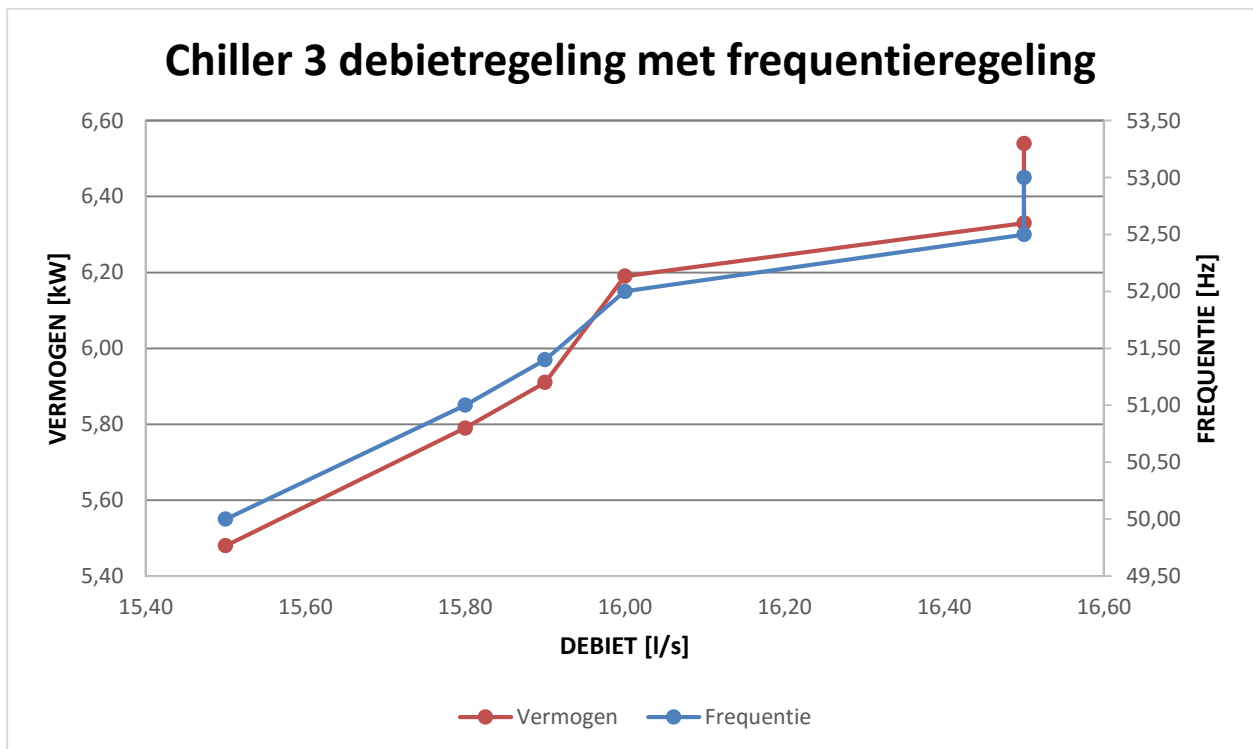
Uit de grafiek van Figuur 19 kan men afleiden dat het vermogen bij toenemende frequentie sterk toeneemt. Deze regeling levert slechts een beperkt additioneel debiet ten opzichte van het bijkomend gevraagde vermogen.

In Tabel 7 staat de meetdata van chiller 3 voor een debietregeling met frequentieregeling.

Tabel 7: Meetdata chiller 3 debietregeling met frequentieregeling

Chiller 3 debietregeling met frequentieregeling				
Meting nummer	Vermogen [kW]	Frequentie [Hz]	Debiet [l/s]	Druk[bar]
1	5,48	50,00	15,50	1,5
2	5,79	51,00	15,80	1,5
3	5,91	51,40	15,90	1,6
4	6,19	52,00	16,00	1,6
5	6,33	52,50	16,50	1,6
6	6,54	53,00	16,50	1,7

Vanuit de waarden uit bovenstaande tabel kan men de grafiek van Figuur 20 construeren.



Figuur 20: Chiller 3 debietregeling met frequentieregeling

Uit Figuur 20 kan men een conclusie trekken die analoog is aan deze van chiller 2. Op chiller 5 werd geen analoge meting uitgevoerd, omdat de vorige metingen al aantoonde welk effect een frequentieregelaar op het debiet heeft.

Controle verhoudingen grootheden

Wanneer men de formule van het vermogen in functie van het debiet uit paragraaf 3.4.6 toepast op de meetdata van de regeling met de frequentieregelaar van chiller 3, levert dit het volgende resultaat op:

Tabel 8: Verhoudingen frequentie en geleverd debiet

Chiller 3 debietregeling met frequentieregeling				
Meting nummer	Frequentie [Hz]	Debiet [l/s]	Verhouding frequentie	Verhouding debiet
1	50,00	15,50	1,000	1,000
2	51,00	15,80	1,020	1,019
3	51,40	15,90	1,028	1,026
4	52,00	16,00	1,040	1,032
5	52,50	16,50	1,050	1,065
6	53,00	16,50	1,060	1,065

Bovenstaande tabel toont duidelijk aan dat de waarden van de overeenkomstige verhoudingen tussen frequentie en toerental zeer goed aansluiten met elkaar.

Tabel 9: Verhoudingen vermogen en geleverd debiet

Chiller 3 debietregeling met frequentieregeling				
Meting nummer	Vermogen [kW]	Debiet [l/s]	Verhouding vermogen	(Verhouding debiet) ³
1	5,48	15,50	1,000	1,000
2	5,79	15,80	1,057	1,059
3	5,91	15,90	1,078	1,079
4	6,19	16,00	1,130	1,100
5	6,33	16,50	1,155	1,206
6	6,54	16,50	1,193	1,206

Analoog aan Tabel 8 ziet men dat de waarden van de overeenkomstige verhoudingen goed aansluiten met elkaar.

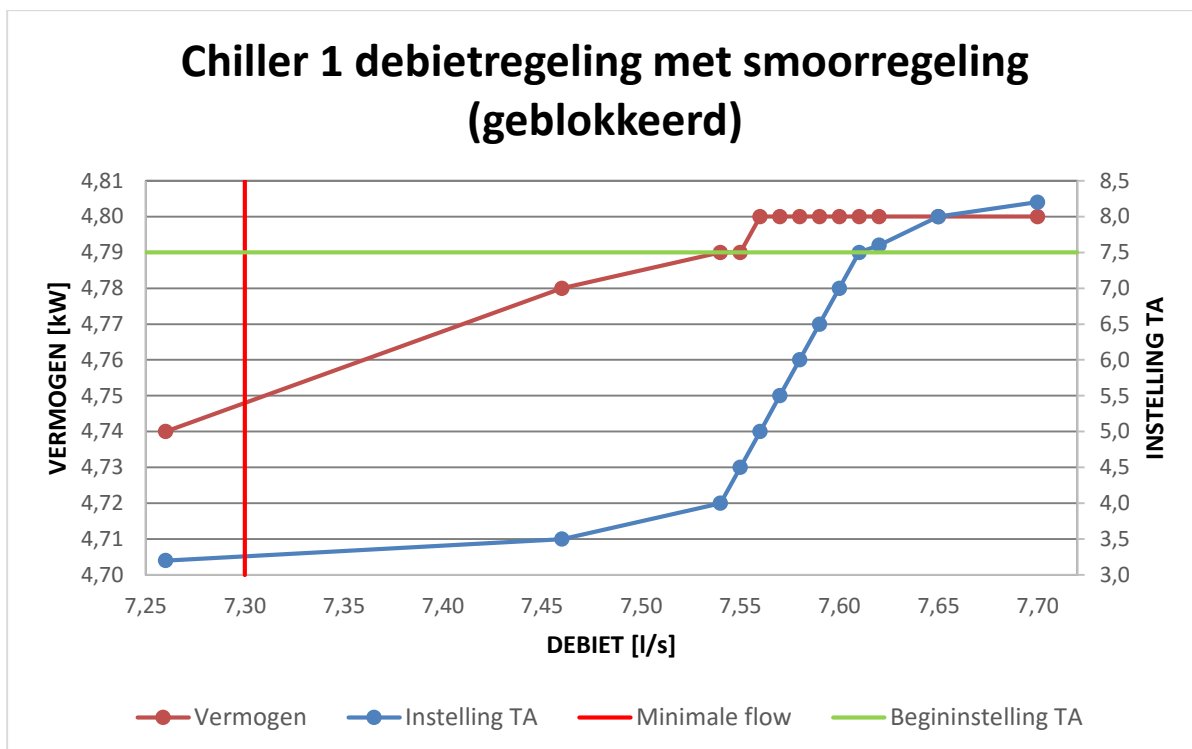
3.4.7 Opgemerkte onregelmatigheden

Bij de metingen van chiller 1 viel op dat het debiet opvallend laag en de druk opvallend hoog was. De metingen uit Tabel 10 bevestigen dit omdat een gesmoorde pomp minder vermogen vraagt. Deze meetdata wijst op een veel steilere leidingkarakteristiek. Trane 1 heeft echter de kortste leiding van de drie opgestelde koelmachines, deze machine zou dus de vlakste leidingkarakteristiek en bijgevolg het meeste debiet moeten hebben. De reden van het verschoven werkpunt lag in een restrictie in de leiding, die bleek te zitten bij de manometer in de toekomstige leiding van de koelmachine.

Tabel 10: Meetdata chiller 1 debietregeling met smoorregeling (geblokkeerd)

Chiller 1 debietregeling met smoorregeling (geblokkeerd)					Berekende drukval klep [bar]
Meting nummer	Vermogen [kW]	Instelling TA	Debiet [l/s]	Druk[bar]	
1	4,74	3,2	7,26	2,4	0,068
2	4,78	3,5	7,46	2,4	0,040
3	4,79	4,0	7,54	2,4	0,026
4	4,79	4,5	7,55	2,4	0,017
5	4,80	5,0	7,56	2,4	0,013
6	4,80	5,5	7,57	2,4	0,010
7	4,80	6,0	7,58	2,4	0,008
8	4,80	6,5	7,59	2,4	0,006
9	4,80	7,0	7,60	2,4	0,006
10	4,80	7,5	7,61	2,4	0,005
11	4,80	7,6	7,62	2,4	0,005
12	4,80	8,0	7,65	2,4	0,004
13	4,80	8,2	7,70	2,4	0,004

Vanuit de waarden uit bovenstaande tabel kan men de grafiek van Figuur 21 construeren.



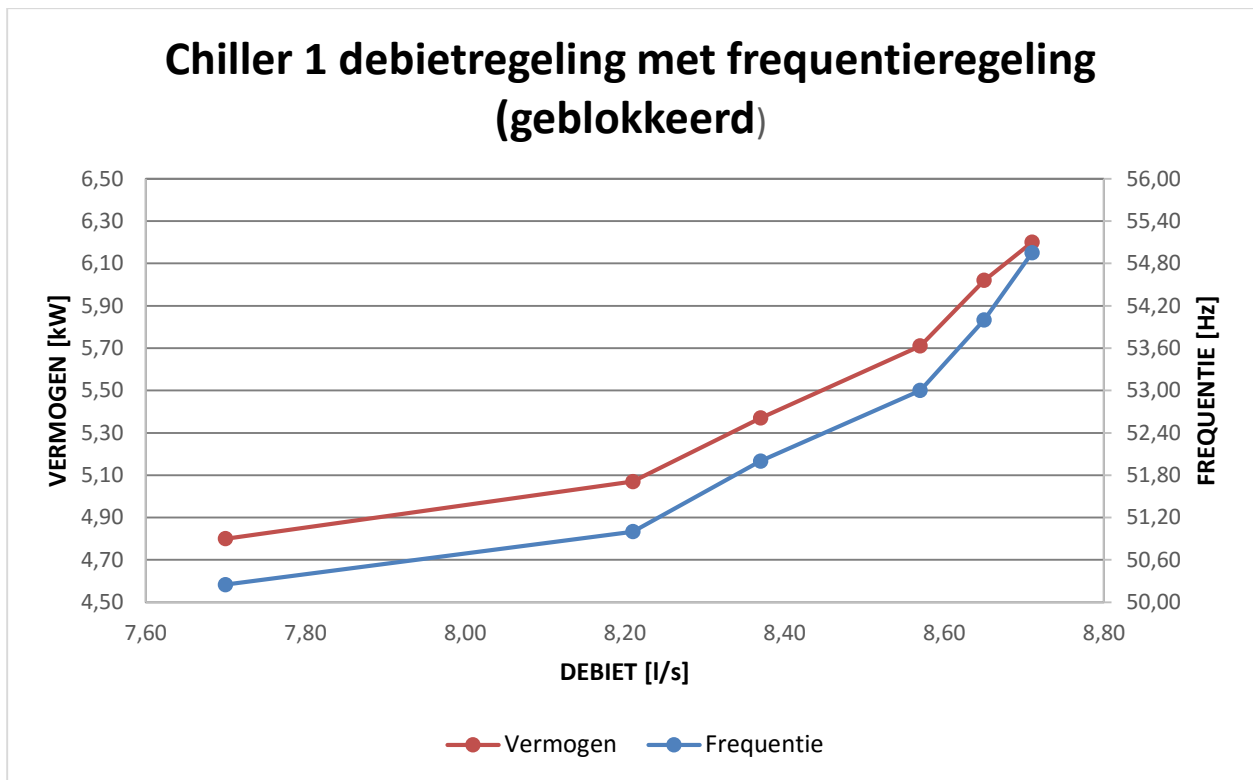
Figuur 21: Chiller 1 smoorregeling geblokkeerd

In Tabel 11 staat de meetdata van chiller 1 voor een debietregeling met frequentieregeling met een geblokkeerde leiding.

Tabel 11: Meetdata chiller 1 debietregeling met frequentieregeling (geblokkeerd)

Chiller 1 debietregeling met frequentieregeling (geblokkeerd)				
Meting nummer	Vermogen [kW]	Frequentie [Hz]	Debiet [l/s]	Druk[bar]
1	4,80	50,25	7,70	2,4
2	5,07	51,00	8,21	2,2
3	5,37	52,00	8,37	2,2
4	5,71	53,00	8,57	2,1
5	6,02	54,00	8,65	1,9
10	6,20	54,95	8,71	1,7

Vanuit de waarden uit bovenstaande tabel kan men de grafiek van Figuur 22 construeren.



Figuur 22: Chiller 1 frequentieregeling geblokkeerd

Ook uit deze meetdata kan men besluiten dat het geleverde debiet ver onder de verwachte waarden ligt.

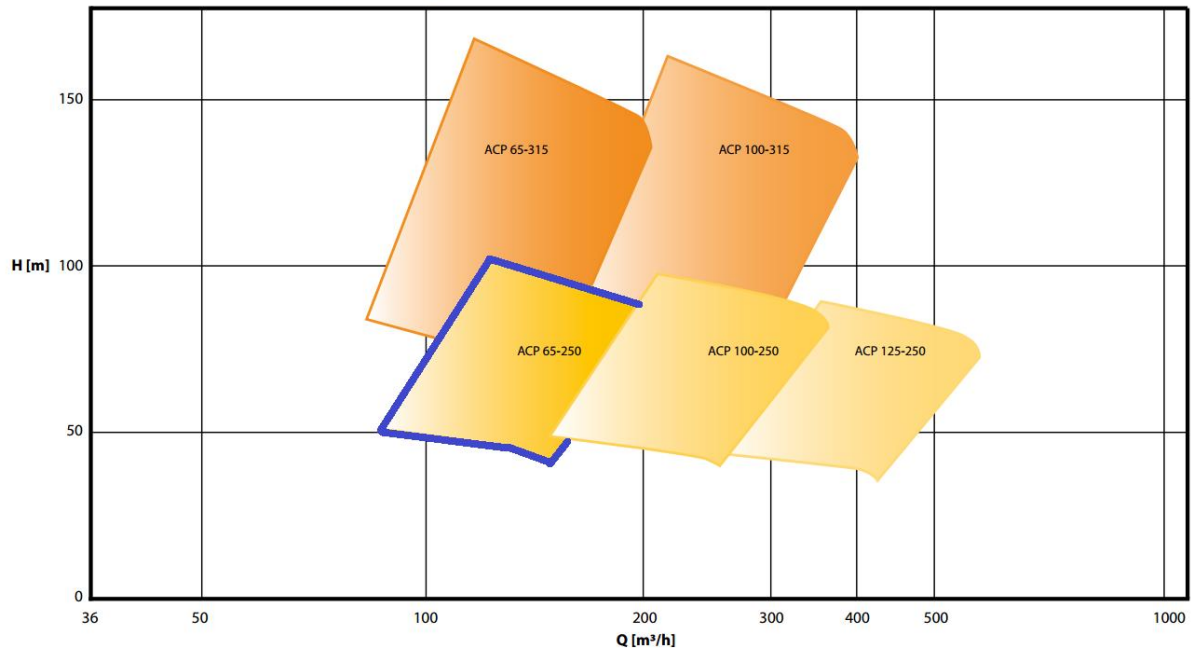
3.5 Conclusie metingen

Door het verminderde debiet doorheen chiller 1 te constateren en dit op te lossen is er een wezenlijke verbetering gerealiseerd. Voornamelijk bij hogere belastingen gaat deze verbetering tot uiting komen omdat de machine dan geen onnodig hoge ΔT heeft.

Men kan aan de hand van de metingen concluderen dat het debiet doorheen de machines verhoogd is door de aangepaste klepstanden. Bij een volledig geopende smoorklep is de drukval minimaal en het debiet dus maximaal. Het debiet ligt volgens Tabel 1 tussen de vereiste waarden, maar mag echter nog toenemen om een maximaal koeffect te verkrijgen. Uit de testopstelling met de frequentieregelaar blijkt echter dat een groot supplementair vermogen vereist is om dit debiet te kunnen leveren. Het verhoogde debiet door toepassing van een grotere pomp of verhoogde frequentie gaat niet renderen, vermits de ΔT over de machines niet te hoog is. De huidige opstelling, met een volledig geopende smoorklep zonder frequentieregeling, is in dit geval de aangewezen opstelling.

De pompfabrikant stelt tevens een pompkarakteristiek bij een aandrijving van 3000 toeren per minuut ter beschikking, die getoond is in Figuur 23. De geïnstalleerde pomp is met blauw omlijnd. Wanneer we deze karakteristiek vergelijken met deze van Figuur 9, valt op dat zowel de opvoerhoogte als het debiet ongeveer verdubbelen, wat de formules uit paragraaf 3.4.6 bevestigen.

Characteristic curves 3,000 rpm



Figuur 23: Datasheet pompen 3000 rpm [15]

Om een optimale flow te bekomen, moeten pompen met een frequentiesturing geïnstalleerd worden. Meer info over deze optimalisatie vindt men in paragraaf 6.3.

De huidige chillers zijn de derde generatie die op de plant te Tessenderlo staan. Niet alleen de machines, maar ook hun locatie is in de loop van de tijd gewijzigd. Voorheen stonden de chillers op het dak boven de buffertank waardoor de leidingen ook korter waren en minder bochten nodig hadden. De pompinstallatie is echter niet aangepast, de vervangende koelmachines werden er gewoon op aangesloten. Vermits het debiet door de koelmachines binnen de onder- en bovengrens ligt, is het aangewezen de smoorkleppen helemaal open te draaien. Het toepassen van frequentiesturingen op de huidige pompen is niet zinvol.

4 Energiestromen

4.1.1 Overzicht koelmachines

De koelmachines die instaan voor het koelwater van het 8°C-circuit staan schematisch afgebeeld in Figuur 4. Elke koelmachine bestaat uit twee volledig gescheiden koelcircuits die met het koelmiddel R134a werken. Deze circuits kunnen hun koelcapaciteit, waarvan het nominale koelvermogen is weergegeven in Tabel 12, traploos regelen door een variabele ontlaadklep [11]. De output, het koelvermogen van de machines, is echter afhankelijk van de buitentemperatuur en van de gevraagde uitgaande watertemperatuur.

Tabel 12: Overzicht koelmachines

Fabrikant	Type	Koelvermogen	Aantal machines
Trane	RTAD100 High Efficiency	350 kW	3
Daikin	EWAD400D-XS HE	399 kW	1
Totaal		1449 kW	4

4.1.2 Prestaties

In de Excelfile warmtebalans in bijlage B staat een berekeningsmethode voor het koelvermogen die rekening houdt met de buitentemperatuur. Bijkomend kan deze file het theoretisch effectieve koelvermogen, met inbegrip van defecten, berekenen. De uitgaande watertemperatuur in functie van de buitentemperatuur is voor de machines van Trane (Figuur 24) voorgesteld in Tabel 10. De gegevens van de chiller van Daikin (Figuur 25) staan in Tabel 14: Prestaties Daikin.

Tabel 13: Prestaties Trane [11]

Trane								
Uitgaande watertemperatuur [°C]	Buitentemperatuur [°C]		25,0	30,0	35,0	40,0	43,0	46,0
	5	CC	kW	374,8	353,4	331,6	308,7	/
PI		kW	84,7	91,1	98,4	106,5	/	117,6
EER		/	4,4	3,9	3,4	2,9	/	2,4
7	CC	kW	399,8	377,3	354,1	330,2	/	300,6
	PI	kW	87,8	94,3	101,7	110,0	/	121,2
	EER	/	4,6	4,0	3,5	3,0	/	2,5
9	CC	kW	425,8	401,9	377,6	352,3	/	321,4
	PI	kW	91,1	97,6	105,1	113,5	/	124,9
	EER	/	4,7	4,1	3,6	3,1	/	2,6
11	CC	kW	452,5	427,6	401,9	375,5	/	342,8
	PI	kW	94,5	101,1	108,7	117,2	/	128,7
	EER	/	4,8	4,2	3,7	3,2	/	2,7
13	CC	kW	479,9	453,6	426,5	399,1	/	356,5
	PI	kW	98,0	104,7	112,4	121,0	/	128,5
	EER	/	4,9	4,3	3,8	3,3	/	2,8
15	CC	kW	/	/	/	/	/	/
	PI	kW	/	/	/	/	/	/
	EER	/	/	/	/	/	/	/

Deze waarden zijn gegeven voor een ΔT van 6°C.



Figuur 24: Koelmachine Trane [20]

Tabel 14: Prestaties Daikin [12]

Daikin									
Uitgaande watertemperatuur [°C]	Buitentemperatuur [°C]		25,0	30,0	35,0	40,0	43,0	46,0	
	5	CC	kW	395,0	387,0	378,0	366,0	358,0	350,0
		PI	kW	105,0	115,0	126,0	138,0	146,0	153,0
		EER	/	3,8	3,4	3,0	2,7	2,5	2,3
	7	CC	kW	416,0	408,0	399,0	388,0	380,0	371,0
		PI	kW	107,0	118,0	129,0	141,0	149,0	156,0
		EER	/	3,9	3,5	3,1	2,8	2,6	2,4
	9	CC	kW	437,0	429,0	420,0	409,0	401,0	393,0
		PI	kW	110,0	120,0	132,0	144,0	152,0	160,0
		EER	/	4,0	3,6	3,2	2,8	2,6	2,5
11	CC	kW	459,0	451,0	442,0	431,0	423,0	414,0	
	PI	kW	113,0	123,0	135,0	147,0	155,0	163,0	
	EER	/	4,1	3,7	3,3	2,9	2,7	2,5	
13	CC	kW	481,0	474,0	464,0	453,0	445,0	436,0	
	PI	kW	115,0	126,0	138,0	150,0	158,0	166,0	
	EER	/	4,2	3,8	3,4	3,0	2,8	2,6	
15	CC	kW	504,0	496,0	487,0	475,0	467,0	459,0	
	PI	kW	118,0	129,0	141,0	153,0	161,0	170,0	
	EER	/	4,3	3,8	3,5	3,1	2,9	2,7	

Deze waarden zijn gegeven voor een ΔT van 5°C.



Figuur 25: Koelmachine Daikin [12]

4.2 EER metingen

4.2.1 *Situering*

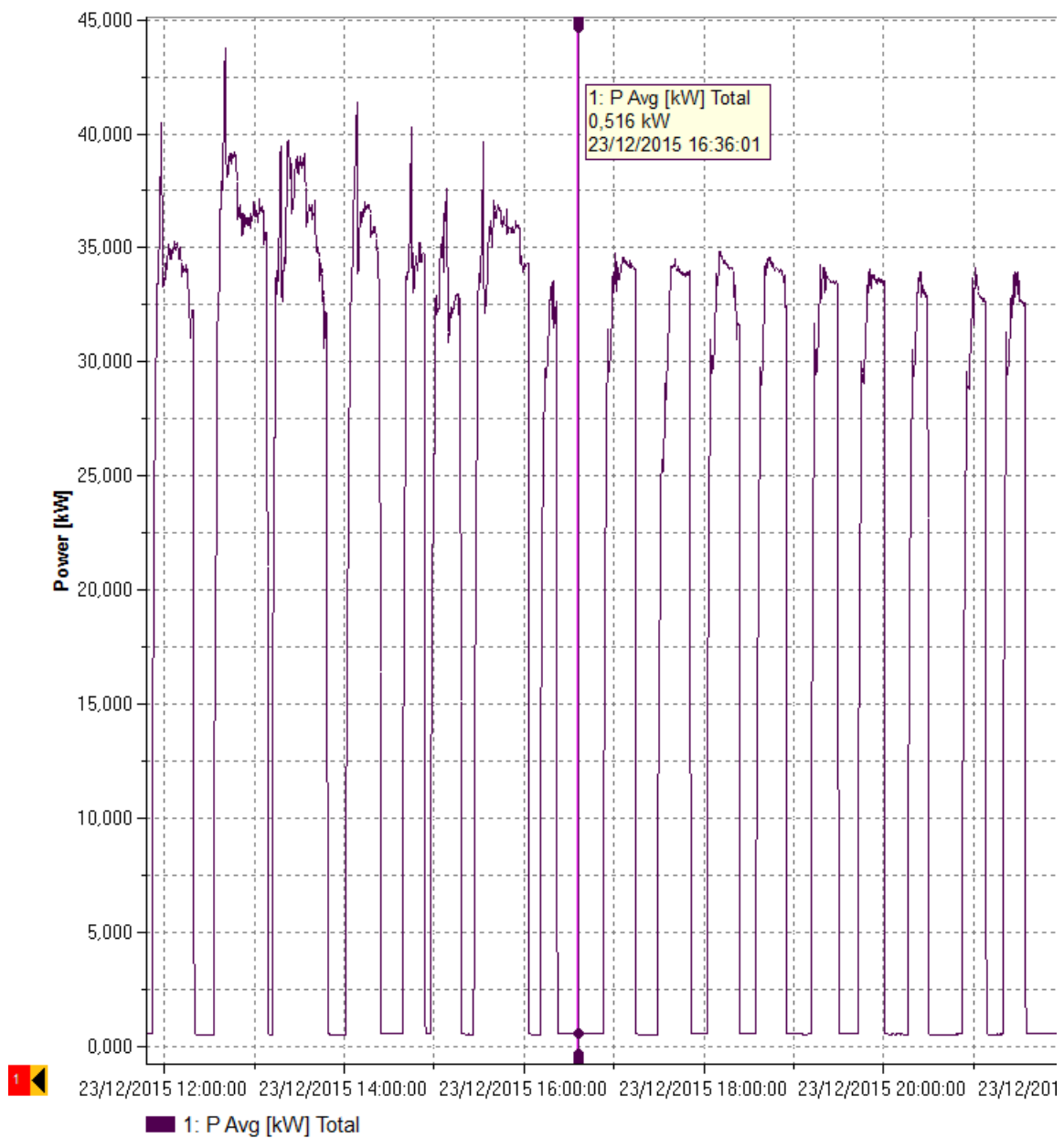
Wanneer het debiet en het gerealiseerde temperatuurverschil gekend zijn, kan de Energy Efficiency Ratio (EER) van de koelmachine berekend worden. De EER is de verhouding van het geleverde koelvermogen ten opzichte van het opgenomen elektrische vermogen.

Met een energy-analyzer meet men het elektrisch opgenomen vermogen van de machine. Via de display op de koelmachine kan men de in- en uitgaande watertemperatuur aflezen, om zo de EER te berekenen. Het koelvermogen is afhankelijk van het debiet door de chiller en van het temperatuurverschil dat de verdamper realiseert.

Om langdurig loggen toe te laten werd in elke Trane een transformator, bijhorende beveiligingen en een stopcontact geïnstalleerd.

4.2.2 *Opstart van een koelmachine*

Het grootste verschil tussen de verbeterde aansturing van Figuur 34 en de oorspronkelijke aansturing van Figuur 32 en Figuur 33 is dat de machines niet meer uitgeschakeld worden maar op deellast werken. Uit metingen met een Fluke 1736, getoond in Figuur 26, blijkt dat koelmachine 3 tijdens een periode van 10 uur 17 keer in- en uitschakelt. Dit herhaaldelijk opstarten zorgt echter voor onnodige verliezen zoals verderop beschreven in deze paragraaf. Tevens kan men aflezen dat de nullaststroom van de machine 516 Watt bedraagt. De compressoren starten niet onmiddellijk bij het verkrijgen van een vrijgavesignaal vermits de machine telkens een opstartprocedure doorloopt, wat ertoe leidt dat deze regeling een dode tijd bevat.



Figuur 26: Meting aantal starts Trane 3

Om de oorspronkelijke toestand te vergelijken met de huidige, zijn metingen uitgevoerd die de opstart in kaart brengen. Per interval van 10 seconden werd de elektrische energie en de in- en uitgaande temperatuur opgemeten. Uit deze data kan men vervolgens de koelenergie en bijhorende EER berekenen.

Verklaring kolommen tabel energielogging

- Elektrische energie
 - Wh: de elektrische powerlogger logt het vermogen in Wh,
 - Joule: de omgezette meetwaarde van Wh naar de SI-eenheid Joule.

$$1 \text{ Wh} = 3600 \text{ Joule}$$

De elektrische energie is de integraal naar de tijd van het vermogen:

$$E_{\text{elektrisch}} = \int P \cdot dt$$

Er werden “n”-aantal waarden opgemeten, telkens met een tijdsinterval van 10 seconden. De totale thermische energie is dus de sommatie van de koelenergie per meetwaarde.

$$E_{\text{elektrisch}} = \sum_{i=0}^{i=n-1} \int_{10 \cdot i}^{10 \cdot (i+1)} P \cdot dt$$

- Temperaturen
 - Ingaande: inkomende koelwatertemperatuur van de verdamper,
 - Uitgaande: uitgaande koelwatertemperatuur van de verdamper.

- Koelenergie

De warmtecapaciteit bij constante druk (C_p) is een constante van het koelwater. Door de debietmetingen, zoals reeds beschreven in hoofdstuk 3, is de flow doorheen de machine tevens een bekende parameter. De meetopstelling werd toegepast op chiller 3, waarvan de waarden zijn weergegeven in Tabel 15.

Tabel 15: Algemene gegevens EER-meting opstart

Algemene gegevens	
C_p water [J/kgK]	4202
\dot{m} [kg/s]	15,50

Uit de formule van paragraaf 3.1 weet men dat $\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$ [8]

De thermische energie is de integraal naar de tijd van het koelvermogen:

$$E_{\text{thermisch}} = \int \dot{Q} \cdot dt$$

Er werden “n”-aantal waarden opgemeten, telkens met een tijdsinterval van 10 seconden. De totale thermische energie is dus de sommatie van de koelenergie per meetwaarde.

$$E_{\text{thermisch}} = \sum_{i=0}^{i=n-1} \int_{10 \cdot i}^{10 \cdot (i+1)} \dot{Q} \cdot dt$$

- EER: Deze is per definitie gelijk aan

$$EER[/] = \frac{E_{thermisch} [J]}{E_{elektrisch} [J]}$$

- Gemiddelde EER: Deze factor zorgt ervoor dat de EER gewogen wordt door middel van het opgenomen elektrisch vermogen, zodat de prestaties bij grotere vermogens meer invloed hebben. Deze gemiddelde EER is per definitie:

$$\text{Gemiddelde EER}[/] = \frac{\sum_{i=0}^{i=n-1} \int P \cdot dt \cdot EER_{momentaan} [J]}{\int P \cdot dt [J]}$$

Toegepast op de meting geeft dit:

$$\text{Gemiddelde EER}[/] = \frac{\sum_{i=0}^{i=n-1} \int_{10 \cdot i}^{10 \cdot (i+1)} P \cdot dt \cdot EER_{momentaan} [J]}{\int_0^{t_e} P \cdot dt [J]}$$

Het tijdsverschil tussen de metingen bedraagt steeds 10 seconden, terwijl het tijdsverschil tussen 0 en t_e 15 minuten bedraagt.

Meetresultaten opstart Trane 3

Tabel 16: Meetdata van opstart Trane 3

Tijdsinterval [s]	Opstart Trane 3						
10	Tijd	Elektrische energie [Wh]	Elektrische energie [J]	T _{in} [°C]	T _{uit} [°C]	Koelenergie [J]	Momentane EER
	0:00:00	/	/	/	/	/	/
	0:00:10	40,37	145329,84	7,6	7,6	0	0,00
	0:00:20	44,65	160730,64	7,5	7,2	195393	1,22
	0:00:30	48,59	174919,32	7,4	7,1	195393	1,12
	0:00:40	52,28	188219,52	7,3	7,0	195393	1,04
	0:00:50	55,41	199491,84	7,3	7,0	195393	0,98
	0:01:00	58,30	209897,64	7,3	6,9	260524	1,24
	0:01:10	60,91	219259,44	7,2	6,9	195393	0,89
	0:01:20	63,18	227448,72	7,2	6,9	195393	0,86
	0:01:30	65,28	234997,56	7,3	6,9	260524	1,11
	0:01:40	66,28	238614,12	7,3	6,9	260524	1,09
	0:01:50	66,67	240013,80	7,3	6,9	260524	1,09
	0:02:00	66,75	240283,08	7,3	7,0	195393	0,81
	0:02:10	66,91	240886,08	7,3	7,0	195393	0,81
	0:02:20	67,09	241509,24	7,3	7,0	195393	0,81
	0:02:30	73,12	263245,32	7,3	7,0	195393	0,74
	0:02:40	87,37	314547,48	7,4	7,0	260524	0,83
	0:02:50	90,19	324667,08	7,3	6,9	260524	0,80
	0:03:00	90,82	326966,76	7,3	6,8	325655	1,00
	0:03:10	90,36	325300,68	7,3	6,7	390786	1,20

0:03:20	89,63	322652,52	7,3	6,5	521048	1,61
0:03:30	90,65	326324,52	7,2	6,5	455917	1,40
0:03:40	91,64	329895,00	7,2	6,4	521048	1,58
0:03:50	92,69	333701,28	7,2	6,3	586179	1,76
0:04:00	93,12	335242,44	7,1	6,3	521048	1,55
0:04:10	94,33	339579,72	7,1	6,2	586179	1,73
0:04:20	95,41	343458,00	7,1	6,2	586179	1,71
0:04:30	97,49	350974,80	7,1	6,2	586179	1,67
0:04:40	98,23	353627,28	7,1	6,1	651310	1,84
0:04:50	99,91	359668,08	7,1	6,1	651310	1,81
0:05:00	101,57	365648,40	7,2	6,0	781572	2,14
0:05:10	103,64	373086,00	7,1	6,0	716441	1,92
0:05:20	105,72	380574,00	7,1	6,0	716441	1,88
0:05:30	107,24	386060,40	7,1	6,0	716441	1,86
0:05:40	107,96	388641,60	7,0	6,0	651310	1,68
0:05:50	109,51	394236,00	7,0	5,9	716441	1,82
0:06:00	109,10	392749,20	7,3	6,1	781572	1,99
0:06:10	99,63	358655,76	7,5	6,2	846703	2,36
0:06:20	99,60	358546,32	7,4	6,3	716441	2,00
0:06:30	101,60	365745,60	7,3	6,3	651310	1,78
0:06:40	101,35	364842,00	7,2	6,1	716441	1,96
0:06:50	94,44	339978,96	7,2	5,9	846703	2,49
0:07:00	89,26	321352,92	7,2	5,7	976965	3,04
0:07:10	88,18	317465,28	7,1	5,7	911834	2,87
0:07:20	86,75	312311,16	7,1	5,7	911834	2,92
0:07:30	88,49	318564,36	7,0	5,7	846703	2,66
0:07:40	88,69	319290,48	7,1	5,7	911834	2,86
0:07:50	89,13	320877,00	7,1	5,7	911834	2,84
0:08:00	89,78	323222,40	7,1	5,7	911834	2,82
0:08:10	90,65	326345,04	7,1	5,8	846703	2,59
0:08:20	91,34	328817,88	7,1	5,8	846703	2,57
0:08:30	91,84	330640,92	7,1	5,8	846703	2,56
0:08:40	92,11	331597,08	7,1	5,7	911834	2,75
0:08:50	92,43	332745,48	7,1	5,7	911834	2,74
0:09:00	93,04	334955,88	7,2	5,8	911834	2,72
0:09:10	93,62	337047,12	7,1	5,8	846703	2,51
0:09:20	94,34	339618,96	7,1	5,8	846703	2,49
0:09:30	94,97	341880,84	7,2	5,8	911834	2,67
0:09:40	95,91	345263,76	7,1	5,8	846703	2,45
0:09:50	96,34	346814,64	7,1	5,7	911834	2,63
0:10:00	96,56	347630,04	7,2	5,7	976965	2,81
0:10:10	97,22	350006,76	7,1	5,7	911834	2,61
0:10:20	98,64	355096,44	7,1	5,7	911834	2,57
0:10:30	99,74	359065,08	7,3	5,7	1042096	2,90
0:10:40	102,23	368031,60	7,3	5,9	911834	2,48
0:10:50	104,54	376336,80	7,3	5,9	911834	2,42
0:11:00	105,60	380170,80	7,4	5,9	976965	2,57

0:11:10	106,69	384084,00	7,3	5,9	911834	2,37
0:11:20	107,78	388004,40	7,3	5,9	911834	2,35
0:11:30	108,18	389430,00	7,3	5,8	976965	2,51
0:11:40	107,73	387831,60	7,3	5,7	1042096	2,69
0:11:50	107,29	386258,40	7,3	5,7	1042096	2,70
0:12:00	107,41	386658,00	7,3	5,7	1042096	2,70
0:12:10	107,30	386265,60	7,2	5,7	976965	2,53
0:12:20	104,27	375379,20	7,1	5,6	976965	2,60
0:12:30	103,55	372787,20	7,1	5,6	976965	2,62
0:12:40	103,32	371941,20	7,0	5,5	976965	2,63
0:12:50	102,97	370695,60	7,1	5,6	976965	2,64
0:13:00	102,85	370252,80	7,0	5,6	911834	2,46
0:13:10	102,74	369874,80	7,0	5,5	976965	2,64
0:13:20	102,80	370087,20	7,0	5,5	976965	2,64
0:13:30	102,52	369082,80	7,0	5,5	976965	2,65
0:13:40	102,99	370778,40	7,0	5,6	911834	2,46
0:13:50	103,32	371966,40	7,0	5,6	911834	2,45
0:14:00	103,48	372535,20	6,9	5,5	911834	2,45
0:14:10	102,92	370526,40	7,0	5,5	976965	2,64
0:14:20	102,76	369936,00	7,0	5,5	976965	2,64
0:14:30	102,84	370227,60	7,0	5,6	911834	2,46
0:14:40	102,76	369921,60	7,0	5,6	911834	2,46
0:14:50	102,81	370126,80	7,0	5,5	976965	2,64
0:15:00	102,50	368992,80	7,0	5,5	976965	2,65

Som [MJ]	29,86	Gemiddelde EER [/]	2,1617
----------	-------	--------------------	--------

Uit de metingen van Tabel 16 blijkt dat het opstartverschijnsel na vijftien minuten volledig verdwenen is. De meting toont aan dat geen van de gemeten parameters bij de opstart een constante waarde aanneemt. De totale opgenomen energie van 29,86 MJ en de gemiddelde EER kan men als referentie gebruiken voor een kwantitatieve vergelijking met de regimetoestand.

Meetresultaten regimetoestand Trane 3

Dezelfde meetopstelling werd gehanteerd bij het opmeten van de regimetoestand van de koelmachine. Bij deze data, weergegeven in Tabel 17, ziet men duidelijk dat alle gemeten parameters veel stabielere waarden aannemen. Tevens valt op dat het totale energieverbruik bij deze meting hoger is. Dit is echter voordelig omdat de gemiddelde EER een hogere waarde aanneemt. De chiller produceert relatief gezien meer koude en heeft een beter rendement in deze situatie. De opstartprocedure zorgt dus voor een stijgend energieverbruik.

Tabel 17: Meetdata regimetoestand Trane 3

Tijdsinterval [s]	Regimetoestand Trane 3					
10						
Tijd	Elektrische energie [Wh]	Elektrische energie [J]	T _{in} [°C]	T _{uit} [°C]	Koelenergie [J]	Momentane EER
0:00:00	/	/	/	/	/	/
0:00:10	104,63	376678,80	7,0	5,5	976965,00	2,59
0:00:20	104,36	375703,20	7,0	5,5	976965,00	2,60
0:00:30	103,95	374220,00	7,0	5,5	976965,00	2,61
0:00:40	104,15	374922,00	7,0	5,5	976965,00	2,61
0:00:50	104,15	374950,80	7,0	5,5	976965,00	2,61
0:01:00	106,14	382107,60	7,0	5,5	976965,00	2,56
0:01:10	104,70	376902,00	7,0	5,5	976965,00	2,59
0:01:20	102,19	367894,80	7,0	5,5	976965,00	2,66
0:01:30	103,92	374104,80	7,0	5,5	976965,00	2,61
0:01:40	103,24	371649,60	7,0	5,5	976965,00	2,63
0:01:50	102,96	370656,00	7,0	5,5	976965,00	2,64
0:02:00	102,86	370310,40	7,0	5,5	976965,00	2,64
0:02:10	105,10	378360,00	7,0	5,5	976965,00	2,58
0:02:20	103,04	370929,60	7,0	5,5	976965,00	2,63
0:02:30	103,13	371271,60	7,0	5,5	976965,00	2,63
0:02:40	101,21	364366,80	7,0	5,5	976965,00	2,68
0:02:50	103,13	371275,20	7,0	5,5	976965,00	2,63
0:03:00	103,41	372265,20	7,0	5,5	976965,00	2,62
0:03:10	103,21	371541,60	7,0	5,5	976965,00	2,63
0:03:20	103,33	371973,60	7,0	5,5	976965,00	2,63
0:03:30	103,27	371775,60	7,0	5,5	976965,00	2,63
0:03:40	103,41	372261,60	7,0	5,5	976965,00	2,62
0:03:50	103,21	371559,60	7,0	5,5	976965,00	2,63
0:04:00	104,29	375444,00	7,0	5,5	976965,00	2,60
0:04:10	105,11	378378,00	7,0	5,5	976965,00	2,58
0:04:20	106,31	382705,20	7,0	5,5	976965,00	2,55
0:04:30	107,78	388018,80	7,0	5,5	976965,00	2,52
0:04:40	108,40	390236,40	7,0	5,5	976965,00	2,50
0:04:50	109,21	393166,80	7,0	5,5	976965,00	2,48
0:05:00	109,73	395042,40	7,0	5,5	976965,00	2,47
0:05:10	110,23	396820,80	7,0	5,5	976965,00	2,46

0:05:20	110,25	396882,00	7,0	5,5	976965,00	2,46
0:05:30	110,41	397476,00	7,0	5,5	976965,00	2,46
0:05:40	109,35	393674,40	7,0	5,5	976965,00	2,48
0:05:50	108,74	391449,60	7,0	5,5	976965,00	2,50
0:06:00	108,09	389109,60	7,0	5,5	976965,00	2,51
0:06:10	107,97	388706,40	7,0	5,5	976965,00	2,51
0:06:20	107,70	387720,00	7,0	5,5	976965,00	2,52
0:06:30	108,04	388958,40	7,0	5,5	976965,00	2,51
0:06:40	108,80	391683,60	7,0	5,5	976965,00	2,49
0:06:50	108,22	389574,00	7,0	5,5	976965,00	2,51
0:07:00	107,73	387842,40	7,0	5,5	976965,00	2,52
0:07:10	107,65	387550,80	7,0	5,5	976965,00	2,52
0:07:20	107,44	386773,20	7,0	5,5	976965,00	2,53
0:07:30	107,53	387100,80	7,0	5,5	976965,00	2,52
0:07:40	107,74	387860,40	7,0	5,5	976965,00	2,52
0:07:50	107,94	388598,40	7,0	5,5	976965,00	2,51
0:08:00	107,53	387100,80	7,0	5,5	976965,00	2,52
0:08:10	107,52	387075,60	7,0	5,5	976965,00	2,52
0:08:20	107,28	386197,20	7,0	5,5	976965,00	2,53
0:08:30	107,60	387367,20	7,0	5,5	976965,00	2,52
0:08:40	107,43	386740,80	7,0	5,5	976965,00	2,53
0:08:50	107,63	387453,60	7,0	5,5	976965,00	2,52
0:09:00	107,53	387108,00	7,0	5,5	976965,00	2,52
0:09:10	107,75	387914,40	7,0	5,5	976965,00	2,52
0:09:20	107,52	387064,80	7,0	5,5	976965,00	2,52
0:09:30	107,52	387075,60	7,0	5,5	976965,00	2,52
0:09:40	106,99	385174,80	7,0	5,5	976965,00	2,54
0:09:50	107,22	386002,80	7,0	5,5	976965,00	2,53
0:10:00	107,20	385934,40	7,0	5,5	976965,00	2,53
0:10:10	107,29	386226,00	7,0	5,5	976965,00	2,53
0:10:20	107,16	385790,40	7,0	5,5	976965,00	2,53
0:10:30	107,86	388288,80	7,0	5,5	976965,00	2,52
0:10:40	107,27	386168,40	7,0	5,5	976965,00	2,53
0:10:50	107,10	385563,60	7,0	5,5	976965,00	2,53
0:11:00	106,73	384210,00	7,0	5,5	976965,00	2,54
0:11:10	102,60	369360,00	7,0	5,5	976965,00	2,65
0:11:20	98,43	354337,92	7,0	5,5	976965,00	2,76
0:11:30	98,31	353919,96	7,0	5,5	976965,00	2,76
0:11:40	98,68	355255,92	7,0	5,5	976965,00	2,75
0:11:50	98,94	356195,52	7,0	5,5	976965,00	2,74
0:12:00	99,38	357782,76	7,0	5,5	976965,00	2,73
0:12:10	100,09	360338,40	7,0	5,5	976965,00	2,71
0:12:20	101,19	364280,40	7,0	5,5	976965,00	2,68
0:12:30	101,26	364539,60	7,0	5,5	976965,00	2,68
0:12:40	101,02	363686,40	7,0	5,5	976965,00	2,69
0:12:50	101,14	364104,00	7,0	5,5	976965,00	2,68
0:13:00	101,31	364698,00	7,0	5,5	976965,00	2,68

0:13:10	100,95	363430,80	7,0	5,5	976965,00	2,69
0:13:20	101,02	363668,40	7,0	5,5	976965,00	2,69
0:13:30	101,97	367092,00	7,0	5,5	976965,00	2,66
0:13:40	103,21	371559,60	7,0	5,5	976965,00	2,63
0:13:50	103,68	373251,60	7,0	5,5	976965,00	2,62
0:14:00	103,95	374216,40	7,0	5,5	976965,00	2,61
0:14:10	103,77	373554,00	7,0	5,5	976965,00	2,62
0:14:20	103,04	370944,00	7,0	5,5	976965,00	2,63
0:14:30	102,23	368031,60	7,0	5,5	976965,00	2,65
0:14:40	102,08	367498,80	7,0	5,5	976965,00	2,66
0:14:50	102,71	369756,00	7,0	5,5	976965,00	2,64
0:15:00	98,34	354035,16	7,0	5,5	976965,00	2,76

Som [MJ]	34,01	Gemiddelde EER [/]	2,5854
----------	-------	--------------------	--------

Verschil in gemiddelde EER 0,4238

Verschil opstartfrequentie en bijhorend energieverbruik

Uit de meetdata van Tabel 17 kan men berekenen dat het gemiddelde vermogen over vijftien minuten gezien 33.176 W is.

$$P_{gem\ regime} = 33.176\ W$$

$$W_{extra\ door\ lagere\ EER} = \int P_{gem\ regime} \cdot \Delta\ gemiddelde\ EER \cdot dt = 4,89\ MJ$$

$$Kostprijs\ opstart = 4,89\ MJ \cdot \frac{\text{€}100}{MWh} = \text{€}0,14$$

Om de kost van het totaal aantal starts te berekenen, maakt men gebruik van de data uit Tabel 18.

Tabel 18: Aantal starts per machine

Machine	Aantal starts compressor 1	Aantal starts compressor 2
Trane 1	10.041	10.342
• Trane 2 totaal	• ~30.000	• ~30.000
• Trane 2 nieuwe printplaat	• 205	• 5
• Trane 2 oude printplaat	• ~30.000	• ~30.000
Trane 3	33.670	33.673

De machines van Trane hebben een gezamenlijk ~147.000 starts gemaakt op tien jaar. Er wordt geschat dat 100.000 starts afkomstig zijn van de oorspronkelijke volgordeschakeling. Hieruit kan men besluiten dat dit jaarlijks een besparing van $\frac{102000\ starts}{10\ jaar} \cdot kostprijs\ start \cong \text{€}1.400$ oplevert.

Om een accuratere waarde te verkrijgen moet men op een later tijdstip het aantal starts van de machines opnieuw aflezen, om deze dan te vergelijken met de waarden uit Tabel 18 van 19 mei 2016.

4.2.3 *Conclusie*

Uit de metingen en de daarop volgende berekeningen ziet men duidelijk dat de gemeten parameters bij de aangepaste sturing veel stabielere waarden aannemen. Tevens valt op dat het totale energieverbruik bij de meting in regimetoestand hoger is dan bij de opstart van de machine. Dit is echter voordelig omdat de gemiddelde EER een hogere waarde aanneemt zodat de chiller relatief gezien meer koude produceert en een beter rendement in deze situatie heeft.

5 PLC-programma

Na onderzoek bleek dat het PLC-programma slecht gestructureerd was. Het programma diende volledig herschreven en duidelijk gedocumenteerd te worden. Tevens moest ook de visualisatie compleet geherprogrammeerd worden. Het volledig herschreven programma vindt men in bijlage B van deze masterproef.

5.1 PLC-sturing chillers

5.1.1 Startsituering

De PLC in het compressorlokaal stuurt onder meer de drie koelmachines van het merk Trane aan die verantwoordelijk zijn voor het koelwater van 8°C. De vierde chiller, een machine van het merk Daikin, werkt onafhankelijk van deze PLC en heeft zijn eigen instellingen.

De elektrische kast en voormalige koelmachines werden in 1992 door de firma Van Cleeven gebouwd en geplaatst. Het huidige PLC-programma is sinds die initiële indienstname van de kast sterk veranderd. De chillers van Van Cleeven werden vervangen door machines van Trane en Daikin, maar de bekabeling en labeling van Van Cleeven bleef behouden.

Het PLC-programma, zonder enige becommentariëring, was een samenraapsel van nieuwe en oude elementen, zodat dit een onoverzichtelijk geheel was. Op de touchscreen op de elektriciteitskast bestond een keuzemenu waar de volgorde waarin de machines geschakeld werden, gekozen kon worden. Dit keuzemenu bleek echter niet meer in dienst te zijn.

De huidige programmatie, waarvan de code bestaat uit duizenden regels Statement list (STL), is samengevat in onderstaand hoofdstuk.

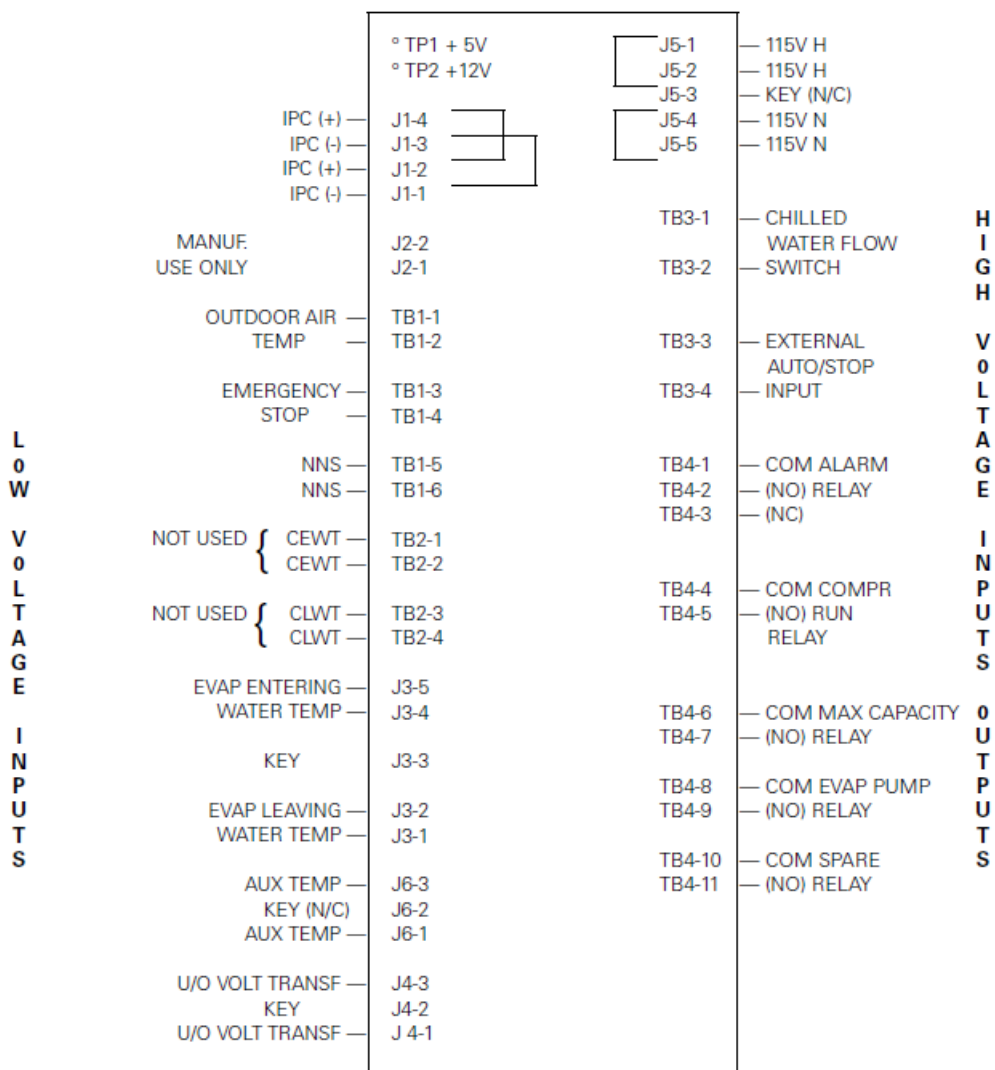
5.2 In- en outputs PLC

Om informatie met de PLC uit te wisselen, hebben de koelmachines meerdere externe inputs and outputs (I/O). Per Trane liggen twee stuurkabels die signalen uitwisselen met de PLC, bij de chiller van Daikin worden de signalen uitgewisseld via een multikabel.

5.2.1 Trane

Figuur 27 geeft een schematische voorstelling van de I/O van de machines van Trane weer. Aan de linkerzijde van de printplaat ziet men de laagspanningsinputs. Aan de rechterzijde staan de 230 VAC aansluitingen die gebruikt worden om signalen met de PLC uit te wisselen. Tevens valt het op dat deze machine van Amerikaanse makelij een stuurspanning van 115 VAC in plaats van 230VAC gebruikt.

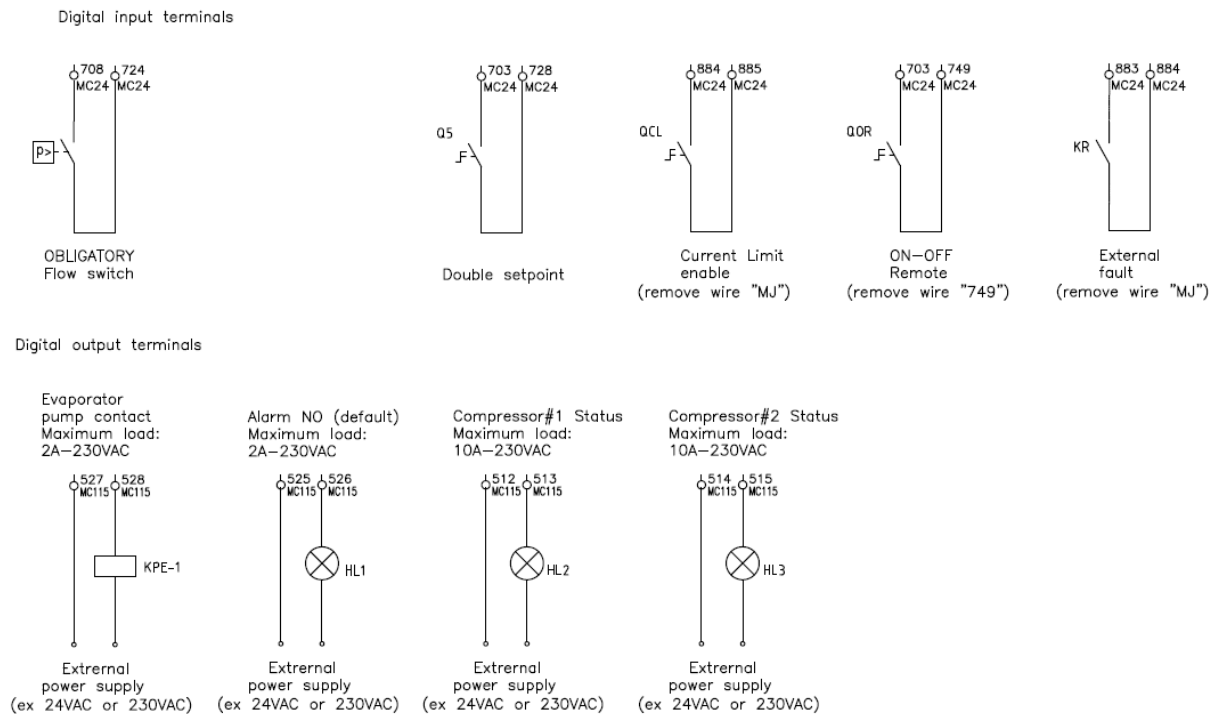
Module Power and Miscellaneous I/O



Figuur 27: In-en outputs Trane [21]

5.2.2 Daikin

Het schema getoond in Figuur 28 toont grote overeenkomsten met dat van de Tranes, ondanks een andere visualisatievorm. In de praktische uitvoering laten uitgangen zoals “Alarm” geen storingslampje branden, maar komen ze binnen als ingangen op de PLC.



Figuur 28: Daikin I/O [22]

In Tabel 19 vindt men een samenvatting van de signalen die de chillers uitwisselen met de PLC.

Tabel 19: Overzicht uitgewisselde data met PLC

Benaming Nederlands	Benaming bij Trane	Benaming bij Daikin
Flowswitch	Chilled water flow switch	Obligatory flow switch
Vrijgave	External auto/stop input	ON-OFF Remote
Alarm	Alarm relay	Alarm
Draait	Compressor running	Compressor status
Vollast	Max capacity	/
Pomp	Evaporator pump	Evaporator pump contact

Waarbij de componenten volgende functies vervullen:

- Flowswitch: deze schakelaar, die in de buis geplaatst is, schakelt wanneer er een bepaalde flow vloeit. Het opzet hiervan is een gebrek aan debiet snel te detecteren zodat de verdampers niet kan

bevriezen. Dit bevroren kan plaats vinden wanneer de verdamper zijn koude niet meer kan afgeven omdat het koelwater stilstaat;

- Vrijgave: om de machines vanop de touchscreen te kunnen in-en uitschakelen gebruikt men het vrijgavesignaal. Wanneer dit signaal wegvalt, start de machine zijn afschakelprocedure en gaat in stand-by modus. Bij het terug opkomen van dit signaal doorloopt de machine een opstartprocedure, die enkele minuten duurt. Na deze procedure kunnen de compressoren terug starten;
- Alarm: wanneer er een storing op een chiller voor komt, verandert deze parameter van status. Deze melding op de touchscreen geeft slechts een algemene fout aan, terwijl men op het display van de machine de details van de storing kan aflezen;
- Draait: wanneer een compressor van de machine draait, zal deze uitgang schakelen;
- Vollast: wanneer de machine op vollast draait, schakelt deze uitgang. Deze uitgang werd bij de originele sturing niet gebruikt;
- Pomp: wanneer de machine pompdebiet vraagt, zal deze uitgang hoog zijn. Tijdens normale werking zal de machine steeds debiet vragen.

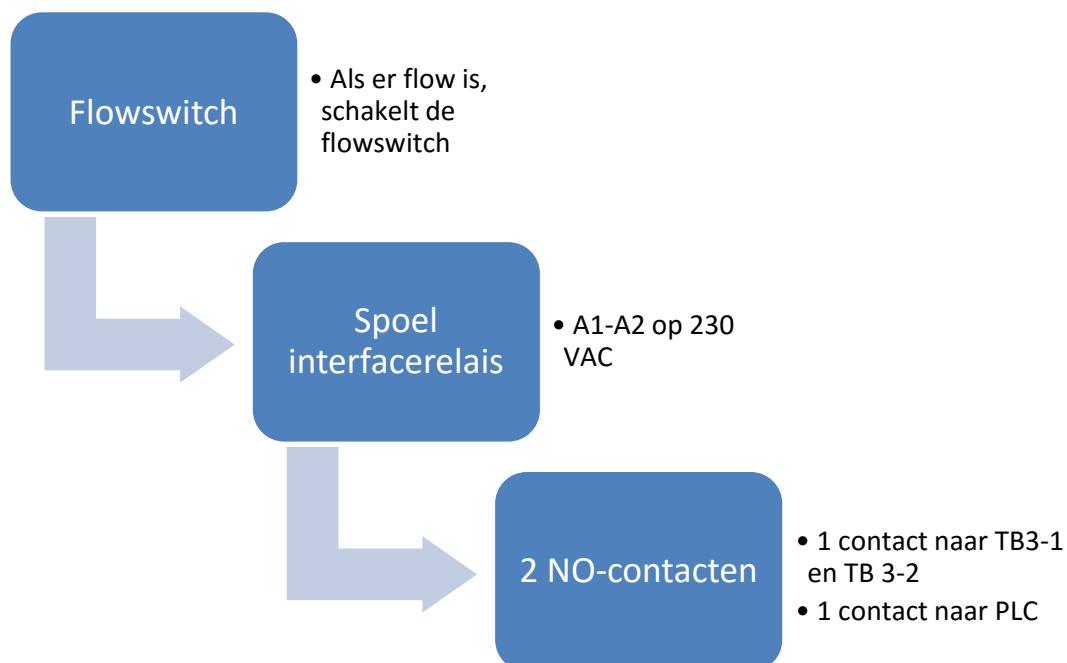
5.2.3 Interfacerelais

Bij alle koelmachines is er de noodzaak om een interfacerelais toe te passen bij volgende signalen:

- de flowswitch,
- de vrijgave.

Flowswitch

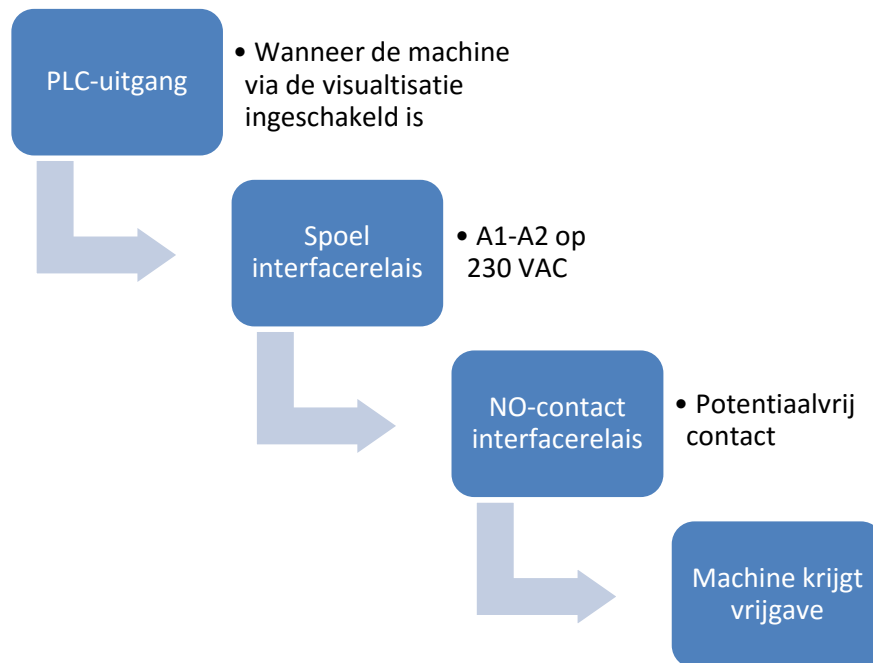
Bij de flowswitch geeft de printplaat zelf de spanning over het contact zodat dus geen 230 VAC van de PLC-kast hierover moet staan. De flowswitch schakelt een interfacerelais, die op zijn beurt zowel de chiller als de PLC een signaal geeft. In het geval van de chiller is dit een potentiaalvrij contact, in het geval van de PLC een 230 VAC ingangssignaal. Deze werking is schematisch voorgesteld in Figuur 29.



Figuur 29: Schematische voorstelling signaal flowswitch

Vrijgave

Bij het vrijgavecontact vereist de printplaat een potentiaalvrij contact. Dit contact is gekoppeld aan een 24 VDC PLC-uitgang via een interfacerelais. Deze werking is schematisch voorgesteld in Figuur 30.



Figuur 30: Schematische voorstelling vrijgavesignaal

5.2.4 Temperaturen

De temperatuurmetingen aan de ingangs- en retourzijde van de chillers situeren zich in de leidingen, respectievelijk net voor en net achter de machines. Deze metingen komen onafhankelijk van de machines binnen op analoge ingangen van de PLC. Het voordeel van deze aanpak is dat men twee onafhankelijke metingen heeft (zowel deze van de machines als de externe) en dat er geen aanpassingen vereist zijn wanneer men een andere chiller plaatst. Bij de koelmachine van Daikin moeten deze metingen nog geplaatst worden tijdens een machinestilstand. De temperatuur van de buffertank wordt zowel bij de warme verbruikerszijde als bij de koude chillerzijde gemeten.

5.2.5 35°C-circuit aansluitingen

Bij het 35°C-circuit zijn er enkel ingangen, zowel digitale als analoge, voorzien. Deze signalen komen op de PLC toe via een multikabel die afkomstig is van de stuurkast van de koeltoren. Per signaal is een interfacerelais voorzien zodat de spanningen van beide kasten elektrisch gescheiden blijven.

5.3 Aanpassen bedrading

5.3.1 Stuurkabels

De stuurkabels van de chillers zijn heraangesloten zodat ze op een uniforme wijze aangesloten zijn. Bij het heraansluiten viel op dat de stuurkabels last ondervinden van parasitaire koppelingen, die ontstaan door stromen in naburige kabels [23]. Door dit verschijnsel kwam er spanning op de shielding van de stuurkabels te staan. Het aarden van deze shielding zorgt ervoor dat de opgebouwde lading en bijhorende spanning ogenblikkelijk wordt afgeleid naar de aarde.

5.3.2 Ster-driehoek pomp

De klassieke ster-driehoekschakeling werd omgebouwd zodat elke warmwaterpomp ingeschakeld kan worden door één PLC-uitgang. Een tijdsrelais zorgt voor de omschakeling van ster naar driehoek, zodat de PLC enkel een signaal geeft of de pomp al dan niet moet draaien.

5.4 Simatic S7

Het volledige PLC-programma is herschreven op enkele beveiligde bouwstenen na. Hierbij is getracht een zo overzichtelijk en gestructureerd mogelijk programma te schrijven. Het volledige programma vindt men terug in bijlage B.

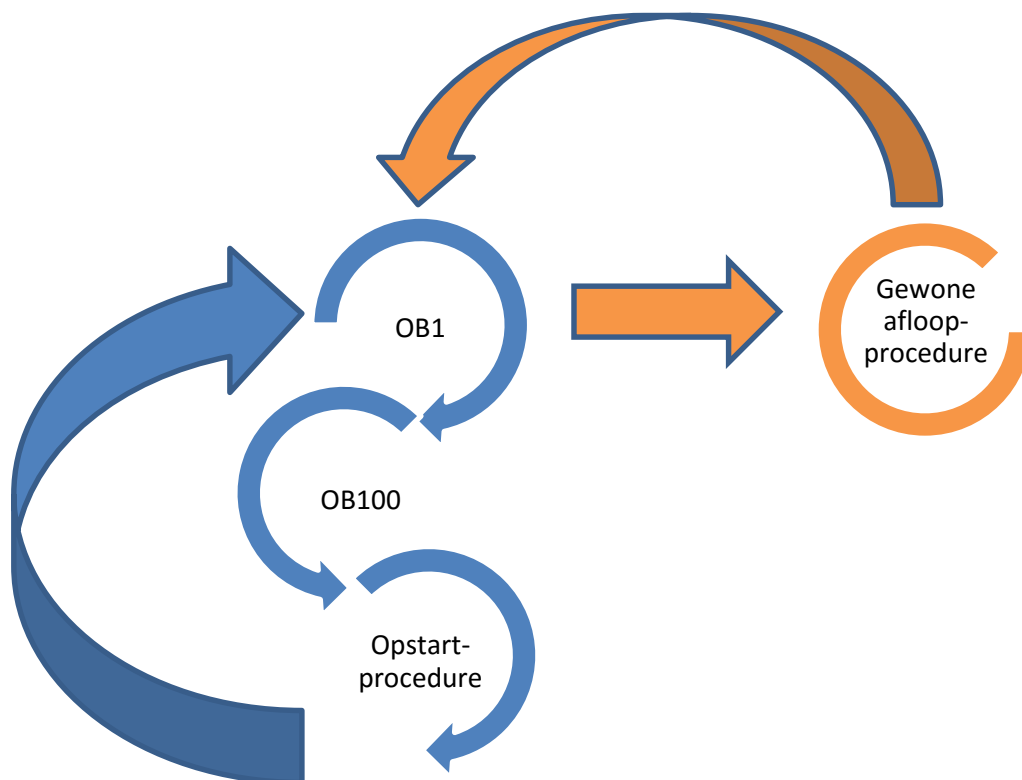
5.4.1 Structuur

OB1

Dit organisation block (OB) is de hoofdprogrammabouwsteen die verantwoordelijk is voor de afloop van het programma. OB1 is een overkoepelend element dat de grote lijnen van het programma weergeeft. Dit block roept andere functies op, maar verwerkt zelf geen code.

OB100

Dit organisation block wordt door OB1 opgeroepen bij een warme restart of wanneer men het programma terug volledig inlaadt. In dit block geeft men de initiële bedieningsstatus van de machines mee. Voor de chillers impliceert dit dat deze na een opstart of crash automatisch heropstarten. Nadat deze opstartprocedure is uitgevoerd, loopt het programma via de normale cyclus af. Figuur 31 toont de globale werking van het programma.



Figuur 31: Globale werking PLC-programma

5.4.2 Werking oud PLC-programma 8°C

Vrijgavesignaal

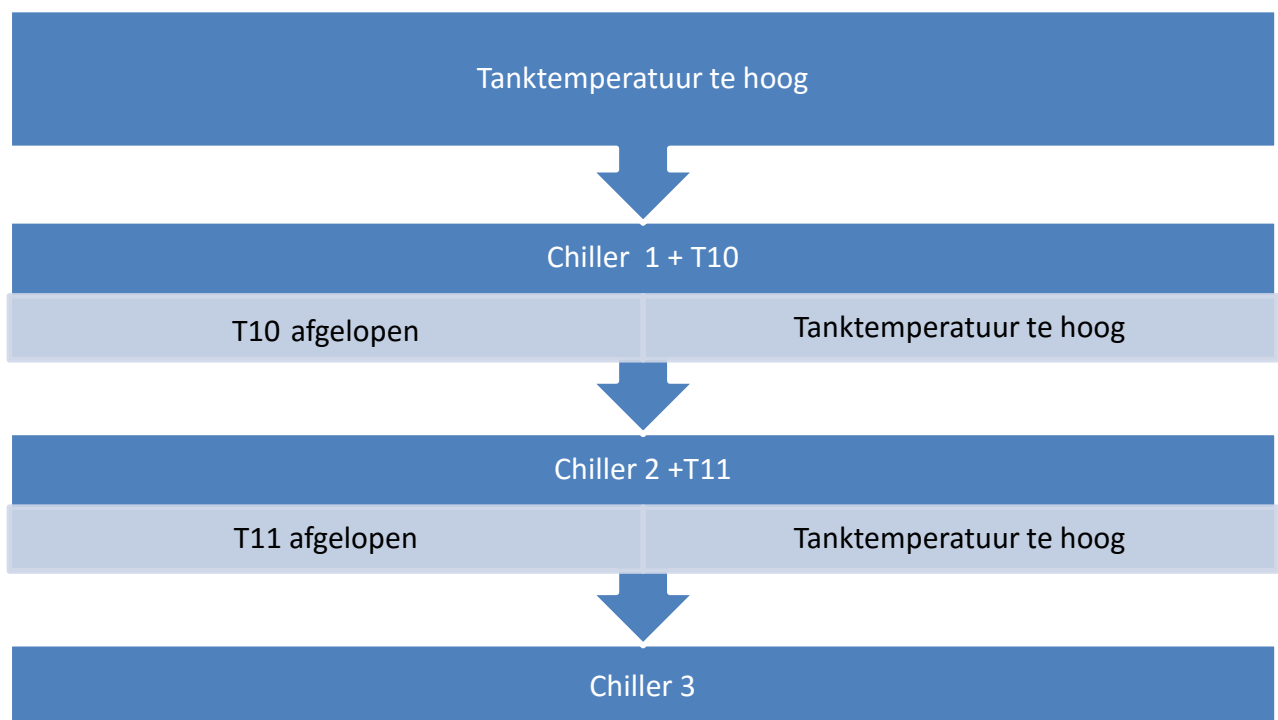
Elke koelmachine moet een vrijgavesignaal van de PLC ontvangen vooraleer deze mag starten. Dit signaal komt bij de chiller binnen als een extern start/stop signaal.

Inschakelen

De oude sturing baseert zich voor het aansturen van de chillers enkel op de gemeten watertemperatuur van de buffertank. Wanneer er geen onregelmatigheden optreden (flowswitch in orde en geen storing) is de werking als volgt:

- Als de tanktemperatuur te hoog is start chiller 1 en start timer 10. Als deze timer na twee minuten afgelopen is en de temperatuur nog steeds te hoog is, start chiller 2 ook;
- Als de temperatuur dan nog niet voldoende gedaald is, start timer 11. Als deze timer na twee minuten afgelopen is en de temperatuur nog steeds te hoog is, start chiller 3 ook;
- Zolang de temperatuur te hoog is blijven de drie machines ingeschakeld.

Figuur 32 geeft een schematische voorstelling van deze werking weer.



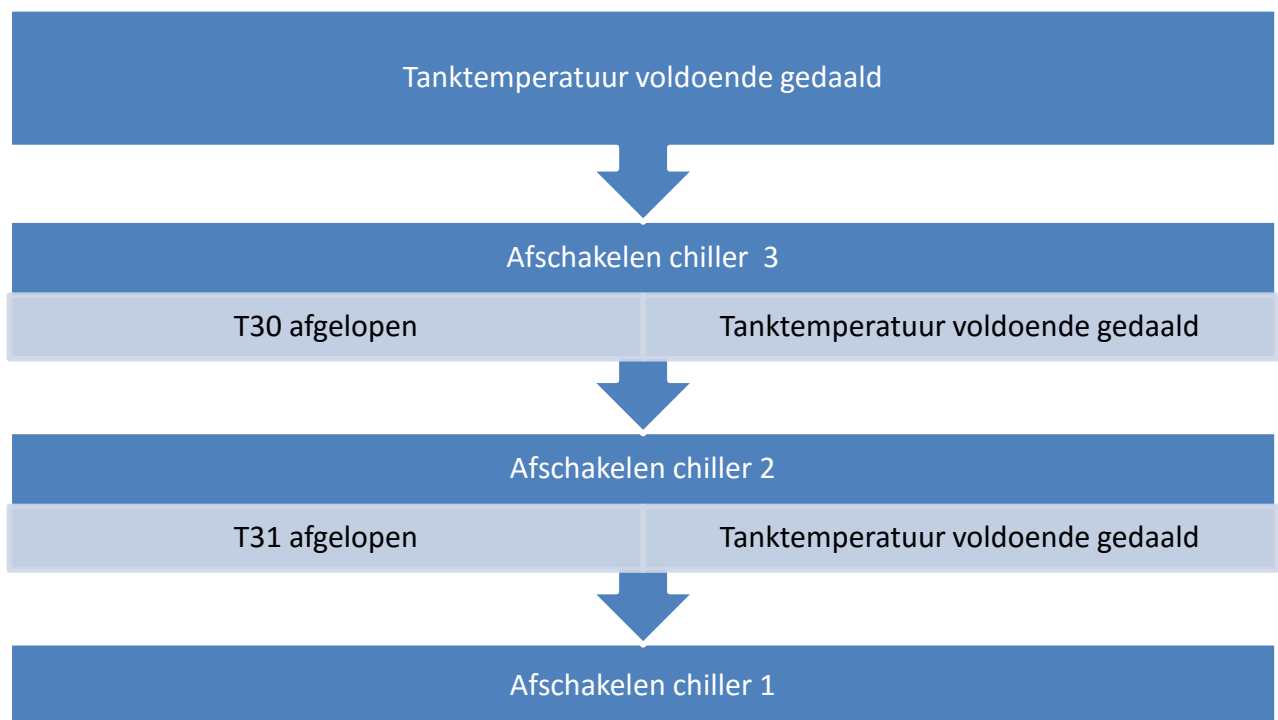
Figuur 32 : Opstartprocedure oud programma

Uitschakelen

Wanneer er geen onregelmatigheden optreden (flowswitch in orde en geen storing) is de werking als volgt:

- Als de temperatuur van de buffertank voldoende gedaald is, wordt chiller 3 afgeschakeld. Timers 30, 32, 33, 34 en 35 worden geactiveerd.
- Als de temperatuur van de buffertank nog steeds laag genoeg is schakelt Timer 30 chiller 2 na vijf minuten uit. Na aflopen van de timer reset T30 T10 en start T31.
- Als de temperatuur van de buffertank nog steeds laag genoeg is reset T31 M85.1 na vijf minuten en wordt ook chiller 1 uitgeschakeld.
- Verder staat er een fout in het programma: wanneer chiller 1 alleen werkt, en de temperatuur tot het setpoint daalt, wordt chiller 2 toch ingeschakeld. Bijkomend bleven alle warmwaterpompen steeds draaien, zelfs indien een chiller langere tijd niet in werking was.

Figuur 33 toont een schematische voorstelling van deze werking.



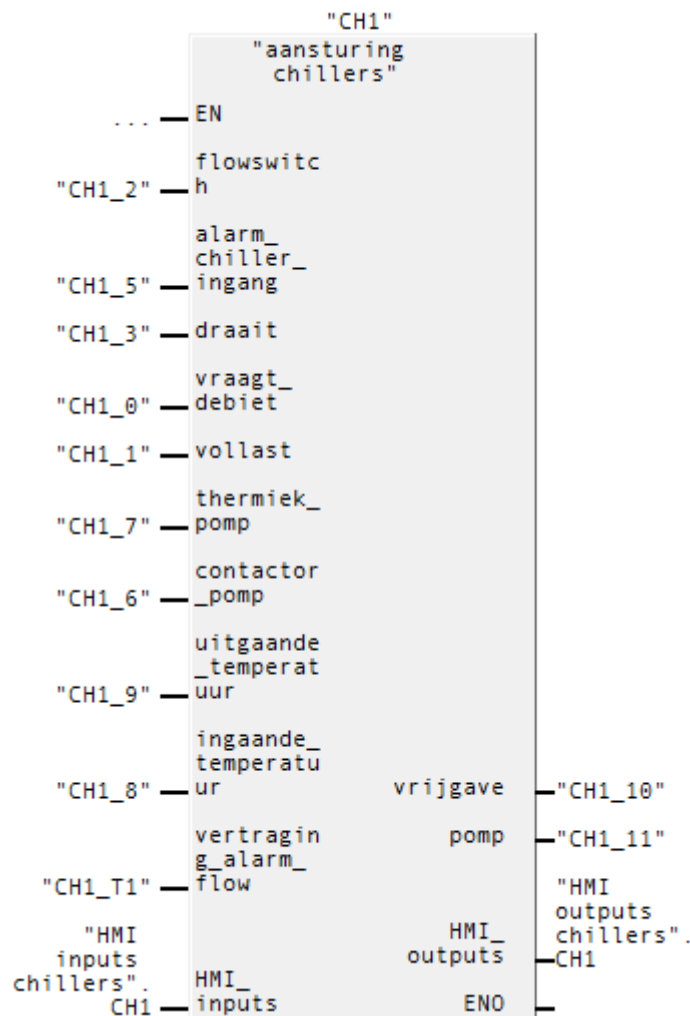
Figuur 33: Afschakelprocedure oud programma

5.4.3 Nieuw PLC-programma 8°C

FB Chiller

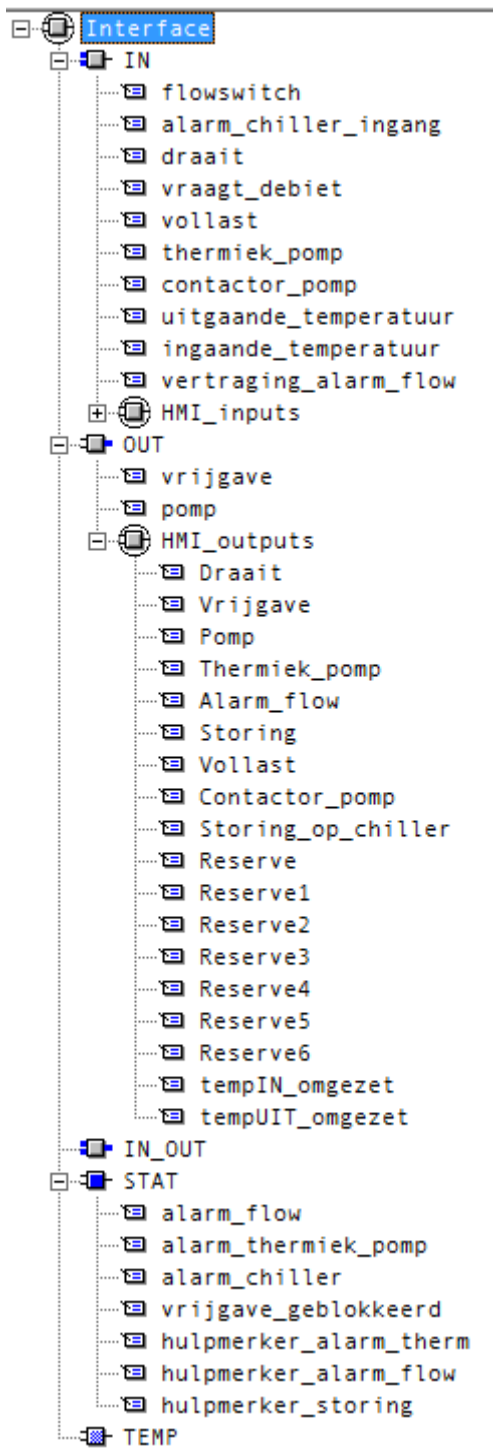
Om een duidelijke structuur neer te zetten is gebruik gemaakt van parametreerbare functies. Concreet wil dit zeggen dat er een specifieke Function Block (FB) is die de blauwdruk is voor alle chillers [24]. Per koelmachine wordt aan deze blauwdruk een instance data block (instance DB) gekoppeld, zodat de FB in totaal vier keer wordt opgeroepen in Function Call (FC) 1. Het grootste verschil in de praktische werking van de chillers tussen de verbeterde aansturing en de oorspronkelijke aansturing is dat de machines niet meer uitgeschakeld worden, maar op deellast werken.

Aan deze FB moet men alleen fysieke in- en outputs (I/O) en de Human Machine Interface (HMI) koppelen. Vermits de dataverwerkingsstappen intern blijven, heeft dit als voordeel dat de FB als een black box werkt. Dit maakt het een stuk eenvoudiger om het programma te begrijpen en om storingen te lokaliseren aangezien er niet onnodig veel programmatie bij de oproepende functie staat. Deze FB is grafisch weergegeven in Figuur 34.



Figuur 34: Oproepen van een FB

Bij de interne logica van de FB scheidt een interface de variabelen in categorieën, zodat een overzichtelijke structuur ontstaat zoals weergegeven in Figuur 35.



Figuur 35: FB interface

Instance DB's

Om geen ellenlange en onoverzichtelijke lijst van merkers te bekomen is er zoveel mogelijk gebruik gemaakt van het type Data Block (DB). Het voordeel van dit type blok is dat men de geheugenplaatsen mooi kan structureren. Wanneer een DB aan een FB wordt toegewezen wordt deze een instance DB genoemd. Via dit principe heeft elke chiller een unieke instance DB die men alleen in deze geparametreerde functie mag gebruiken. Figuur 36 toont bij wijze van voorbeeld een instance DB uit het programma.

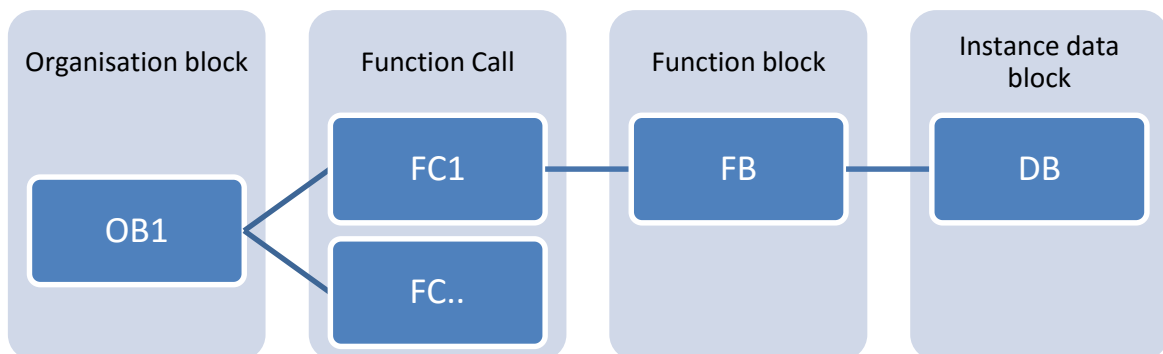
	Address	Declaratio	Name	Type	Initial value	Actual value
1	0.0	in	flowswitch	BOOL	FALSE	FALSE
2	0.1	in	alarm_chiller_ingang	BOOL	FALSE	FALSE
3	0.2	in	draait	BOOL	FALSE	FALSE
4	0.3	in	vraagt_debiet	BOOL	FALSE	FALSE
5	0.4	in	vollast	BOOL	FALSE	FALSE
6	0.5	in	thermiek_pomp	BOOL	FALSE	FALSE
7	0.6	in	contactor_pomp	BOOL	FALSE	FALSE
8	2.0	in	uitgaande_temperatuur	WORD	W#16#0	W#16#0
9	4.0	in	ingaaande_temperatuur	WORD	W#16#0	W#16#0
10	6.0	in	vertraging_alarm_flow	TIMER	T 0	T 0
11	8.0	in	HMI_inputs.Reset_storing	BOOL	FALSE	FALSE
12	8.1	in	HMI_inputs.Vrijgave	BOOL	FALSE	FALSE
13	10.0	out	vrijgave	BOOL	FALSE	FALSE
14	10.1	out	pomp	BOOL	FALSE	FALSE
15	12.0	out	HMI_outputs.Draait	BOOL	FALSE	FALSE
16	12.1	out	HMI_outputs.Vrijgave	BOOL	FALSE	FALSE
17	12.2	out	HMI_outputs.Pomp	BOOL	FALSE	FALSE
18	12.3	out	HMI_outputs.Thermiek_pomp	BOOL	FALSE	FALSE
19	12.4	out	HMI_outputs.Alarm_flow	BOOL	FALSE	FALSE
20	12.5	out	HMI_outputs.Storing	BOOL	FALSE	FALSE
21	12.6	out	HMI_outputs.Vollast	BOOL	FALSE	FALSE
22	12.7	out	HMI_outputs.Contactor_pomp	BOOL	FALSE	FALSE
23	13.0	out	HMI_outputs.Storing_op_chiller	BOOL	FALSE	FALSE
24	13.1	out	HMI_outputs.Reserve	BOOL	FALSE	FALSE
25	13.2	out	HMI_outputs.Reserve1	BOOL	FALSE	FALSE
26	13.3	out	HMI_outputs.Reserve2	BOOL	FALSE	FALSE
27	13.4	out	HMI_outputs.Reserve3	BOOL	FALSE	FALSE
28	13.5	out	HMI_outputs.Reserve4	BOOL	FALSE	FALSE
29	13.6	out	HMI_outputs.Reserve5	BOOL	FALSE	FALSE
30	13.7	out	HMI_outputs.Reserve6	BOOL	FALSE	FALSE
31	14.0	out	HMI_outputs.tempIN_omgezet	REAL	0.000000...	0.000000e+000
32	18.0	out	HMI_outputs.tempUIT_omgezet	REAL	0.000000...	0.000000e+000
33	22.0	stat	alarm_flow	BOOL	FALSE	FALSE
34	22.1	stat	alarm_thermiek_pomp	BOOL	FALSE	FALSE
35	22.2	stat	alarm_chiller	BOOL	FALSE	FALSE
36	22.3	stat	vrijgave_geblokkeerd	BOOL	FALSE	FALSE
37	22.4	stat	hulpmerker_alarm_therm	BOOL	FALSE	FALSE
38	22.5	stat	hulpmerker_alarm_flow	BOOL	FALSE	FALSE
39	22.6	stat	hulpmerker_storing	BOOL	FALSE	FALSE

Figuur 36: Instance DB

FC

Een Function Call (FC) is een programmabouwsteen die code verwerkt. Bij de programmering van niet-wederkerende programmeer-elementen, zoals bijvoorbeeld de buffertank of de visualisatie, is gebruik gemaakt van een FC. Tevens vindt de parametrisering van de FB's plaats in een FC.

Wanneer de opstartprocedure afgerond is, kan het programma starten. OB1 roept meerdere FC's op, waarbij FC1 instaat voor het toewijzen van de parameters aan de chillers. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 37.



Figuur 37: Programmastructuur chillers

UDT

Een User Data Type (UDT) is een type bouwsteen die de programmeur zelf kan definiëren. Deze bouwsteen is toegepast om respectievelijk de in- en outputs van de HMI te structureren, zodat er dus twee UDT's per chiller zijn. UDT1 wordt weergegeven in Figuur 38 met bijhorende instance DB op Figuur 39, terwijl dit voor UDT2 Figuur 40 en Figuur 41 zijn. Men ziet dat de UDT's hier voor chiller 1 dienen door de benaming die het programma automatisch hieraan geeft.

Address	Name	Type	Initial value	Comment
0.0		STRUCT		
+0.0	Draait	BOOL	FALSE	
+0.1	Vrijgave	BOOL	FALSE	
+0.2	Pomp	BOOL	FALSE	
+0.3	Thermiek_pomp	BOOL	FALSE	
+0.4	Alarm_flow	BOOL	FALSE	
+0.5	Storing	BOOL	FALSE	
+0.6	Vollast	BOOL	FALSE	
+0.7	Contactactor_pomp	BOOL	FALSE	
+1.0	Storing_op_chiller	BOOL	FALSE	
+1.1	Reserve	BOOL	FALSE	
+1.2	Reserve1	BOOL	FALSE	
+1.3	Reserve2	BOOL	FALSE	
+1.4	Reserve3	BOOL	FALSE	
+1.5	Reserve4	BOOL	FALSE	
+1.6	Reserve5	BOOL	FALSE	
+1.7	Reserve6	BOOL	FALSE	
+2.0	tempIN_omgezet	REAL	0.000000e+000	
+6.0	tempUIT_omgezet	REAL	0.000000e+000	
=10.0		END_STRUCT		

Figuur 38: UDT1

Address	Name	Type	Initial value	Actual value
0.0	CH1.Draait	BOOL	FALSE	FALSE
0.1	CH1.Vrijgave	BOOL	FALSE	FALSE
0.2	CH1.Pomp	BOOL	FALSE	FALSE
0.3	CH1.Thermiek_pomp	BOOL	FALSE	FALSE
0.4	CH1.Alarm_flow	BOOL	FALSE	FALSE
0.5	CH1.Storing	BOOL	FALSE	FALSE
0.6	CH1.Vollast	BOOL	FALSE	FALSE
0.7	CH1.Contactactor_pomp	BOOL	FALSE	FALSE
1.0	CH1.Storing_op_chiller	BOOL	FALSE	FALSE
1.1	CH1.Reserve	BOOL	FALSE	FALSE
1.2	CH1.Reserve1	BOOL	FALSE	FALSE
1.3	CH1.Reserve2	BOOL	FALSE	FALSE
1.4	CH1.Reserve3	BOOL	FALSE	FALSE
1.5	CH1.Reserve4	BOOL	FALSE	FALSE
1.6	CH1.Reserve5	BOOL	FALSE	FALSE
1.7	CH1.Reserve6	BOOL	FALSE	FALSE
2.0	CH1.tempIN_omgezet	REAL	0.000000e+000	0.000000e+000
6.0	CH1.tempUIT_omgezet	REAL	0.000000e+000	0.000000e+000
10.0	CH2.Draait	BOOL	FALSE	FALSE
10.1	CH2.Vrijgave	BOOL	FALSE	FALSE

Figuur 39: Instance DB van UDT1

Address	Name	Type	Initial val	Comment
0.0		STRUCT		
+0.0	Reset_storing	BOOL	FALSE	
+0.1	Vrijgave	BOOL	FALSE	
=2.0		END_STRUCT		

Figuur 40: UDT 2

Address	Name	Type	Initial value	Actual value
0.0	CH1.Reset_storing	BOOL	FALSE	FALSE
0.1	CH1.Vrijgave	BOOL	FALSE	FALSE
2.0	CH2.Reset_storing	BOOL	FALSE	FALSE
2.1	CH2.Vrijgave	BOOL	FALSE	FALSE
4.0	CH3.Reset_storing	BOOL	FALSE	FALSE
4.1	CH3.Vrijgave	BOOL	FALSE	FALSE
6.0	CH5.Reset_storing	BOOL	FALSE	FALSE
6.1	CH5.Vrijgave	BOOL	FALSE	FALSE
8.0	Reset_storingen	BOOL	FALSE	FALSE

Figuur 41: Instance DB van UDT2

Scale functie

Bij gemeten drukken en niveaus komt een analoge waarde op de ingangskaat binnen. De scale functie transformeert deze waarden naar een decimale waarde tussen gedefinieerde waarden. Hierdoor kan men berekeningen en vergelijkingen maken met fieldwaarden, zoals bijvoorbeeld met een tankniveau van 90%. Figuur 42 toont een toegepast voorbeeld van deze functie.

▣ **Network 3**: Niveau tank + detectie

Comment:

```

CALL "SCALE"                FC105          -- Scaling Values
  IN      :=PIW604
  HI_LIM :=1.000000e+002
  LO_LIM :=0.000000e+000
  BIPOLAR:=FALSE
  RET_VAL:=MW212
  OUT     :="Buffertank".Niveau          DB10.DBD16      -- Tank niveau

L      "Buffertank".Niveau          DB10.DBD16      -- Tank niveau
L      5.000000e+001
<R
=      "Buffertank".Alarm_niveau_laag DB10.DBX20.0   -- Alarm tankniveau te laag

L      "Buffertank".Niveau          DB10.DBD16      -- Tank niveau
L      9.000000e+001
>R
=      "Buffertank".Alarm_niveau_hoog DB10.DBX20.1

```

Figuur 42: Scale tankniveau

5.4.4 PLC 35°C

DataBlock

Bij de koeltoren is de data ondergebracht in een databouwsteen. Hier is geen instance DB toegepast omdat de oproepende functie geen functiebouwsteen maar een gewone functie is. Vermits er maar één koeltoren is, is het weinig zinvol hiervoor een FB te schrijven. Figuur 43 toont de DB in de programmatiesoftware.

Address	Name	Type	Initial value	Actual value	Comment
0.0	Visualisatie_0_0	BOOL	FALSE	FALSE	Koeltoren contactor ventilator lage toeren
0.1	Visualisatie_0_1	BOOL	FALSE	FALSE	Koeltoren contactor ventilator hoge toeren
0.2	Visualisatie_0_2	BOOL	FALSE	FALSE	Koeltoren thermiek ventilator lage toeren
0.3	Visualisatie_0_3	BOOL	FALSE	FALSE	Koeltoren thermiek ventilator hoge toeren
0.4	Visualisatie_0_4	BOOL	FALSE	FALSE	Koeltoren contactor primaire pomp
0.5	Visualisatie_0_5	BOOL	FALSE	FALSE	Koeltoren thermiek primaire pomp
0.6	Visualisatie_0_6	BOOL	FALSE	FALSE	Koeltoren flowswitch 35°C
0.7	Visualisatie_0_7	BOOL	FALSE	FALSE	Koeltoren thermiek circulatiepompen
1.0	Visualisatie_1_0	BOOL	FALSE	FALSE	Koeltoren contactor circulatiepomp 1
1.1	Visualisatie_1_1	BOOL	FALSE	FALSE	Koeltoren contactor circulatiepomp 2
1.2	Visualisatie_1_2	BOOL	FALSE	FALSE	Koeltoren verwarming 1
1.3	Visualisatie_1_3	BOOL	FALSE	FALSE	Koeltoren verwarming 2
1.4	Visualisatie_1_4	BOOL	FALSE	FALSE	Koeltoren niveaudetectie
1.5	Visualisatie_1_5	BOOL	FALSE	FALSE	Koeltoren wateraflaat
1.6	Visualisatie_1_6	BOOL	FALSE	FALSE	Koeltoren luchtinlaat
1.7	Visualisatie_1_7	BOOL	FALSE	FALSE	Wisselen van circulatiepomp
2.0	Visualisatie_2_0	BOOL	FALSE	FALSE	Alarm flow
2.1	Automatische_mode	BOOL	FALSE	FALSE	
2.2	Pompkeuze	BOOL	FALSE	FALSE	
2.3	Auto_geselect_pomp	BOOL	FALSE	FALSE	Automatisch geselecteerde pomp
2.4	Timer_1_afgelopen	BOOL	FALSE	FALSE	
2.5	Timer_2_afgelopen	BOOL	FALSE	FALSE	
2.6	SR_timers	BOOL	FALSE	FALSE	Pompen
2.7	Reserve6	BOOL	FALSE	FALSE	
3.0	Alarm_algemeen	BOOL	FALSE	FALSE	Algemeen alarm
3.1	Alarm_vorst	BOOL	FALSE	FALSE	Alarm vorst koeltoren
3.2	Alarm_flow	BOOL	FALSE	FALSE	Alarm flow
3.3	Reserve8	BOOL	FALSE	FALSE	
3.4	Reserve9	BOOL	FALSE	FALSE	
3.5	Reserve10	BOOL	FALSE	FALSE	
3.6	Reserve11	BOOL	FALSE	FALSE	
3.7	Reserve12	BOOL	FALSE	FALSE	
4.0	Temp_in	REAL	0.000000e+000	0.000000e+000	Koeltoren temperatuur 35 circuit warm
8.0	Temp_uit	REAL	0.000000e+000	0.000000e+000	Koeltoren temperatuur 35 circuit koud
12.0	Visualisatie_Druk	REAL	0.000000e+000	0.000000e+000	Druk op koelwater 35 graden

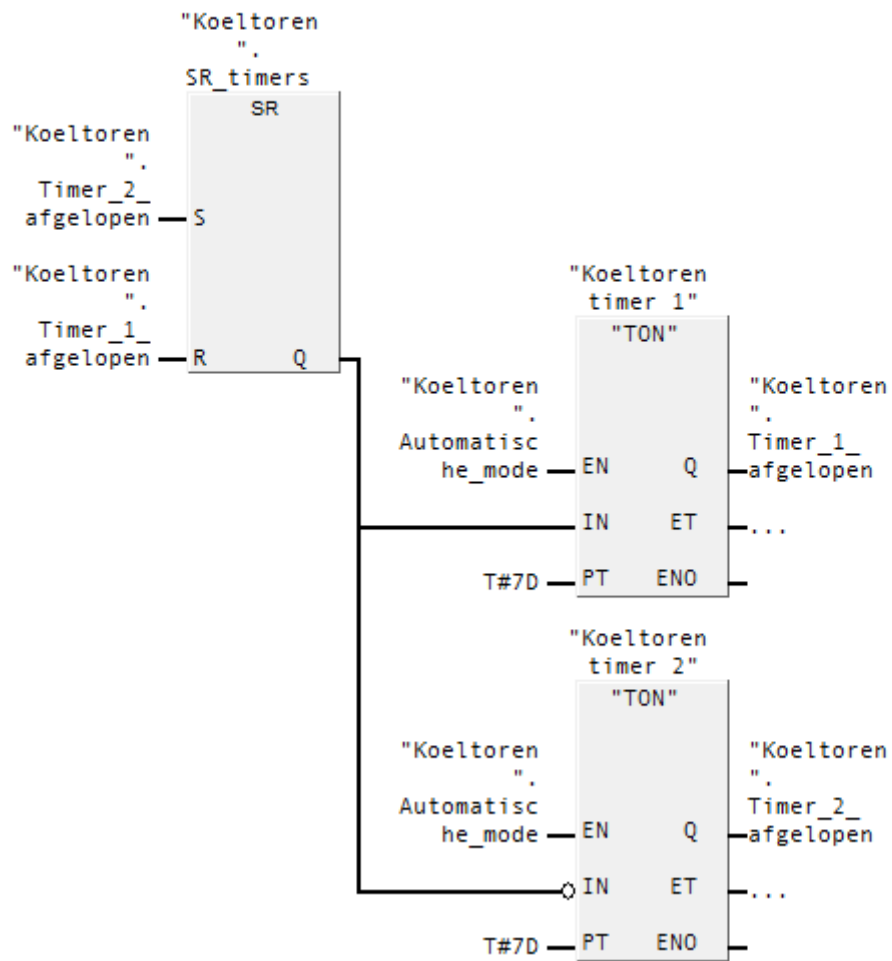
Figuur 43: DB koeltoren

Circulatiepomp

Het koelcircuit is redundant uitgevoerd: er zijn twee pompen geïnstalleerd waarvan, in normaal bedrijf, één van de twee pompen werkt. Om een gelijkmatige slijtage van deze pompen te bekomen, is een automatische wisselschakeling geïmplementeerd. Het opzet is dat een pomp een week draait, om dan afgewisseld te worden door de andere. Om deze lange tijd te overbruggen, moet men gebruik maken van speciale timers zoals het Function Block Diagram (FBD) van Figuur 44 toont.

☐ **Network 14**: Koeltoren omschakelen circulatiepomp

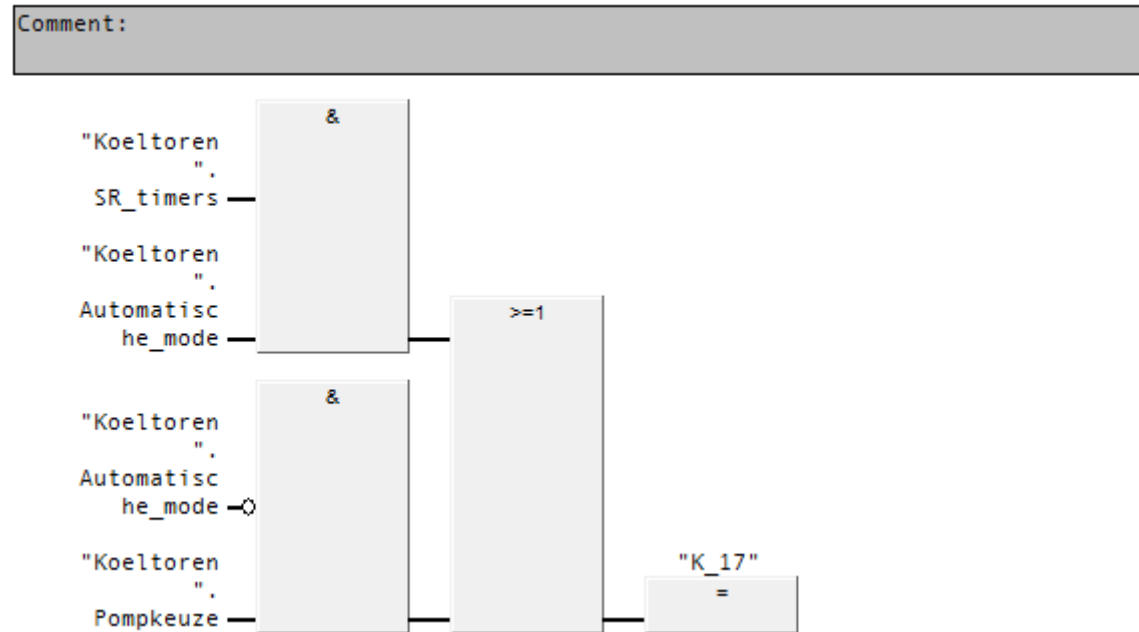
Comment:



Figuur 44: Omschakelen pompen

Om de pomp ook handmatig te kunnen selecteren is het netwerk, zoals getoond in Figuur 45, toegevoegd. Aan de uitgang van het netwerk, “K_17”, hangt een interfacerelais. Wanneer deze relais niet bekrachtigd wordt, draait de linkse pomp, wanneer het relais wel wordt bekrachtigd draait de rechtse pomp.

Network 15: Koeltoren omschakelen circulatiepomp



Figuur 45: Omschakelen pompen netwerk 2

5.5 WinCC Flexible

Aanvankelijk is getracht de oorspronkelijk visualisatie aan te passen, maar wegens de grote hoeveelheid fouten in de originele programmatie werd besloten een volledig nieuwe visualisatie aan te maken. Ook hier is getracht een overzichtelijk en duidelijk geheel neer te zetten. De focus lag op het visualiseren van relevante parameters in een gebruiksvriendelijke interface. Deze nieuwe visualisatie vindt men terug in bijlage B.

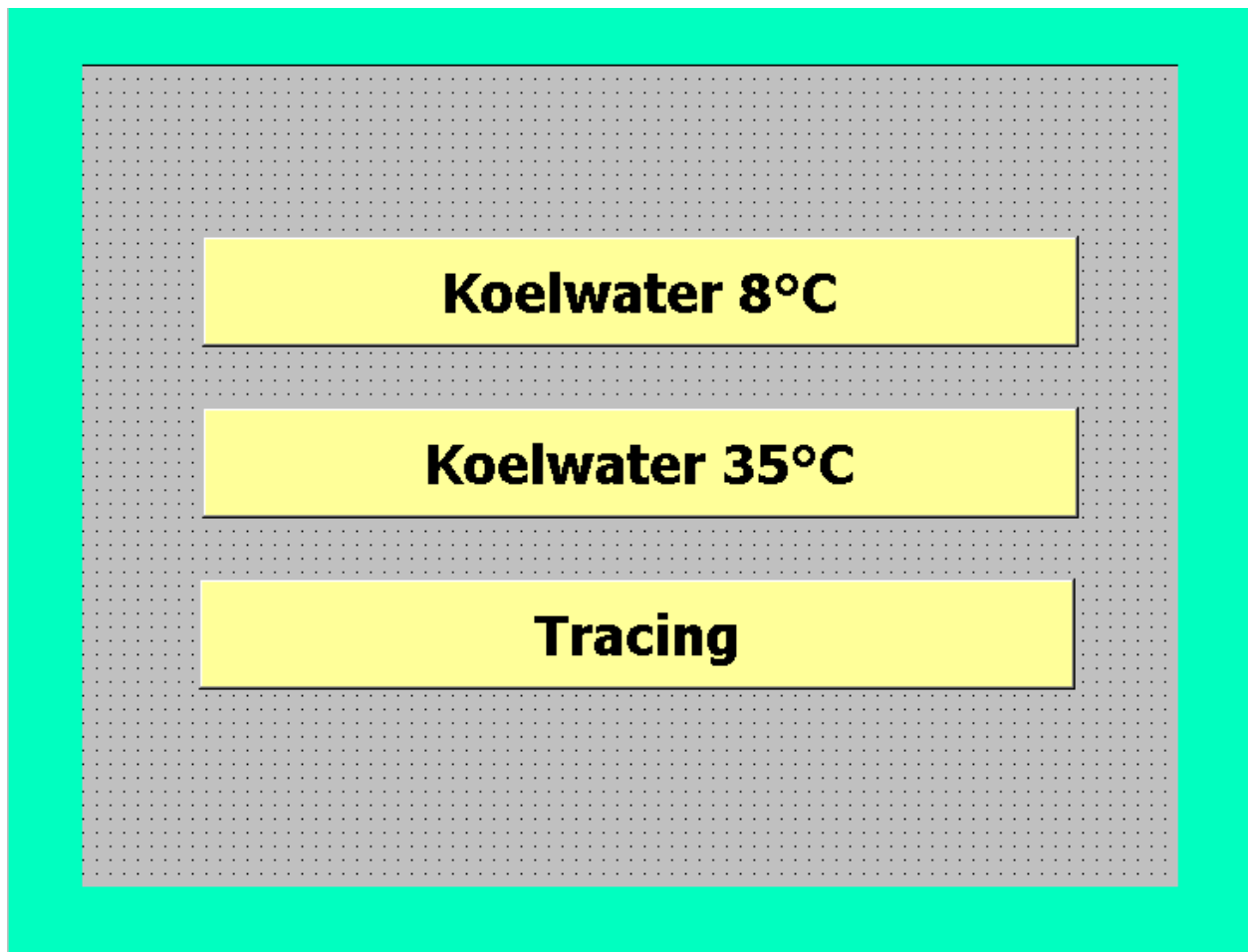
5.5.1 8°C-circuit

Startscherm

Bij het opstarten van het touchpanel verschijnt het hoofdmenu dat weergegeven is in Figuur 46. Dit scherm geeft de drie hoofdcategorieën weer:

- koelwater 8°C,
- koelwater 35°C,
- tracing.

Deze hoofdschermen bestaan op hun beurt uit subschermen.



Figuur 46: Startscreen

Grafisch menu

Bij het grafisch menu van het 8°C-circuit, dewelke een grote overeenkomst met Figuur 4 vertoont, verschijnt een overzicht van de belangrijkste onderdelen van de koelinstallatie. De kleur die de machines aannemen op het scherm maakt de gebruiker duidelijk wat de status ervan is. De bit die verantwoordelijk is voor de status van de desbrennende machine is gekoppeld aan de kleuraanname van het object.

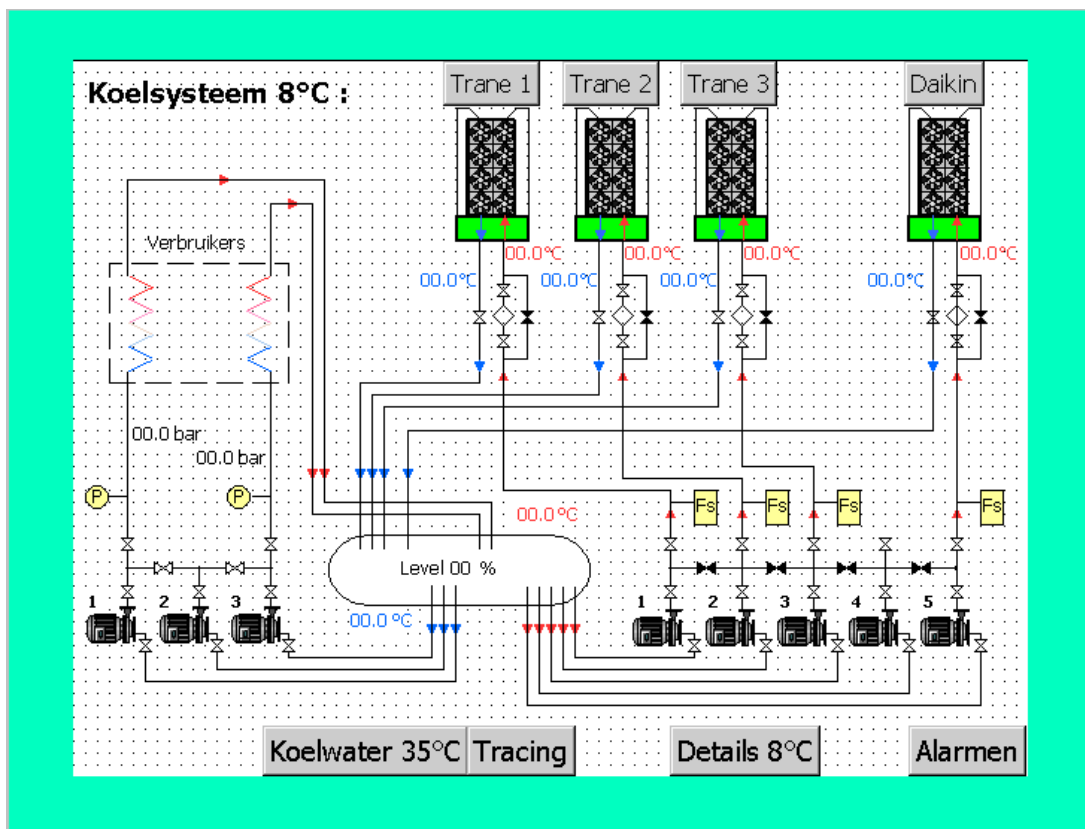
De toegepaste kleuren zijn:

- Lichtgroen: dit wijst erop dat de machine in werking is;
- Zwart: dit wijst erop dat de machine niet in werking is, maar ook geen storing ondervindt;
- Rood: dit wijst op een storing aan de machine. Wanneer er een storing optreedt, zal dit object knipperen op het scherm zodat de opvallendheid toeneemt. Verder wordt de kleur rood toegepast voor het aangeven van een warme temperatuur zoals bijvoorbeeld bij de inkomende temperatuur van de koelmachines;
- Geel: de gele achtergronden, die tevens bij andere schermen terugkomen, hebben als doel de leesbaarheid te verbeteren.

Via buttons op het scherm kan men de koelinstallatie verder in detail bekijken of navigeren naar andere hoofdschermen van de visualisatie.

De onderdelen die weergegeven worden in Figuur 47 zijn:

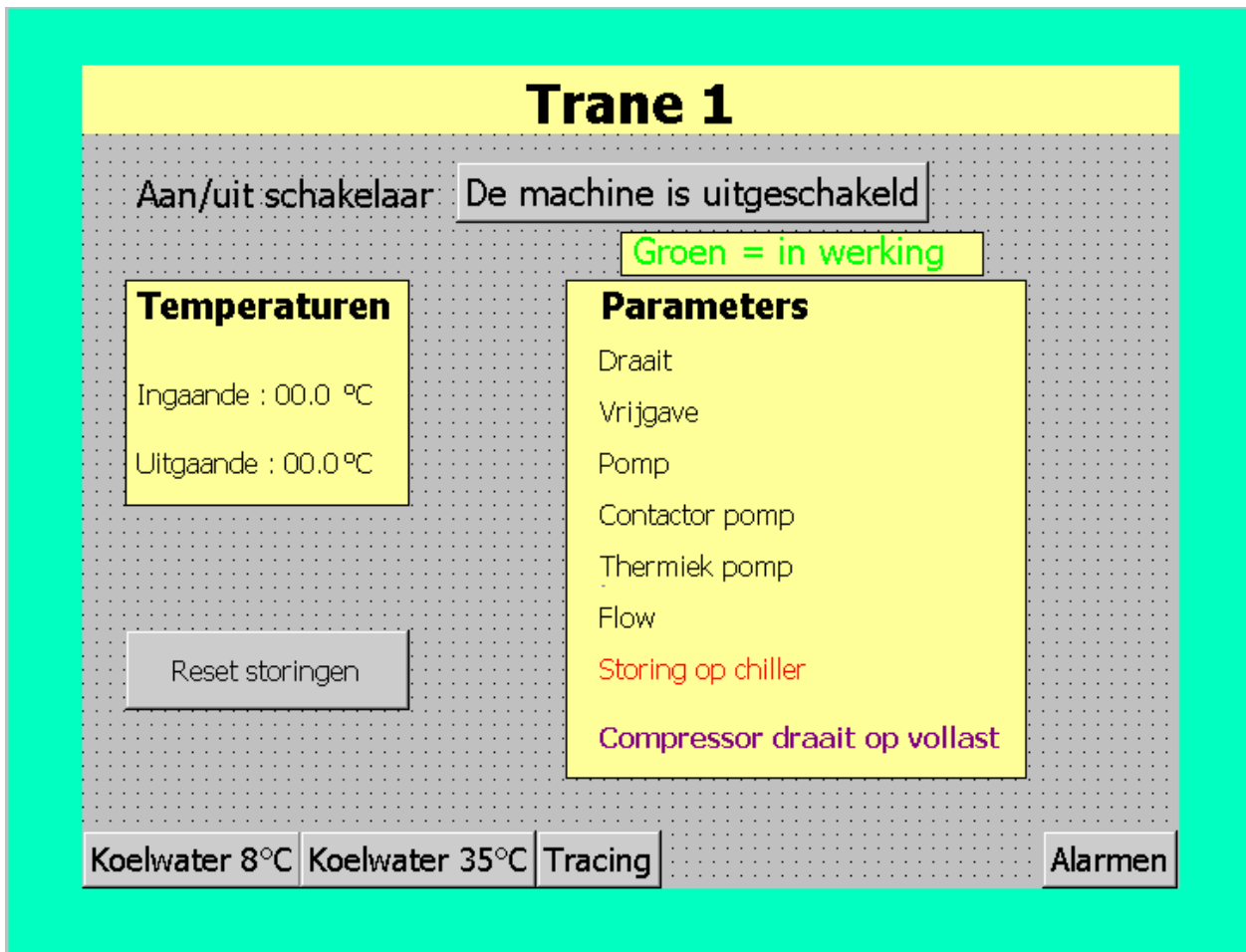
- Chillers
 - Status
 - In- en uitgaande temperatuur
- Warmwaterpompen
 - Status
 - Flowswitch
- Koudwaterpompen
 - Status
 - Druk op leidingen
- Buffertank
 - Aanzuigtemperatuur warmwaterpompen
 - Aanzuigtemperatuur koudwaterpompen
 - Niveau



Figuur 47: Grafische voorstelling 8°C-circuit

Chillers

Per chiller is een detailscherm voorzien waar men de I/O, die reeds besproken werden in 5.2, terugvindt. De parameters “Storing op chiller” en “Compressor op vollast” veranderen in tegenstelling tot de anderen niet van kleur, maar zijn in normale werkingstoestand onzichtbaar. Wanneer de gekoppelde bit van waarde wijzigt worden ze wel zichtbaar. Tevens kan men op dit scherm storingen resetten en de machine in- of uitschakelen. Figuur 48 toont een geïmplementeerd voorbeeld van een machine van Trane. Het scherm van de chiller van Daikin is sterk analoog aan dat van een Trane.



Figuur 48: Chiller

Tekst lists

Wanneer men de aan/uit schakelaar bedient op het scherm weergegeven in Figuur 48 zal deze van tekst veranderen. In het geval van de chiller kan de tekst twee toestanden aannemen:

- De machine is ingeschakeld;
- De machine is uitgeschakeld.

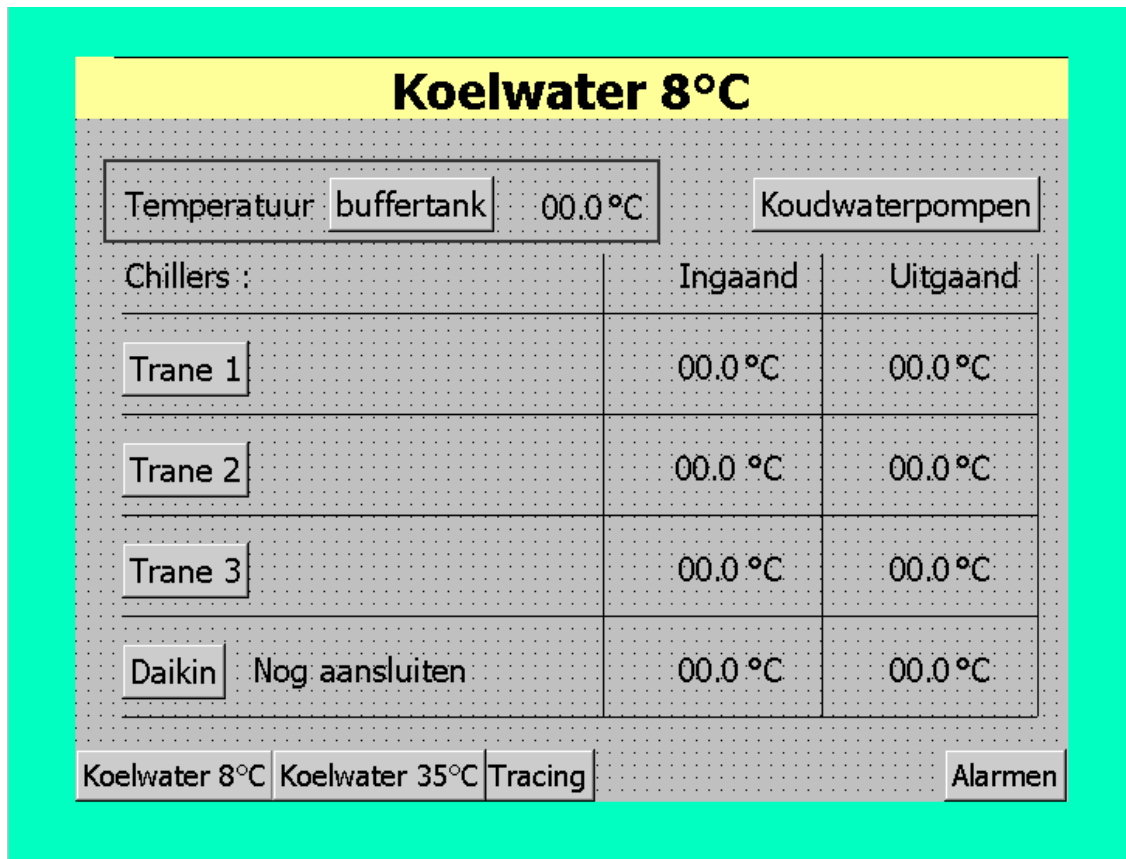
Welke tekst verschijnt, is afhankelijk van de status van de gekoppelde bit. Op deze wijze kan men aan de schakelaar ondubbelzinnig informatie toekennen. De gebruikte text lists zijn weergegeven in Figuur 49.

Text lists			
Name	Selection	Comment	
Auto/hand pomp	Bit (0, 1)		
Auto/hand tracing	Bit (0, 1)		
Pompkeuze manueel	Bit (0, 1)		
Tracing	Bit (0, 1)		
Tracing contactor	Bit (0, 1)		
Vrijgave	Bit (0, 1)		
List entries			
Default	Value	Entry	
<input type="radio"/>	1	Pompsturing werkt automatisch	
<input type="radio"/>	0	Pompsturing werkt manueel	

Figuur 49: Text lists

Detailscherm 8°C

Via dit detailscherm krijgt men een tabeloverzicht van de temperaturen. Tevens kan men hier navigeren naar de details van de buffertank en de koudwaterpompen. Merk op dat de temperaturen van de Daikin nog niet gemeten worden, zoals reeds beschreven in paragraaf 5.2.4. Het geïmplementeerde scherm is weergegeven in Figuur 50.



The screenshot shows a control interface titled "Koelwater 8°C". It features a table with temperature data for various components. At the top, there are buttons for "Temperatuur buffertank" (00.0 °C) and "Koudwaterpompen". The table lists "Chillers" with columns for "Ingaand" and "Uitgaand" temperatures. The "Daikin" entry is marked as "Nog aansluiten". At the bottom, there are navigation buttons for "Koelwater 8°C", "Koelwater 35°C", "Tracing", and "Alarmen".

Temperatuur buffertank		00.0 °C		Koudwaterpompen	
Chillers :		Ingaand	Uitgaand		
Trane 1		00.0 °C	00.0 °C		
Trane 2		00.0 °C	00.0 °C		
Trane 3		00.0 °C	00.0 °C		
Daikin	Nog aansluiten	00.0 °C	00.0 °C		

Koelwater 8°C Koelwater 35°C Tracing Alarmen

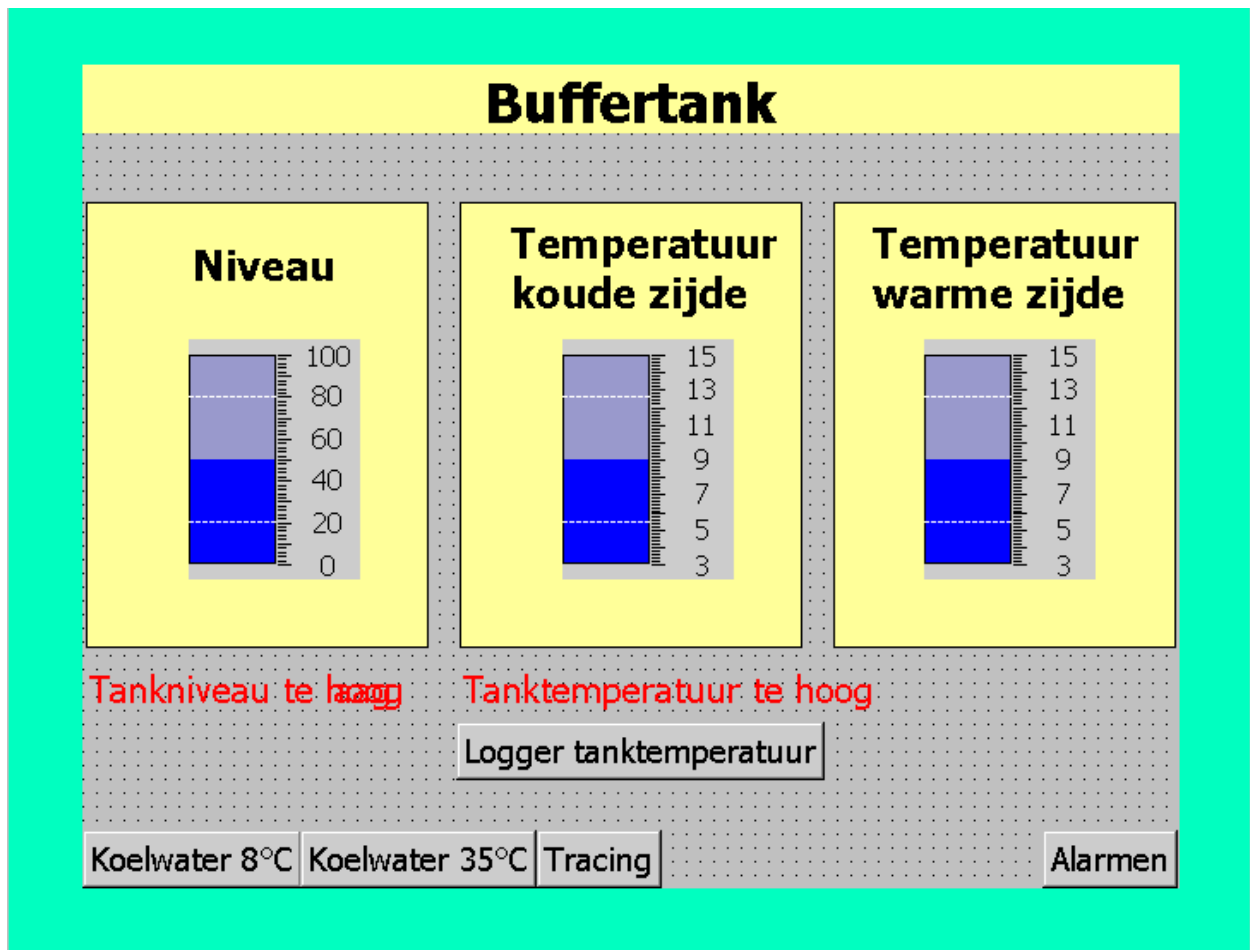
Figuur 50: 8°C-circuit detailscherm

Buffertank

Op dit scherm vindt men een grafische voorstelling van volgende parameters van de buffertank:

- het niveau,
- de temperatuur van de koude zijde,
- de temperatuur van de warme zijde.

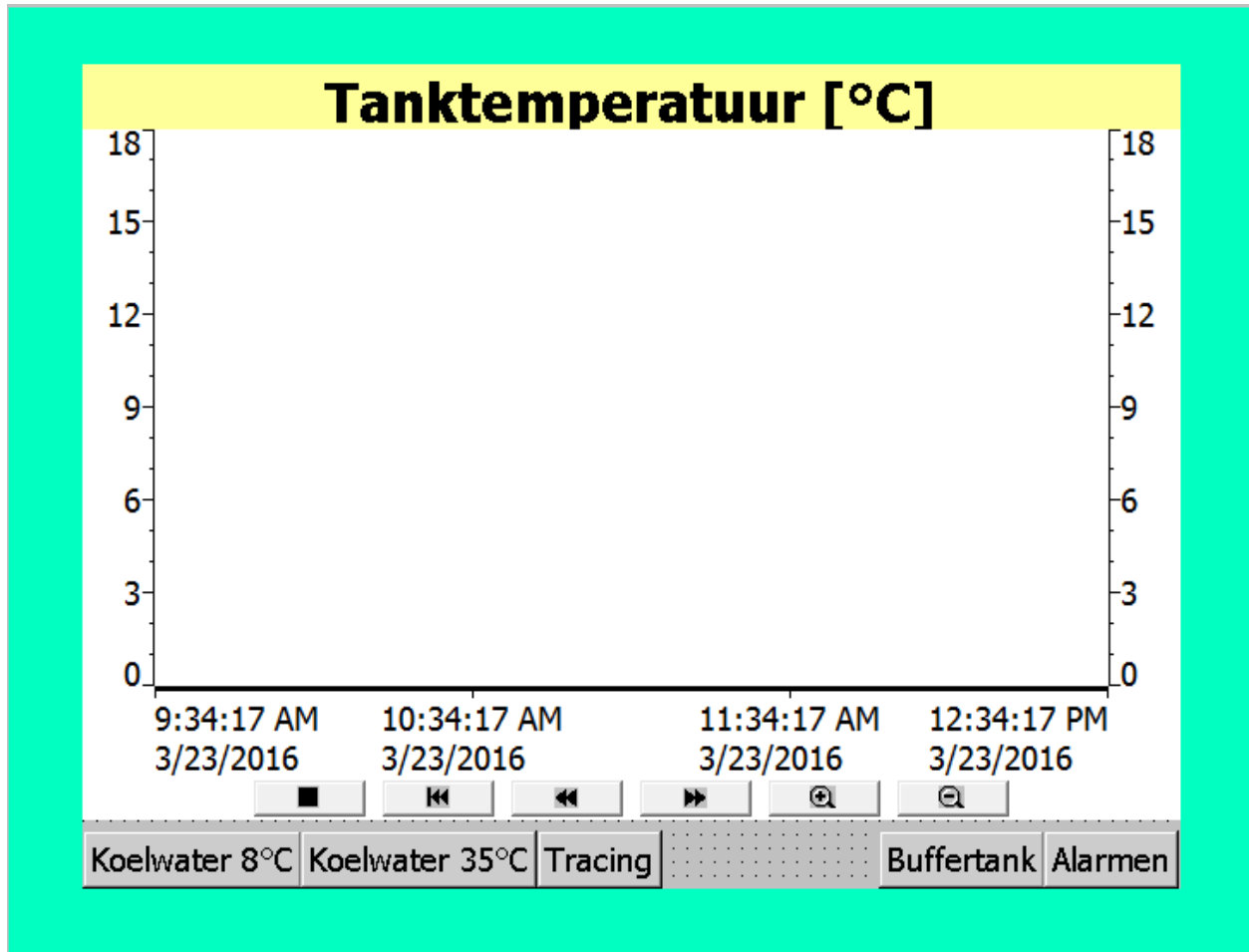
Tevens kan men via dit scherm naar de temperatuurlogger navigeren. Het geïmplementeerde scherm is weergegeven in Figuur 51.



Figuur 51: Buffertank

Logger tanktemperatuur

Om de processtabiliteit op te volgen heeft men een temperatuurlogger geïmplementeerd. Deze temperatuurlogger plot de temperatuur van het water dat de koudwaterpompen aanzuigen. Om de leesbaarheid te bevorderen, is zowel aan de linker- als rechterzijde een temperatuuraanduiding voorzien. De logger toont op standaardinstellingen het temperatuurverloop van het koelwater van de voorbije drie uur. Het geïmplementeerde scherm is weergegeven in Figuur 52.



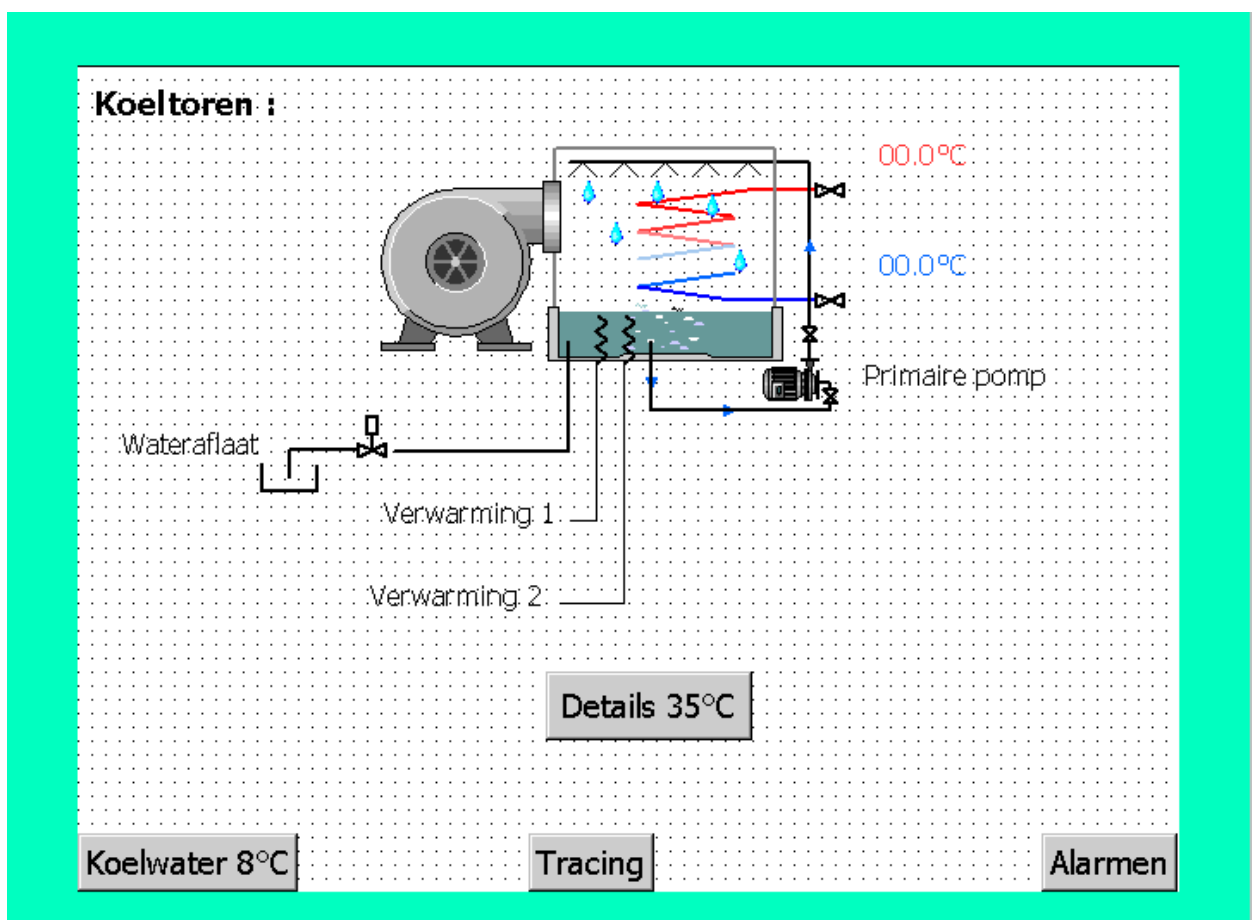
Figuur 52: Tanktemperatuur

5.5.2 35°C-circuit

Bij het 35°C-circuit vindt men analoog aan het 8°C-circuit een grafisch hoofdmenu terug. De onderdelen die hier weergegeven worden zijn:

- Warmtewisseling
 - In- en uitgaande temperatuur van het koelwater
- Status van
 - Primaire pomp
 - Wateraflaat
 - Verwarming 1
 - Verwarming 2

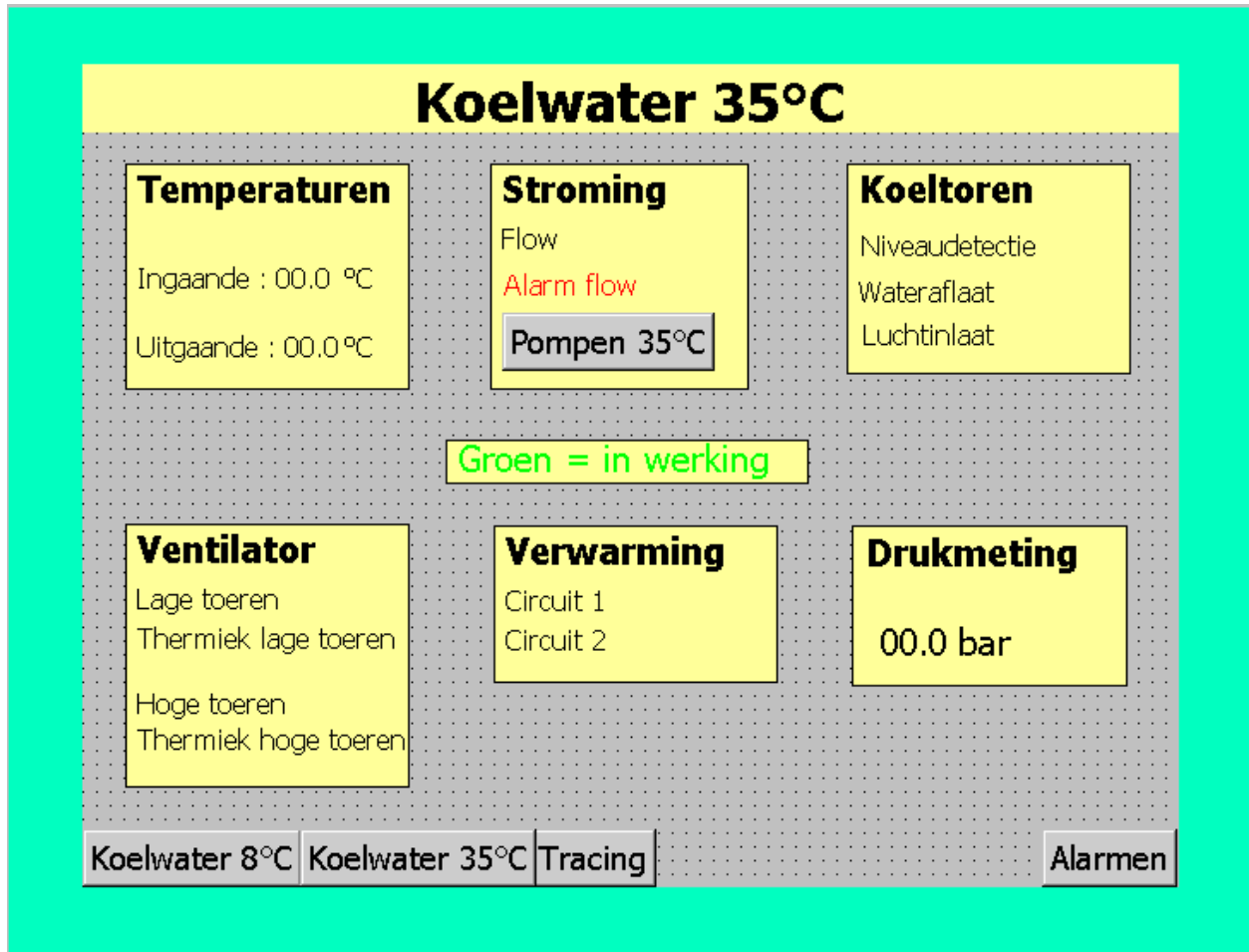
Het geïmplementeerde scherm is weergegeven in Figuur 53.



Figuur 53: Grafische voorstelling 35°C-circuit

Detailscherm 35°C

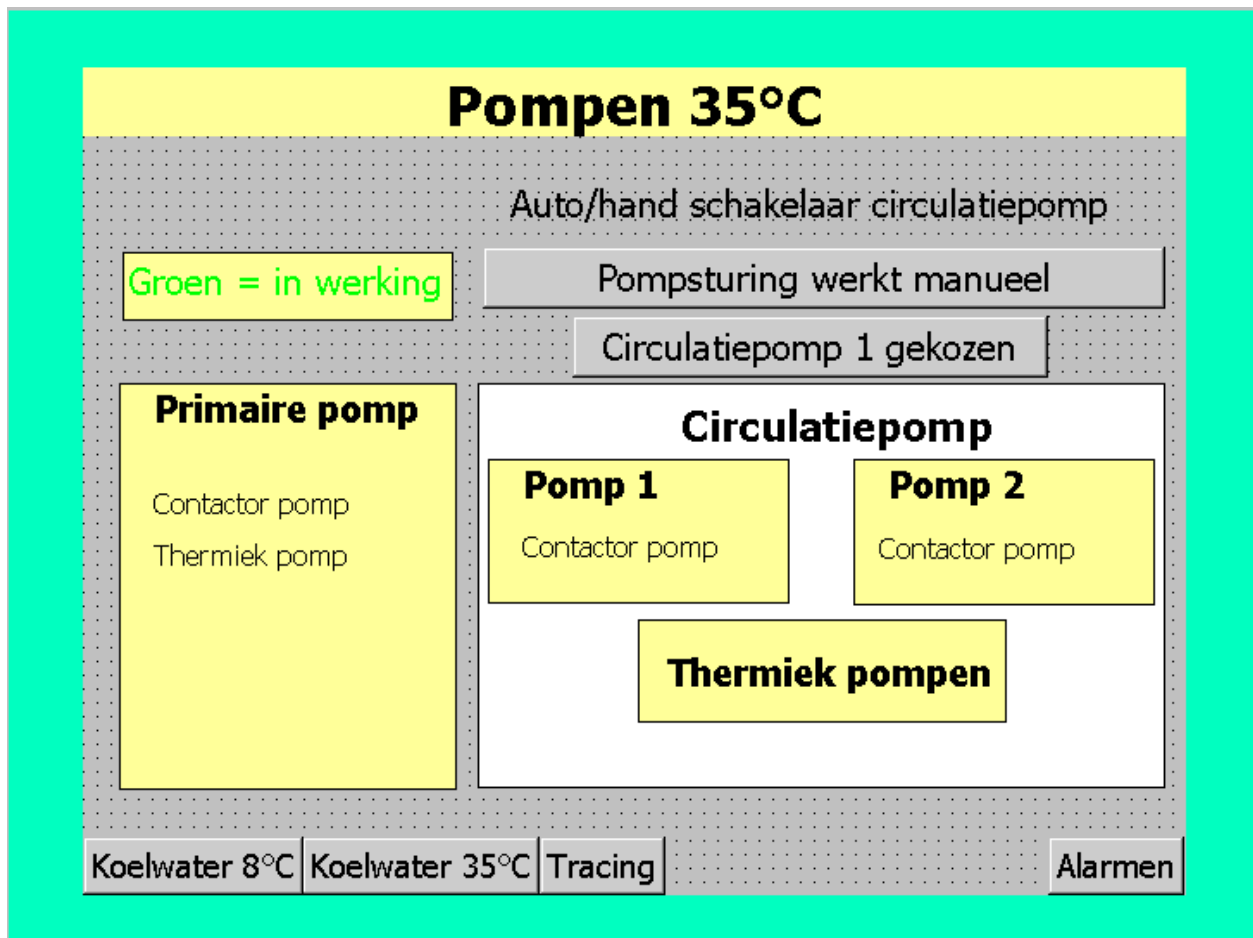
Op dit scherm wordt een gegroepeerd overzicht getoond van de verschillende parameters van de koeltoren. Het valt op dat op het visualisatiescherm enkel een mogelijkheid biedt tot aflezen en niet tot sturen. Dit aspect werd al eerder aangehaald in paragraaf 1.2. Het geïmplementeerde scherm is weergegeven in Figuur 54.



Figuur 54: 35°C-circuit details

Pompen 35°C

In dit scherm kan men opteren voor een automatische of manuele keuze van één van de twee circulatiepompen, zoals reeds beschreven in paragraaf 5.4.4. Speciaal aan deze opstelling is dat een gezamenlijke thermiek toegepast is voor beide pompen. Het geïmplementeerde scherm is weergegeven in Figuur 55.



Figuur 55: 35°C-circuit pompen

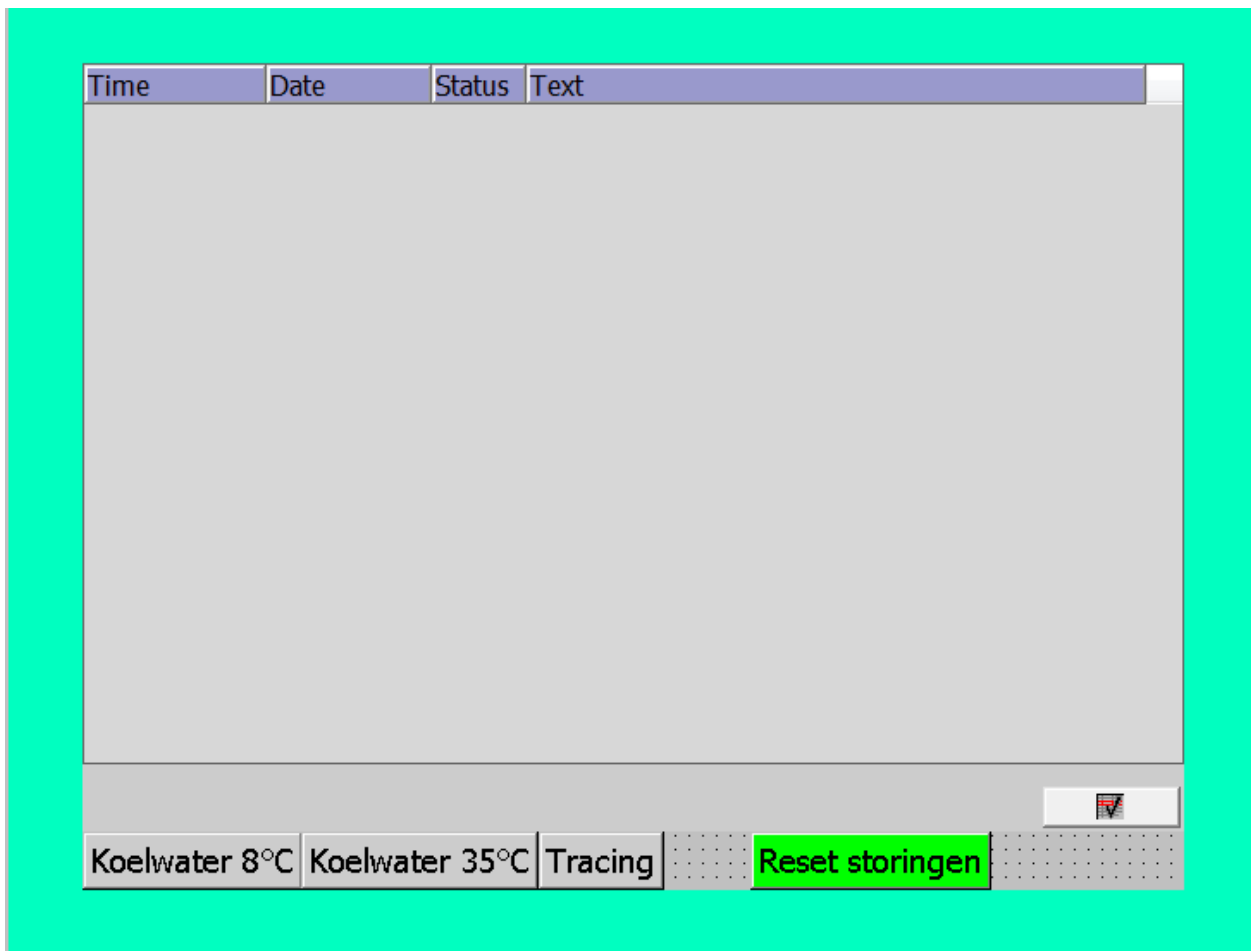
5.6 Storingsberichten GSM

Wanneer een kritieke installatie in het bedrijf een storing ondervindt, moet een mecanicien of elektricien hiervan op de hoogte gebracht worden. Sms'en, die door de telefooncentrale gestuurd worden, waarschuwen de techniekers wanneer een storing optreedt. De telefooncentrale krijgt de alarmsignalen van interfacerelais, die op hun beurt gestuurd worden door de PLC.

De storingen zijn in drie groepen opgedeeld:

- Storing op de chillers
- Storing op het 8°C-circuit
- Storing op het 35°C-circuit

De storingsfunctie FC50 sorteert de storing in één van de drie storingsgroepen. Afhankelijk van welke storing er optreedt, krijgt de techniker een SMS. Op het storingsscherm, weergegeven in Figuur 56, kan men in dat geval een gedetailleerde storingsmelding lezen.



Figuur 56: Storingsscherm

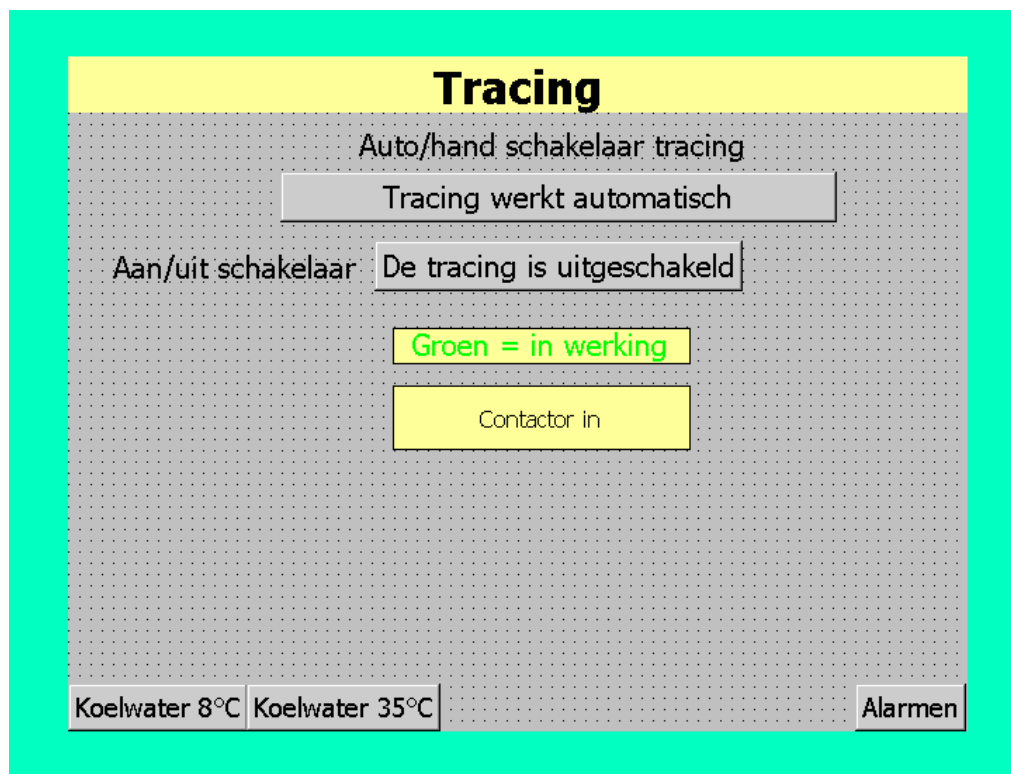
De tekst die weergegeven wordt, samen met de bijhorende trigger tags, vindt men in Figuur 57 terug. FC50 wijst de storingen toe aan de desbetreffende trigger tag.

Text	Number	Class	Trigger Tag	Trigger bit	Trigger address
Chiller 2: de thermiek van de pomp is uitgevallen	1	Errors	Storingen_0	0	M 7.0
Chiller 2: de flow is niet in orde	2	Errors	Storingen_0	1	M 7.1
Chiller 2: storing op de chiller [zie display machine]	3	Errors	Storingen_0	2	M 7.2
Chiller 1: de thermiek van de pomp is uitgevallen	4	Errors	Storingen_0	8	M 6.0
Chiller 1: de flow is niet in orde	5	Errors	Storingen_0	9	M 6.1
Chiller 1: storing op de chiller [zie display machine]	6	Errors	Storingen_0	10	M 6.2
Chiller 3: de thermiek van de pomp is uitgevallen	7	Errors	Storingen_1	8	M 8.0
Chiller 3: de flow is niet in orde	8	Errors	Storingen_1	9	M 8.1
Chiller 3: storing op de chiller [zie display machine]	9	Errors	Storingen_1	10	M 8.2
Chiller 5: de thermiek van de pomp is uitgevallen	10	Errors	Storingen_1	0	M 9.0
Chiller 5: de flow is niet in orde	11	Errors	Storingen_1	1	M 9.1
Chiller 5: storing op de chiller [zie display machine]	12	Errors	Storingen_1	2	M 9.2
De temperatuur van de buffertank is te hoog	13	Errors	Storingen_2	8	M 10.0
Het niveau van de buffertank is te laag	14	Errors	Storingen_2	9	M 10.1
Het niveau van de buffertank is te hoog	15	Errors	Storingen_2	10	M 10.2
KW1 leiding koud waterpomp 1 geen druk	16	Errors	Storingen_2	0	M 11.0
KW2 leiding koud waterpomp 2 geen druk	17	Errors	Storingen_2	1	M 11.1
KW 1 merker storing thermiek koud waterpomp	18	Errors	Storingen_2	2	M 11.2
KW2 merker storing thermiek koud waterpomp	19	Errors	Storingen_2	3	M 11.3
KW3 merker storing thermiek koud waterpomp	20	Errors	Storingen_2	4	M 11.4
Koeltoeren thermiek ventilator lage toeren	21	Errors	Storingen_3	0	M 13.0
Koeltoeren thermiek ventilator hoge toeren	22	Errors	Storingen_3	1	M 13.1
Koeltoeren thermiek primaire pomp	23	Errors	Storingen_3	2	M 13.2
Koeltoeren thermiek circulatiepompen	24	Errors	Storingen_3	3	M 13.3
Koeltoeren alarm flow	25	Errors	Storingen_3	4	M 13.4

Figuur 57: Tekst storingen

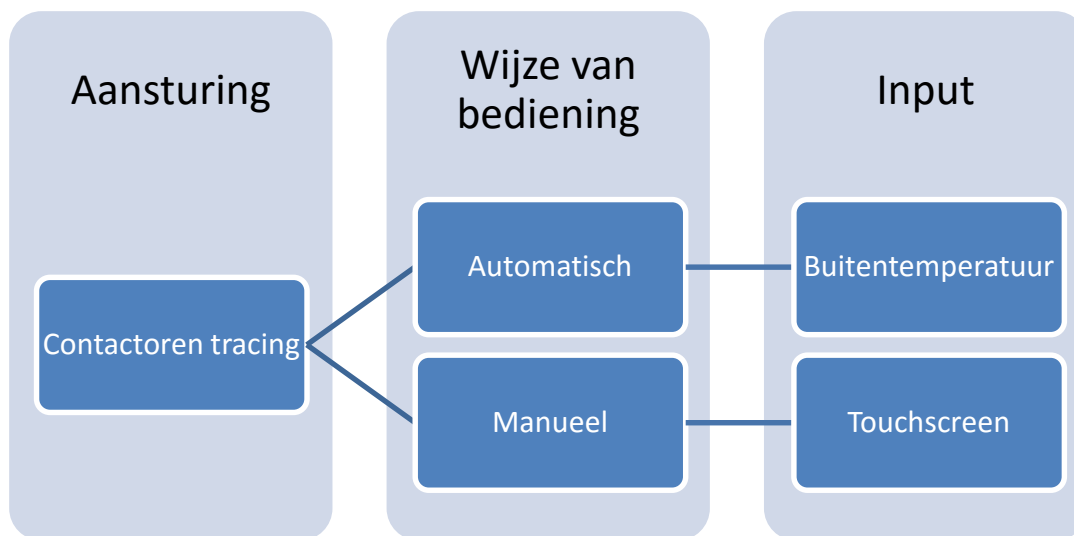
5.7 Tracing

Om vorstschade te voorkomen zijn er verwarmingslinten geplaatst op de buitenleidingen van de koelmachines en koudwaterpompen. Men kan nu dankzij de aangepaste sturing de tracing automatisch of handmatig in- en uitschakelen via de touchscreen. Het geïmplementeerde scherm is weergegeven in Figuur 58.



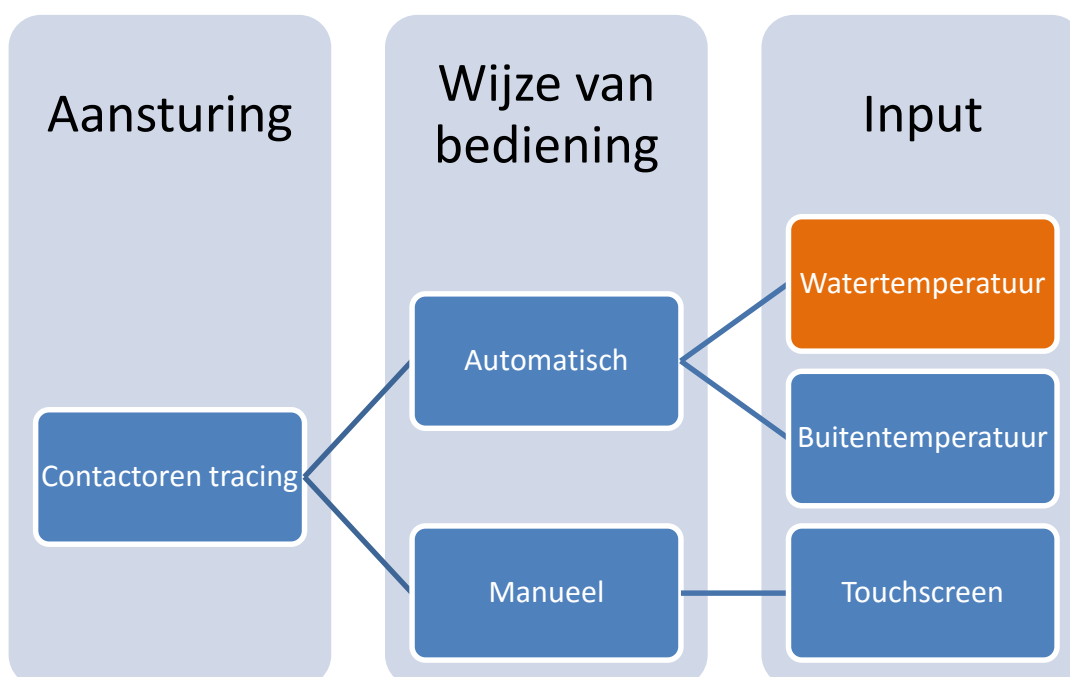
Figuur 58: Tracing

De huidige aansturing is als volgt: een vorstbeveiligingsthermostaat meet de buitentemperatuur en schakelt een interfacerelais wanneer de temperatuur onder 5°C daalt. Deze interfacerelais schakelt op zijn beurt de contactoren van de tracing. Deze werking is schematisch voorgesteld in Figuur 59.



Figuur 59: Schematische voorstelling huidige stuurlogica tracing

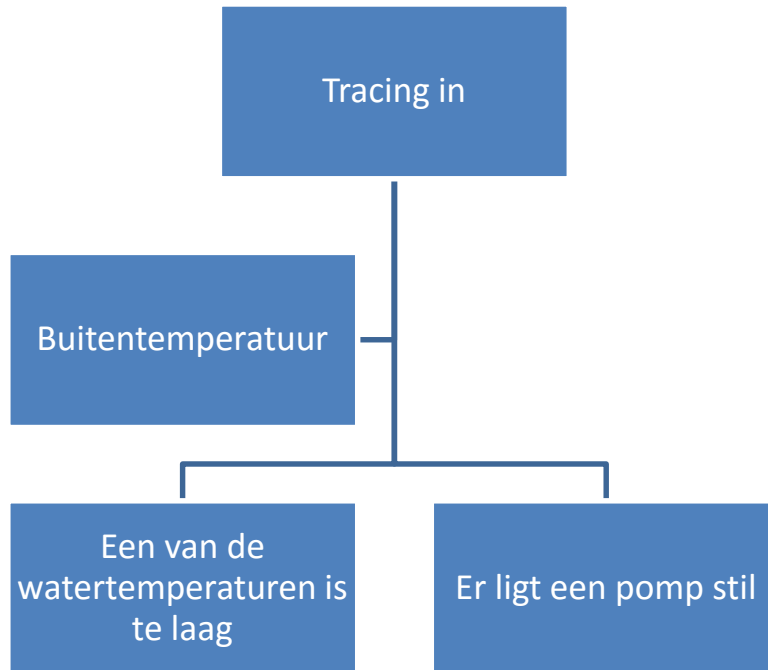
Om een energiezuinigere werking te bekomen wordt echter een andere sturingslogica voorgesteld. Dit systeem meet de buitentemperatuur en de verschillende watertemperaturen van de chillers, om zo vroegtijdig inschakelen en laattijdig uitschakelen te voorkomen. De principiële werking van dit systeem is schematisch weergegeven in Figuur 60.



Figuur 60: Schematische voorstelling voorgestelde stuurlogica tracing

De tracing moet pas inschakelen wanneer één van de watertemperaturen in de buurt van het vriespunt komt terwijl een van de pompen niet draait. Zolang elke pomp koelwater doorheen de respectievelijke chiller laat

vloeien, heeft het water geen kans op bevriezing. Het uitschakelen van de tracing kan gebeuren op basis van de buitentemperatuur. Wanneer deze boven het vriespunt komt mag de sturing de tracing uitschakelen. Op deze wijze is er geen vorstgevaar en kan men een aanzienlijke energiebesparing realiseren. Dit systeem is grafisch weergegeven in Figuur 61.



Figuur 61: Voorgestelde inputs sturing tracing

Bij elke chiller zit aan de ingangszijde een filter die het water zuivert. Parallel over deze filter zit een bypass die men met kleppen kan afsluiten. Het water in deze bypass staat in normaal bedrijf echter stil, wat vorstgevaar oplevert indien op deze leiding geen tracing staat. Hieruit volgt dat men het voorgestelde aansturingprincipe pas kan implementeren wanneer elke bypass bij de koelmachines een apart aanstuurbaar tracingslint krijgt.

6 Verbeteringen aan het koelnetwerk

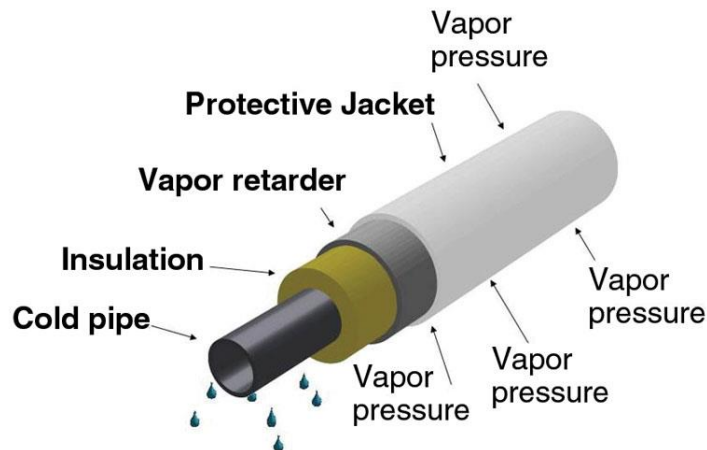
De beschouwde koelproblemen zijn zowel van elektrotechnische als thermodynamische aard. Het elektrotechnische gedeelte is door de aanpassingen al sterk verbeterd, wat onderzoek naar oorzaken op andere vlakken suggereert. Naar onderstaande aspecten moet verder onderzoek verricht worden.

6.1 Leidingnetwerk

De buitenleiding van de machines van Trane, waarvan Figuur 62 een voorstelling geeft, bestaat uit een vloeistofleiding van PVC-U waarrond isolatie zit. Deze isolatie vermindert de warmteopname van het koelwater door omgevingsinvloeden. Wanneer de isolatie doeltreffend werkt, kan het setpoint van de uitgaande chillertemperatuur hoger liggen om toch koelwater met dezelfde temperatuur aan de verbruikers af te leveren.

Goede isolatie kan men onderscheiden door het gebrek aan condensvorming op de leidingen. Wanneer de temperatuur van de leidingwand onder het dauwpunt zakt treedt condensatie op. Dit impliceert dat ideale isolatie de temperatuur van de buiswand boven het dauwpunt houdt [25].

Rond deze isolatie zit een metalen buitenmantel die de buis tegen atmosferische invloeden beschermt en de isolatie droog houdt. Deze metalen buitenmantel is bij de chillers echter foutief aangebracht waardoor er water naar binnen sijpelt. Tijdens het masterproefonderzoek kon men duidelijk water tussen de isolatie en de vloeistofleiding waarnemen. Dit verschijnsel kwam zowel voor bij de PVC-leidingen van de machines van Trane als bij de stalen leidingen van de machine van Daikin.



Figuur 62: Samenstelling procesbuis [26]

Verder kan men opmerken dat deze koelwaterleidingen over de energiebrug lopen. Deze energiebrug loopt bovenaan door de productiehal waar de temperaturen sterk oplopen. Deze warme omgeving is energetisch gezien geen ideale locatie voor de koelwaterleidingen.

6.2 Warmtewisselaars

De warmtewisselaars tussen het koelwater en de koelmachine zijn vervuild waardoor de warmteoverdracht vermindert. Om dit te compenseren is een lagere koelwatertemperatuur vereist zodat er toch genoeg koelenergie wordt overgedragen. Een beter onderhoud van de warmtewisselaars geeft dus aanleiding tot een hogere koelwatertemperatuur, wat op zijn beurt aanleiding geeft tot een verminderd energieverbruik.

6.2.1 Schatting verliezen naar omgeving

Vermits de meeste van de warmtewisselaars in de productiehal niet geïsoleerd zijn, treden verliezen door convectie op. Deze verliezen zijn afhankelijk van de convectieve warmteoverdrachtscoëfficiënt, het warmtewisselend oppervlak en de verschiltemperatuur. De toegepaste warmtewisselaars hebben een buitenoppervlak in de orde grootte van 5 m² [27]. De warmtestroom door convectie is beschreven in volgende formule:

$$\dot{Q} = h \cdot A \cdot (T_l - T_w) \quad [28]$$

Waarbij de symbolen uit de vergelijking staan voor:

\dot{Q} = Warmteverlies door convectie [W]

h = Convectieve warmteoverdrachtscoëfficiënt [$\frac{W}{m^2K}$] met geschatte waarde $15 \frac{W}{m^2K}$

A = Geschat warmtewisselend oppervlak [m²]

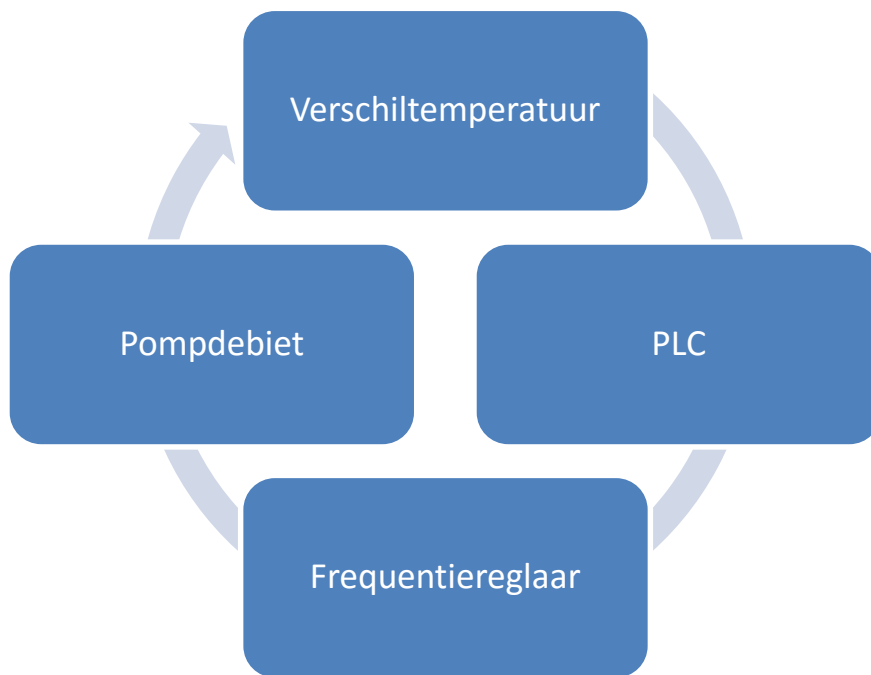
T_l = Temperatuur omgevingslucht [°C] met gemeten waarde 25°C

T_w = Temperatuur koelwater [°C] met gemeten waarde 6°C

$$\dot{Q} = 15 \frac{W}{m^2K} \cdot 5m^2 \cdot (25^\circ C - 6^\circ C) = 1.425 \text{ W}$$

6.3 Variabel pompdebiet

Men kan een energiezuinigere regeling bekomen wanneer de warmwaterpompen van de chillers uitgerust zijn met een frequentieregelaar. Om een constante verschiltemperatuur over een machine te bekomen is een variabel debiet vereist vermits de belasting niet constant is. Dit impliceert dat bij een lagere belasting het debiet doorheen de chiller mag dalen, zodat de ΔT constant blijft. Op deze wijze kan men besparen op het pompdebiet [29]. Praktisch moet de PLC de in- en uitgaande temperatuur herleiden tot een frequentie, die hij doorgeeft aan de frequentieregelaar. Figuur 63 toont een grafische voorstelling van dit principe.



Figuur 63: Schematische voorstelling debietregeling

6.4 Procestechnisch

6.4.1 Verhogen koelwatertemperatuur

Vanuit energetisch oogpunt is het interessant de koelwatertemperatuur te laten stijgen. Wanneer de geproduceerde tank procestechnisch zijn eigenschappen bereikt heeft, heeft dieper koelen geen nut omdat dit enkel leidt tot een verhoogd energieverbruik. Men moet onderzoeken wat de hoogst toegelaten temperatuur van het koelwater mag zijn waarbij de productiekwaliteit gewaarborgd blijft en het aantal productiefouten niet verhoogt.

6.4.2 Overschakelen naar 35°C

De nieuwste blaasmachine maakt gebruik van het 35°C-circuit. Deze watertemperatuur onderhouden vraagt veel minder arbeid, vermits op deze temperatuur een koeltoren toegepast kan worden. Bij een koeltoren biedt de atmosfeer verkoeling waardoor een koeltoren veel minder energie verbruikt dan een dampcompressiemachine. Het is daarom interessant zoveel als mogelijk gebruik te maken van het 35°C-circuit.

6.5 Onderhoudsproblemen

Verschillende externe bedrijven hebben ingestaan voor het onderhoud van de koelmachines. Er waren echter veel wederkerende problemen waarvan men de actuele heeft geïnventariseerd. Wanneer men de onderhoudsverslagen van de koelmachines leest, valt op dat veel problemen nooit degelijk worden opgelost. De gedocumenteerde storingen werden met de praktische situatie vergeleken om zo een overzicht op te stellen dat men in Bijlage A terugvindt. Door deze problemen werken meerdere chillers op een gereduceerde capaciteit, zodat vanzelfsprekend het totale koelvermogen daalt.

7 Besluit

Ten eerste werden vermogen-en debietmetingen op de warmwaterpompen van de chillers uitgevoerd. Er werden experimenten uitgevoerd met als bedoeling het debiet doorheen de koelmachines te verhogen. Om deze verhoging te bekomen werden tests met zowel smoorkleppen als frequentieregelaars uitgevoerd opgemeten. Men kan aan de hand van deze metingen concluderen dat voor een maximaal koelvermogen de smoorkleppen volledig open gedraaid moet staan. Tevens kan men besluiten dat een verhoogd toerental van de pompen slechts een beperkt additioneel debiet oplevert ten opzichte van een sterke vermogenstoename, wat maakt dat dit niet de beste oplossing is.

Tijdens deze metingen constateerde men bij chiller 1 een opvallend laag debiet, wat de koelprestaties nadelig beïnvloedde. Door deze onregelmatigheid op te lossen is een wezenlijke verbetering gerealiseerd die voornamelijk bij hogere belastingen tot uiting gaat komen omdat de machine dan geen onnodig hoge ΔT heeft.

Daarnaast werd de volledige programmatie van zowel het 8°C-circuit als het 35°C-circuit herschreven. Het grootste verschil in de praktische werking van de chillers tussen de verbeterde aansturing en de oorspronkelijke aansturing is dat de machines niet meer uitgeschakeld worden, maar op deellast werken. Hieraan werd een onderzoek gekoppeld, waar men opgemeten heeft welk effect het opstarten van een chiller op de EER heeft. Dezelfde meetopstelling werd gehanteerd bij het opmeten van de regimetoestand van de koelmachine, zodat een vergelijking gemaakt kon worden.

Uit de metingen en de daaruit volgende berekeningen ziet men duidelijk dat de gemeten parameters bij de aangepaste sturing veel stabielere waarden aannemen. Tevens valt op dat het totale energieverbruik bij de meting in regimetoestand hoger is dan bij de opstart van de machine. Dit is echter voordelig omdat de gemiddelde EER een hogere waarde aanneemt zodat de chiller relatief gezien meer koude produceert en een beter rendement in deze situatie heeft.

Na onderzoek en aanpassingen kan men besluiten voor de aansturing van de chillers dat:

- De temperatuur van het koelwater stabiel is;
- Het koelvermogen is toegenomen;
- Er een sneller regelsysteem bekomen is;
- Er minder energieverlies ontstaat;
- De machineslijtage evenwichtig is.

Het volledig herschreven PLC-programma focust op structuur en uniformiteit. Dit komt tot uiting in gebruikte programma-elementen zoals FB en UDT's. Het herleiden van de parametreerbare programmaonderdelen tot black boxes leidt tot een intuïtieve en gebruiksvriendelijke interface.

Na onderzoek en aanpassingen kan men besluiten voor de PLC-aansturing van de chillers dat:

- Het PLC-programma herschreven is in een duidelijk gestructureerde vorm;
- Een uniforme en herbruikbare programmatie bekomen is;
- Overbodige componenten verwijderd zijn;
- Er meer mogelijkheden zijn tot sturing en uitlezing;
- De visualisatie volledig hermaakt is;

- De transparante en efficiëntere programmatie leidt ertoe dat de werking van de machines duidelijker opgevolgd kan worden door zowel operators als technici.

Tot slot kan men besluiten dat de duidelijkheid van de visualisatie van de koeltoren is toegenomen en dat de programmatie in een gestructureerde vorm is geschreven.

Bibliografie

- [1] Kautex, „<http://www.kautex.de/about-kautex/>,” [Online].
- [2] LDVConsult, „Resultaten COP metingen koelsystemen Kautex Tessenderlo,” 2007.
- [3] Kautex, „Energiebalans”.
- [4] E. Camps, „Koelwatercircuit 8°,” 2012.
- [5] E. Camps, „Koelwatercircuit 35°,” 2012.
- [6] BAC, „VFL Closed circuit cooling towers,” 2015.
- [7] J. W. J. Jewett en R. A. Serway, *Physics for Scientist and Engineers with Modern Physics*, USA: BROOKS/COLE, 2010.
- [8] W. Deferme, *Fluidomechanica en thermodynamica*, Hasselt: Universiteit Hasselt, 2013.
- [9] A. A. Al-Rashed, „Effect of evaporator temperature on vapor compression refrigeration system,” Alexandria University, 2010.
- [10] ANDRITZ AG, „ANDRITZ centrifugal pump ACP/ARE series,” 2015.
- [11] Trane, „RLC-PRC015-E4,” ©American Standard Inc., 2003.
- [12] Daikin, „CSS - Rev. 9.1,” 2014.
- [13] Y. Takeda, „Ultrasonic Doppler method for velocity profile measurement in fluid dynamics,” Springer-Verlag, 1999.
- [14] Sierra Instruments USA, „Innova-Sonic™ Model 210 Portable Instruction Manual”.
- [15] P. Van Roy, J. Driesen en R. Belmans, „Rendementen en toepassingen van toerentalgeregelde aandrijvingen bij pompen,” 2012.
- [16] Wikipedia, „Regelklep,” [Online]. Available: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Regelklep>.
- [17] IMI Hydronic Engineering, „IMI TA / Balancing valves / STAF, STAF-SG,” 2014.
- [18] B. M., „Radiale turbopompen,” in *Pompen & compressoren*, Academia Press, 2010.
- [19] K. Vangenechten, „Asynchrone motoren (inductiemotor)”.
- [20] Trane, „RTAD-SVX01D-E4”.
- [21] Trane, „Diagnostic Troubleshooting Repair RLC-SVD03A-EN,” 2005.
- [22] Daikin Europe NV, 0V11-06541, 2011.
- [23] SEW, „Drive Engineering - Practical implementation - EMC in drive engineering,” SEW-EURODRIVE GmbH & Co KG, 2013.
- [24] Siemens AG, „Course ST-7PRO1,” 2003.

- [25] Daikin, „Chiller Application Guide Fundamentals of Water and Air Cooled Chillers,” Daikin Applied, 2014.
- [26] C. Curtland, „Proper Insulation of Chilled Water Pipe Systems,” [Online]. Available: <http://www.buildings.com/article-details/articleid/14132/title/proper-insulation-of-chilled-water-pipe-systems.aspx>.
- [27] Alfa Laval, „PCT00115EN 1505”.
- [28] F. Rogiers, Warmteoverdracht, UHasselt/KULeuven, 2016.
- [29] R. S. HUBBARD, „Energy Impacts of Chilled-Water-Piping Configuration,” Johnson Controls, Inc., USA, 2012.
- [30] C. C. Crall, „Insulation Outlook,” Juni 2015. [Online]. Available: <http://www.insulation.org/io/article.cfm?id=IO150605>.
- [31] Wikipedia, „Vapor-compression refrigeration,” [Online].
- [32] B. Zheng en M. Liu, „Impacts of Balancing Valves on Pump Energy and Control Performance in Variable Water Flow Systems,” Journal of Solar Energy Engineering, 2006.
- [33] BAC, „M VLv12 EN”.

Bijlagenlijst

Bijlage A: Storingsoverzicht	103
Trane 1	103
Ventilatoren	103
Andere problemen.....	103
Trane 2	104
Ventilatoren	104
Andere problemen.....	104
Trane 3	105
Ventilatoren	105
Andere problemen.....	105
Daikin.....	105
Ventilatoren Daikin.....	105
Andere problemen Daikin.....	105
Bijlage B: Bestanden op Cd-rom.....	107
Koelwatercircuit 8°C [4].....	107
Koelwatercircuit 35°C [5].....	107
Excel berekening koudeproductie	107
PLC-programma.....	107
WinCC Flexible	107

Bijlage A: Storingsoverzicht

Om inzicht in de toestand van de chillers te verkrijgen, werd uit de servicereporten van verschillende onderhoudsfirmas volgend storingsoverzicht samengesteld.

Dit overzicht bestaat per machine uit twee subtitels;

- De toestand van de ventilatoren die de condensor koelen.
De ventilatoren staan zo weergegeven dat de linkerzijde aangrenzend is met het compressorlokaal. Een groen gekleurde ventilator wijst op een normale werking, een rood gekleurd exemplaar op een defect.
- De optredende problemen aan de chiller.
De problemen zijn via een tabel ingedeeld in categorieën aan de hand van hun status.

Trane 1

Ventilatoren

Tabel 20: Status ventilatoren Trane 1

X	X	X	X
X	X	X	X

Andere problemen

Tabel 21: Probleemomschrijvingen Trane 1

Datum	Probleemomschrijving	Opgelost	Niet opgelost	Acuut probleem
08/02/2016	Circuit 1 geblokkeerd: reden: koelmiddeltek aan dichting van compressor. Compressor moet open om lek te repareren.			x
01/02/2016	Compressor 1 veel lawaai			x
25/01/2016	Sensor lage druk (zuigzijde) circuit 1 vervangen	x		
29/12/2015	Sensor lage druk (zuigzijde) circuit 1 defect	x		
07/01/2015	Compressor 1 veel lawaai			x
07/07/2015	Dichting compressor lekt			x
12/05/2015	Vervangen olie aanvoer sensor compressor circuit 2	x		
11/05/2015	Vervangen olie temperatuur sensor circuit 2	x		
01/04/2015	Foutmelding olie aanvoer sensor compressor circuit 2	x		
01/03/2013	Ventilator lagers versleten		x	
21/05/2012	Lek aan overdrukventiel olieafscheider circuit 1	x		

28/11/2011	Ventilator 6 vervangen	x		
06/05/2011	Persleiding olie beschadigd			x
06/05/2011	Drive ventilator fout ERR33		x	
23/04/2011	Lek gedicht door Trane	x		
08/11/2011	Ventilator thermiek valt uit		x	

Trane 2

Ventilatoren

Tabel 22: Status ventilatoren Trane 2

X	X	X	X
X	X	X	X

Andere problemen

Tabel 23: Probleemomschrijvingen Trane 2

Datum	Probleemomschrijving	Opgelost	Niet opgelost	Acuut probleem
09/02/2016	Circuit 1 geblokkeerd: reden: oliekoeler lekt. Valt niet te repareren, nieuwe koeler nodig.			x
04/02/2016	Stuurmodule 1 defect	x		
01/02/2016	Ventilator circuit 2 niet terug geplaatst		x	
23/06/2015	Ventilator 3 circuit 2 stuk		x	
12/02/2015	Ventilator 6 circuit 2 lagers uitgesleten		x	
11/04/2014	Lek condensor gelast			x
13/03/2014	Olielek + lekken condensor circuit + veel lawaai compressor 2			x
22/01/2014	Lek aan condensor circuit 2			x
23/10/2013	Lek aan condensor circuit 2			x
19/09/2013	Ventilator circuit 1		x	
25/07/2013	Condensor circuit 1 lek			x
01/03/2013	Lagers ventilatoren versleten		x	
03/09/2012	Olielek circuit 2			x
14/05/2012	Olielek circuit 2			x
21/05/2012	Lek condensor circuit 2			x
21/06/2011	Koelmiddel en olie bijgevoerd door lek circuit 2			x
06/05/2011	Lek aan circuit 2 30/05/2011			x
22/05/2011	Lek condensor 2			x

Trane 3

Ventilatoren

Tabel 24: Status ventilatoren Trane 3

X	X	X	X
X	X	X	X

Andere problemen

De werking van Trane 3 is adequaat, er zijn momenteel geen optredende storingen.

Daikin

Ventilatoren Daikin

Tabel 25: Status ventilatoren Daikin

X	X	X	X
X	X	X	X

Andere problemen Daikin

De chiller van Daikin is momenteel uit dienst omdat er lekken op de shell and tube circuits voorkomen. Een lage verdampertemperatuur in combinatie met te weinig koelmiddel wijst waarschijnlijk op een lek in de verdamper.

Bijlage B: Bestanden op Cd-rom

Koelwatercircuit 8°C [4]

Koelwatercircuit 35°C [5]

Excel berekening koudeproductie

PLC-programma

WinCC Flexible

Auteursrechtelijke overeenkomst

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:
Optimalisatie van de koelinstallaties te Kautex

Richting: **master in de industriële wetenschappen: energie-elektrotechniek**
Jaar: **2016**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

Van Moll, Niels

Datum: **5/06/2016**