

**Bachelorproef
Professionele Opleidingen
Studiegebied Industriële Wetenschappen en Technologie**

Academiejaar 2019-2020

Retrofitten van een klimaatkast

Bachelorproef aangeboden door
Jarno De Meerleer
tot het behalen van de graad van
Bachelor in de Elektromechanica, richting Klimatisering

Interne begeleider: **Dany Verherbrugge**
Externe begeleider: **Sales and Project Manager Benelux Gino Andries**

Woord vooraf

Mijn naam is Jarno De Meerleer en ik volg de opleiding Professionele Bachelor Elektromechanica Klimatisatie, aan hogeschool Odisee, campus Aalst. Aangezien ik in mijn derde en laatste jaar zit, kreeg ik de opdracht om mezelf te bewijzen via een bachelorproef. Deze proef heeft als opzet om alle opgedane kennis gedurende de opleiding in praktijk om te zetten. Via dhr. Tomas Van De Vijver kreeg ik de mogelijkheid aangeboden om bij Climatronic mijn bachelorproef uit te werken. Deze proef hield het retrofitten van een klimaatkast in.

Uiteraard kon ik dit werk niet realiseren zonder de hulp van een aantal personen. Daarom bedank ik bij deze dhr. Gino Andries, Sales and Projectmanager Benelux bij Climatronic, en mijn externe begeleider, voor de uitstekende begeleiding van mijn bachelorproef. Bij hem kon ik steeds terecht met vragen en onduidelijkheden. Hij bezorgde mij ook steeds informatie en ideeën bij het uitwerken van mijn proef. Daarnaast bracht hij mij tijdens de korte stageperiode ook veel praktijkervaring bij die zeker nuttig was bij het vervaardigen van het project.

Ik had dit werk uiteraard niet kunnen realiseren zonder de hulp van mijn interne begeleider de heer Dany Verhertbrugge, Coördinator opleidingen Energie en Docent. Bij dhr. Verhertbrugge kon ik steeds terecht met theoretische vragen wanneer ik problemen had bij berekeningen. Daarnaast bracht ik via zijn tips structuur aan in het dossier. Verder heb ik tijdens het schrijven van dit dossier ook veel baat gehad bij de verschillende cursussen en nota's uit zijn hoorcolleges.

Mijn dank gaat ook uit naar de heer Tomas Van De Vijver, baas en eigenaar van het bedrijf Climatronic, voor het aanbod van de bachelorproef, voor het nalezen van het dossier en de innovaties die hij aanbracht bij het realiseren van het project.

Tenslotte wil ik ook nog de rest van het Climatronic-team bedanken voor de goede sfeer gedurende de stageweken.

Samenvatting

Voor fabrikanten is het belangrijk dat zij een kwaliteitsvol product kunnen afleveren met een lange levensduur. Hiervoor is het belangrijk om kennis te hebben over de structuur en het gedrag van materialen en producten in verschillende klimaten. Om dit te kunnen nagaan werden klimaatkasten geïntroduceerd. De kasten bevatten een procesruimte waarin verschillende klimaten gesimuleerd kunnen worden.

Deze bachelorproef omvat de retrofit van een klimaatsimulatiekast waarin temperatuur en relatieve vochtigheid gesimuleerd kunnen worden. Hiervoor werden de oude systemen in de klimaatkast geëvalueerd en selectief vervangen. Zo werd er een nieuw koelings-, verwarmings-, ontvochtigings-, en bevochtigingssysteem aangebracht. Deze systemen werden via een selectieprocedure geselecteerd en stap voor stap samengebracht tot een samenhangend geheel. Dit alles met een bijhorend zelfontworpen koeltechnisch en elektrisch schema.

Het selecteren gebeurde via tabellen en lijsten die verkregen werden bij verschillende fabrikanten. Eén van de grote uitdagingen die deze bachelorproef met zich meedraagt is de samenwerking tussen de verschillende onderdelen. Het is namelijk van groot belang dat de systemen elkaar niet kunnen beïnvloeden. Daarnaast is het ook niet onbelangrijk om de benodigde vermogens nauwkeurig en doordacht te bepalen en om rekening te houden met de juiste opstellingswijze.

In dit dossier worden de berekeningen van de verschillende vermogens, de selectie van de verschillende onderdelen, de keuze van fabrikanten en de uitgedachte koeltechnische- en elektrische circuits stap voor stap uitgelegd. Het dossier kan als het ware beschouwd worden als een soort stappenplan om een temperatuur- en vochtsimulatiekast te bouwen en/of te retrofitten.

Tenslotte werden ook nog de kalibratie en inregelingsmethodes verder uitgediept.

Doelstellingen

De bachelorproef omvat een defecte klimaatkast weer operationeel maken. Het bedrijf wil deze klimaatkast gebruiken als standaardreferentie voor de interne validatie van hun temperatuur- en vochtsensoren.

Om deze klimaatkast weer gebruiksklaar te maken zal, rekening houdend met de geldende temperatuur- en vochteisen, bestudeerd moeten worden welke onderdelen geschikt zijn voor hergebruik. Hierna kan er een selectie gemaakt worden van de onderdelen die aan vernieuwing toe zijn. Vooraleer het selecteren van deze onderdelen van start kan gaan, is het noodzakelijk om op koeltechnisch vlak eerst een nieuw koeltechnisch schema uit te tekenen. Daarnaast zal na het selecteren van de benodigde sensoren, accumulators en regeling ook het elektrische schema uitgetekend moeten worden. Na het tekenen van dit schema volgt het bekabelen van de schakelkast.

Eens deze praktische realisatie voltooid is kan er worden gestart met de kalibratie en validatie. Tenslotte wenst het bedrijf ook een uitgeschreven handleiding betreffende de bediening en het onderhoud van de klimaatkast. Hieronder worden de doelstellingen nog eens op een rijtje gezet:

Doelstellingen

- Bepalen welke componenten gebruikt moeten worden.
- De klimaatkast koeltechnisch, elektrisch en regeltechnisch opbouwen, vertrekkende vanuit een lege 'casing'.
- De kast kalibreren en testen.
- Het uitschrijven van een gebruikshandleiding.

Inhoudsopgave

Woord vooraf	1
Samenvatting	2
Doelstellingen	3
Inhoudsopgave	4
Figurenlijst	9
Tabellenlijst	15
Afkortingen en symbolen	17
Inleiding	18
1 Bedrijfsvoorstelling	19
1.1 CLIMATRONIX	19
2 Probleemstelling	20
4 De klimaatkast	21
4.1 WAT IS EEN KLIMAATKAST?	21
4.2 WAAROM KLIMAATSIMULATIE?	21
4.3 STATISCHE OF DYNAMISCHE KLIMAATTESTEN	21
5 Situatieschets	22
5.1 BINDER MKF 240	22
5.2 DE VERSCHILLENDE ONDERDELEN	24
5.3 HET KOELSYSTEEM	25
5.3.1 Het basiskoelcircuit	25
5.3.2 Het koelcircuit van de mkf 240.....	27
5.4 HET ONTVOCHTINGSSYSTEEM	32
5.5 HET VERWARMINGSSYSTEEM	33
5.5.1 Het halfgeleiderrelais (SSR)	33
5.5.2 De pulsbreedtemodulatie	34
5.5.3 Eigenschappen elektrische weerstanden	35
5.6 HET BEVOCHTINGSSYSTEEM	35
5.6.1 Via elektroden	35
5.6.2 Via een elektrische weerstand	35
5.7 DE TEMPERATUURSENSOR	36
5.7.1 De brug van Wheatstone	37
5.7.2 De tweedraadaansluiting	37
5.7.3 De driedraadaansluiting	38
5.7.4 De vierdraadaansluiting	38
5.7.5 Toleranties	39

5.7.6	Eigenschappen	39
5.8	DE VOCHTVOELER	39
5.8.1	Wat is relatieve vochtigheid?	40
5.8.2	Werking.....	40
5.9	DE DRUKVEREFFENING	41
5.10	DE VENTILATOR.....	42
5.10.1	Luchtgeleiding.....	42
5.10.2	Besluit	43
6	Conclusies.....	44
6.1	KOELING	44
6.2	ONTVOCHTIGING.....	44
6.3	BEVOCHTIGING	45
6.4	VERWARMING.....	45
6.5	TEMPERATUURMETING.....	45
6.6	VOCHTMETING.....	45
6.7	LUCHTCIRCULATIE	45
7	Luchtcirculatie	46
8	Warmteverliesberekening klimaatkast	48
8.1	WAT IS EEN WARMTEVERLIESBEREKENING?	48
8.2	DE OPBOUW VAN DE KLIMAATKAST.....	48
8.3	WARMTEOVERDRACHTSMECHANISMEN	49
8.3.1	Straling.....	49
8.3.2	Convectie	50
8.3.3	Geleiding.....	50
8.4	WARMTEVERLIESBEPALING KLIMAATKAST.....	51
8.4.1	Bepaling van het warmtetransport van omgeving naar wand	53
8.4.2	Het warmtetransport doorheen de wanden	53
8.4.3	Bepaling van de warmtedoorgangscoefficiënt.....	55
8.4.4	Bepaling van de verliesoppervlakken	55
8.4.5	Bepaling van het temperatuurverschil	56
8.4.6	Bepaling van het totale warmteverlies	56
8.5	DE WARMTELAST EN DE KOELLAST.....	56
9	Het ontvochtigen.....	57
9.1	BEPALING VAN HET TYPE DROGER	57
9.1.1	Absorptiedroger	57
9.1.2	Condensatiedroger	58
9.1.3	Persluchtdroger.....	58
9.1.4	Vergelijking	59
9.1.5	Keuze van het type droger.....	60
9.2	BEREKENINGEN	60
9.2.1	Bepaling temperatuur koeloppervlakte	60
9.2.2	Stap 1 bepaling van de bypassfactor.....	62
9.2.3	Bepaling van de totale warmtestroom	62
9.2.4	Het voelbare en latente vermogen.....	64

9.3	DE KOELSPIRAAL	65
9.4	EVALUATIE VAN DE BEKOMEN VERMOGENS.....	65
10	Het koelsysteem.....	69
10.1	DE KOELCAPACITEIT	69
10.1.1	Het koelproces	69
10.1.2	Bepaling van het afkoelvermogen	69
10.1.3	Evaluatie van het bekomen vermogen	70
10.1.4	Bepaling totale koelcapaciteit	70
10.2	HET KOELMIDDEL.....	71
10.2.1	Wat	71
10.2.2	Impact op het milieu.....	71
10.2.3	Soorten koelmiddelen	71
10.2.4	De eisen gesteld aan koelmiddelen	73
10.2.5	De selectie van het koelmiddel	73
10.3	HET KOELTECHNISCH SCHEMA.....	76
10.4	DE VERSCHILLENDE ONDERDELEN	79
10.4.1	De condensunit	79
10.4.2	De filterdroger	79
10.4.3	Kijkglas.....	80
10.4.4	Magneetventiel.....	80
10.4.5	Expansieventiel.....	81
10.4.6	Verdamperdrukregelaar	83
10.5	SELECTIE VAN DE CONDENSUNIT	84
10.5.1	Bepaling van het type compressor	84
10.5.2	De selectie van de compressor	93
10.6	HET BEREKENEN VAN DE KOELLEIDINGEN	95
10.6.1	Stap 1: het berekenen van de leidingdiameters	95
10.6.2	Stap 2: leidingverliesberekening	98
10.7	BEREKENING VAN DE BENODIGDE LENGTE VAN DE VOCHTSPIRAAL	103
10.8	SELECTIE VAN DE VERDAMPER	104
10.9	SELECTIE VAN DE RANDCOMPONENTEN.....	104
10.9.1	Filterdroger.....	104
10.9.2	Kijkglas.....	105
10.9.3	Magneetventiel.....	106
10.9.4	Expansieventiel.....	108
10.9.5	Verdamperdrukregelaar	112
10.10	BEREKENING VAN DE BENODIGDE HOEVEELHEID KOELMIDDEL.....	112
11	De bevochtiging.....	114
11.1	ULTRASOONBEVOCHTIGER	114
11.1.1	Het piëzo-elektrisch effect	114
11.1.2	De bevochtiger	115
11.2	DE SELECTIE VAN DE BEVOCHTIGER	116
11.2.1	Voor- en nadelen stoombevochtiging	116
11.2.2	Voor- en nadelen ultrasoonbevochtiging	116
11.3	DE SELECTIE	117
11.3.1	De grootte van de bevochtiger.....	117

11.3.2	Plaatsing van de bevochtiger.....	119
11.3.3	Watervoorzieningen en niveauregeling	122
11.4	HET WATER VAN DE BEVOCHTIGER.....	123
11.4.1	Demiwater	123
11.4.2	Gedestilleerd water	123
11.4.3	De Drain-functie	123
12	Het verwarmingssysteem.....	124
12.1	DE STURING	124
12.2	HET SELECTEREN	125
12.2.1	Stap 1 : De bepaling van het volumedebiet.....	125
12.2.2	Stap 2: Dichtheid en soortelijke warmte van lucht.....	125
12.2.3	Stap 3: Bepalen van Δt	125
12.2.4	Stap 4: De koelcapaciteit	125
12.2.5	De selectie van een elektrische weerstand	126
12.2.6	De selectie van de solid state relais	126
13	De temperatuurmeting.....	128
13.1	DE THERMISTOR THERMOMETER.....	128
13.1.1	PTC	128
13.1.2	NTC	128
13.2	HET THERMOKOPPEL	128
13.3	VERGELIJKING	130
14	De vochtsensor.....	132
14.1	DE PSYCHROMETER.....	132
14.1.1	Drogeboltemperatuur	132
14.1.2	Natte boltemperatuur	132
14.2	VERGELIJKING	133
14.3	DE SELECTIE	133
15	De regeling.....	136
15.1	DE PFXGP4114T2D.....	136
15.2	DE TM221ME32TK	142
16	Elektrische aansluiting.....	143
16.1	GEBRUIKTE VEILIGHEIDSORGANEN.....	143
16.1.1	Pressostaat	143
16.1.2	Overtemperatuurbeveiliging.....	145
16.1.3	Deurcontacten.....	146
16.2	DE VERSCHILLENDE ELEKTRISCHE ONDERDELEN	146
16.2.1	De contactor.....	146
16.2.2	De voeding	147
16.2.3	De beveiligingen	148
16.2.4	De smeltzekering	150
16.3	KABELSECTIEBEREKENING	151
16.4	DE ELEKTRISCHE SCHEMA'S	152
16.4.1	Bespreking betreffende de opbouw van de schema's.....	152

16.4.2Elektrische schema's	154
17 De praktische werkgang.....	164
17.1 STAP 1 HET DEMONTEREN VAN DE KLIMAATKAST	164
17.2 STAP 2 HET PLAATSINGSONTWERP	165
17.3 STAP 3 DE OPBOUW VAN HET KOELCIRCUIT	166
17.4 STAP 4 HET INBOUWEN VAN DE BEVOCHTIGER.....	167
17.5 STAP 5 HET INBOUWEN VAN HET VERWARMINGSSYSTEEM	168
17.6 STAP 6 HET INBOUWEN VAN DE MEETAPPARATUUR	168
17.7 STAP 7 HET VOORZIEN VAN DE WATERAFLOPEN.....	169
17.8 STAP 8 HET BEKABELEN VAN DE KLIMAATKAST	170
17.9 STAP 9 HET VERVAARDIGEN VAN HET BEDIENINGSPANEEL OP DE DEUR	170
17.10HET RESULTAAT	171
17.10.1 De klimaatkast bij aanvang van de proef	171
17.10.2 Het eindresultaat	171
18 Besluit.....	173
19 Algemeen besluit	174
Bibliografie	175
Bijlagen.....	178

Figurenlijst

Figuur 1: Lucht - luchtwarmtepomp	19
Figuur 2: De CTX-klimaatkast.....	19
Figuur 3: Procesruimte klimaatkast bij aanvang van de bachelorproef	23
Figuur 4: Klimaatkast bij aanvang van de bachelorproef	23
Figuur 5: Situatieschets klimaatkast (deel 1)	24
Figuur 6: Situatieschets klimaatkast (deel 2)	25
Figuur 7: Het basiskoelcircuit	27
Figuur 8: Het koeltechnisch schema van de Binder mkf 240 (getekend in Autocad)	28
Figuur 9: De reinjectie voorgesteld in het koelcircuit	30
Figuur 10: De condensunit voorgesteld in het koelcircuit	31
Figuur 11: De condensunit.....	31
Figuur 12: Karakteristiek stappenmotorafsluiter	31
Figuur 13: Het ontvochtigingssysteem voorgesteld in het koelcircuit	32
Figuur 14: Het Ontvochtigingssysteem van de Binder mkf 240.....	32
Figuur 15: De binnenkant van deur met de verwarmingsweerstand van de Binder mkf 240.....	33
Figuur 16: De verwarmingsweerstand van de Binder mkf 240.....	33
Figuur 17: Principeschema SSR.....	33
Figuur 18: Het principe van pulsbreedtemodulatie	34
Figuur 19: De stoombevochtiger van de Binder mkf 240.....	36
Figuur 20: Basisschema brug van Wheatstone	37
Figuur 21: Het aansluitschema van een tweedraads PT100.....	38
Figuur 22: Het aansluitschema van een driedraads PT100.....	38
Figuur 23: Het aansluitschema van een vierdraads PT100.....	39
Figuur 24: Het principeschema van een capacitieve vochtvoeler.....	40

Figuur 25: Het meetprincipe van een capacitieve vochtvoeler via een LC-oscillator	41
Figuur 26: De drukvereffeningsklep	41
Figuur 27: De luchtverdeling (rode pijlen) in de klimaatkast via de luchtgeleidingswanden (blauwe lijnen)	42
Figuur 28: De luchtverdeling via de luchtgeleidingswanden	43
Figuur 29: Aanwezige gegevens op het kenplaatje van de ventilatormotor	46
Figuur 30: De ventilator verantwoordelijk voor de luchtstroom in de klimaatkast	47
Figuur 31: Een overzicht van de mogelijke verliesoppervlakken in de klimaatkast	48
Figuur 32: Grafiek voor het bepalen van de warmte-overgangscoefficiënt bij convectie	50
Figuur 33: Doorsnede van de wanden van de klimaatkast	51
Figuur 34: Doorsnede van de deur van de klimaatkast	52
Figuur 35: driedimensionale voorstelling van de procesruimte	55
Figuur 36: principewerking van de sorptietoris	57
Figuur 37: Principiële voorstelling van een absorptiedroger	58
Figuur 38: Principewerking van een condensatiedroger	58
Figuur 39: Principewerking persluchtdroger	59
Figuur 40: De luchtdroging voorgesteld in het h-x diagram	61
Figuur 41: Veronderstelde luchtstroom	63
Figuur 42: De koelspiraal	65
Figuur 43: Driedimensionale voorstelling van de procesruimte	66
Figuur 44: De ontwerpcondities met bijhorende vochtigheden voorgesteld in een h-x diagram	67
Figuur 45: Overzichtstabel van de ODP en GWP van de meest gekende koelmiddelen	72
Figuur 46: Temperatuurbereiken voor het gebruik van gangbare koelmiddelen	74
Figuur 47: Een vergelijking tussen R404 en mogelijke alternatieve koelmiddelen	75
Figuur 48: Basisschema	77
Figuur 49: Uitgebreid koeltechnisch schema	77
Figuur 50: Koeltechnisch schema voor koeling en ontvochtiging van de klimaatkast	78

Figuur 51: Vloeistofvat	79
Figuur 52: Filterdroger.....	80
Figuur 53: Kijkglas.....	80
Figuur 54: Magneetventielen.....	81
Figuur 55: Expansiecapillair	82
Figuur 56: Automatisch expansieventiel	82
Figuur 57: Elektronisch expansieventiel	82
Figuur 58: Thermostatisch expansieventiel met inwendige (rechts) en uitwendige (links) drukvereffening	83
Figuur 59: Verdampersdrukregelaar	83
Figuur 60: Aanzuiging bij een schroefcompressor.....	84
Figuur 61: Compressie schroefcompressor	84
Figuur 62: Het stuwen bij een schroefcompressor.....	84
Figuur 63: Verschillende stappen in de compressie via het scrollprincipe	85
Figuur 64: In – en uitgaande slag bij een zuigercompressor	85
Figuur 65: Overzicht van de verschillende lijnen in een log ph-diagram	86
Figuur 66: Voorstelling koelcyclus klimaatkast in het log ph-diagram	87
Figuur 67: Uitknipsel uit de damptabellen van R134a	88
Figuur 68: Rendementscurven van hedendaagse compressoren	89
Figuur 69: De invloed van het isentropisch rendement voorgesteld in het log ph-diagram.....	90
Figuur 70: Vermogensklassen van verschillende compressoren	92
Figuur 71: Printscreen van de selectiesoftware van fabrikant Danfoss	93
Figuur 72: Printscreen van de selectiesoftware van fabrikant Tecumseh	94
Figuur 73: De koelgroep van de klimaatkast voorgesteld in het log ph- diagram.....	95
Figuur 74: Legplan voor de verschillende leidingen getekend in Autocad	98
Figuur 75: Printscreen uit de lijsten voor filterdrogers op de website van ECR.....	105
Figuur 76: Printscreen uit de lijsten voor kijkglazen op de website van ECR.....	106

Figuur 77: Correctiefactoren voor de selectie van magneetventielen	106
Figuur 78: De selectietabel	107
Figuur 79: De componentnaamgeving door fabrikant Sporlan	107
Figuur 80: De verschillende bijhorende spoelen	108
Figuur 81: Thermostatisch expansieventiel met inwendige drukvereffening	108
Figuur 82: Printscreen uit de datasheets van fabrikant Danfoss	110
Figuur 83: De selectietabel voor het selecteren van een expansieventiel.....	110
Figuur 84: Correctiefactoren voor het selecteren van expansieventielen.....	111
Figuur 85: Tabel voor het selecteren van verdamperdrukregelaars.....	112
Figuur 86: Principewerking van een piëzo-kristal	114
Figuur 87: Principewerking bevochtiger	115
Figuur 88: De werking	115
Figuur 89: De bevochtiging voorgesteld in het h-x diagram	117
Figuur 90: Een printscreen uit de catalogus van fabrikant Airwin.....	118
Figuur 91: Selectietabellen voor het selecteren van een bevochtiger	119
Figuur 92: De FN 400 HAD	119
Figuur 93: De opstellingsmethode bij aanblazing met procesventilator bij de FN 400HAD	120
Figuur 94: De opstellingsmethode bij aanblazing met externe ventilator bij de FN 400HAD	121
Figuur 95: Principe ionenwisselaar	123
Figuur 96: Een printscreen uit de catalogus van fabrikant Beko	126
Figuur 97: Printscreen van de selectiesoftware van fabrikant Carlo Gavazzi	127
Figuur 98: Principe thermokoppel	129
Figuur 99: Het thermokoppel met zijn warme en koude las.....	129
Figuur 100: Principewerking psychrometer.....	132
Figuur 101: De selectie van de capacitieve vochtsensor bij fabrikant Vaisala (deel 1).....	134
Figuur 102: De selectie van de capacitieve vochtsensor bij fabrikant Vaisala (deel 2).....	134

Figuur 103: Een printscreen uit de datasheet van Vaisala	135
Figuur 104: Het hoofdscherm.....	137
Figuur 105: Hoog- en laagtemperatuuralarm.....	137
Figuur 106: De instelling van tijd en datum	138
Figuur 107: Het programmamenu	138
Figuur 108: De verschillende segmenten	139
Figuur 109: De HL BCH en HL BCL weergegeven in een grafiek	139
Figuur 110: Het 'change recipe'-menu.....	140
Figuur 111: Pop-up voor het overzetten van software.....	140
Figuur 112: Het 'Trace'-menu met de trendlijnen.....	141
Figuur 113: De PID-instellingen	141
Figuur 114: Blokschema ter verduidelijking van de programmatie	142
Figuur 115: Selectietabel voor de pressostaat.....	144
Figuur 116: Selectietabel voor de overtemperatuurbeveiliging.....	145
Figuur 117: Technische eigenschappen van de contactor	147
Figuur 118: De verschillende curves.....	148
Figuur 119: De verschillende kalibers voor automaten.....	149
Figuur 120: Printscreen van de geselecteerde automaat	149
Figuur 121: De selectie van het stekkersnoer via de online calculator.....	151
Figuur 122: Resultaat van de calculator	152
Figuur 123: De klimaatkast na demontage van de koelgroep	164
Figuur 124: De klimaatkast na demontage van de bevochtiger.....	164
Figuur 125: De demontage van het oude elektrische bord.....	164
Figuur 126: Het plaatsingsontwerp	165
Figuur 127: Het plooiën van de vochtspiraal.....	166
Figuur 128: Het opbouwen van het koelcircuit.....	166

Figuur 129: Het inbouwen van de bevochtiger en zijn ventilobox.....	167
Figuur 130: De ultrasoonbevochtiger met zijn watertoevoer en magneetventiel.....	167
Figuur 131: De elektrische weerstand opgesteld in de beugels	168
Figuur 132: De sensoren opgesteld in de aanzuig van de ventilator.....	168
Figuur 133: Het contact van de overtemperatuurbeveiliging	169
Figuur 134: De elektrische weerstand en zijn overtemperatuurbeveiliging	169
Figuur 135: De waterafvoerleidingen	169
Figuur 136: Het waterafvalvat	169
Figuur 137: Het nieuwe elektrisch bord	170
Figuur 138: Het bedieningspaneel	170
Figuur 139: De ventilatiegaten	170
Figuur 140: Het bedieningspaneel in de deur met usb	170
Figuur 141: De procesruimte bij aanvang van de proef.....	171
Figuur 142: De klimaatkast bij aanvang van de proef.....	171
Figuur 143: De volledig afgewerkte procesruimte	171
Figuur 144: Het eindresultaat (deel 1)	172
Figuur 145: Het eindresultaat (deel 2)	172
Figuur 146: Het eindresultaat (deel 3)	172
Figuur 147: Het eindresultaat (deel4)	172
Figuur 148: De koelcyclus getekend in het log ph-diagram.....	198

Tabellenlijst

Tabel 1: Onderdelen koeltechnisch schema Binder mkf 240	29
Tabel 2: Een overzicht van de aanwezige weerstanden in de Binder mkf 240	35
Tabel 3: Vergelijkende tabel betreffende de klimaatkast voor- en na het retrofitten	44
Tabel 4: De warmteoverdrachtcoëfficiënt bij verschillende oppervlakken	49
Tabel 5: Overzicht van de opbouw van de klimaatkastwanden	52
Tabel 6: Overzicht van de opbouw van de klimaatkastdeur	53
Tabel 7: De R – waarden van de verschillende materialen waaruit de wanden opgebouwd zijn.....	54
Tabel 8: De R – waarden van de verschillende materialen waaruit de deur opgebouwd is	54
Tabel 9: R – waarde van de rubberen doorvoer	54
Tabel 10: Vergelijkend overzicht van de verschillende luchtdroogsystemen	59
Tabel 11: Overzicht volumetrisch rendement bij de verschillende compressoren.....	89
Tabel 12: Overzicht theoretisch slagvolume bij de verschillende compressoren	89
Tabel 13: De invloed van het isentropisch rendement bij de verschillende compressoren	91
Tabel 14: Vergelijkend overzicht van de verschillende compressoren	91
Tabel 15: Vergelijking van de energiekosten bij de verschillende compressoren	92
Tabel 16: Overzichtstabel van het volumedebiet, de snelheid en de diameter voor de verschillende leidingen	97
Tabel 17: Overzichtstabel van het volumedebiet, de leidingoppervlakte en de snelheid voor de verschillende leidingen	98
Tabel 18: Verduidelijking van de verschillende kleuren op het legplan	99
Tabel 19: Overzicht van verschillende thermokoppels	130
Tabel 20: Vergelijkende tabel voor de selectie van een temperatuurmeetsysteem	131
Tabel 21: Vergelijkende tabel voor de selectie van een vochtmeetsysteem	133
Tabel 22: Voorlopige vermogensbalans	146
Tabel 23: Vermogensbalans gelijkspanningsgedeelte	147

Tabel 24: Volledige vermogensbalans.....	149
Tabel 25: Overzicht van de stromen door de verschillende kabels	151

Afkortingen en symbolen

RV	relatieve vochtigheid
°C	graden Celsius
RVS	roestvrij staal
SSR	solid state relais
PWM	pulse width modulation
°F	graden Fahrenheit
NO	normally open
NC	normally closed

Inleiding

Klimaat simulatie is van groot belang in de industrie om de kwaliteit van materialen en producten te testen en controleren. Denk bijvoorbeeld maar aan de weersbestendigheid van bakstenen, of de schokbestendigheid van het chassis van een wagen. Hiervoor worden deze producten in een speciale testruimte geplaatst waar ze onderworpen worden aan verschillende grootheden zoals temperatuur, vocht,... of aan mechanische belastingen zoals vibratie, ...

Climatronix is een bedrijf dat simulatiekasten bouwt voor temperatuur en vochtsimulaties. Tijdens mijn werkveldverkenning kreeg ik de kans van dit bedrijf om in deze sector ervaring op te doen, dit vond ik heel interessant. Aangezien het bedrijf nood had aan een klimaatkast voor het testen en kalibreren van hun temperatuur- en vochtsensoren, omvatte het bouwen van deze kast mijn bachelorproef. Voor het vervaardigen van het project moest er vertrokken worden van een oude uit dienst gehaalde klimaatkast van het merk 'Binder'. De opdracht omvatte een koelsysteem, verwarmingssysteem, ontvochtigingssysteem en een bevochtigingssysteem te selecteren en in te bouwen in. Daarnaast moest de kast ook zelfregelend zijn om verschillende wenswaarden te kunnen behalen. Het onderwerp werd afgebakend tot deze vier systemen omdat de proef anders te uitgebreid en te complex zou worden.

De uitvoering van de opdracht gebeurde in verschillende stappen, allereerst werden de reeds ingebouwde systemen in de klimaatkast bestudeerd en geëvalueerd. Hierna werd er een warmteverliesberekening uitgevoerd en werden de koel- en warmtelast bepaald. Via deze berekeningen kon er gestart worden met de selectie van de verschillende systemen en sensoren, hiervoor werden verschillende mogelijkheden tegenover elkaar uitgespeeld. Voor het koelsysteem werd er een koeltechnisch schema uitgedacht, werden de verschillende koeltechnische onderdelen geselecteerd en werden de leidingen berekend. Eenmaal dit proces afgerond was werden de verschillende onderdelen besteld bij de fabrikanten en werden deze systemen ingebouwd in de kast. Bij het inbouwen was het belangrijk om de plaatsingsnormen te respecteren.

Eens de ontwerpfase afgerond was werd het elektrisch schema opgesteld, hiervoor werden verschillende veiligheidsorganen en elektrische onderdelen geselecteerd. Voor de inregeling was het een eis van het bedrijf om de door hun voorgestelde PID-regelaar te gebruiken, ook hiermee werd rekening gehouden in het elektrisch schema. De programmatie van de regelaar gebeurde door een beroepsprogrammeur.

Wanneer de klimaatkast zowel mechanisch, elektrisch als regeltechnisch opgebouwd was werd gestart met de kalibratie en het uitvoerig testen. Na de testfase zou Climatronix deze kast na verloop van tijd in dienst willen nemen voor hun kalibratieprocessen.

1 Bedrijfsvoorstelling

1.1 Climatronic

Climatronic BVBA is een gecertificeerd koeltechnisch bedrijf dat gevestigd is in Wetteren. Het bedrijf werd opgericht in 2006 en is opgedeeld in twee verschillende bedrijfstakken, namelijk:

- Warmtepompen en PV-panelen
- Klimaatkasten

De bedrijfstak van de warmtepompen en PV-panelen is de grootste bedrijfstak. Men kan bij Climatronic terecht voor de installatie van lucht-luchtwarmtepompen maar ook voor lucht-waterwarmtepompen. Alle warmtepompen of airco's die geplaatst worden zijn omkeerbaar, zodat de klant zijn woning kan opwarmen en afkoelen met hetzelfde systeem.



Figuur 1: Lucht - luchtwarmtepomp

Naast de warmtepompen heeft het bedrijf ook een kleinere bedrijfstak, namelijk die van de klimaatsimulatie. Sinds de oprichtingsdatum is het bedrijf een exclusieve verdeler van de producten van het Amerikaanse Thermotron in de Benelux. Thermotron is, met wereldwijd een dertigtal vestigingen, de marktleider in standaard klimaattestsystemen of simulatiesystemen op maat. Daarnaast bouwt Climatronic ook zelf klimaatkasten die ze verdelen in Europa. Tot slot verzorgt Climatronic ook het preventief onderhoud, kalibraties, technische interventies en herstellingen aan de klimaatkasten. (Climatronic, 2020)

Het bedrijf biedt:

- Professionele klimaattestkasten
- High-tech zoutnevelcorrosie-testers
- Condenstesters/UV-testers
- Vibratietesters
- Complete en snelle service op alle merken



Figuur 2: De CTX-klimaatkast

2 Probleemstelling

De opdracht omvat een verouderde klimaatkast terug operationeel maken. Zoals eerder vermeld zou het bedrijf deze kast willen gebruiken voor de kalibratie van hun vocht- en temperatuursensoren. Voor deze kalibratie zullen de sensoren aan drie verschillende klimaatcondities onderworpen worden namelijk: 25°C / 60% RV, 30°C / 70% RV, 40°C / 75% RV. Om deze voorwaarden te kunnen behalen wordt de kast ontworpen voor een temperatuurbereik van 5°C tot 45°C en een relatief vochtbereik van 10% tot 95%.

Om deze opdracht tot een goed einde te brengen werd het probleem opgedeeld in kleinere deelproblemen:

- 1) Studie
Allereerst moest er een studie gemaakt worden over de huidige toestand van de klimaatkast. Uit deze studie kon de werking van de verschillende deelsystemen achterhaald en gecontroleerd worden.
- 2) Selectie voor hergebruik
Dankzij de studie konden de deelsystemen die aan vervanging toe waren opgespoord worden en kon er een vervangstelsel aangebracht worden.
- 3) Schetsen en plannen
Vervolgens kon er een koeltechnisch en elektrisch schema worden opgetekend
- 4) Bepaling van de nieuwe onderdelen
Hiervoor werd er opnieuw een studie gemaakt met het oog op energie-efficiëntie, kostprijs, opstellingsnormen, omgevingseisen, ... Pas wanneer deze zaken in acht genomen waren konden de nieuwe onderdelen besteld worden
- 5) De demontage
Mits alle onderdelen opgedeeld waren in twee groepen kon de demontage van de onderdelen die vernieuwd moesten worden van start gaan.
- 6) Het opbouwen
Eenmaal de onderdelen geleverd waren kon het opbouwen beginnen.
- 7) Kalibreren en testen
Na de opbouwfase werd de klimaatkast getest en gekalibreerd. Tenslotte wenste het bedrijf ook nog een handleiding betreffende de werking en het onderhoud aan de klimaatkast.

4 De klimaatkast

4.1 Wat is een klimaatkast?

Een klimaatkast is eigenlijk een testkamer waarin een bepaald klimaat gesimuleerd wordt. In dit gesimuleerde klimaat worden testproducten gebracht die hier een bepaalde tijd verblijven. Deze testproducten worden in de klimaatkast geplaatst om na te kunnen gaan of er zich afwijkingen voordoen aan de kwaliteit van de producten en materialen in deze verschillende condities. Via een klimaatsimulatie kunnen de producten blootgesteld worden aan verschillende omgevingscondities zoals temperatuur, vochtigheid, luchtdruk, Uv-licht, schadelijke gassen, ...

Wanneer grotere voorwerpen, zoals auto's, motoren, ... een klimaattest moeten ondergaan, dan spreekt men niet langer van een klimaatkast, maar van een klimaatkamer.

4.2 Waarom klimaatsimulatie?

Door de testproducten aan bovenstaande condities te onderwerpen kan men nagaan wat er met het testproduct zou gebeuren wanneer dit bijvoorbeeld in een droog en warm klimaat terecht komt. Met een klimaatkast zou men bijvoorbeeld ook kunnen testen hoelang een bepaald materiaal zou kunnen fungeren als romp van een schip (vocht, koude en de agressieve werking van zout). Anderzijds is het via klimaatsimulatie ook mogelijk om een product versneld te verouderen, op die manier kan men nagaan of het product zijn bedrijfszekerheid na bijvoorbeeld 5 jaar nog kan waarborgen.

Klimaatsimulatie wordt dus eigenlijk uitgevoerd om de kwaliteit en de bedrijfszekerheid van een product te controleren. Wanneer een autofabrikant bijvoorbeeld een auto produceert, weet deze niet waar de auto gedurende zijn levensduur zal terechtkomen. Zo zou het bijvoorbeeld kunnen dat de auto het grootste deel van het jaar buiten staat. Dit zou kunnen betekenen dat de auto in de zomer in de volle zon staat waardoor bijvoorbeeld het koetswerk kan uitzetten. Gedurende de winterperiode zou het dan weer mogelijk zijn dat de wagen aan vrieskou blootgesteld wordt, waardoor het koetswerk inkrimpt. Al deze klimatologische wisselingen zouden kunnen leiden tot schade aan het materiaal van de wagen en dit zal waarschijnlijk leiden tot ontevreden klanten. Daarom voeren fabrikanten op verschillende onderdelen klimaattesten uit zodat de betrouwbaarheid van de producten gewaarborgd kan worden.

4.3 Statische of dynamische klimaattesten

Eigenlijk bestaan er twee mogelijke klimaattesten. Allereerst kan het voorkomen dat men de kwaliteit van een product wil controleren nadat dit product een temperatuurschok heeft ondergaan. Indien dit het geval is, spreekt men van een dynamisch geregelde klimaatkast. Dit type kast wordt gekenmerkt door kleine opwarm- en afkoeltijden waardoor de temperatuur per minuut enkele graden wijzigt. Hierdoor kan het product aan extreme koude of warme temperaturen onderworpen worden, waarna men de temperatuur tijdens de test respectievelijk hoog kan laten oplopen of sterk kan laten dalen. Hierdoor kan het product een temperatuurschok ondergaan. De kasten die in staat zijn om deze testen uit te voeren worden temperatuurwisselkasten genoemd.

Indien men zoals in mijn geval een kalibratie wil uitvoeren of wil nagaan wat het effect is van een constant klimaat op een bepaald product, dan zal men hiervoor een klimaatstabiliteitskast gebruiken. Deze kasten worden gekenmerkt door het aanhouden van een constant klimaat. Indien men het setpunt bij deze kasten zou wijzigen, kan het afhankelijk van het type kast enkele uren duren vooraleer die waarde bereikt wordt. Eens de waarde bereikt is blijft deze constant behouden. (Wikipedia, 2016)

5 Situatieschets

5.1 Binder mkf 240

De klimaatkast die opnieuw ingericht diende te worden was een kast van het merk 'Binder'. Binder is een Duits familiebedrijf dat volledig gefocust is op het ontwerpen, innoveren en het bouwen van simulatiekasten. De bouw van deze apparaten gebeurt in hun eigen fabriek in Tuttelingen.

De klimaatkast die voor de bachelorproef gebruikt werd is van de serie 'mkf 240'. Deze kast deed voor haar afzetting dienst als testkamer voor het testen van medicatieverpakkingen. Deze testen hielden een temperatuur- en vochtsimulatie in om na te gaan welke invloed de opslagplaats van het medicijn had op zijn actieve ingrediënten. De kast had een temperatuurbereik van -40°C tot 180°C , deze temperaturen werden gesimuleerd met behulp van elektrische verwarmingsweerstand en een koelcircuit. Naast het koelen van de klimaatkast had de verdamper ook nog de functie om de kast te ontvochtigen. Door de kast 100% te bevochtigen via een stoombevochtiger en via de verdamper weer te ontvochtigen konden er vochtgehalten behaald worden van 10% RV tot 95% RV. De temperatuur en het vochtgehalte werden respectievelijk gemeten via een PT100 en capacatieve vochtvoeler.

De simulatiekamer werd gebouwd in 2005 en heeft zijn dienst bewezen tot 2017. In de loop van 2017 begonnen er zich defecten aan de koelgroep en aan de elektrische schakelkast voor te doen. Gezien de toenmalige leeftijd van de klimaatkast werd besloten om deze definitief te vervangen. De kast werd wel gehouden bij Climatronix voor eventuele wisselstukken om andere klanten snel uit de nood te kunnen helpen. Om een beter beeld te krijgen van de klimaatkast werden de belangrijkste eigenschappen hieronder opgelijst.

Eigenschappen Binder mkf 240

- Temperatuurbereik: -40°C tot 180°C
- Vochtigheidsbereik: 10% RV tot 95% RV
- Voedingsspanning: 400 V 3~ 50 Hz
- Type bevochtiger: stoombevochtiger
- Type vochtmeting: capacatieve vochtvoeler
- Type verwarming: elektrische weerstanden
- Type temperatuurmeting: PT100
- Type ontvochtiging: koelspot in de verdamper
- Type koeling: compressiekoelmachine
- Koelmiddel: R404a
- Deurverwarming aanwezig: ja

(Binder, 2020)

Hieronder vindt u enkele foto's van de toestand van de klimaatkast bij aanvang van de bachelorproef:



Figuur 3: Procesruimte klimaatkast bij aanvang van de bachelorproef



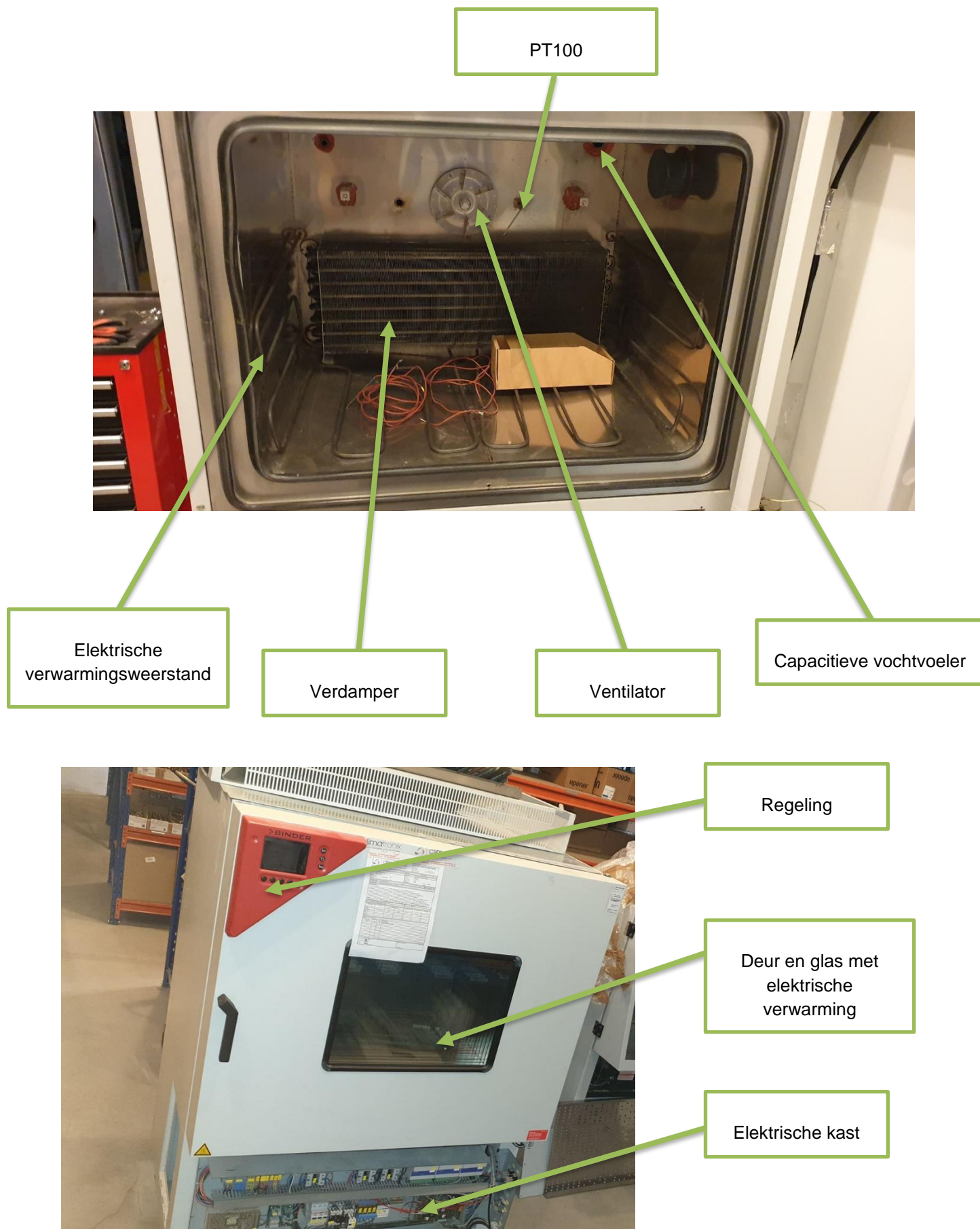
Figuur 4: Klimaatkast bij aanvang van de bachelorproef

Vandaag wordt de mkf 240 reeks van Binder nog steeds geproduceerd. Er zijn wel al heel wat innovaties gebeurd in vergelijking met de productie in 2005.

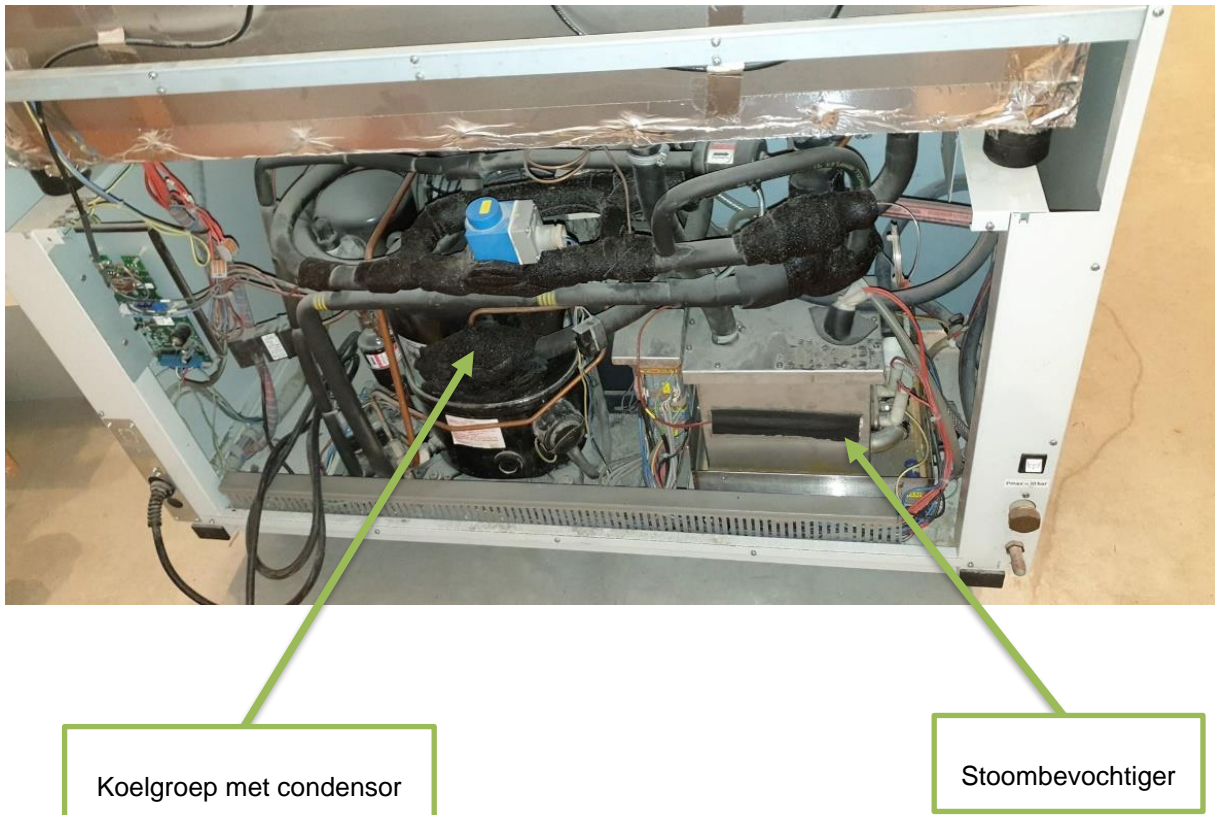
De eerste grote innovatie die gebeurde was de vervanging van het koelmiddel van R404a naar R452a. Daarnaast werd ook het type van ontvochtiging aangepast.

In de kast die voor de bachelorproef gebruikt wordt gebeurt dit, zoals hierboven reeds vermeld, door inspuiting extra koelmiddel in de verdamper. Deze verdamper wordt dus zowel voor koeling als voor ontvochtiging gebruikt. Bij de klimaatkasten die binder vandaag produceert gebeurt dit door toevoeging van een extra verdamper in het circuit. Daarnaast zijn er ook een aantal aanpassingen en upgrades gebeurd aan de controller en de schakelkast. (Binder, 2020)

5.2 De verschillende onderdelen



Figuur 5: Situatieschets klimaatkast (deel 1)



Figuur 6: Situatieschets klimaatkast (deel 2)

5.3 Het koelsysteem

5.3.1 Het basiskoelcircuit

Bij een compressiekoelmachine wordt er steeds gebruik gemaakt van de toestandsverandering van een stof. De stof die hiervoor aangesteld wordt heet het koelmiddel. Met toestandsverandering wordt de overgang bedoeld van vloeistof naar damp of omgekeerd. Een eenvoudig koelcircuit bestaat uit vier stappen namelijk:

- Verdampen
- Comprimeren
- Condenseren
- Expanderen

5.3.1.1 De verdamper

Via de verdamper wordt de warmte in de te koelen ruimte onttrokken. Dit gebeurt door de warmte van het af te koelen medium over te brengen op het verdampende koelmiddel. Door deze warmteopname ondergaat het koelmiddel een faseovergang in de verdamper van vloeibaar naar damp.

Om de warmte te kunnen opnemen is het wel van belang dat de verdamper een lagere temperatuur heeft dan het te koelen medium, aangezien een warmtestroom steeds van warm naar koud gaat. Dit betekent, hoe groter het temperatuurverschil hoe sterker de warmtestroom, maar dit verschil is begrensd. Indien het temperatuurverschil te groot is, zal het koelmiddel sterk oververhit worden doordat het steeds meer warmte wil opnemen. Deze oververhitting gaat ook gepaard met een grotere uitzetting van het koelmiddel. De uitzetting zorgt er dan op zijn beurt voor dat de compressor, die een bepaald volume aan koelgas verpompt, meer arbeid moet leveren bij gelijkblijvende massa. Het is dus belangrijk dat de oververhitting van het koelmiddel niet te groot wordt, wel is er een kleine oververhitting gewenst aan het einde van de verdamper. De gewenste oververhitting zorgt ervoor dat alle vloeistofdeeltjes in het koelmiddel gasvormig zijn, dit om te voorkomen dat de compressor vloeistof aanzuigt en defect geraakt (vloeistofslag).

5.3.1.2 De compressor

De compressor wordt vaak gezien als het hart van de koelinstallatie en heeft als voornaamste doel het creëren van een drukverschil tussen de verdamper en de condensor. De compressor brengt het gasvormige koelmiddel, afkomstig uit de verdamper, op een hogere druk en voert het naar de condensor. Doordat het koelmiddel nu op hogere druk is zal het condenseren. De compressor staat dus eigenlijk in voor het transport van het koelmiddel doorheen de installatie en moet dus ook in staat zijn om de leidingverliezen te overwinnen. Aangezien de compressor aangedreven wordt door een motor zal deze het koelmiddel extra oververhitten.

5.3.1.3 De condensor

De condensor zorgt ervoor dat de opgenomen warmte door het koelmiddel in de verdamper terug afgegeven wordt aan een ander medium (bijvoorbeeld de buitenlucht). Deze afgifte van warmte gebeurt door het koelmiddel te laten condenseren. De condensor moet eigenlijk drie soorten warmte afvoeren, namelijk de opgenomen warmte uit de verdamper, de compressiewarmte en de onderkoeling.

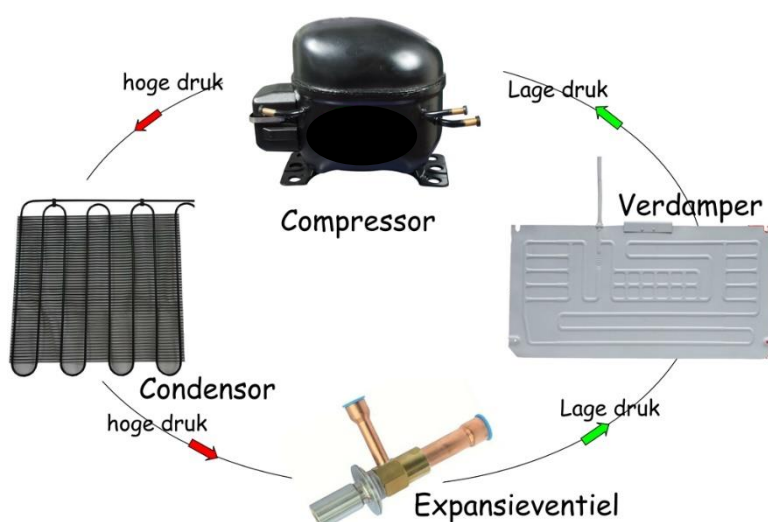
Onder onderkoeling wordt verstaan dat het gecondenseerde en dus vloeibare koelmiddel enkele graden onderkoeld wordt. Dit dient in de eerste plaats om zeker te zijn dat alle koeldamp gecondenseerd is. Indien er nog gasbellen zouden aanwezig zijn in de vloeistof, is dit zeer nadelig voor de werking van het expansieventiel. De onderkoeling vergroot ook het koeffect. In de praktijk is wel vastgesteld dat er zich vanaf een bepaalde grens van onderkoeling onlogische nadelige gevolgen voordoen zoals:

- Een vermindering van de verdampercapaciteit door een slechte vloeistofverdeling.
- Een verlaging van de verdamperdruk.
- Het hinken (onstabiel werken) van het expansieventiel.

5.3.1.4 Het expansieventiel

Allereerst is het de taak van het expansieventiel om het drukverschil tussen condensor en verdamper in stand te houden. Het vloeibare koelmiddel onder hoge druk, de condensatiedruk genoemd, wordt door het expansieventiel geëxpandeerd naar een lage druk, de verdampingsdruk. De werking van het expansieventiel is visueel voor te stellen als een omgekeerde trechter, na een smalle leiding is er opeens meer ruimte die expansie mogelijk maakt.

Een tweede taak van het expansieventiel is de juiste hoeveelheid vloeibaar koelmiddel inspuiten in de verdamper. Daarom is het belangrijk dat deze component zo dicht mogelijk bij de verdamper staat. Voor optimale functionering moet het expansieventiel zoveel koelmiddel toevoegen als de compressor in dampvorm kan afzuigen. De regeling van de inspuiting wordt geregeld via de temperatuur aan de uitgang van de verdamper.

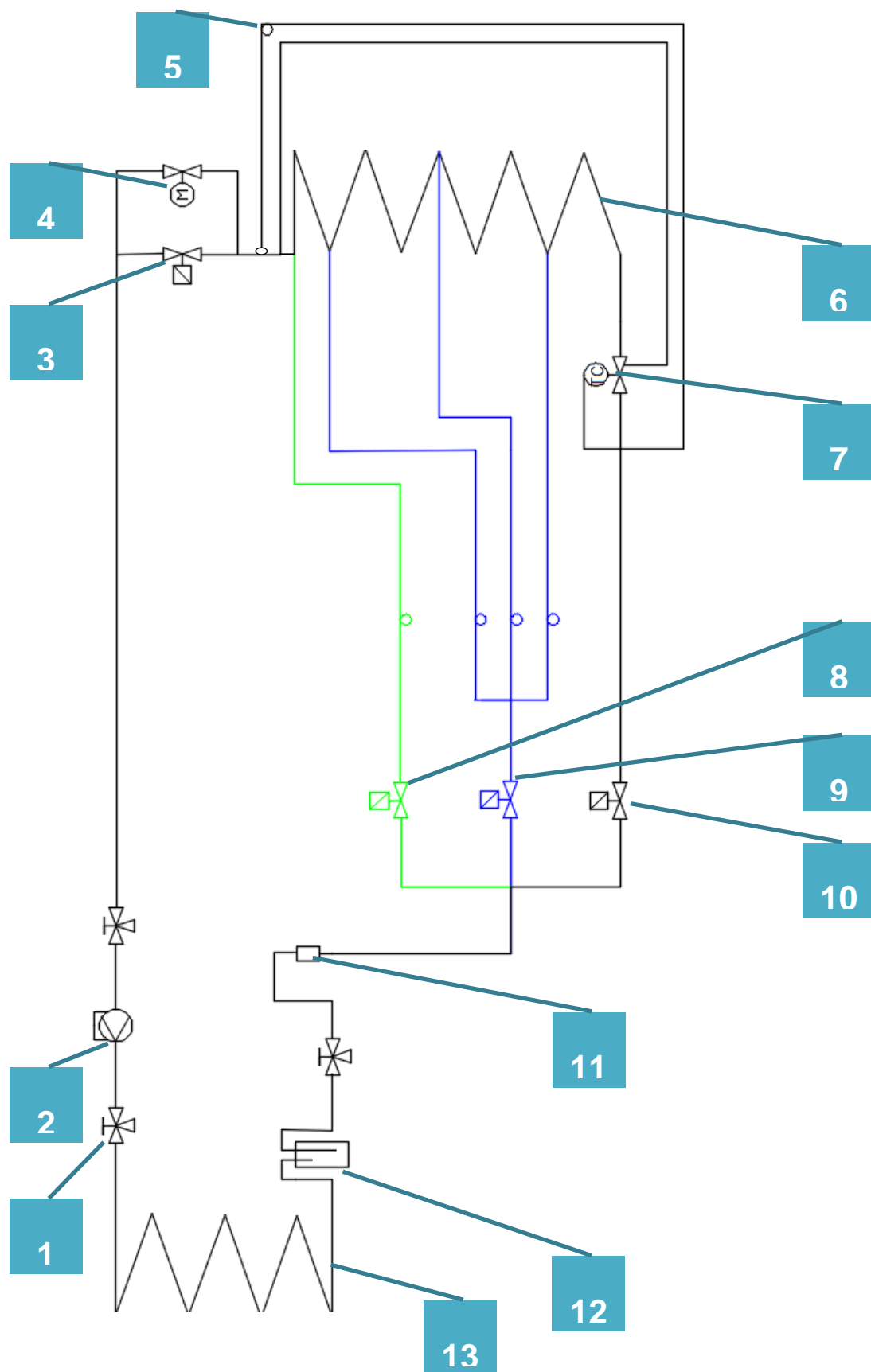


Figuur 7: Het basiskoelcircuit

(Warmtepompweetjes, 2020)

5.3.2 Het koelcircuit van de mkf 240

Op de volgende pagina kunt u het koeltechnisch schema van de mkf 240 terugvinden. De pagina's hierna geven een overzicht en een verklaring van de gebruikte componenten in het circuit.



Figuur 8: Het koeltechnisch schema van de Binder mkf 240 (getekend in Autocad)

Nummer	Naam component
1	Servicekraan
2	Compressor
3	Magneetventiel maximale koeling
4	Stappenmotorafsluiter
5	Capillair
6	Verdamper
7	Thermostatisch expansieventiel
8	Magneetventiel reinjectie
9	Magneetventiel onvochtiging
10	Magneetventiel koeling
11	Filterdroger
12	Vloeistofvat
13	Condensor

Tabel 1: Onderdelen koeltechnisch schema Binder mkf 240

5.3.2.1 *Het koelen van de lucht*

Het zwart gekleurde gedeelte van het koeltechnisch schema was het gedeelte dat zorgde voor de koeling van de lucht aanwezig in de klimaatkast. Wanneer de koelgroep vanuit stilstand opgestart werd gebeurde het volgende:

Het koelmiddel zit bij het starten van de koelgroep in het vloeistofvat. Door het inschakelen van de compressor wordt het vloeibare koelmiddel naar de verdamper geleid. Voordat het vloeibare koelmiddel de verdamper bereikt gaat het eerst door een filterdroger. De hoofdtaak van deze component is het eventuele aanwezige vocht uit het koelcircuit te halen, daarnaast doet de filterdroger ook dienst als filterelement. Na de filterdroger komt het koelmiddel voor drie verschillende magneetventielen te staan, één voor ontvochtiging, één voor reinjectie en één voor koeling. Deze drie ventielen worden afzonderlijk aangestuurd afhankelijk van de eisen gesteld aan het klimaat in de testkast. Aangezien nu enkel het zwarte schema besproken wordt, wordt ervan uitgegaan dat enkel de zwarte klep is aangestuurd. Hierdoor zal het koelmiddel doorstromen naar het expansieventiel met uitwendige drukvereffening. Het expansieventiel zal hierna het koelmiddel, gecontroleerd in de verdamper, inspuiten waar het overgaat van vloeistof naar gasfase.

Na de verdamper kan het oververhitte gas via twee verschillende wegen stromen, namelijk via de stappenmotorafsluiter of via het ventiel voor de maximale koeling. Deze ventielen worden opnieuw afzonderlijk aangestuurd afhankelijk van de situatie. Omdat de Binder mkf 240 van het dynamische type is, is het belangrijk dat de temperatuur in de testruimte vrij snel kan oplopen of dalen. Wanneer men de temperatuur zo snel mogelijk wil laten dalen, zal het ventiel voor maximale koeling aangestuurd worden. Indien de gewenste temperatuur bijna bereikt is zal het ventiel voor maximale koeling sluiten en zal via de stappenmotorafsluiter de gewenste temperatuur zo nauwkeurig mogelijk benaderd worden.

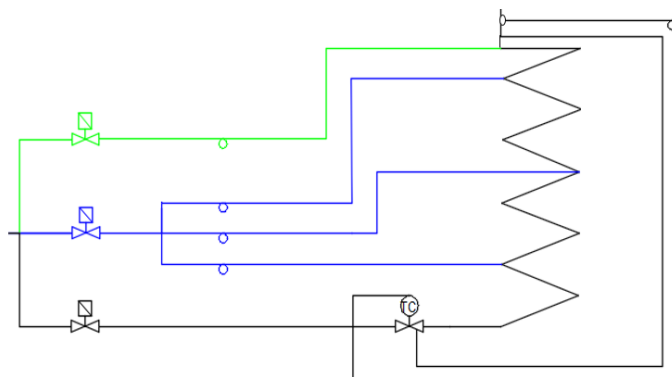
Vervolgens wordt het oververhitte koelgas naar een hoge druk gecompriemd door de compressor en hierna verder stromen naar de condensor. In deze laatste component zal het koelmiddel de opgenomen warmte uit de verdamper weer afgeven door over te gaan van gas naar vloeistoffase.

5.3.2.2 De reinjectie

Gezien het feit dat de kast ontworpen werd voor dynamische testen, waren de opwarm- en afkoeltijden van belang. Dit type klimaatkast kon temperaturen behalen van -40°C tot 180°C , daarom kon het voorkomen dat de kast van een extreem hoge naar een extreem lage temperatuur moest overgaan. Wanneer de testproducten eerst aan een zeer hoge temperatuur werden blootgesteld, warmden de binnenste RVS-platen en de verdampers in de klimaatkast zelf ook op tot die temperatuur. Indien men na het opwarmen meteen naar een zeer lage temperatuur wou overgaan, dan zou het expansieventiel een maximaal debiet aan koelmiddel inspuiten. Aangezien de temperatuur hoog was, was dit niet voldoende en werd het ingespoten koelmiddel alsnog te sterk oververhit en zette het uit. Deze uitzetting zorgde ervoor dat de compressor meer arbeid moest leveren door meer volume aan koelgas te verpompen voor hetzelfde massadebiet. Daarnaast zou de oververhitting zorgen voor een ontoelaatbare eindcompressietemperatuur waardoor de compressor defect zou kunnen geraken.

Om dit te verhinderen werd in het koelcircuit een temperatuursensor aangebracht om de temperatuur van het hete gas te meten. Indien de temperatuur te hoog opliep opende deze sensor het magneetventiel en zorgde voor een extra inspuiting aan het einde de verdampers. Deze extra inspuiting zorgde ervoor dat het oververhitte gasvormige koelmiddel in contact kwam met vloeibaar koelmiddel. Dit vloeibaar koelmiddel nam het teveel aan warmte op, door zichzelf te laten verdampen. Hierdoor kreeg de compressor geen te sterk oververhit zuiggas te verwerken en bleef de eindcompressietemperatuur binnen de perken.

Dit vloeibare koelmiddel werd ingespoten via een capillair dat gebraseerd werd aan het einde van de verdampers. Het circuit werd ingeschakeld door het aansturen van het groene magneetventiel in onderstaand schema.

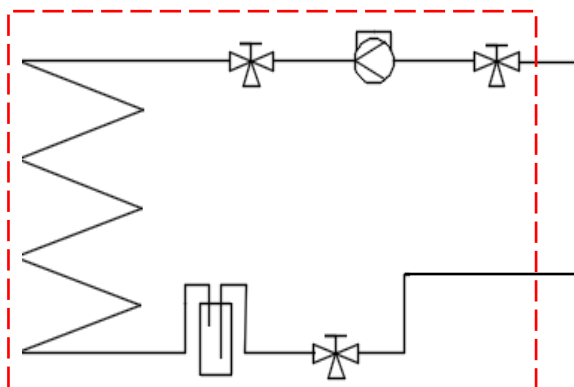


Figuur 9: De reinjectie voorgesteld in het koelcircuit

5.3.2.3 De verschillende onderdelen

De condensunit

Voor de opbouw van het koelcircuit werd gebruik gemaakt van een condensunit. Dit is een soort prefab onderdeel waarin de compressor, condensor en het vloeistofvat reeds aan elkaar aangesloten zijn. Het grote voordeel van het gebruik van zulke units is dat er veel tijd bespaard wordt bij het opbouwen van de koelgroep.



Figuur 10: De condensunit voorgesteld in het koelcircuit



Figuur 11: De condensunit

Daarnaast levert het gebruik van zulke units ook een tijdsbesparing op bij het ontwerpen van het koelsysteem. Na het berekenen van de koelcapaciteit, kiest men de geschikte condensunit. Daarmee worden automatisch de juiste compressor, condensor, en vloeistofvat geselecteerd.

De condensunit van de Binder mkf 240 heeft volgende eigenschappen:

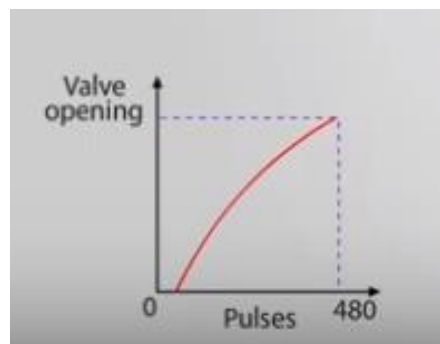
- Type: TFHT 2480 TZ
- Compressortype: zuigercompressor
- Volume: 53,20 cm³
- Nominale koelcapaciteit: 1735 W (-30°C/+32°C)
- Koelmiddel: R404A
- Elektrische aansluiting: 380 V / 50 Hz
- Temperatuurrange: -40°C~-10°C
- Capaciteit vloeistofvat: 1,5 L
- Gewicht: 57 kg

(Tecumseh, 2019)

De stappenmotorafsluiter

Een stappenmotorafsluiter is een ventiel dat heel precies afgeregeld kan worden door gebruik van een stappenmotor. Deze motor ontvangt elektrische pulsen van temperatuur- en/of druksensoren. Deze vertellen de stappenmotor hoeveel hij moet verdraaien en in welke richting. De motor drijft een spindel aan waardoor de orifice van het ventiel opent of sluit. Bij de stappenmotorafsluiter die in de Binder mkf 240 ingebouwd werd, duurde het 480 pulsen voor een volledige opening of sluiting van het ventiel.

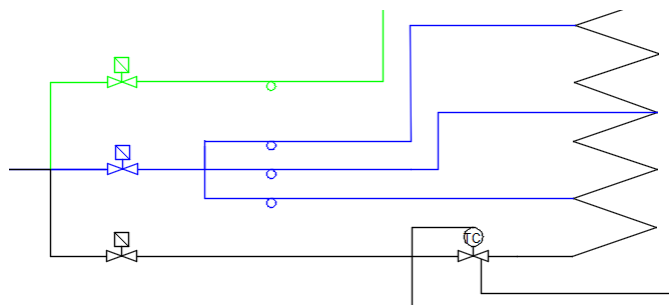
(Danfoss, 2019)



Figuur 12: Karakteristiek stappenmotorafsluiter

5.4 Het ontvochtigingssysteem

Het ontvochtigen van de lucht in de testruimte gebeurde via oppervlaktekoeling. Bij dit principe werd een koeloppervlak afgekoeld tot onder het dauwpunt van de aanwezige lucht in de kast. De ventilator blies de lucht over het koeloppervlak, waardoor het aanwezige vocht in de lucht op dit vlak neersloeg. Deze manier van ontvochtigen werd bij de Binder mkf 240 gerealiseerd via tusseninspuitingen in de verdamper, zoals u kunt zien op het blauwe gedeelte van onderstaande afbeelding.

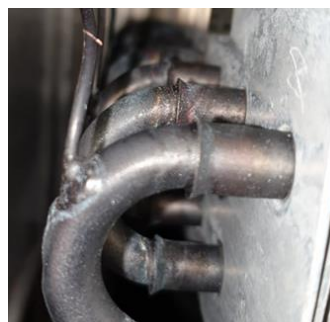


Figuur 13: Het ontvochtigingssysteem voorgesteld in het koelcircuit

De werking gebeurde als volgt:

Wanneer het vloeibare koelmiddel vanuit de filterdroger komt en het blauwe magneetventiel aangestuurd is, zal het ontvochtigingsproces van start gaan. Het vloeibare koelmiddel wordt na het magneetventiel verdeeld over drie verschillende capillairen. Dankzij de capillairen ondergaat het koelmiddel een druk- en temperatuurdaling en wordt het ingespoten in de verdamper. Deze inspuiting is afhankelijk van het drukverschil over en de lengte van het capillair. Tussen het begin en het einde van de verdamper zijn op drie verschillende plaatsen tusseninspuitingen voorzien. Deze tusseninspuitingen zijn gerealiseerd door het einde van het capillair te braseren op de koperen leidingen van de verdamper.

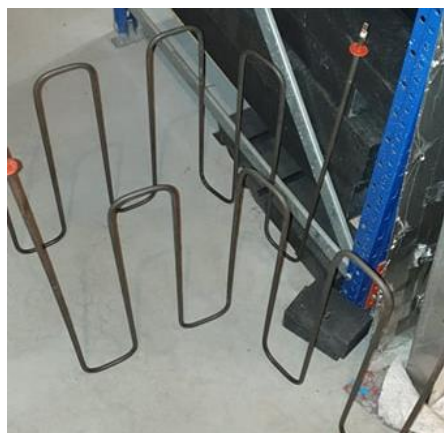
Indien er gevraagd wordt om de lucht in de klimaatkast te koelen en te ontvochtigen, zullen het zwarte en blauwe magneetventiel aangestuurd worden. Het koelmiddel door het zwarte ventiel zal, zoals hierboven reeds vermeld, gecontroleerd en toepassingsafhankelijk ingespoten worden in de verdamper. Dit koelmiddel zal gedurende zijn verblijf doorheen de verdamper steeds meer warmte opnemen en uiteindelijk verdampen en oververhitten. Door nu nog extra koelmiddel toe te voegen op drie verschillende plaatsen in de verdamper, zal hier meer warmte opgenomen worden. Het koelmiddel dat extra ingespoten wordt zal zelf ook willen verdampen en warmte beginnen op te nemen. Hierdoor zal dit plaatselijk een temperatuurdaling teweegbrengen (een 'koelspot'). Wanneer de temperatuur van deze 'koelspot' kleiner of gelijk aan de dauwpunttemperatuur van de circulerende lucht is, zal het vocht in de lucht hierop neerslaan. Het vocht afkomstig uit de lucht zal via de wanden naar de vloerplaat lopen. Deze vloerplaat werd net zoals een douchevloer vervaardigd, waardoor het water afgevoerd wordt via een afvoerslang. Door deze vochtafscheiding zal de lucht ontvochtigd worden. Bij dit principe van ontvochtigen wordt de lucht ontvochtigd én gekoeld via dezelfde verdamper. Zoals hierboven reeds vermeld wordt deze methode wegens energie-efficiëntie niet meer toegepast maar wordt dit tegenwoordig met twee onafhankelijke verdampers gerealiseerd.



Figuur 14: Het Ontvochtigingssysteem van de Binder mkf 240

5.5 Het verwarmingssysteem

De Binder mkf 240 was voorzien van vijf verwarmingsweerstand. Wanneer de lucht in de klimaatkast moest opwarmen, werden de twee grootste weerstanden aangestuurd. Deze twee weerstanden zorgden voor de opwarming van de klimaatkast. Daarnaast werden ook de drie kleinere weerstanden altijd aangestuurd. Hiervan zat er één weerstandsdraad in het kader van de deur, één weerstandsdraad in het glas van de deur en één platte weerstand rondom het glas van de deur. Het hoofddoel van deze drie weerstanden was niet om de lucht in de klimaatkast op te warmen, maar om ervoor te zorgen dat de vochtige lucht niet zou condenseren tegen de deur.



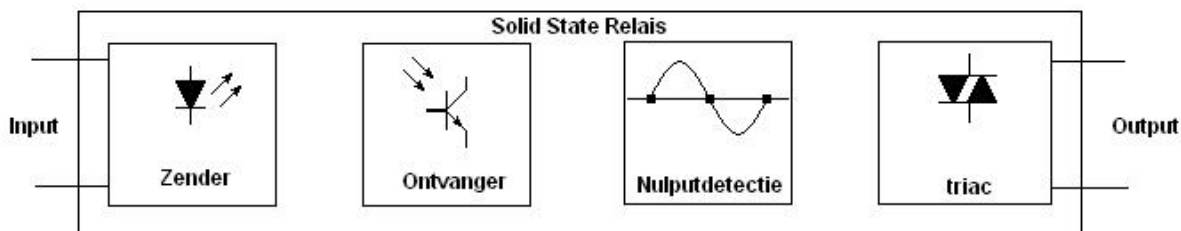
Figuur 16: De verwarmingsweerstand van de Binder mkf 240



Figuur 15: De binnenkant van deur met de verwarmingsweerstand van de Binder mkf 240

5.5.1 Het halfgeleiderrelais (SSR)

De weerstanden worden in- en uitgeschakeld via een SSR. Dit zijn relais die in tegenstelling tot normale relais (die geschakeld worden via een elektromagneet) geen bewegende delen bezitten. Het relais is opgebouwd zoals in onderstaande afbeelding.



Figuur 17: Principeschema SSR

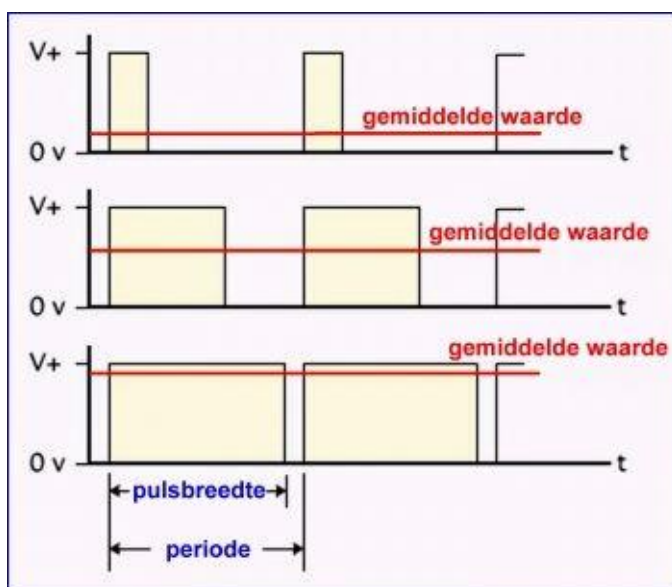
Aan de input wordt er een gelijkspanning aangelegd, hierdoor zal de inwendige led de fototransistor beschienen worden. Door het licht zal er een stroom vloeien die in het triggerblok wordt omgezet naar een geleidingspuls. Deze puls zal de triac doen geleiden. Zolang er een spanning aangelegd blijft zal de triac blijven geleiden, maar de triac zal wel door de nulpuntschakelaar pas bij het nulpunt doven. Anderzijds zal de triac door de nulpuntschakelaar pas bij de volgende nuldoorgang ontsteken. Dit heeft tot voordeel dat er geen plotse inschakelstromen kunnen ontstaan. Een nadeel van een SSR is dat deze componenten warmte ontwikkelen, wat bij grotere stromen in rekening gebracht moet worden. Deze componenten worden daarom steeds gemonteerd met warmtegeleidingspasta op een metalen ondergrond, aangezien ze hun warmte afgeven langs de achterkant.

(Restutech, 2020)

5.5.2 De pulsbreedtemodulatie

De SSR's die de verwarmingsweerstand aansturen, worden aangestuurd via pulsbreedtemodulatie.

Pulsbreedtemodulatie is een veelgebruikte modulatietechniek, hierbij stuurt men een toestel aan via een vaste frequentie in de vorm van een blokgolf. De spanning is ofwel volledig ingeschakeld (1) ofwel volledig uitgeschakeld (0). Dit principe wordt verduidelijkt in onderstaande afbeelding.



Figuur 18: Het principe van pulsbreedtemodulatie

Het inschakelen of uitschakelen gebeurt tijdsafhankelijk. Wanneer de elektrische weerstanden de ruimte maar een aantal graden moeten opwarmen, dan zal de aansturing bijvoorbeeld 1/5 van de tijd volledig ingeschakeld en 4/5 van de tijd volledig uitgeschakeld zijn. Het omgekeerde is ook waar, wanneer de ruimte sterk moet verwarmen dan zal men de weerstanden 4/5 of misschien wel 5/5 van de tijd volledig laten inschakelen. Door periodiek de inschakel- en uitschakeltijd af te stemmen volgens de eisen gesteld aan het testklimaat, creëert men eigenlijk een vermogensregeling voor de verwarmingsweerstand. (Pollefliet, 2018)

5.5.3 Eigenschappen elektrische weerstanden

Gebruik weerstand	Aantal weerstanden	Spanning weerstand	per	Vermogen weerstand	per
Verwarming klimaatkast	2	230 VAC		1350 W	
Weerstandsdraad deur	1	230 VAC		70 W	
Weerstandsdraad raam	1	230 VAC		44 W	
Platte weerstand rondom raam	1	24 VDC		24 W	

Tabel 2: Een overzicht van de aanwezige weerstanden in de Binder mkf 240

5.6 Het bevochtigingsysteem

De klimaatkast was natuurlijk ook voorzien van een luchtbevochtiger. Bij de Binder mkf 240 was dit een stoombevochtiger, hierbij werd water verhit tot stoom en ingebracht in de testruimte. Voor stoombevochtiging zijn er twee principes mogelijk, namelijk stoomproductie met elektroden en stoomproductie met een elektrische weerstand.

5.6.1 Via elektroden

Bij stoombevochtiging via elektroden wordt het water eerst verhit. In dit water zitten twee elektroden waarbij de elektriciteit van de ene naar de andere elektrode stroomt. Het water tussen de elektroden dient als geleidende tussenstof waardoor het water verhit wordt en omgezet wordt in stoom. Deze stoom wordt hierna via een slang in de luchtstroom gebracht.

5.6.2 Via een elektrische weerstand

De stoombevochtiging via elektrische weerstand is de methode die bij de klimaatkast gebruikt werd. Hierbij werd een elektrische weerstand in het water geplaatst waardoor deze door verhitting het water omzette tot stoom. Dit water werd via een vlottersysteem en pomp op niveau gehouden.

De aansturing gebeurde als volgt:

Wanneer de stoombevochtiger aangestuurd wordt, wordt eerst de elektrische verwarmingsweerstand ingeschakeld om een bepaalde tijd voor te verwarmen. Hierna wordt er via een vlottersysteem gecontroleerd of het minimale vereiste waterniveau in de tank aanwezig is. Wanneer dit het geval is blijft de verwarmingsweerstand aangestuurd, indien dit niet het geval is schakelt hij uit. Naast het minimale niveau in de stoomtank zijn er nog twee controlesystemen die de weerstand kunnen uitschakelen. Deze controlesystemen kunnen er bij problemen ook voor zorgen dat pomp die het water naar de stoomtank overpompt niet aangestuurd kan worden. Eén van deze twee is een thermische zekering die de weerstand

uitzet wanneer de temperatuur te hoog oploopt. Daarnaast zorgt een vlottersysteem in de lekbak, waarin de stoombevochtiger zich bevindt, ervoor dat er geen stoom geproduceerd kan worden bij lekkage. Tot slot is er ook nog een detectiesysteem in de vorm van een vlotter aanwezig die dienst doet als overvulbeveiliging.



Figuur 19: De stoombevochtiger van de Binder mkf 240

5.7 De temperatuursensor

De temperatuur van de lucht in de kast werd gemeten via een PT100 temperatuurmeting. Deze temperatuurmeting berust op de weerstandsverandering van een materiaal onder invloed van de temperatuur.

Het materiaal dat gebruikt wordt voor de temperatuurmeting bij een PT100 is af te leiden uit de naamgeving. 'PT' staat voor platina en dit materiaal heeft in deze uitvoering een weerstand van 100Ω bij 0°C . Natuurlijk bestaan er ook nog varianten zoals een PT500, PT1000, PT2000, ... Deze hebben dan een weerstandswaarde van respectievelijk 500Ω , 1000Ω en 2000Ω bij een temperatuur van 0°C .

Bij de uitvoering van de meetweerstand wordt het platina op een keramische drager gewikkeld. Hierna wordt de meetweerstand in een dunne buis geschoven. De uiteinden van de meetweerstand worden verbonden met koperen-, zilveren- of chroomnikkeldraden en het geheel wordt in een beschermbuis geplaatst.

De Binder mkf 240 was uitgerust met drie van deze meetsondes. Eén werd, zoals hierboven reeds vermeld, gebruikt voor de meting van de luchttemperatuur in de testruimte. Daarnaast werd er ook één gebruikt voor de meting van het hete zuiggas. Indien deze meetsonde een te hoge temperatuur registreerde stuurde deze het magneetventiel van de reinjectie aan. Tenslotte werd er ook een meetsonde gebruikt voor temperatuurmeting in de stoomtank.

Deze temperatuurmeters hebben een zeer goede nauwkeurigheid, in sommige gevallen kan de nauwkeurigheid zelfs versterkt worden tot $0,001^{\circ}\text{C}$. De grootte van de nauwkeurigheid hangt af van de

weerstand van de aansluitdraden. Deze weerstand neemt toe met de lengte van de geleiders en de temperatuursverandering waaraan de geleiders onderworpen worden. Het wegeregelen van deze fout kan gebeuren via de 'brug van Wheatstone', hiervoor bestaan er drie verschillende aansluitschema's

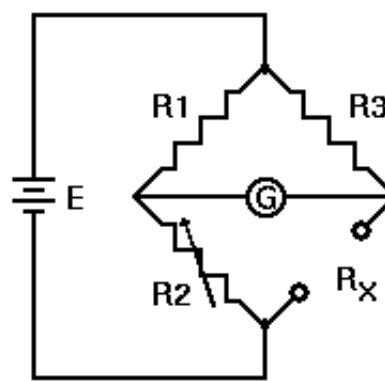
- Tweedraads
- Driedraads
- Vierdraads

(Duyck, 2019)

5.7.1 De brug van Wheatstone

De brug van Wheatstone is gebaseerd op het in evenwicht brengen van de twee takken van de brug ($R1/R3$ en $R2/Rx$). In één van de twee takken wordt een onbekende weerstand aangebracht, de andere weerstand van die tak wordt vervolgens regelbaar gemaakt. In nevenstaande afbeelding stelt R_x de temperatuurmeter voor en stelt R_2 de regelbare weerstand voor. De regelbare weerstand dient zodanig afgeregeld te worden dat de brug in evenwicht is. Wanneer de spanningsbron E is aangesloten zal dit betekenen dat er geen stroom meer loopt door de galvanometer, waardoor de spanning over de galvanometer ook nul wordt. Aangezien de weerstandswaarde van drie weerstanden gekend is kan de weerstandswaarde van de onbekende weerstand uit onderstaande vergelijking bepaald worden. (Duyck, 2019)

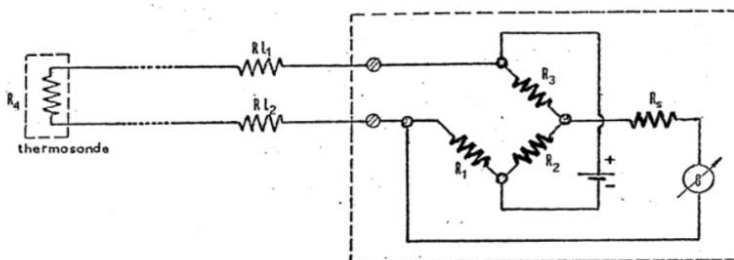
$$R_x = R_3 \cdot \frac{R_2}{R_1} \quad (1)$$



Figuur 20: Basisschema brug van Wheatstone

5.7.2 De tweedraadaansluiting

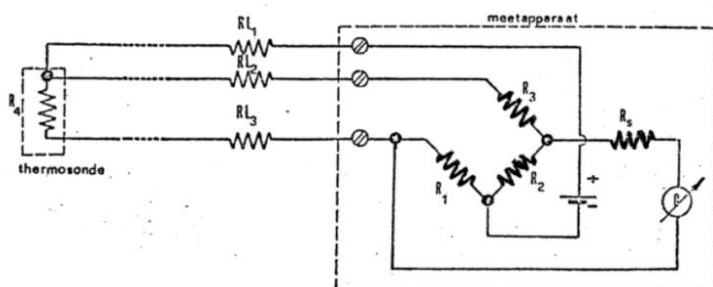
Bij de tweedraadaansluiting van de PT100 wordt de onbekende weerstand R_x van hierboven vervangen door een PT100. Via de regelweerstand wordt vervolgens de fout, veroorzaakt door de lengte van de bedrading, gecompenseerd. De weerstandswaarde van de bedrading wordt bij de inbedrijfsname kortgesloten en geijkt op 10Ω . Deze aansluitmethode houdt wel geen rekening met het temperatuurverschil waaraan de aansluitdraden onderworpen worden, dit wordt in de foutmarge opgenomen. Nog een nadeel van deze aansluiting is dat temperatuurmeting maximaal uitslaat wanneer er een meetdraad onderbroken wordt. Dit brengt een foute aansturing van verwarming en koeling teweeg.



Figuur 21: Het aansluitschema van een tweedraads PT100

5.7.3 De driedraadaansluiting

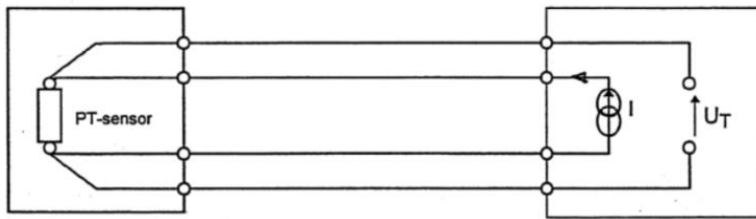
Aangezien de metingen die gebeuren met een tweedraadsaansluiting niet zo nauwkeurig zijn, bestaat er ook een driedraadaansluiting. Hierbij wordt één uiteinde van de PT100 via twee parallelle draden verbonden met de meetversterker. Eén van deze draden wordt in serie geplaatst met de voeding van de brug van Wheatstone. Op die manier zal indien de weerstandswaarde van de twee hoofdaansluitdraden stijgt, de weerstand van de parallelle draad ook stijgen. Aangezien de parallelle draad in serie staat met de voedingsspanning, zal deze de toename van de uitgangsspanning van de hoofdaansluitdraden compenseren met een even grootte daling van de voedingsspanning.



Figuur 22: Het aansluitschema van een driedraads PT100

5.7.4 De vierdraadaansluiting

Voor wetenschappelijke metingen is het driedraadsysteem soms niet nauwkeurig genoeg, in dat geval gebruikt men een vierdraadsysteem. Hierbij worden beide uiteinden van de PT100 via twee parallelle draden met de meetversterker verbonden. Hierbij heeft elk paar draden zijn eigen functie, het ene paar dient voor het sturen van een zeer stabiele stroom door de weerstand. Het andere paar zal de spanning over de weerstand meten met een minimale stroom. Deze manier van werken ondervindt geen invloed van de mogelijke beperkingen van de brug van Wheatstone. Een nadeel van deze meting is wel dat er extra draad vereist wordt. Deze aansluiting werd gebruikt voor de temperatuursondes bij de Binder mkf 240.



Figuur 23: Het aansluitschema van een vierdraads PT100

(Duyck, 2019)

5.7.5 Toleranties

Er worden doorgaans twee soorten toleranties gespecificeerd:

- de fout bij 0°C, bijvoorbeeld $\pm 0,15^\circ\text{C}$ voor Klasse A
- de fout bij een andere temperatuur dan 0°C, bijvoorbeeld $\pm 0,002 * T \text{ } ^\circ\text{C}$ voor Klasse A

T staat hier voor de temperatuur in °C. De onnauwkeurigheid bij een bepaalde temperatuur is in eerste orde de som '+/-' van deze twee fouten.

Klasse C $0,60^\circ\text{C} + 0,010 * T$ Max inzetbare temperatuur $-200^\circ\text{C} \dots +850^\circ\text{C}$

Klasse B $0,30^\circ\text{C} + 0,005 * T$ Max inzetbare temperatuur $-200^\circ\text{C} \dots +600^\circ\text{C}$

Klasse A $0,15^\circ\text{C} + 0,002 * T$ Max inzetbare temperatuur $-90^\circ\text{C} \dots +300^\circ\text{C}$

Klasse 1/3DIN $0,10^\circ\text{C} + 0,0017 * T$ Max inzetbare temperatuur $-050^\circ\text{C} \dots +150^\circ\text{C}$

Klasse 1/5DIN $0,06^\circ\text{C} + 0,0010 * T$ Max inzetbare temperatuur $-050^\circ\text{C} \dots +150^\circ\text{C}$

Klasse 1/10DIN $0,03^\circ\text{C} + 0,0005 * T$ Max inzetbare temperatuur $-050^\circ\text{C} \dots +150^\circ\text{C}$

(Wikipedia, 2020)

5.7.6 Eigenschappen

Type: PT100 type A

Uitvoering: vierdraads

Temperatuurbereik: -200°C tot 800°C

5.8 De vochtvoeler

Om het vochtgehalte in de klimaatkast te kunnen meten werd er gebruik gemaakt van een capacitieve vochtvoeler. Deze voeler meet de relatieve vochtigheid van de lucht in de testruimte.

5.8.1 Wat is relatieve vochtigheid?

Bij een bepaalde temperatuur en druk kan de lucht slechts een bepaalde hoeveelheid vocht opnemen. Deze waterdampopname stijgt naarmate de temperatuur en de druk toenemen, de maximale hoeveelheid waterdamp die een luchtstroom kan opnemen wordt de verzadiging genoemd. De relatieve vochtigheid geeft de hoeveelheid waterdamp aan die zich in de lucht bevindt, dit wordt weergegeven in functie van de maximale hoeveelheid waterdamp die de lucht kan bevatten.

$$\varphi = \frac{X}{X_v} \cdot 100\% \quad (T = \text{constant}) \quad (2)$$

Met:

φ = de relatieve vochtigheid [%]

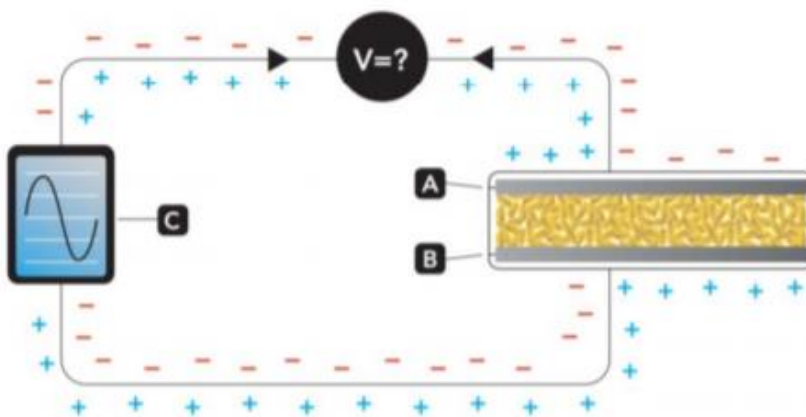
X = waterdamp [g/kg]

X_v = waterdamp bij verzadigde lucht in [g/kg]

(Verhertbrugge, 2018)

5.8.2 Werking

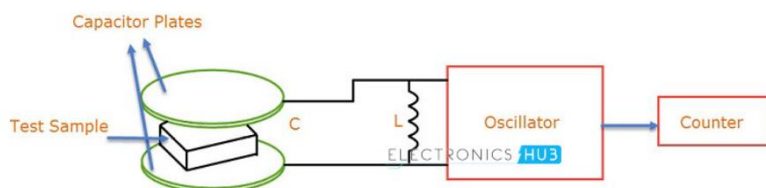
Een capacitieve vochtvoeler werkt eigenlijk als een plaatcondensator. Tussen de elektroden van de condensator is een polymeer als diëlektricum aangebracht dat hygroscoopisch functioneert. Door de open structuur is het mogelijk om waterdamp toe te laten in het polymeer. De watermoleculen uit deze waterdamp blijven in het diëlektricum binnenkomen of verlaten het diëlektricum, tot het dampgehalte in evenwicht is met de lucht in de klimaatkast. Door deze waterdamptoenname in het diëlektricum zal de capaciteit van de condensator sterk variëren. Deze capaciteitswaarde wordt dan elektronisch verwerkt tot een relatief vochtpercentage. (Eeuwema, 2014)



Figuur 24: Het prinseschema van een capacitieve vochtvoeler

De hierboven beschreven methode is de gebruikelijke manier om de vochtigheid te meten met een capacitieve sensor. Er bestaat ook nog een tweede manier. Bij deze tweede uitvoering wordt er net zoals bij de hierboven genoemde methode gewerkt met een hygroscoopisch diëlektricum. Het verschil met de vorige methode is dat men nu met behulp van een condensator de verandering in frequentie van een oscillator observeren. Dit is een veelgebruikte opstelling voor farmaceutische producten. Hierbij worden testmonsters (bijvoorbeeld medische tabletten) tussen de twee platen van de condensator geplaatst om zo een oscillator in een LC-oscillator-circuit te vormen. In deze opstelling zal de frequentie afkomstig van de oscillator veranderen met de relatieve vochtigheid van het testmonster.

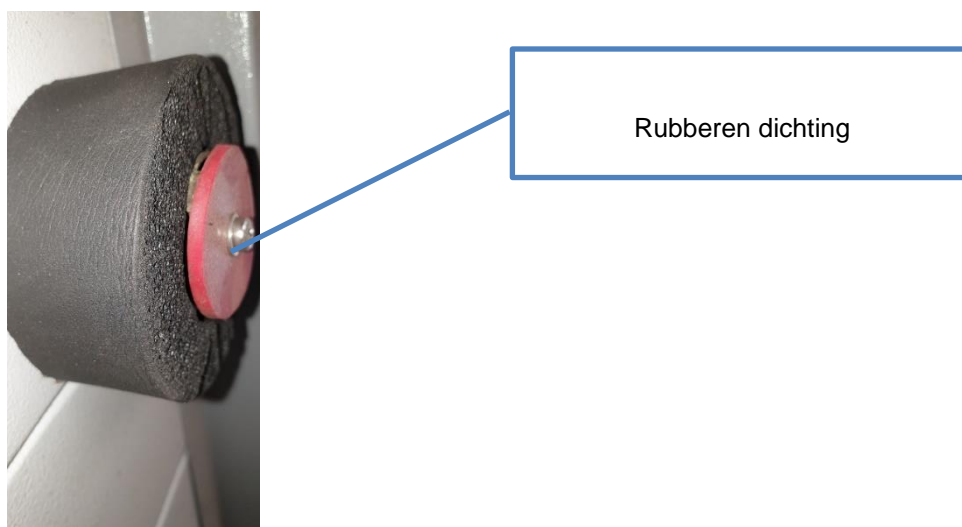
(Davidian, 2018)



Figuur 25: Het meetprincipe van een capacitieve vochtvoeler via een LC-oscillator

5.9 De drukvereffening

De klimaatkast is ook voorzien van een drukvereffeningsklep. Aangezien een gas uitzet bij opwarming, voorkomt deze klep drukopbouw in de procesruimte. De klep is bovenaan in de kast voorzien en werkt via een rubberen dichting die een pijp afdicht. Deze pijp staat in verbinding met de procesruimte waardoor zowel in de pijp als in de testruimte dezelfde druk heerst. Aangezien de dichting enkel in het center bevestigd is zal de oplopende druk het rubber verduwen en kan het teveel aan luchtdruk ontsnappen. Op deze manier wordt er steeds een veilige situatie verkregen bij het openen van de deur.



Figuur 26: De drukvereffeningsklep

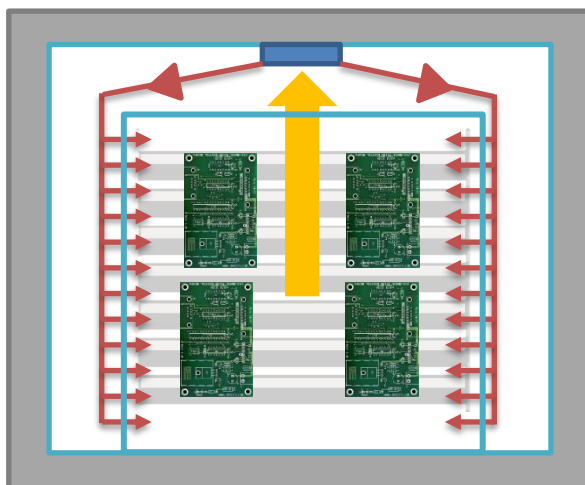
5.10 De ventilator

Bij klimaatsimulatie wordt het testproduct eigenlijk opgesloten in een met lucht gevulde ruimte. Deze lucht wordt vervolgens via verschillende systemen behandeld om de gewenste testcondities te verkrijgen. Deze behandelingen kunnen in dit geval het drogen, bevochtigen, opwarmen en afkoelen van de lucht zijn. Wanneer er bijvoorbeeld wordt gekeken naar het koelsysteem, dan kan men vaststellen dat de klimaatkast voorzien is van een verdampers die koude uitstraalt. Aangezien de verdampers zich onderaan in de testruimte bevindt zal enkel de lucht die rondom de verdampers aanwezig is afkoelen. Dit implementeert dat de lucht boven nog steeds warmer zal zijn. Hetzelfde probleem doet zich voor bij het drogen, het bevochtigen en het verwarmen van de lucht. Om ervoor te kunnen zorgen dat de gewenste condities in de volledige testruimte dezelfde zijn, is er een ventilator nodig. De ventilator kan eigenlijk vergeleken worden met een mengmachine voor lucht. Indien men vochtige en warme lucht wenst dan worden de elektrische weerstanden ingeschakeld en zal de bevochtiger vocht in de kast blazen. De ventilator zal dan lucht aanzuigen en deze aangezogen lucht over het vocht en over de weerstanden blazen. Omdat de ventilator constant lucht aanzuigt en uitpuwt zal het klimaat in de kast op die manier na verloop van tijd overal hetzelfde zijn. De ventilator kan dus eigenlijk gezien worden als een mengmachine en de verschillende 'soorten' ingebrachte behandelde lucht zijn de ingrediënten.

5.10.1 Luchtgeleiding

Wat ook zeer belangrijk is voor een homogeen klimaat in de kast is de manier waarop de ventilator de lucht rondstuurt. Luchtgeleiding is dus zeer belangrijk in een klimaatkast omdat deze verantwoordelijk is voor een gelijkmatige verdeling van de proceslucht doorheen de kastruimte. Indien de testruimte zich in beladen toestand bevindt, is het de juiste luchtbeweging die moet zorgen voor een hoge precisie van temperatuur en vocht over alle schappen.

Aangezien de originele fabrikant van de klimaatkast veel klanten heeft in de farmaceutische industrie, is een bijna perfecte luchtgeleiding doorslaggevend. Daarom ontwikkelden zij een luchtgeleidingssysteem voor hun klimaatkasten. De testruimtes bij de kasten van Binder zijn dubbelwandig opgebouwd zoals onderstaande afbeelding verduidelijkt.



Figuur 27: De luchtverdeling (rode pijlen) in de klimaatkast via de luchtgeleidingswanden (blauwe lijnen)

De luchtbehandelingssystemen brengen de behandelde proceslucht in de luchtstroom van de ventilator. De ventilator bevindt zich tussen de binnenwanden van de kast en de luchtgeleidingswanden. Door de de gaten in de luchtgeleidingswanden wordt de lucht bijna perfect verdeeld en over de testproducten geleid.

Voor de luchtverdeling bestaan er twee soorten luchtgeleiding:

5.10.1.1 Horizontaal

De lucht wordt zijdelings over de gehele schapbreedte geblazen. Door deze gelijkmatige zijdelingse geleiding hebben alle producten die zich op het schap bevinden dezelfde goede condities. Optimale condities ontstaan bij dubbelzijdige horizontale luchtgeleiding. Bij dubbelzijdige geleiding is de lichtsnelheid ook lager, wat ervoor zorgt dat er ook producten met een laag gewicht getest kunnen worden.

5.10.1.2 Verticaal

Hierbij stroomt de luchtstroom van onder naar boven door de verschillende schappen. Indien de schappen beladen zijn kan dit tot gevolg hebben dat de bovenste schappen bijna geen luchtstroom krijgen omdat deze wordt tegengehouden door de onderste. Hierdoor is er bij dit soort luchtstroom geen gelijkmatige verdeling.

(Binder, 2017)

5.10.2 Besluit

Zoals uit bovenstaande uitleg en uit onderstaande afbeelding blijken, zorgt de dubbelzijdige horizontale luchtstroom voor een homogene en optimale verdeling over alle schappen in de klimaatkast. Hierbij zal de ventilator, die zich tussen de luchtgeleidingspanelen en de binnenwanden van de kast bevindt, de lucht centraal aanzuigen en rondom wegblazen. De lucht zal vervolgens geleid worden doorheen de dubbelwandige omkasting en via de gaten in de luchtgeleidingswanden in de procesruimte terecht komen. Dit is dan ook de reden waarom deze luchtgeleidingstechniek gebruikt wordt bij alle kasten die geproduceerd worden door fabrikant Binder.



Figuur 28: De luchtverdeling via de luchtgeleidingswanden

6 Conclusies

Voor het nemen van de conclusies werden de temperatuur- en vochtbereiken van de oude en de nieuwe klimaatkast nog eens tegenover elkaar geplaatst.

	BINDER MKF 240	KLIMAATKAST RETROFIT	NA
TYPE KLIMAATKAST	Dynamisch	Statisch	
VOEDING	400VAC 50Hz	230VAC 50HZ	
PROCESTIJD	Bepaald	Niet van toepassing	
TEMPERATUURRANGE	-40°C tot 180°C	5°C tot 45°C	
RELATIEVE VOCHTBEREIKEN	10%RV tot 95%RV	10%RV tot 95%RV	

Tabel 3: Vergelijkende tabel betreffende de klimaatkast voor- en na het retrofitten

6.1 Koeling

Voor het koelen van de klimaatkast werd gebruik gemaakt van een compressiekoelmachine met koelmiddel R404a. De klimaatkast werd destijds uit dienst genomen door problemen met deze compressiemachine. Wanneer men de koelgroep inschakelde, werd de compressor na enkele ogenblikken uitgeschakeld door de lagedrukpressostaat. Na enkele ogenblikken startte de compressor opnieuw en deed deze fout zich weer voor. Aangezien de stroom nodig voor het inschakelen 3 tot 5 keer de nominale stroom is, stopt de compressor na enige tijd met werken. Ter controle voor dit probleem werden de werkdrukken gemeten, deze drukken bleken veel te laag. Dit duidde op een lek in het koelcircuit..

Vanwege deze problemen, en het feit dat het koelmiddel R404a een te hoge GWP-waarde heeft, werd besloten om de volledige koelcompressiemachine te vervangen. Hiermee worden de condensor en compressor vervangen. De verdamper zou hergebruikt kunnen worden, maar omdat deze berekend werd voor koeling tot -40°C en dus sterk overgedimensioneerd zou zijn voor de nieuwe toepassing, werd besloten deze ook te vervangen. Daarnaast zal ook het koelmiddel vervangen worden door een koelmiddel dat minder belastend is voor de opwarming van de aarde.

6.2 Ontvochtiging

Zoals hierboven vermeld gebeurde het ontvochtigen door drie insputingen in de verdamper. Aangezien de verdamper vervangen wordt, zal deze methode niet kunnen worden toegepast. Daarnaast wordt deze methode van ontvochtigen niet meer gebruikt bij de nieuw geproduceerde kasten van de fabrikant Binder, dit wegens inefficiëntie. Tegenwoordig worden de kasten van Binder ontvochtigd door de plaatsing van een extra verdamper in de klimaatkast.

6.3 Bevochtiging

Het bevochtigen van de proceslucht gebeurde via een stoombevochtiger. Deze methode van bevochtiging wordt vandaag nog steeds toegepast bij de nieuw geproduceerde klimaatkasten van deze reeks. Deze methode heeft als nadeel dat stoom naast vocht ook warmte binnenbrengt in de klimaatkast. Verder zorgt het verdampen van water ook voor kalkafzetting in de bevochtiger.

Bij het demonteren van de klimaatkast werd ook vastgesteld dat de bevochtiger slijtage vertoonde van het veelvuldig gebruik. Daarbij is de stoombevochtiger sterk overgedimensioneerd aangezien deze vroeger bepaalde bevochtigingstijden moest kunnen behalen. Daarom werd besloten om een nieuwe bevochtiger te selecteren.

6.4 Verwarming

Via elektrische weerstanden werd de klimaatkast verwarmd. Deze weerstanden waren in staat om de kast binnen een bepaalde tijd op te warmen van -40°C tot 180°C . Het grote vermogen van de weerstanden kwam hierbij goed van pas. Zoals de bevochtiger, de ontvochtiger en de koelgroep zijn ook de elektrische weerstanden sterk overgedimensioneerd en werd besloten om het verwarmingssysteem te vervangen.

6.5 Temperatuurmeting

De temperatuurmeting van de proceslucht gebeurde via een vierdraads PT100. Aangezien de PT100 gekend staat voor nauwkeurigheid en stabiliteit zou deze temperatuursensor hergebruikt kunnen worden.

6.6 Vochtmeting

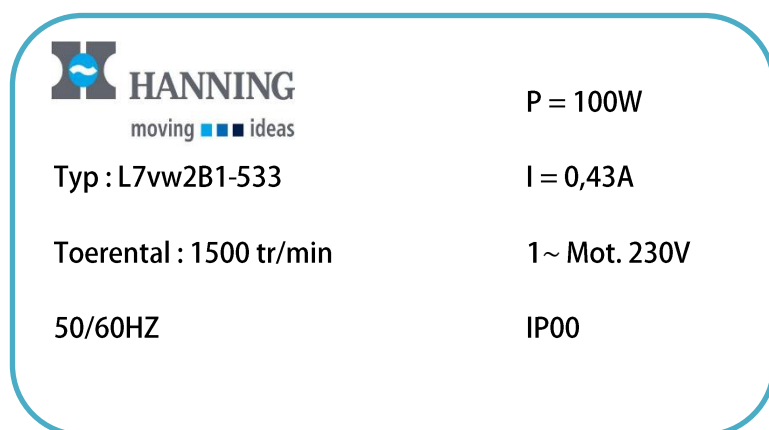
De meting van de relatieve vochtigheid gebeurde in de klimaatkast via een capacitieve vochtsensor. Bij het nakijken van de sensor werd vastgesteld dat het voelerelement geplooid en beschadigd was. Hierdoor kon deze sensor niet hergebruikt worden en zal er een nieuwe in de plaats komen.

6.7 Luchtcirculatie

Zoals hierboven al vermeld is de luchtcirculatie in een klimaatkast van groot belang. Aangezien het ventilatortype ontworpen is voor deze procesruimte, werd besloten om de ventilator te hergebruiken

7 Luchtcirculatie

Zoals eerder vermeld geschiedt de luchtcirculatie in de procesruimte via een ventilator. Deze ventilator is van het radiale type en heeft zes schoepen. Om wat meer informatie te hebben over de eigenschappen van de ventilator werd de achterwand van de klimaatkast gedemonteerd om de motor van de ventilator te kunnen bekijken. De motor kan mono- en driefasig aangestuurd worden. Om niet te moeten werken met driefasige stekkers en verlengkabels, werd gekozen om de volledige klimaatkast te ontwerpen voor monofasige aansluiting. Het onderstaande kenplaatje vat de gegevens samen die nodig zijn voor een monofasige aansluiting.



Figuur 29: Aanwezige gegevens op het kenplaatje van de ventilatormotor

Aangezien er over deze ventilator geen datasheet bestaat en er nergens concrete gegevens over dit type te vinden zijn, werd het debiet van de ventilator berekend volgens de eerste proportionaliteitswet van ventilatoren.

$$Q_e = A \cdot v \quad \text{met} \quad v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} \quad (3) \quad (4)$$

Met:

Q_e = de volumestroom [m^3/s]

A = de (dwarsoppervlakte) [m^2]

d = de waaierdiameter [m]

n = het toerental van de ventilator [tr/min]

De dwarsoppervlakte kan berekend worden door de oppervlakte van één schoep te vermenigvuldigen met het aantal schoepen.

$$A = l \cdot b \cdot n = 0,01 \cdot 0,045 \cdot 6 = 0,0027m^2 \quad (5)$$

Met:

l = de lengte van één schoep

b = de breedte van één schoep

n = het aantal schoepen

Vervolgens kan de formule ingevuld worden voor het berekenen van de volumestroom.

$$Q_e = A \cdot v = A \cdot \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} = 0,0027 \text{ m}^2 \cdot \frac{\pi \cdot 0,13 \text{ m} \cdot 1500 \text{ tr/min}}{60} = 0,0275 \text{ m}^3/\text{s} \quad (3)$$

De ventilator is zodanig geconstrueerd dat deze de lucht centraal aanzuigt en deze lucht rondom wegblaast. Dit betekent dat het hierboven berekende luchtdebiet het aanzuigdebiet is van de ventilator.

(Verhertbrugge, 5 Luchtbehandelingstechnieken, 2019)



Figuur 30: De ventilator verantwoordelijk voor de luchtstroom in de klimaatkast

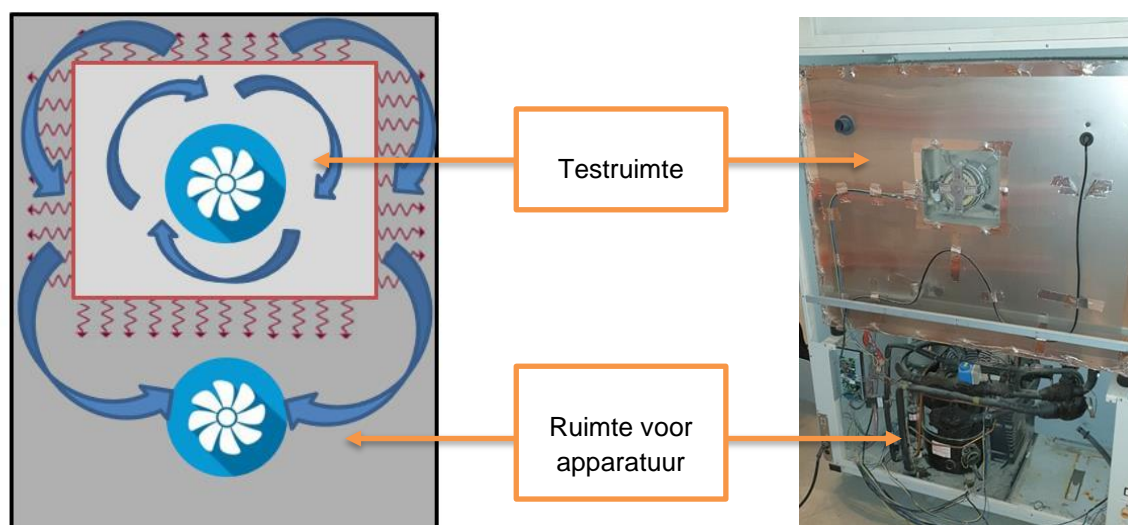
8 Warmteverliesberekening klimaatkast

8.1 Wat is een warmteverliesberekening?

Een warmteverliesberekening wordt uitgevoerd om te bepalen hoeveel vermogen aan warmte er uit de kast verdwijnt via wanden spleten en kieren. Dit bekomen vermogen is het vermogen dat de koelgroep of het verwarmingssysteem nodig zal hebben om de lucht in de klimaatkast na het koelen of het verwarmen op temperatuur te kunnen houden. (Denie)

8.2 De opbouw van de klimaatkast

De klimaatkast is eigenlijk opgebouwd volgens een 'kast in een kast' principe. Dit betekent dat de testkamer waarin de producten worden ingebracht losstaand is van het poederlakframe. Onderstaande afbeelding verduidelijkt dit principe.



Figuur 31: Een overzicht van de mogelijke verliesoppervlakken in de klimaatkast

Zoals bovenstaande afbeeldingen aangeven is de testruimte een aparte kast van inox die in een poederlakframe geplaatst werd. De testruimte dient voor het testen van de producten, terwijl het poederlakframe alle benodigde apparatuur huisvest. Rondom de testruimte is er dus een lichtspleet aanwezig, deze lucht staat in verbinding met de lucht in de ruimte onder de kast. Hier staat de condensunit opgesteld, hierdoor is er luchtcirculatie rondom de testkamer.

De deur is enkel bevestigd aan het poederlakframe en sluit de procesruimte via rubbers luchtdicht af.

8.3 Warmteoverdrachtsmechanismen

Warmte is een energievorm die zich verplaatst ten gevolge van een temperatuurverschil. Warmte zal steeds stromen van een lichaam met een hoge temperatuur naar een lichaam met een lagere temperatuur. In principe blijft deze stroming duren tot beide lichamen op dezelfde temperatuur gekomen zijn. Er zijn eigenlijk drie basismechanismen waarmee warmte zich doorheen materialen kan verplaatsen, namelijk:

- Straling
- Convection
- Geleiding

8.3.1 Straling

Zoals hierboven reeds vermeld zal een lichaam warmte uitstralen op alles wat zich in zijn omgeving op een lagere temperatuur bevindt. Voor warmteoverdracht via straling is noch rechtstreeks contact, noch overdrachtsmaterie, noch beweging of verplaatsing van materie nodig.

De straling tussen twee voorwerpen kan berekend worden via onderstaande formule:

$$qr = hr \cdot (t1 - t2) \quad (6)$$

Met :

qr = netto warmtestroomdichtheid

hr = warmteoverdrachtcoëfficiënt voor straling (waarde via tabel...)

$(t1 - t2)$ = het temperatuurverschil tussen beide voorwerpen

Ontvangstoppervlak	Hr
Zwarte straler	5,6
Grauwe straler	4,5
Blinkend oppervlak	1

Tabel 4: De warmteoverdrachtcoëfficiënt bij verschillende oppervlakken

8.3.2 Convectie

Warmteoverdracht via convectie gaat gepaard met een fysische verplaatsing van materie. Dit kan enkel plaatsvinden bij gassen of vloeistoffen omdat bij deze stoffen de moleculen makkelijk verplaatsbaar zijn. Convectiestromen ontstaan door het verschil in soortelijke massa tussen de stof bij hogere temperatuur en de stof bij lagere temperatuur. Een voorbeeld van convectiestroming is de luchtstroom langs radiatoren. De warmteoverdracht via convectie kan berekend worden via onderstaande formule:

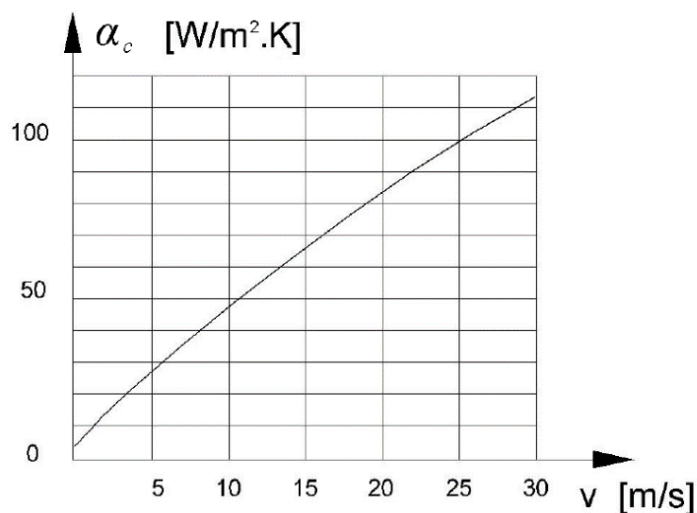
$$q_c = hc \cdot (t_1 - t_2) \quad (7)$$

Met :

q_c = warmtestroomdichtheid

hc = warmte-overgangscoefficiënt voor convectie (waarde via grafiek...)

$(t_1 - t_2)$ = het temperatuurverschil



Figuur 32: Grafiek voor het bepalen van de warmte-overgangscoefficiënt bij convectie

8.3.3 Geleiding

Geleiding is een warmteoverdrachtsmechanisme dat kenmerkend is voor vaste stoffen. Bij deze vorm van warmteoverdracht is er geen warmtetransport via materie. De warmte wordt doorgegeven van molecule naar molecule.

De warmtegeleidbaarheid van een materiaal wordt aangegeven door λ [W/m.K]. Deze factor geeft aan hoeveel warmte er per seconde door 1 m² kan gaan als het materiaal 1 m dik is en het temperatuurverschil

tussen beide zijden 1°C is. Via λ kan de warmte weerstand van een materiaal via onderstaande formule bepaald worden:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (8)$$

Met:

R = de warmte weerstand van een materiaal

d = de dikte van het materiaal

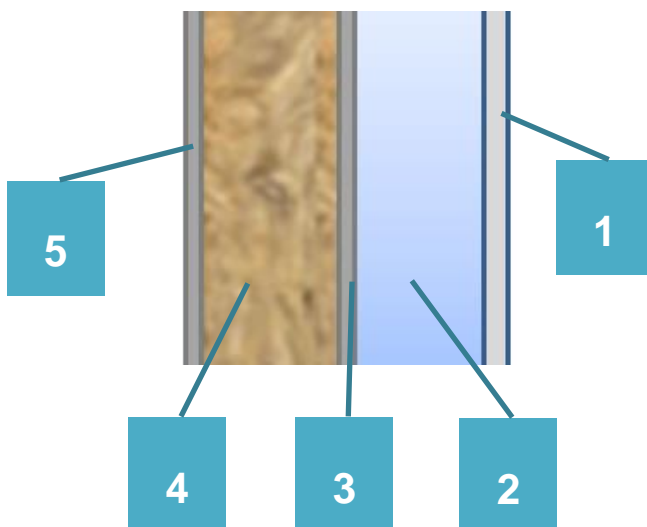
λ = de warmtegeleidbaarheid

(Denie)

8.4 Warmteverliesbepaling klimaatkast

Via de hiervoor genoemde formules van de verschillende warmteoverdrachtsmechanismen is het nu mogelijk om te berekenen wat het warmteverlies is doorheen de constructie-elementen. Voor de warmteverliesberekening werden de hoeken in de klimaatkast buiten beschouwing gelaten. Volgende zaken werden achterhaald bij de demontage van de klimaatkast.

De drie vaste wanden, het plafond en de vloer zijn als volgt opgebouwd:

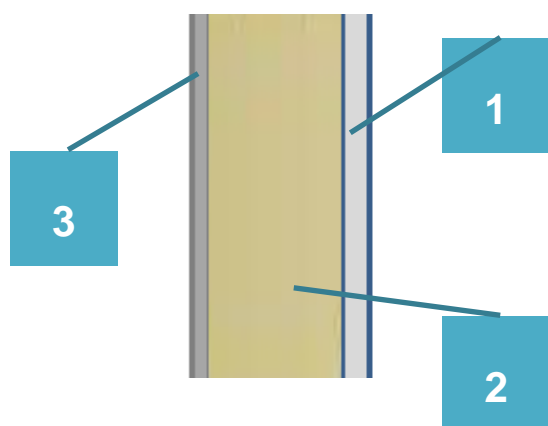


Figuur 33: Doorsnede van de wanden van de klimaatkast

Nummer	Materiaal	λ - waarde [W/mk]	Dikte [m]
1	Poederlakplaat	50	0.002
2	Luchtspleet (geventileerd)	/	0.05
3	Roestvrijstaal	17	0.001
4	Rockwool	0.035	0.1
5	Roestvrijstaal	17	0.001

Tabel 5: Overzicht van de opbouw van de klimaatkastwanden

De deur is als volgt opgebouwd:



Figuur 34: Doorsnede van de deur van de klimaatkast

Nummer	Materiaal	λ - waarde [W/mk]	Dikte [m]
1	Poederlakplaat	50	0.002
2	PUR-plaat	0.0023	0.05
3	Roestvrijstaal	17	0.001

Tabel 6: Ovezicht van de opbouw van de klimaatkastdeur

8.4.1 Bepaling van het warmtetransport van omgeving naar wand

Voor de warmteverliesberekening werd er enkel rekening gehouden met de testruimte zelf en niet met de luchtspleet of het poederlakframe. Dit omdat de lucht in de luchtspleet sterk geventileerd is waardoor alle isolatiekwaliteiten vanaf hier wegvallen. Bij de deur is er geen luchtspleet aanwezig en wordt het poederlakframe in rekening gebracht.

Wanneer we vanuit de lucht in de kast naar de wanden van de testkast kijken dan kan vastgesteld worden dat deze warmteoverdracht niet via geleiding kan gebeuren. Convection is wel mogelijk want zowel in als rondom de testruimte bevindt zich lucht. Anderzijds wisselt elk voorwerp met zijn omgeving ook warmte uit via straling. Hieruit blijkt dat de warmteoverdracht van omgeving naar wand via straling en convection verloopt. In formulevorm ziet dit er als volgt uit:

$$q_{s,c} + q_R = (h_{s,c} + h_{s,r}) \cdot \Delta T \quad (9)$$

Aangezien zowel de binnenwanden als de buitenwanden van de testkamer onder een luchtstroom staan, werd ervan uitgegaan dat de luchtstroom buiten even sterk is dan deze binnen in de kast. De snelheid van de luchtstroom werd bepaald in het hoofdstuk van de luchtcirculatie en bedroeg ongeveer 3m/s. Daarom werd via grafiek.. voor binnen en buiten een hc waarde gevonden 15 W/m².K.

Voor de geleiding werd een hr-waarde van 1 W/m².K. gekozen, dit omdat zowel de binnenwanden als de buitenwanden van de testkamer bekleed zijn met blinkend roestvrijstaal. Deze waarde werd gevonden via tabel...

$$(h_{s,c} + h_{s,r}) \equiv h_s \quad (10)$$

$$h_{si} \text{ en } h_{se} = 15+1 = 16 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

Hieruit volgt:

$$R_{si} = \frac{1}{h_{si}} = R_{se} = \frac{1}{h_{se}} = \frac{1}{16} = 0.0625 \text{ m}^2.\text{K/W} \quad (11)$$

8.4.2 Het warmtetransport doorheen de wanden

Doorheen constructieonderdelen verplaatst de warmtestroom zich via het principe van de geleiding. De wanden zijn opgebouwd uit homogene constructieonderdelen dus kan de warmteweerstand van deze onderdelen berekend worden via onderstaande formule:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (8)$$

Voor de verschillende constructieonderdelen werden onderstaande R-waarden bekomen.

Voor de wanden

MATERIAAL	Λ - WAARDE [W/MK]	DIKTE [M]	R- WAARDE [M ² K/W]
ROESTVRIJSTAAL	17	0.001	5,88235E-05
ROCKWOLL	0.035	0.1	2,85714286
ROESTVRIJSTAAL	17	0.001	5,88235E-05

Tabel 7: De R – waarden van de verschillende materialen waaruit de wanden opgebouwd zijn

Voor de deur

MATERIAAL	Λ - WAARDE [W/MK]	DIKTE [M]	R- WAARDE [M ² K/W]
ROESTVRIJSTAAL	17	0.001	5,882E-05
PUR-PLAAT	0.023	0.05	2,173913
POEDERLAKPLAAT	50	0.002	0,00004

Tabel 8: De R – waarden van de verschillende materialen waaruit de deur opgebouwd is

Nu de R-waarden van de omgeving tot de binnen- en buitenwanden, en alle constructie-elementen bepaald zijn, wordt de totale R- waarde berekend.

$$RT = Ri + R1 + R2 + \dots + Rn + Rse \quad (12)$$

$$RT = 0.0625 + 5,8823E-05 + 2,8571 + 5,8823E-05 + 5,8823E-05 + 21,7391 + 0,00004 + 0.0625$$

$$RT = 5,0312 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

Voor de rubberen doorvoer

Aan de zijkant is de kast ook voorzien van een doorvoer, dit om de draden van meetsondes en andere apparatuur naar buiten te kunnen brengen voor de uitlezing ervan. Dit gat heeft een diameter van 50 mm en is afgesloten met een rubberen stop met een dikte van 1cm.

MATERIAAL	Λ - WAARDE [W/MK]	DIKTE [M]	R- WAARDE [M ² K/W]
RUBBER	0,29	0.05	0,172

Tabel 9: R – waarde van de rubberen doorvoer

8.4.3 Bepaling van de warmtedoorgangscoefficiënt

De warmtedoorgangscoefficiënt is de belangrijkste referentiewaarde voor de isolatiekwaliteit van constructieonderdelen. De warmtedoorgangscoefficiënt kan berekend worden via onderstaande formule:

$$U_{omkasting} = \frac{1}{RT} = \frac{1}{5,0312 \text{ m}^2 \text{ K/W}} = 0,1988 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Aangezien de deur ook voorzien is van een driedubbel zichtvenster, werd de U-waarde van dit glas in tabellen opgezocht.

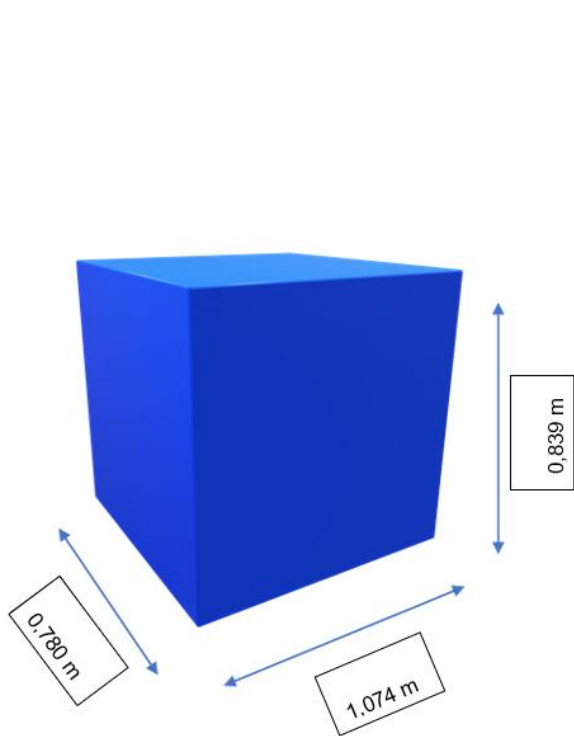
$$U_{glas} = 0,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Voor de rubberen doorvoer werd onderstaande U-waarde gevonden.

$$U_{rubber} = 5,814 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

8.4.4 Bepaling van de verliesoppervlakken

De hoeveelheid warmte die uit de testruimte verdwijnt is evenredig met de grootte van deze ruimte. De verliesoppervlakken zijn dus de oppervlakken van de wanden, het plafond, de vloer en de deur.



Oppervlakte wanden

$$A_{\text{zijwand}} = 2 \cdot 0,839 \cdot 0,780 = 1,309 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{achterwand}} = 1,074 \cdot 0,839 = 0,901 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{bovenkant en vloer}} = 2 \cdot 1,074 \cdot 0,780 = 1,675 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{deur (zonder glas)}} = (1,074 \cdot 0,839) - 0,515 = 0,386 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{totaal}} = 1,309 + 0,901 + 1,675 + 0,386$$

$$= 4,271 \text{ m}^2$$

Oppervlakte zichtvenster

$$A_{\text{zichtvenster}} = 0,700 \cdot 0,735 = 0,515 \text{ m}^2$$

Oppervlakte rubberen doorvoer

$$A = \frac{\pi \cdot 0,0025}{4} = 0,002 \text{ m}^2$$

Figuur 35: driedimensionale voorstelling van de procesruimte

8.4.5 Bepaling van het temperatuurverschil

Het temperatuurverschil tussen de temperatuur binnen en buiten de klimaatkast is bepalend voor de hoeveelheid warmte die de kast verlaat of binnenkomt via de wanden en/of de deur. Voor het bepalen van deze temperaturen werd uitgegaan van extreme omstandigheden. Dit betekent dat ervan uitgegaan wordt dat de temperatuur van de lucht in de kast 45°C bedraagt en dat de temperatuur van de omgeving 10°C bedraagt. 10°C is de minimumtemperatuur toegelaten voor het uitvoeren van zeer zwaar werk en meteen ook de minimumtemperatuur tot waar de klimaatkast kan koelen.

8.4.6 Bepaling van het totale warmteverlies

Aangezien nu de warmtedoorgangscoefficiënt (U), het temperatuurverschil (Δt) en het totale verliesoppervlak (A) bekend zijn, kan het totale warmteverlies (Q) berekend worden via onderstaande formule:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta t$$

$$Q_{\text{wanden}} = U \cdot A \cdot \Delta t = 0,1988 \text{ W/m}^2 \text{ K} \cdot 4,271 \text{ m}^2 \cdot (45-5)\text{K} = 33,963\text{W} \quad (13)$$

$$Q_{\text{zichtvenster}} = U \cdot A \cdot \Delta t = 0,6 \text{ W/m}^2 \text{ K} \cdot 0,515 \text{ m}^2 \cdot (45-5)\text{K} = 12,360\text{W}$$

$$Q_{\text{doorvoer}} = U \cdot A \cdot \Delta t = 5,814 \text{ W/m}^2 \text{ K} \cdot 0,002 \text{ m}^2 \cdot (45-5)\text{K} = 0,465\text{W}$$

$$Q_{\text{totaal}} = 33,963 + 12,360 + 0,465 = 46,788 \text{ W}$$

8.5 De warmtelast en de koellast

Het totale warmteverlies van de klimaatkast bedraagt 40,393W, dit is meteen ook het vermogen dat de klimaatkast nodig zal hebben om de kast bij bovengenoemde omstandigheden op temperatuur te houden. Er kan gesteld worden dat 46,788W de warmtelast is.

Indien de testruimte dient afgekoeld te worden, moet er ook nog rekening gehouden worden met de hallogeenspots die de klimaatkast van verlichting voorzien. De warmteafgifte van deze spots worden bepaald volgens een vuistregel. Deze vuistregel houdt in, 10W warmte per m² vloeroppervlak. Dit betekent dat er 8,375W aan warmte geproduceerd wordt door de verlichting. Dit brengt het totale koellastvermogen op $Q_{\text{totaal}} = 46,788 + 8,375 = 55,163\text{W}$. Er kan gesteld worden dat 49,314W de koellast is. De warmtelast is dan weer $46,788 - 8,375 = 38,405\text{W}$

$$Q_{\text{warmtelast}} = 38,405\text{W}$$

$$Q_{\text{koellast}} = 55,163\text{W}$$

(Van Delsen, 2018)

9 Het ontvochtigen

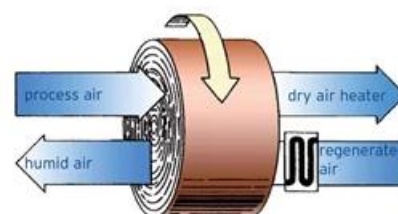
Zoals hierboven reeds vermeld, zal er een nieuwe verdamper geselecteerd moeten worden. Aangezien de verdamper bij het oude systeem zowel de taak van koeling als ontvochtiging op zich nam, dient ook het systeem voor de ontvochtiging vernieuwd te worden. Zoals eerder vermeld, werd de lucht in de testruimte bij de Binder mkf 240 ontvochtigd via tusseninspuitingen in de verdamper. Dit systeem wordt bij de nieuw geproduceerde klimaatkasten van Binder niet meer toegepast. Vandaag worden de kasten van deze producent ontvochtigd met behulp van een extra verdamper. Daarnaast zijn er ook nog een aantal andere systemen die toegepast kunnen worden.

9.1 Bepaling van het type droger

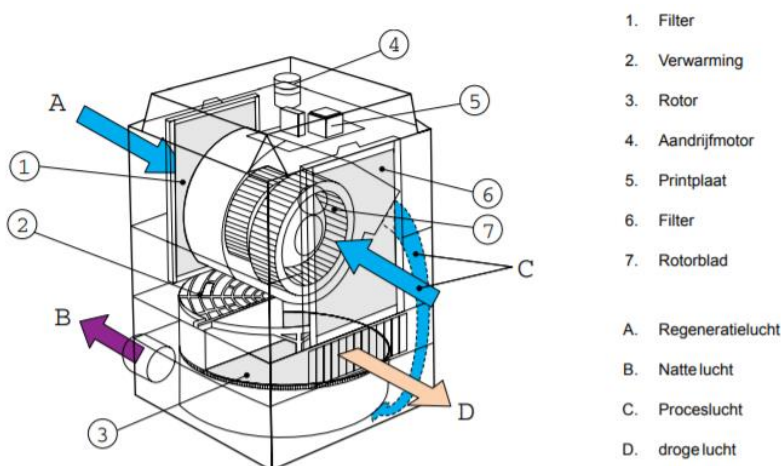
9.1.1 Absorptiedroger

Via een ventilator wordt de lucht uit de procesruimte aangezogen, deze lucht wordt vervolgens over een rotor geblazen. Deze rotor heeft een structuur die is opgebouwd uit een groot aantal kleine luchtkanalen en wordt ook wel de sorptierotoris genoemd. Deze sorptierotoris is vervaardigd uit vochtabsorberend materiaal. Door het draaien van deze rotor, wordt vers aangezogen lucht uit de procesruimte steeds over een gedroogd stuk van de sorptierotoris geleid. Wanneer de lucht de sorptierotoris verlaat is de lucht gedroogd en wordt het grootste deel van deze lucht weer in de procesruimte ingebracht. Het andere deel wordt gebruikt voor de droging van het vochtabsorberend materiaal.

Aangezien er een constante flow is van lucht dat gedroogd dient te worden, moet het vochtabsorberend materiaal steeds weer droog zijn alvorens het opnieuw vocht kan opnemen. Daarom is de sorptierotoris opgedeeld in twee delen, de vochtopname uit de proceslucht gebeurt steeds met de bovenste helft terwijl de onderste helft dient voor het drogen van het absorptiemateriaal. Deze droging gebeurt door de gedroogde regeneratielucht op te warmen. De lucht stroomt vervolgens in tegengestelde richting door de rotor en verlaat vervolgens de rotor als natte lucht. (Condair)



Figuur 36: principewerking van de sorptierotoris

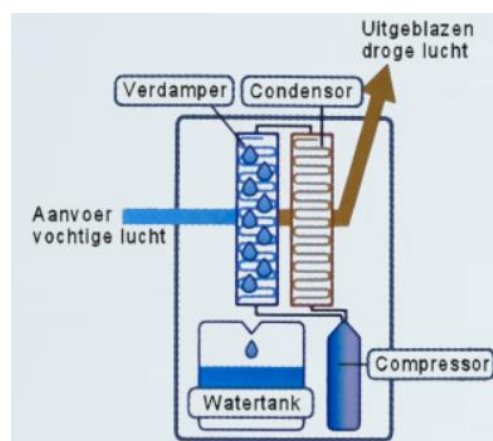


Figuur 37: Principiële voorstelling van een absorptiedroger

9.1.2 Condensatiedroger

Een condensatiedroger werkt volgens hetzelfde principe als toegepast bij de Binder mkf 240. Hierbij wordt een extra verdamer toegevoegd aan het koelsysteem. Deze verdamer wordt afgekoeld tot een temperatuur die lager of gelijk is aan de dauwpunttemperatuur. Dit is de temperatuur waarbij de lucht 100% verzadigd zou zijn. Vervolgens wordt de proceslucht via een ventilator over deze verdamer geleid, door de lage temperatuur van verdamer zal het vocht uit de proceslucht neerslaan op de verdamer. Bij dit ontvochtigingsprincipe wordt de lucht bij het ontvochtigen ook deels afgekoeld waardoor het in sommige gevallen nodig kan zijn om de lucht na te verwarmen.

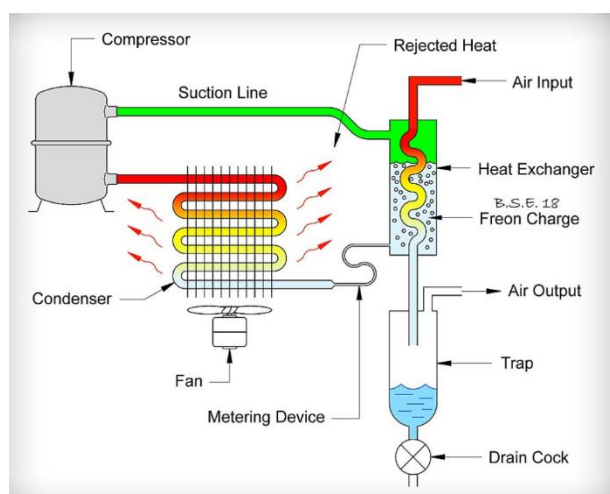
(Andrew Sykes, 2020)



Figuur 38: Principewerking van een condensatiedroger

9.1.3 Persluchtdroger

Bij het gebruik van een persluchtdroger wordt er ontvochtigd door gedroogde perslucht in de ruimte te injecteren. Via een koeldroger laat men de temperatuur van de perslucht dalen, hierdoor condenseert de waterdamp in de perslucht. Wanneer lucht gecompriemd wordt, verhoogt de temperatuur van de lucht en worden verontreinigingen, voornamelijk waterdamp geconcentreerd. Het koelen van de perslucht gebeurt via een koelcircuit, de perslucht wordt hier over de verdamer geblazen. Aangezien de verdamer een temperatuur heeft die kleiner of gelijk is aan de dauwpunttemperatuur van de perslucht, wordt het aanwezige vocht in de perslucht afgescheiden. Hierna wordt de perslucht gedroogd in de procesruimte ingebracht.



Figuur 39: Principewerking persluchtdroger

9.1.4 Vergelijking

Voor het vergelijken van bovengenoemde luchtdroogsystemen, werden enkel de absorptiedroger en condensatiedroger met elkaar vergeleken. Dit aangezien er in het bedrijf geen persluchtleidingnet aanwezig is, mede is het onderstel van de klimaatkast te klein om een compressor in te bouwen.

	ABSORPTIEDROGERS	CONDENSATIEDROGERS
GEBRUIK	Werken vooral efficiënt bij lagere temperaturen (temperaturen lager dan 15°C)	Werken efficiënt bij hogere temperaturen. Hoe hoger het temperatuurverschil tussen de aangezogen lucht en de koeloppervlakte hoe efficiënter de werking (beste werking vanaf 15°C).
VERBRUIK	Verbruikt 30-50% meer stroom dan condensatiedroger.	In verbruik op termijn voordeliger.
DROOGTIJD	Kan ook ruimtes drogen met negatieve temperaturen.	Doet er over het algemeen langer over om een ruimte te drogen in vergelijking met absorptiedrogers.
DAUWPUNTSTEMPERATUUR	Gebruik wanneer er lage dauwpunten noodzakelijk zijn	Wanneer er geen laag dauwpunt benodigd is
AANVRIEZEN	Bij deze drogers is er geen kans op het aanvriezen van water.	Bij deze drogers bestaat de kans van het aanvriezen van vocht aan de koeloppervlakte

Tabel 10: Vergelijkend overzicht van de verschillende luchtdroogsystemen

9.1.5 Keuze van het type droger

Aangezien de condities die de klimaatkast moet behalen geen temperaturen zijn die onder het vriespunt liggen, en aangezien het grootste gedeelte van het werkingsgebied boven de 15°C ligt, werd gekozen voor een condensatiedroger. Daarnaast staat vast dat de lucht in de testruimte gekoeld moet worden met een compressiekoelmachine. Hierdoor is het mogelijk om net zoals bij de nieuwe klimaatkasten van het merk Binder een extra verdamper toe te voegen. Hierdoor moeten er geen extra voorzieningen getroffen worden zoals dit wel nodig is bij een absorptiedroger. Bovendien is een condensatiedroger bij deze toepassing op termijn ook energie-efficiënter.

9.2 Berekeningen

Aangezien gekozen werd voor een condensatiedroger, dient er een verdamper geselecteerd te worden. Om deze selectie te kunnen maken moest eerst het benodigde koelvermogen bepaald worden. Wat ook zeer belangrijk is voor de berekening van dit vermogen is de opstelling van deze verdamper. Bij de opstelling van deze component is het belangrijk dat deze zich in de luchtstroom van de ventilator bevindt.

9.2.1 Bepaling temperatuur koeloppervlakte

Allereerst is het belangrijk om de koeloppervlaktetemperatuur te bepalen. Deze temperatuur wordt vastgelegd op 5°C. Dit aangezien er bij 5°C geen risico is op aanvriezend vocht, bij deze temperatuur kan het vocht op het spiraal condenseren en hierna via de wanden afdruipe in de opvangbak om hierna afgevoerd te worden.

Om nu het benodigde koelvermogen te bepalen wordt uitgegaan van extreme omstandigheden. Deze houden in dat de lucht in de klimaatkast een temperatuur van 45°C en een bijhorend vochtpercentage van 95% heeft. Zoals eerder vermeld moest de klimaatkast volgende klimaten kunnen simuleren voor het testen van de sensoren:

- 25°C / 60% RV
- 30°C / 70% RV
- 40°C / 75% RV

Daarom werd gekozen om de lucht in de kast in de huidige situatie tot een klimaat van 25°C / 50% RV te brengen. Deze toestand wordt aanzien als een vrij extreme toestand. Dit werd eerst uitgetekend in een hx-diagram.

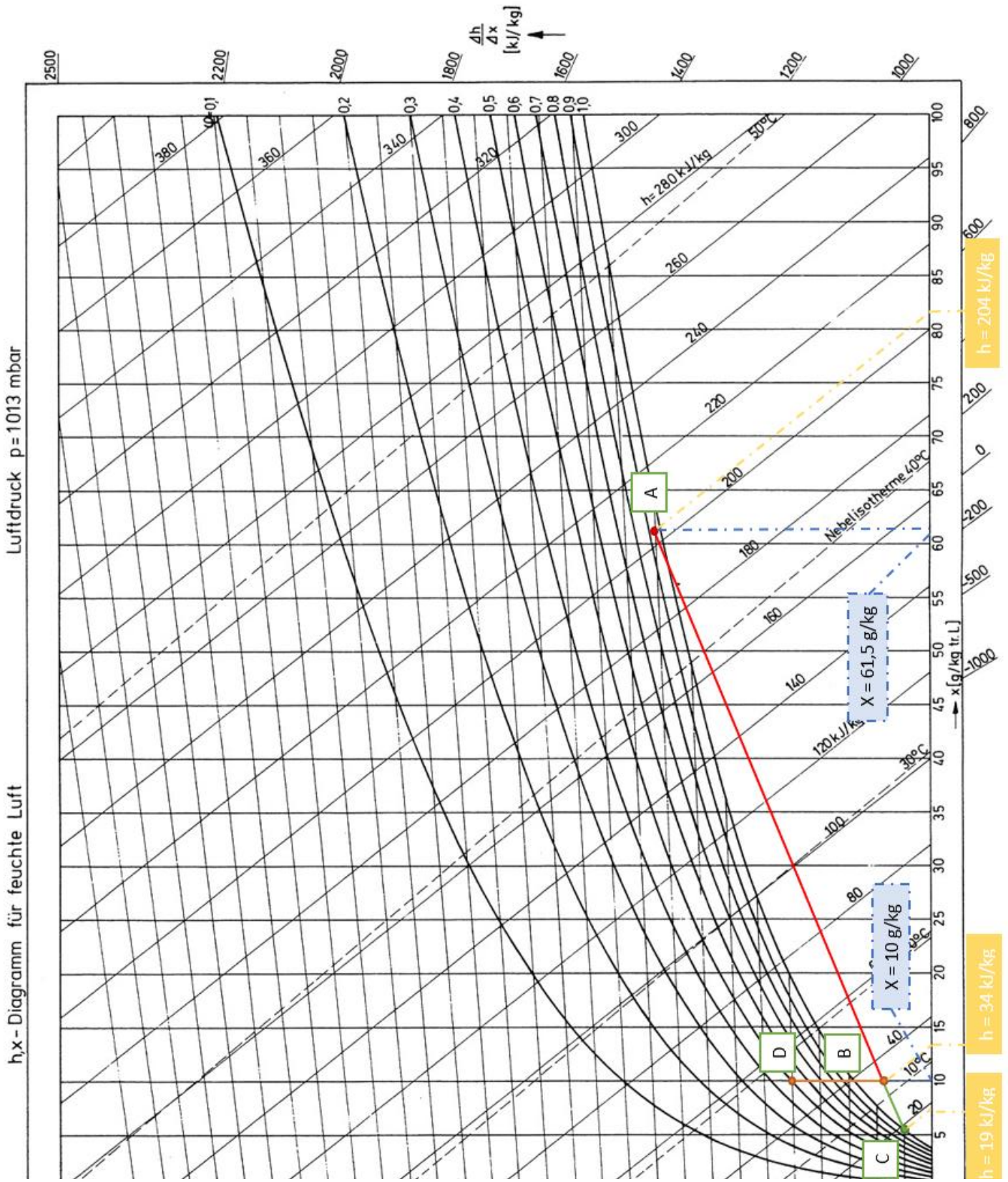
In het hx-diagram geldt:

Punt A = de begintoestand

Punt B = de toestand tot waar de lucht afgekoeld dient te worden om de eindtoestand te behalen

Punt C = de eindtoestand

Punt D = de temperatuur van het koeloppervlak



Figuur 40: De luchtdroging voorgesteld in het h-x diagram

9.2.2 Stap 1 bepaling van de bypassfactor

Hiermee wordt de effectiviteit van de extra verdamper aangeduid. Dit wordt berekend omwille van het bypass-effect. Hiermee bedoelt men het feit dat slechts een deel van de lucht die door de verdamper gaat in direct contact komt met de koelribben. De lucht die de verdamper verlaat is een mengsel van gekoelde ontvochtigde lucht en warme verzadigde lucht. Deze factor wordt als volgt berekend:

$$\beta = (h_A - h_B) / (h_A - h_C) \quad (14)$$

Met:

β = Contactfactor

h = enthalpie (kJ / kg)

$$\beta = (204 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 34 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) / (204 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}) = 0,918$$

9.2.3 Bepaling van de totale warmtestroom

Het totale warmtedebiet door een koelspiraalkan als volgt worden berekend:

$$q = m (h_A - h_B) = v \rho (h_A - h_B) \quad (15)$$

Met:

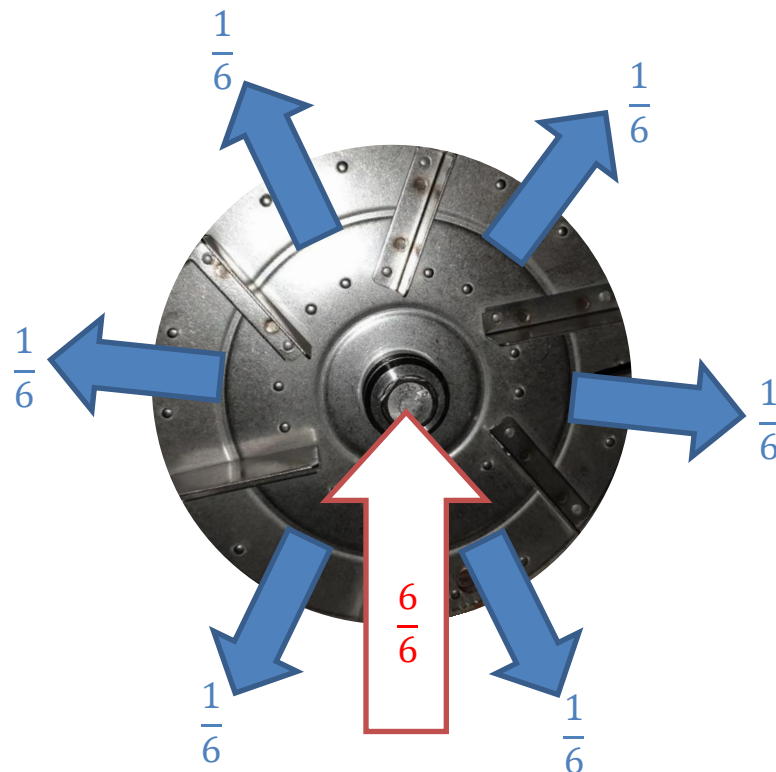
q = warmtestroomsnelheid (kW)

m = massadebiet van lucht (kg / s)

v = volumestroom (m³ / s)

ρ = luchtdichtheid (kg / m³)

Naast de volumestroom zijn alle factoren uit bovenstaande vergelijking voor de berekening van het totale warmtedebiet gekend. Het totale luchtdebiet dat door de ventilator in de klimaatkast werd rond geblazen, werd reeds bepaald in de paragraaf betreffende de luchtcirculatie. Omdat de ventilator de lucht centraal aanzuigt en rondom wegblaast, wordt het totaal aangezogen debiet verdeeld over de diameter van de ventilator. Aangezien in dit hoofdstuk het koelvermogen van de ontvochtiger berekend wordt, is het nu belangrijk om het luchtdebiet door de ontvochtigingsverdampers te weten. De verdampers staan opgesteld onder de ventilator, dit betekent dat in de beste omstandigheden, de helft van het luchtdebiet van de ventilator deze kant wordt uitgeblazen. Om het luchtdebiet door de ontvochtigingsverdampers te bepalen werd uitgegaan van onderstaande afbeelding.



Figuur 41: Veronderstelde luchtstroom

Zoals u op bovenstaande afbeelding kunt zien werd in functie van het aantal schoepen uitgegaan van een gelijke verdeling van het luchtdebiet. Centraal wordt er 6/6, of met andere woorden het totale debiet, aangezogen en in functie van het aantal schoepen wordt deze lucht in zes delen verdeeld of 1/6 per schoep. Wanneer dit in getalwaarden uitgedrukt wordt ziet dit er als volgt uit:

Totaal aangezogen debiet zoals bepaald in paragraaf.... = 0.0275 m³/s

$$\text{Uitgeblazen debiet per schoep} = \frac{\text{Aangezogen debiet}}{\text{Aantal schoepen}} = \frac{0.0275 \text{ m}^3/\text{s}}{6} = 0.00458 \text{ m}^3/\text{s per schoep}$$

In het beste geval zou slechts 1/6 van deze luchtstroom over deze verdampers gaan, daarom wordt hiervan uitgegaan. Nu het luchtdebiet door de ontvochtigingsverdampers gekend is kan het totale warmte debiet berekend worden.

$$q = 0.00458 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \left(204 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 34 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) = 0,934 \text{ kW} \quad (15)$$

9.2.4 Het voelbare en latente vermogen

Aangezien de extra verdampers zowel de lucht koelt als de lucht ontvochtigd, kan dit totale warmtevermogen onderverdeeld worden in een latent en sensibel vermogen. Het sensibel of voelbaar vermogen geeft het benodigde vermogen weer om de lucht af te koelen. Het latent vermogen geeft het benodigde vermogen weer voor de toestandsverandering van damp naar vocht. Deze vermogens worden als volgt berekend:

Het voelbare vermogen (q_s)

$$q_s = m \cdot c_p \cdot (t_A - t_B) \quad (16)$$

Met:

$c_p = 1,01$ - specifieke warmtelucht (kJ / kg K)

$$q_s = 0,00458 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,01 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot (45 - 8)^\circ\text{C} = 0,205 \text{ kW}$$

Het latente vermogen (q_l)

Het latente warmtedebiet kan worden uitgedrukt als

$$q_l = m \cdot h_{we} (x_A - x_B) \quad (17)$$

Met:

h_{we} = waterverdampingsenthalpie (2502 kJ / kg)

$$q_l = 0,00458 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2502 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \left(0,0615 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} - 0,010 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right) = 0,708 \text{ kW}$$

Controle:

De controle kan gebeuren door het latent en het sensibel vermogen bij elkaar op te tellen, dit zou moeten resulteren in het totaal berekende warmtedebiet.

$$q = q_s + q_l = 0,205 \text{ kW} + 0,708 \text{ kW} = 0,913 \text{ kW} \approx 0,934 \text{ kW} \quad (18)$$

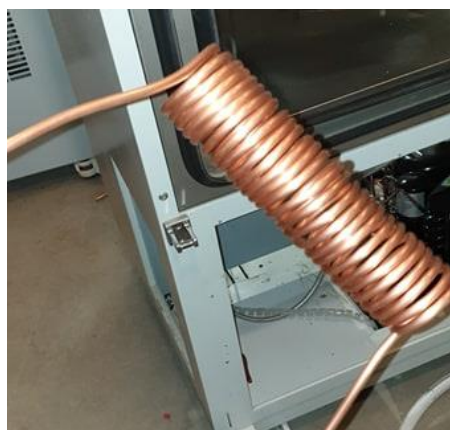
De afwijking die er is komt door de afleesnauwkeurigheid in het hx-diagram.

(Engineering ToolBox, 2004)

9.3 De koelspiraal

Uit bovenstaande berekening is gebleken dat er een vermogen van 205W nodig is om bij de vooropgestelde volumestroom de temperatuur te doen dalen van punt A naar punt B in het hx-diagram. Uit de berekening kan ook opgemaakt worden dat het vermogen benodigd voor de ontvochtiging 708W bedraagt. Hieruit kan besloten worden dat het totale vermogen dat nodig is om van punt A naar punt B te gaan in het hx-diagram 913W bedraagt. Hierna zal de lucht nog moeten naverwarmd worden tot 25°C om het gewenste vochtgehalte te behalen van 50%.

Via dit vermogen kan een geschikte verdamper geselecteerd worden. Dit levert wel een probleem op wat betreft de positionering in de klimaatkast. Aangezien er al een verdamper opgesteld moet worden onder de ventilator is het niet eenvoudig om nogmaals een verdamper bij te plaatsten. Daarom werd besloten om zelf een verdamper te maken. Dit werd gedaan via een koperen leiding dat met behulp van een rond lichaam tot een spiraal werd geplooid.



Figuur 42: De koelspiraal

Dit koelspiraal zal in het koelcircuit opgenomen worden en zal instaan voor de ontvochtiging van de lucht in de kast.

9.4 Evaluatie van de bekomen vermogens

Uit bovenstaande berekeningen zou besloten kunnen worden dat het benodigde vermogen voor de ontvochtiger 934W zou zijn. Dit vermogen is de som van het vermogen dat gebruikt zou worden om de lucht af te koelen en het benodigde vermogen om de lucht te ontvochtigen. Het resultaat van deze som is het vermogen dat nodig zou zijn om de luchtstroom door de koelspiraal te koelen van 45°C naar 8°C en daarnaast ook te ontvochtigen van 61,5 g/kg naar 10 g/kg vocht. Voor de koeling van 45°C naar 8°C is de klimaatkast uitgerust met een compressiekoelmachine met een koelverdamer, dit vermogen zal dus geleverd worden door de koelgroep. Daarnaast zal de verdamper van het koelcircuit in bepaalde condities ook vocht laten condenseren, daarom werd het volledige vloerpaneel van de kast ontworpen als waterafvoeroppervlak. Uit het voorgaande kan afgeleid worden dat het vermogen van 934 W te groot is, daarom wordt voor de ontvochtiging enkel rekening gehouden met de 708 W aan latent vermogen. Dit is

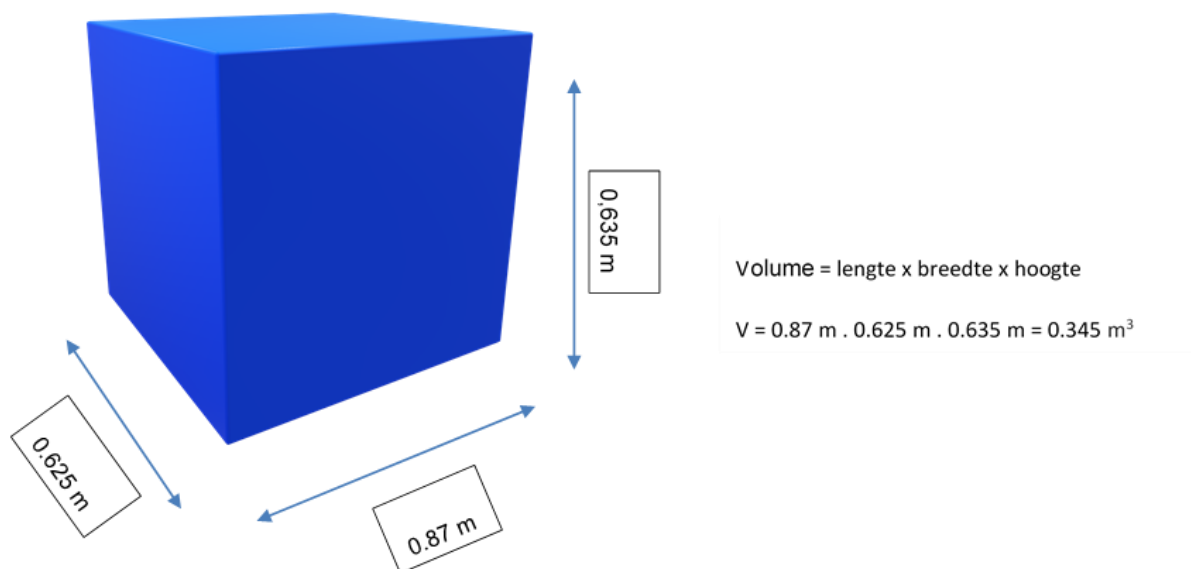
bepaald bij de extreemste omstandigheden. Hierdoor zou de luchtstroom door het vochtspiraal sterk ontvochtigd moeten zijn wanneer deze het spiraal verlaat. Aangezien de klimaatkast statisch is, en er aan het regelen naar bepaalde klimaatcondities geen bepaalde ontvochtigingstijd vasthangt, is dit sterk en snel ontvochtigen niet nodig. Daarom werd er besloten dat dit ontvochtigingsvermogen te groot bepaald werd.

Een kleiner ontvochtigingsvermogen zal er ook voor zorgen dat het regelen naar bepaalde vochtgehalten nauwkeuriger bijgestuurd kan worden.

Naast het nauwkeuriger bijregelen zal een kleiner vermogen ook de draaitijd van de compressor verlengen. Aangezien er bij de klimaatkast wisselende condities mogelijk zijn, zal het benodigde ontvochtigingsvermogen ook variabel zijn. Indien dit vermogen groot gekozen wordt, dan zal de kast snel ontvochtigd zijn maar zal bij kleinere ontvochtigingsvraag de compressor snel uitschakelen. Aangezien een compressor slijt bij het in- en uitschakelen is het belangrijk dat de compressor enige tijd kan draaien nadat deze ingeschakeld is. Daarom werd deze uitgerust met een beveiliging die deze pas uitschakelt nadat er na 3 minuten geen ontvochtigings- of koelpuls ontvangen is.

Omdat de kast ontworpen moet worden om drie klimaatcondities te behalen, werd gekozen om de ontvochtiging vast te leggen op een vochtgehalte van 10 g/kg. Deze 10 g/kg werd bekomen volgens onderstaande redenering:

Er wordt uitgegaan van een luchtstroom van 0,00458 m³/s door de koelspiraal. Om te bepalen hoelang de ventilator er, theoretisch gezien, over zou doen om alle lucht aanwezig in de kast door de vochtspiraal te blazen dient het totale luchtvolume in de kast gekend te zijn.



Figuur 43: Driedimensionale voorstelling van de procesruimte

Nu het totale volume gekend is, kan de theoretische tijdsduur om het volledige luchtdebiet door de vochtspiraal te blazen bepaald worden.

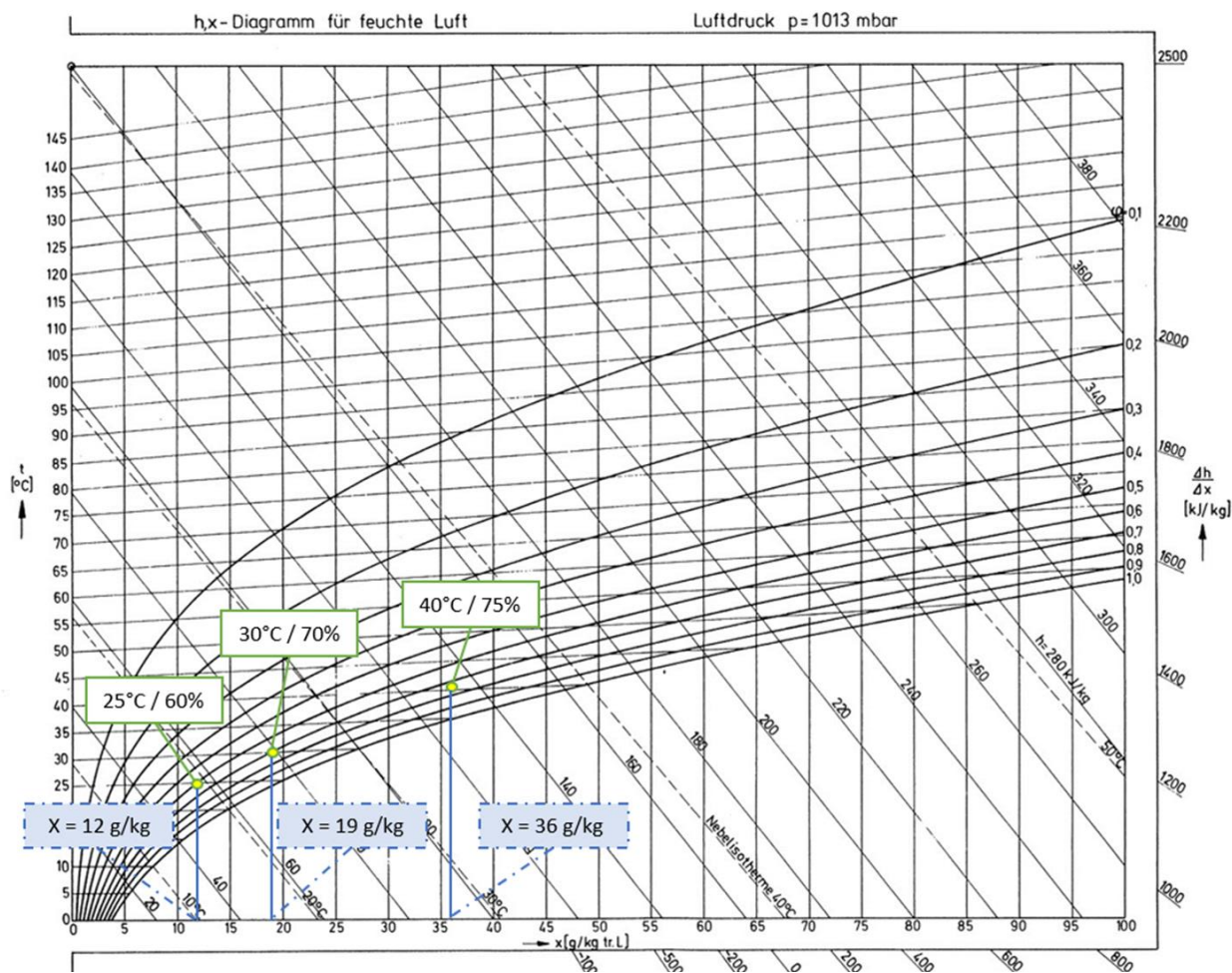
$$0,345 \text{ m}^3 / 0,00458 \text{ m}^3/\text{s} = 75 \text{ s}$$

In deze tijd is er 0,414 kg lucht over de spiraal geblazen. In het onderstaande hx-diagram werden de klimaatcondities waarvoor de kast ontworpen moet worden uiteengezet. Hieruit volgt dat het minste vocht afgescheiden moet worden tussen de werkingpunten van 25°C / 60% en 30°C / 70%. Hiertussen moet er 7g vocht afgescheiden worden per kilogram doorgeblazen lucht. Om effectief deze 7g vocht af te scheiden zal er ongeveer één kilogram lucht doorgeblazen moeten worden. Aangezien de ventilator er 75 seconden over doet om 0,414 kg aan lucht over de spiraal te blazen, zal het afscheiden van 7g vocht 181 seconden of ongeveer 3 minuten duren. Deze drie minuten komen overeen met de minimaal vereiste draaitijd van de compressor. Daarom wordt de het ontvochtigingsgehalte vastgelegd op 5 g/kg. Daarmee kan het ontvochtigingsvermogen berekend worden.

$$q_l = 0.00458 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2502 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \left(0,005 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}\right) = 0,0687 \text{ kW} \approx 69W. \quad (17)$$

$$q_s = 0.00328 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1,01 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} (5^\circ\text{C}) = 0,0277 \text{ kW} \approx 28W \quad (16)$$

$$q_t = 69W + 28W = 97W \quad (18)$$



Figuur 44: De ontwerpcndities met bijhorende vochtigeden voorgesteld in een h-x diagram

Zoals eerder vermeld werd het vochtspiraal volledig zelf vervaardigd door het plooiën van een koperen leiding rond een cilindervormig lichaam. Dit onderdeel is fabriekseigen en wordt door het bedrijf ook niet berekend. Om toch een beeld te kunnen schetsen van de benodigde lengte werd de lengte van de spiraal benaderd. Aangezien het makkelijker zou zijn om dezelfde leidingdiameter als de vloeistofleiding te nemen, voor het opbouwen van de koelgroep, moet eerst de leidingdiameter gekend zijn. Daarom werd deze berekening gedaan na het hoofdstuk van de koelleidingberekening.

10 Het koelsysteem

10.1 De koelcapaciteit

10.1.1 Het koelproces

Alvorens de componenten voor de opbouw van de koelgroep geselecteerd en gedimensioneerd kunnen worden, moet eerst de koelcapaciteit worden bepaald. De koelcapaciteit is het benodigde vermogen om in dit geval de lucht binnenin de klimaatkast te koelen. Dit vermogen wordt berekend bij extreme temperaturen, hiermee worden de uiterste temperaturen in het werkingsgebied van de klimaatkast bedoeld. De koelcapaciteit wordt berekend via onderstaande formule:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t = \rho \cdot V \cdot c \cdot \Delta t \quad (19)$$

Met:

Q = koelcapaciteit (kW)

ρ = dichtheid (kg/m³)

V = volumedebiet (m³/s)

c = soortelijke warmte ($\frac{kJ}{kg \cdot K}$)

Δt = verschil in luchttemperatuur (°C)

De totaal benodigde koelcapaciteit is de som van het afkoelvermogen, nodig om de lucht in de klimaatkast te koelen, de al gemaakte warmteverliesberekening en het reeds berekende vermogen voor de ontvochtiging. Vooraleer de totale koelcapaciteit berekend kan worden moet eerst nog het afkoelvermogen berekend worden.

10.1.2 Bepaling van het afkoelvermogen

10.1.2.1 Stap 1 : De bepaling van het volumedebiet

De luchtstroom over de ontvochtiger werd reeds berekend in het hoofdstuk van de ontvochtiging. Via dezelfde redenering werd de luchtstroom door de verdamper bepaald. Er werd namelijk geschat dat in het slechtste geval de lucht uit twee compartimenten de verdamper bereikt. Hieruit volgt dat het debiet door de verdamper kan bepaald worden via onderstaande berekening:

$$\text{Debiet door de verdamper} = 2 \times \text{Uitgeblazen debiet per schoep} = 2 \times 0.00458 \text{ m}^3/\text{s} = 0.00916 \text{ m}^3/\text{s}$$

10.1.2.2 Stap 2: Dichtheid en soortelijke warmte van lucht

Dichtheid (ρ) = 1,2 kg/m³

Soortelijke warmte (c) = 1,01 $\frac{kJ}{kg \cdot K}$

10.1.2.3 Stap 3: Bepalen van Δt

De kast moet de lucht kunnen afkoelen van 45°C naar 5°C in het extreemste geval, daarom wordt er voor de berekening van het temperatuurverschil 40°C genomen.

10.1.2.4 Stap 4: De koelcapaciteit

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t = \rho \cdot V \cdot c \cdot \Delta t = 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,00916 \frac{m^3}{s} \cdot 1,01 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 40^\circ C = 0,527 kW = 527 W \quad (19)$$

(Verhertbrugge, 2018)

10.1.3 Evaluatie van het bekomen vermogen

De bekomen 527 W is het vermogen dat zou nodig zijn om de lucht in de kast af te koelen van 45°C naar 5°C. Dit vermogen is het benodigde vermogen om een luchtstroom van 0,00916 m³/s in één seconde af te koelen van 45°C naar 5°C. Aangezien dit bij extreme omstandigheden berekend is, en er geen afkoeltijd is vooropgesteld, mag dit vermogen kleiner gekozen worden. Met een kleiner vermogen zal de koelgroep er langer over doen om de luchtstroom te koelen. Daarom werd gesteld dat slechts de helft van de doorgeblazen lucht door de verdampers afgekoeld moet zijn bij het verlaten van de verdampers. Hierdoor werd het vermogen opnieuw bepaald met de veronderstelling dat de luchtstroom door de verdampers 0,00458 is.

$$Q_k = m \cdot c \cdot \Delta t = \rho \cdot V \cdot c \cdot \Delta t = 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,00458 \frac{m^3}{s} \cdot 1,01 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 40^\circ C = 0,222 kW = 222 W \quad (19)$$

10.1.4 Bepaling totale koelcapaciteit

De totale koelcapaciteit is de som van het afkoelvermogen, het ontvochtigingsvermogen, en de verliezen die heersen in de klimaatkast.

$$Q_t = Q_k + Q_l + Q_v = 222 W + 93 W + 55 W = 370 W \quad (20)$$

De koelcapaciteit van de compressiekoelmachine bedraagt 370 W.

10.2 Het koelmiddel

10.2.1 Wat

Om de warmte door te kunnen geven van verdampers naar condensoren wordt in een koelcircuit gebruik gemaakt van een koelmiddel als transportmiddel. Aangezien er geen ideaal koelmiddel bestaat zijn er in de loop der jaren vele soorten koelmiddelen ontwikkeld, daarom is het noodzakelijk om een selectie te maken. Bij deze selectie spelen verschillende factoren een belangrijke rol, de belangrijkste factoren voor de selectie van een koelmiddel zijn de thermodynamische eigenschappen, de kosten van de installatie, het energieverbruik en de invloed die het koelmiddel uitoefent op het milieu. Sinds enkele decennia wordt deze laatste factor steeds belangrijker.

10.2.2 Impact op het milieu

De schadelijkheid van koelmiddelen tegenover het milieu wordt aangegeven door twee factoren, namelijk de ODP-factor en de GWP-factor.

De ODP-factor staat voor Ozon Depletion Potential en geeft de mate van schadelijkheid voor de ozonlaag aan in vergelijking met de schadelijke werking van R11 en R12.

De GWP-factor staat voor Global Warming Potential en geeft de mate van schadelijkheid voor het broeikas-effect aan. Alsook deze factor wordt verhoudingsgewijs uitgedrukt met de schadelijke werking van R11. De waarde wordt berekend tegenover CO₂ voor een termijn van 100 jaar.

10.2.3 Soorten koelmiddelen

Zoals hierboven reeds vermeld zijn er in de loop der jaren vele verschillende soorten koelmiddelen ontwikkeld. Om het overzicht te kunnen bewaren zijn deze koelmiddelen opgedeeld in verschillende groepen.

De eerste twee groepen zijn de CFK's en de HCFC's.

CFK staat voor Chloor Fluor Koolstofverbinding, een voorbeeld hiervan is R12;

HCFC staat voor Chloor Fluor Koolstof + Waterstofverbinding, een voorbeeld hiervan is R22;

Beide groepen bevatten chlooratomen die zorgen voor de aantasting van de ozonlaag. De ozonlaag gelegen in de stratosfeer filtert het schadelijke van de zon afkomstige UV- β licht. In het protocol van Montreal (1987) is een wet opgenomen die ervoor zorgde dat koelmiddelen met een ODP hoger dan 0 verboden zijn sinds 2015. Dit betekent dat het verboden is om aanpassingen te doen aan installaties die werken met zulke koelmiddelen.

Aangezien de CFK's en HCFC's uitgefaseerd werden, stapte men over op de HFK's.

HFK staat voor Waterstof Fluor Koolstofverbinding, voorbeelden hiervan zijn: R134a, R404A, R32, R410A;

Deze koelmiddelen hebben geen invloed op de ozonlaag maar hebben wel een grote invloed op het broeikas effect, de grootte van deze invloed wordt aangeduid via de GWP-factor.

Koelmiddel	Ozone Depletion Potential (ODP)	Global Warming Potential (GWP)
R-12 Dichlorodifluoromethane	1.0	2400
R-22 Chlorodifluoromethane	0.05	1700
R-134a Tetrafluoroethane	0	1430
R-404A (44% R-125, 52% R-143a, R-134a) 0	0	3300
R-407A (20% R-32, 40% R-125, 40% R-134a)	0	2000
R-407C (23% R-32, 25% R-125, 52% R-134a)	0	1600
R410A (50% R-32, 50% R125)	0	1890
R-502 (48.8% R-22, 51.2% R-115)	0.283	4.1
R32	0	675
R-507 (45% R-125, 55% R-143)	0	3300
R-717 Ammonia - NH3	0	0

Figuur 45: Overzichtstabel van de ODP en GWP van de meest gekende koelmiddelen

Met het oog op het terugdringen van de CO₂-uitstoot (protocol van Kyoto) wordt het steeds belangrijker om de hantering van koelmiddelen met een hoge GWP-waarde te vermijden, hiervoor schakelt men over naar de groep van de HFO's.

HFO staat voor Waterstof Fluor Olefin, een voorbeeld hiervan is R1234 yf.

Deze hebben een GWP-waarde tussen de 5 en 250. Voor de anorganische of natuurlijke koelmiddelen ligt deze GWP-waarde nog veel lager.

Anorganische stoffen zijn koelmiddelen zonder koolwaterstofverbinding, bijvoorbeeld: CO₂, NH₃, propaan, isobutaan.

10.2.4 De eisen gesteld aan koelmiddelen

Er bestaat geen ideaal koelmiddel voor alle toepassingen. Daarvoor zijn de toepassingsgebieden te uiteenlopend. Wel bestaan er voor bijna alle toepassingsgebieden koelmiddelen. Onderstaande fundamentele eigenschappen worden gesteld aan koelmiddelen:

- Goede mengbaarheid met olie.
- Hoog koelvermogen en thermische vermogen en dit bij een laag energieverbruik.
- Kleine compressie-eindtemperatuur.
- Gunstige prijs-kwaliteitsverhouding.
- Goede drukverhouding.
- Thermische en chemische stabiliteit.

10.2.5 De selectie van het koelmiddel

10.2.5.1 Algemeen

Zoals eerder vermeld, was het koelmiddel van de compressiekoelmachine in de Binder mkf 240 R404a. Dit koelmiddel heeft een hoge GWP-waarde en wordt om deze reden vervangen bij het bouwen van de nieuwe koelgroep. Voor het selecteren van een nieuw koelmiddel zijn er enkele belangrijke factoren die een rol spelen:

- De thermodynamische eigenschappen en fysische eigenschappen.
- Milieueffecten.
- Kosten te wijten aan het koelmiddel, het energieverbruik en de koelmachine.

De kosten van een koelmiddel kunnen opgedeeld worden in directe en indirecte kosten. De directe kosten zijn te wijten aan de eenheidsprijs en de benodigde hoeveelheid. De indirecte kosten daarentegen zijn afhankelijk van het effect van het gekozen koelmiddel. Daarbij dient rekening gehouden te worden met het ontwerp en de inhoud van de installatie en de ontwerpdrukken. Daarnaast kunnen ook kosten voor veiligheidsvoorzieningen een groot aandeel hebben in de indirecte kosten. Deze veiligheidsvoorzieningen zijn verplicht wanneer er gekozen wordt voor natuurlijke koelmiddelen die een zeker brand- en explosierisico met zich meebrengen.

Naast de kosten moet het koelmiddel ook gekozen worden in functie van de installatie. Daarbij is het belangrijk dat er gekeken wordt naar de gewenste temperatuurbereiken die behaald moeten worden. Verder moet er ook gekeken worden naar de geschikte druktoestand, de efficiëntie, de geschikte verbindingstechnieken en de geldende wetten en richtlijnen. De drukken in de installatie zijn afhankelijk van de temperatuurbereiken. Uit deze bereiken komen de verdampingsdrukken voort. Deze drukken mogen niet onder de atmosferische druk gelegen zijn, anders zouden er bij de kleinste lekkages vocht en lucht binnengezogen worden in het koelcircuit. Een lagere verdampingsdruk brengt ook een lagere condensatietemperatuur met zich mee. Deze lagere drukken hebben een aantal voordelen:

- Minder risico op lekkages.
- Het gebruik van geringere wanddiktes is toegelaten.
- Verhoging van de veiligheid van de installatie. (Verhertbrugge, 4 Klimatisatie, 2019)

10.2.5.2 Het selecteren

Eigenschappen

Wanneer men een koelmiddel moet kiezen voor een installatie kan besloten worden dat dit kan gebeuren via volgende eigenschappen:

- De benodigde slagvolumes.
- Werkdrukken/ temperatuurbereik.
- Brandbaarheid.
- De invloed op het broeikaseffect.
- Giftigheid.
- De COP van de installatie.

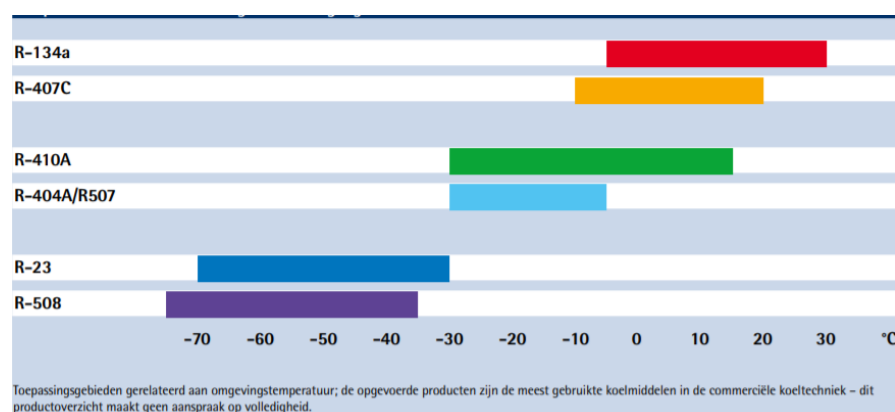
Het temperatuurbereik

Om een koelmiddel te kunnen selecteren moeten eerst de temperatuurbereiken gekend zijn. Aangezien de kast ontworpen werd voor een temperatuurbereik van 5°C tot 45°C, zal de koelgroep in het extreemste geval de temperatuur moeten terugbrengen van 45°C naar 5°C. Doordat nu geweten is wat de temperatuur in de klimaatkast moet zijn kan de verdampingstemperatuur bepaald worden. Aangezien er lucht gekoeld wordt zal de verdampingstemperatuur ongeveer 3°C tot 10°C lager gelegen zijn dan de gewenste temperatuur in de klimaatkast. Uit praktijkervaring is gebleken dat er verdampt wordt op een temperatuur van 2°C.

Verdampingstemperatuur (t_{evp}) = 5°C – 3°C = 2°C

Vervolgens kan ook de condensatietemperatuur berekend worden. De klimaatkast zal steeds binnen gebruikt worden in een labo of productieruimte. De ervaring van de stage die ik liep bij Climatronix leerde dat bedrijven hun testkamers vaak opstellen in onvoldoende geïsoleerde of vaak te kleine ruimtes waarvan de temperatuur in de zomer flink kan oplopen. Om die reden werd een omgevingstemperatuur van 30°C in acht genomen. De condensatietemperatuur ligt gemiddeld 10°C hoger dan de omgevingstemperatuur zodat de warmte makkelijk kan afgegeven worden.

Condensatietemperatuur (t_{cond}) = 30°C + 10°C = 40°C



Figuur 46: Temperatuurbereiken voor het gebruik van gangbare koelmiddelen

Uit bovenstaande grafiek blijkt dat R134a het meest geschikt zou zijn voor de benodigde temperatuurbereiken van de klimaatkast. Dit werd verder onderzocht via de tabellen op de volgende pagina die een vergelijkend overzicht geven van de meest gangbare koelmiddelen.

Vergelijking mogelijke alternatieven voor koelmiddel R404a							
In onderstaande tabellen worden enkele koelmiddelen vergeleken per toepassing: vriezen, koelen, airco.							
Lage temperatuur koeling ($T_{\text{product}}: -22^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{verdamer}}: -32$; $T_{\text{condensor}}: 45^{\circ}\text{C}$)							
	R404a	R22	R134a	R448a	R290 (propan)	R717 (ammoniak)	R744 (CO ₂)
	referentie	voorganger met ODP>0	chemisch alternatief, gebruikt in industrie	chemisch alternatief (HFK)	natuurlijk alternatief, explosief	natuurlijk alternatief, toxisch, brandbaar	natuurlijk alternatief in booster of transkritische opstelling
GWP	3943	-55%	-67%	-68%	-100%	-100%	-100%
COP (rendement)	1,10	+21%	+18%	+11%	+16%	+24%	+13%
massadebiet (kg/h)	8,67	-30%	-58%	-26%	-63%	-90%	241%
giftigheidsklasse	A	A	A	A	A	B	A
brandbaarheidsklasse	1	1	1	1	3	2	1
Medium temperatuur koeling ($T_{\text{product}}: 2^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{verdamer}}: -8$; $T_{\text{condensor}}: 45^{\circ}\text{C}$)							
	R404a	R22	R134a	R448a	R290 (propan)	R717 (ammoniak)	R744 (CO ₂)
	referentie	voorganger met ODP>0	chemisch alternatief, gebruikt in industrie	chemisch alternatief (HFK)	natuurlijk alternatief, explosief	natuurlijk alternatief, toxisch, brandbaar	natuurlijk alternatief in booster of transkritische opstelling
GWP	3943	-55%	-67%	-68%	-100%	-100%	-100%
COP (rendement)	2,16	+14%	+13%	+7%	+11%	+17%	+19%
massadebiet (kg/h)	21,61	-30%	-53%	-22%	-65%	-89%	205%
giftigheidsklasse	A	A	A	A	A	B	A
brandbaarheidsklasse	1	1	1	1	3	2	1
Airco ($T_{\text{lucht}}: 18^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{verdamer}}: 8$; $T_{\text{condensor}}: 45^{\circ}\text{C}$)							
	R410	R22	R134a	R32	R290 (propan)	R717 (ammoniak)	R744 (CO ₂)
	referentie	voorganger met ODP>0	chemisch alternatief, gebruikt in industrie	chemisch alternatief (HFK)	natuurlijk alternatief, explosief	natuurlijk alternatief, toxisch, brandbaar	natuurlijk alternatief in booster of transkritische opstelling
GWP	1924	-9%	-32%	-65%	-100%	-100%	-100%
COP (rendement)	4,18	+7%	+8%	+2%	+6%	+10%	+39%
massadebiet (kg/h)	37,82	-30%	-51%	-29%	-67%	-88%	208%
giftigheidsklasse	A	A	A	A	A	B	A
brandbaarheidsklasse	1	1	1	2L	3	2	1

Figuur 47: Een vergelijking tussen R404 en mogelijke alternatieve koelmiddelen

Uit bovenstaande tabel komt de medium temperatuurkoeling het dichtst in de buurt van de benodigde toepassingen. Er wordt een vergelijking gemaakt volgens GWP, COP, massadebiet, giftigheidsklasse en brandbaarheidsklasse.

COP (coëfficiënt of performance)

De COP is een prestatiecoëfficiënt dat dient om het rendement van een koelinstallatie uit te drukken. Dit gebeurt bij een bepaalde condensatie- en verdampingstemperatuur. De COP is de verhouding tussen het nuttige vermogen en het toegevoerde vermogen. In het geval van de klimaatkast is de nuttige energie de afgegeven koude en is de elektrische energie de benodigde elektriciteit.

Giftigheids- en brandbaarheidsklasse

Volgens de ISO 817 norm moeten alle koelmiddelen ingedeeld worden door een letter en een getal. De letter slaat op de toxiciteit van het koelmiddel, hierin zijn twee onderverdelingen:

A = laag toxisch

B = Hoog toxisch

Het cijfer slaat dan weer op de brandbaarheidsklasse, hierin zijn er vier onderverdelingen:

1: niet brandbaar

2: mild brandbaar

3: brandbaar

4: hoge brandbaarheid

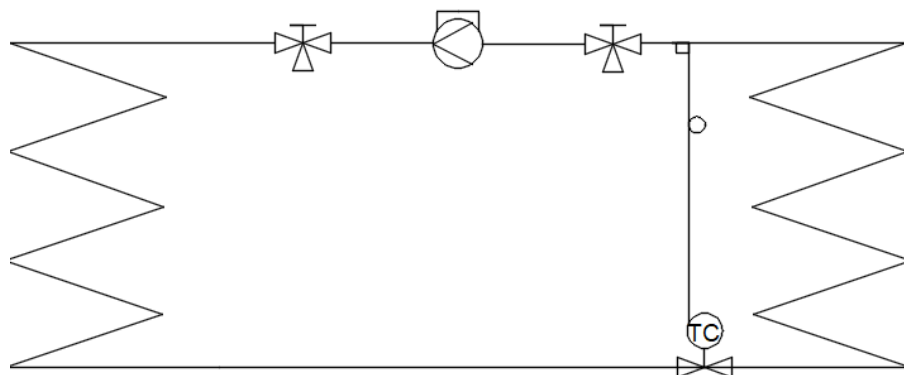
(Verhertbrugge, 4 Klimatisatie, 2019)

10.2.5.3 Besluit

Wanneer in bovenstaande tabel gekeken wordt, kan besloten worden dat R134a het meest voor de hand liggend is voor gebruik. Dit omdat het koelmiddel een hoge COP heeft bij verdampingstemperaturen van 5°C en hoger. Daarnaast zijn ook de systeemdrukken laag waardoor de kost van de installatie laag kan gehouden worden. Door deze lage drukken zijn er ook geen extra kosten naar veiligheid toe. Het enige nadeel van dit koelmiddel is dat er problemen kunnen zijn met de olieoplosbaarheid bij een kleine zuiggasoververhitting maar daarnaast zijn er geen problemen met olieterugvoering. R134a heeft de laagste aanduiding bij zowel giftigheids- en brandklasse en een gunstige COP. Daarom wordt gekozen voor dit koelmiddel.

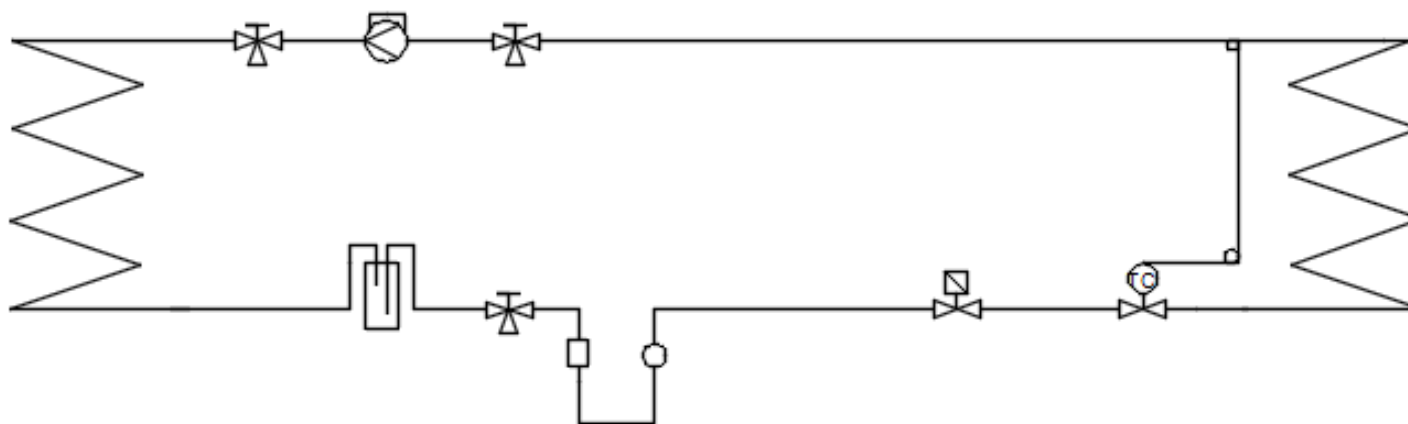
10.3 Het koeltechnisch schema

Nu de totale koelcapaciteit is bepaald, kan het koeltechnisch schema opgesteld worden. Voor het opstellen van het koeltechnische schema werd vertrokken vanuit een basisschema. Dit houdt in: een verdamper, een condensor, een compressor en een expansieventiel. Hieruit kwam het volgende schema.



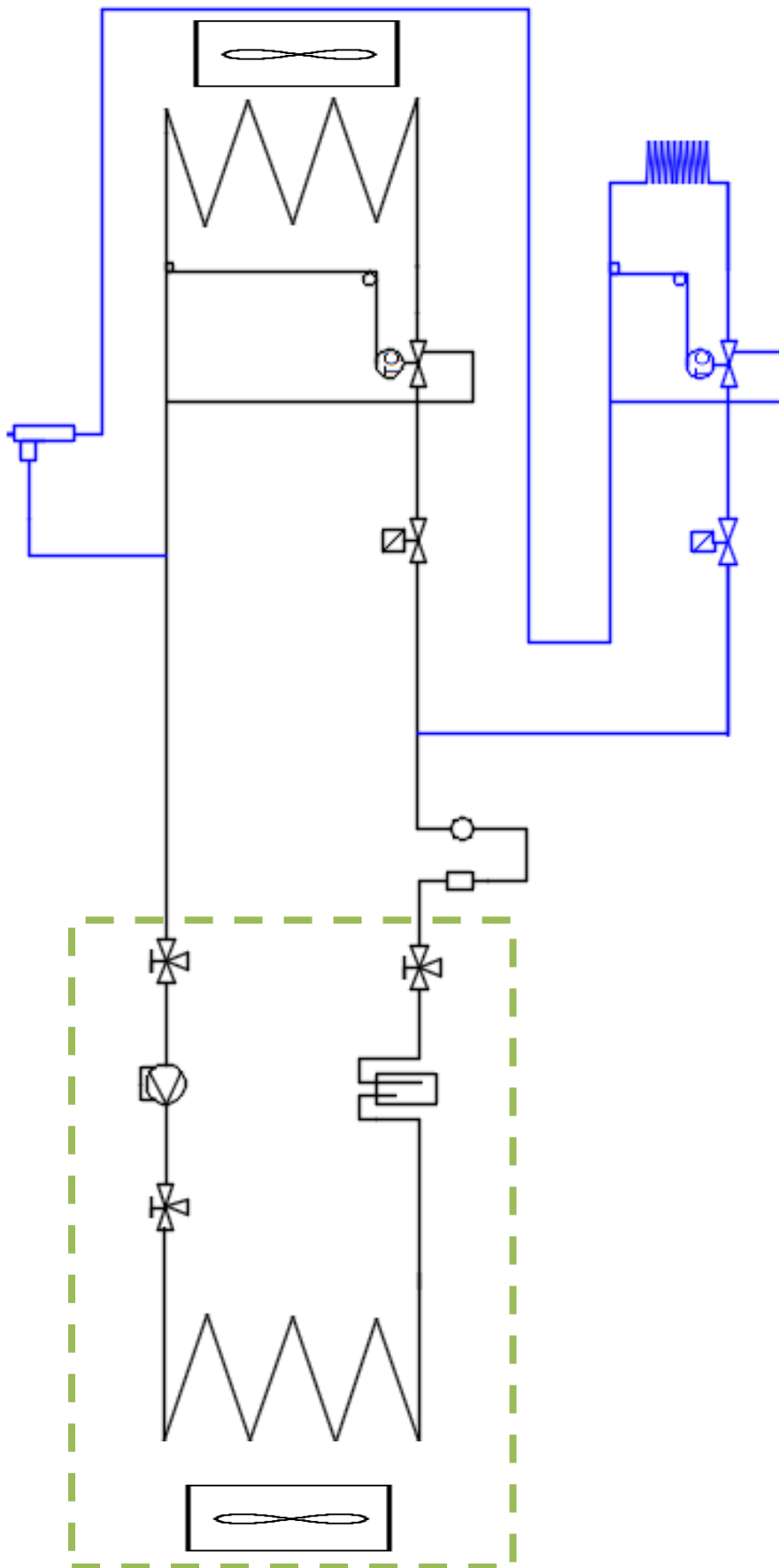
Figuur 48: Basisschema

De werking van de componenten die te zien zijn in bovenstaand schema werden reeds uitgelegd in het deel over het basiskoelcircuit. Aan dit basicircuit werden vervolgens een vloeistofvat, filterdroger, kijkglas en magneetventiel toegevoegd. Het onderstaande schema stelt de koelgroep in staat om de lucht in de kast te koelen.



Figuur 49: Uitgebreid koeltechnisch schema

Aangezien de koelgroep zowel moet instaan voor de koeling als de ontvochtiging van de lucht in de kast, werd aan bovenstaand schema nog een ontvochtigingscircuit toegevoegd. Dit extra circuit bevat een magneetventiel, een expansieventiel, een verdampersdrukregelaar en een koelspiraal. Door de toevoeging van deze componenten werd onderstaand eindschema voor het koelcircuit bekomen.



Figuur 50: Koeltechnisch schema voor koeling en ontvochtiging van de klimaatkast

10.4 De verschillende onderdelen

10.4.1 De condensunit

Bij de selectie van de onderdelen in het koelsysteem werd gekozen voor het gebruik van een condensunit. Zoals eerder vermeld is een groot voordeel hiervan dat de condensor, de compressor en het vloeistofvat aan elkaar aangepast zijn wat het koelvermogen betreft. Deze componenten moeten dus niet meer geselecteerd worden. Nog een groot voordeel is dat deze componenten al op de juiste manier opgesteld staan en aan elkaar aangesloten zijn. Daardoor kan vertrokken worden vanop de koeltechnische pers- en zuigkranen om het schema verder op te bouwen. Daarnaast zijn alle braseerverbindingen gecontroleerd op lekken en bespaart het gebruik van deze units veel tijd bij het in praktijk opbouwen van het circuit.

De basiswerking van de condensor en de compressor werden al uitgelegd in het deel over het basiskoelcircuit. De werking en het doel van het vloeistofvat wordt hieronder uitgelegd.

Het vloeistofvat

Het doel van een vloeistofvat is het teveel aan koelmiddel bij wisselende belasting opslaan. Aangezien bij de klimaatkast ontvochtigd en gekoeld wordt met dezelfde koelgroep is het gebruik van deze component nodig. Bij de selectie van een vloeistofvat is het belangrijk dat het vloeistofvat de volledige koelmiddelinhoud van de installatie kan bevatten. Het vloeistofvat moet ook steeds voorzien zijn van twee afsluiters, één aan de ingang en één aan de uitgang van het vat om tijdens werken aan de installatie het koelmiddel te verzamelen in het vat zodat er een minimum kan ontsnappen in de atmosfeer. Volgens de NBN-norm 387 zou de inhoud van het vloeistofvat 1,2 keer de koelmiddelinhoud van het ganse systeem moeten zijn.

Daarnaast is het zeer belangrijk dat de tank juist aangesloten is, dit omdat één van de aansluitingen aangesloten is op een dompelbuis die tot onder in de tank loopt.



Figuur 51: Vloeistofvat

10.4.2 De filterdroger

Het doel van de filterdroger is in de eerste plaats de installatie vochtvrij te houden. Daarom is de filterdroger vooral belangrijk tijdens de eerste tijd na de opstart van de installatie. Het is belangrijk dat het systeem vochtvrij gehouden wordt, dit omdat het risico bestaat dat bij verzadiging van de filter het vocht zorgt voor het dichtvriezen van het expansieventiel. Hierdoor zou de compressor de verdampers leegzuigen. Een tweede taak van de filterdroger is het filteren van het koelmiddel. Het filterelement houdt verontreinigingen, zoals metaalresiduen afkomstig van onnauwkeurig uitgevoerde werken aan de installatie, tegen.

Er bestaan twee verschillende soorten filters, namelijk vloeistoflijn en zuiglijnfilters. De zuiglijnfilter zijn hoofddoel is verontreinigingen op te vangen uit het circuit. Er werd gekozen voor het gebruik van een vloeistoflijnfilter, dit omdat deze component zowel de installatie droogt als verontreinigingen tegenhoudt. Geactiveerd aluminiumoxide, silcagel en moleculaire zeven zijn voorbeelden van gebruikte droogmiddelen.

Tenslotte is het ook belangrijk om de filterdroger in de juiste richting te plaatsen aangezien deze component stromingsgevoelig is.



Figuur 52: Filterdroger

10.4.3 Kijkglas

Een kijkglas wordt altijd geplaatst in de vloeistofleiding van het systeem. Het doel van deze component is controleren of er nog voldoende hoeveelheid aan koelmiddel aanwezig is in het circuit. Indien dit het geval is zal er in het kijkglas niets te zien zijn. Wanneer er een tekort aan koelmiddel zou zijn dan zullen er via dit kijkglas gasbellen waargenomen kunnen worden. Daarnaast wordt een kijkglas meestal ook uitgerust met een vochtindicatie. Dit gebeurt via een van kleur veranderend plaatje met een chemisch zout. Meestal wordt het kijkglas na de filterdroger in de vloeistofleiding gemonteerd, op die manier kan de vochtindicatie ook aangeven wanneer de filterdroger verzadigd zou zijn.



Figuur 53: Kijkglas

10.4.4 Magneetventiel

Een magneetventiel is een elektrisch gestuurde afsluiter. Deze component maakt het schema automatisch regelbaar. Er bestaan zowel magneetventielen voor gebruik in persleidingen alsook voor in zuigleidingen. Verder is er nog een onderverdeling te maken in de NO- (normal open) en NC- (normal closed) ventielen.

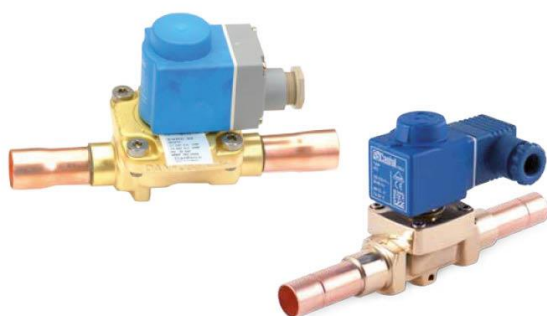
Voor de montage van deze ventielen is de stromingsrichting van groot belang. Bij foute aansluiting in het circuit zal de klep ongewild opengaan. Het is ook belangrijk om een filterdroger te plaatsen voor het magneetventiel, dit om beschadiging te voorkomen op de zitting van het ventiel. Rondom de klepstang in het ventiel is een ijzeren kern aangebracht die via magneetkracht omhooggetrokken wordt. Deze trekkracht wordt geleverd door het onder spanning brengen van een elektrische spoel. Aangezien er door het drukverschil voor het omhoogtrekken van de klep een grote trekkracht nodig, doet de omkapping van de klep dienst als veldversterker. Om deze reden mag de kap niet weggenomen worden. Het is ook belangrijk

dat de onder spanning staande spoel nooit weggenomen wordt van de weekijzeren kern, wanneer dit gebeurt zal de spoel alle energie omzetten in warmte en doorbranden.

Bij de klimaatkast worden er twee NC-ventielen gebruikt, beide in de vloeistofleiding. Door het aansturen van de ventielen kan er vloeistof stromen naar het gedeelte achter het ventiel. Zoals op het koeltechnisch schema te zien is zal de ene klep het koelcircuit en de andere klep het ontvochtigingscircuit aansturen. De kleppen zijn geplaatst na een gemeenschappelijke filterdroger en doen naast het aansturen ook dienst als pump-down systeem.

Pump down

Indien de benodigde condities in de kast behaald zijn, dan zullen de magneetventielen het commando krijgen om te sluiten. Door de sluiting van de magneetventielen zal de compressor de verdamper en het vochtspiraal leegzuigen, hierdoor wordt er een onderdruk gecreëerd. Deze onderdruk wordt gedetecteerd door de lagedrukpressostaat en deze schakelt de compressor uit. Deze regeling zorgt ervoor dat er bij het uitschakelen van de koelinstallatie geen risico bestaat dat het gasvormige koelmiddel zou condenseren in de verdamper tijdens stilstand. Wanneer dit gebeurt, zou de compressor bij het opnieuw opstarten deze vloeistof opzuigen en stuk kunnen gaan omwille van vloeistofslag.



Figuur 54: Magneetventielen

10.4.5 Expansieventiel

Zoals eerder vermeld heeft het expansieventiel twee taken. Een eerste taak is het waarborgen van een drukverschil tussen condensor en verdamper. De tweede taak is het regelen van de inspuiting van vloeibaar koelmiddel in de verdamper. Het expansieventiel moet zoveel koelmiddel inspuiten als de compressor in dampvorm kan afzuigen voor een optimale werking. Er bestaan verschillende soorten systemen die als expansieventiel kunnen fungeren namelijk:

- Capillaire buis.
- Automatisch expansieventiel.
- Elektronisch expansieventiel.
- Thermostatisch expansieventiel.

De regeling van de inspuiting in de verdamper is afhankelijk van de uitvoering. De inspuiting kan geregeld worden via druk of via temperatuur.

10.4.5.1 Expansiecapillair

De capillaire buis wordt vooral toegepast in prefabinstallaties zoals bijvoorbeeld huishoudkoelkasten. Het expansiecapillair is eigenlijk een capillaire buis met een kleine doorlaat. Het capillair wordt geplaatst tussen condensor en verdamper, de inspuiting is constant en wordt bepaald door het drukverschil, de lengte en de diameter van de buis. Een voordeel van het gebruik van het expansiecapillair is dat bij stilstand verdampingsdruk en condensatiedruk gelijk worden aan elkaar waardoor de compressor bij stilstand minder startvermogen nodig heeft.



Figuur 55: Expansiecapillair

10.4.5.2 Automatisch expansieventiel

Het automatisch expansieventiel wordt door druk gestuurd. Het ventiel gaat steeds verder openen of dicht naarmate dat de verdamperdruk respectievelijk daalt of stijgt. Dit ventiel probeert met andere woorden de verdamperdruk constant te houden. Een nadeel aan dit expansieventiel is dat het niet mag toegepast worden bij plotselinge belastingvariaties.



Figuur 56: Automatisch expansieventiel

10.4.5.3 Elektronisch expansieventiel

Bij een elektronisch expansieventiel wordt de regeling van de inspuiting gegenereerd via een stappenmotor of magneetspoel. Het ventiel reageert in vergelijking met de thermostatische expansieventielen sneller, dit omdat de regeling beschikt over minstens twee temperatuuropnemers namelijk één aan de ingang en één aan de uitgang van de verdamper. Daarnaast zal een elektronisch expansieventiel ook beter het koelmiddel inspuiten in de verdamper waardoor er minder energie nodig zal zijn om hetzelfde te koelen. Tenslotte kan een elektronisch expansieventiel ook veel eenvoudiger en juist ingeregeld worden dan een thermostatisch expansieventiel. Het enige grote nadeel van deze ventielen is dat ze heel duur zijn en dus een grote meerkost bieden aan de vaak al zo dure installatie.



Figuur 57: Elektronisch expansieventiel

10.4.5.4 Thermostatisch expansieventiel

Het thermostatisch expansieventiel is het meest toegepaste ventiel. Hierbij wordt de inspuiting geregeld afhankelijk van de oververhittingstemperatuur aan het einde van de verdamper. Een thermostatisch expansieventiel probeert deze oververhitting constant te houden. De oververhitting wordt gemeten via een balg die gevuld is met vulstof.

De regeling van deze ventielen is gebaseerd op een krachtenevenwicht op een balg of membraam. Aan de ene zijde van de balg of membraam staat de verdampingsdruk en aan de andere zijde staat de druk die

in de balg met vulstof veroorzaakt wordt door de oververhittingstemperatuur. Er bestaan twee soorten thermostatische expansieventielen namelijk:

- Thermostatisch expansieventiel met inwendige drukvereffening.
- Thermostatisch expansieventiel met uitwendige drukvereffening.

Het onderscheid tussen beide ventielen kan gemaakt worden op basis van de manier waarop de verdamperdruk overgebracht wordt op het membraam.



Figuur 58: Thermostatisch expansieventiel met inwendige (rechts) en uitwendige (links) drukvereffening

10.4.6 Verdamperdrukregelaar

Een verdamperdrukregelaar is een modulerende regelaar en heeft tot doel de verdamperdruk te regelen in koelsystemen met één of meerdere verdampers en/of compressors. In het geval van de klimaatkast wordt er met meerdere verdampers gewerkt die verschillende verdampingsdrukken hebben. In zulke situaties wordt deze component in de zuigleiding na de verdamper geplaatst met de hoogste verdamperdruk.

De regelaar opent als de verdamperdruk toeneemt. Deze regelaars zijn voorzien van een regelspindel die een veer opspant, via deze regeling kan de openingsdruk verhoogd worden wat betekent dat de verdampingstemperatuur toeneemt. Om deze regeling goed te kunnen uitvoeren is de verdamperdrukregelaar ook voorzien van een manometeraansluiting waarmee de druk afgelezen kan worden.



Figuur 59: Verdamperdrukregelaar

(Verhertbrugge, 5 koeltechniek, 2019)

10.5 Selectie van de condensunit

10.5.1 Bepaling van het type compressor

Aangezien het koelmiddel, de koelcapaciteit, de verdampings- en de condensatietemperatuur gekend zijn, rest er nog één gegeven vooraleer de condensunit geselecteerd kan worden. Dit gegeven is het type compressor. Voor een compressor worden volgende types onderscheiden

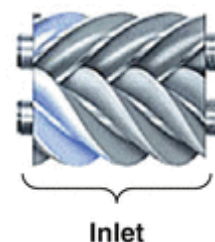
- Schroefcompressoren.
- Scrollcompressoren.
- Zuigercompressoren.

10.5.1.1 De schroefcompressor

De schroefcompressor is opgebouwd uit twee verschillende schroeven, dit zijn een mannelijke en een vrouwelijke lob. Deze twee schroeven vallen in elkaar en zuigen het koelgas in langsrichting aan en persen het weg via de schroeven. Dit zuigen en persen gebeurt als volgt:

Het aanzuigen

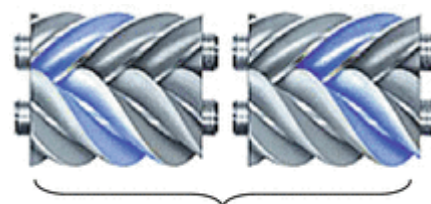
Het gas wordt in langsrichting aangezogen door de ruimte tussen de lobben. Door het draaien van de schroeven zal deze ruimte zich sluiten. Het einde van de aanzuigfase is dus een hoeveelheid gas die opgesloten zit in de compressor.



Figuur 60: Aanzuiging bij een schroefcompressor

Het comprimeren

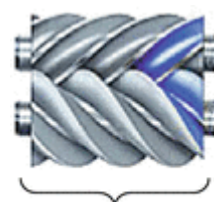
Naarmate de schroeven verder draaien zal de holte tussen de lobben waarin het gas opgesloten zit verkleinen, hierdoor stijgt de druk.



Figuur 61: Compressie schroefcompressor

Het stuwen

Wanneer de schroeven tot een bepaald punt gedraaid zijn, bereikt het gas de persopening waardoor het stuwen kan beginnen. Dit proces blijft zich op deze manier herhalen



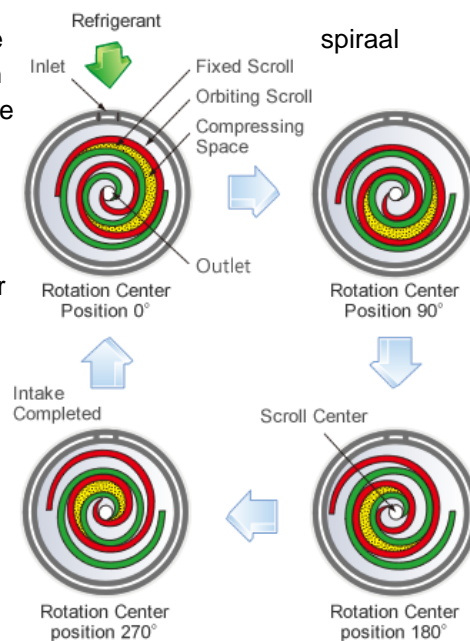
Figuur 62: Het stuwen bij een schroefcompressor

Aangezien de schroeven het gas moeten opsluiten, comprimeren en wegpersen, is de afdichting tussen de schroeven heel belangrijk. Deze afdichting wordt bekomen door het inbrengen van olie tussen de lobben.

10.5.1.2 De scrollcompressor

Een scrollcompressor bestaat uit twee spiralen die gebaseerd zijn op de van Archimedes. Van deze spiralen is er één vast spiraal (stator) en één aangedreven roterend spiraal (rotor). Ieder punt van de bewegende spiraal beschrijft een cirkel in de statorspiraal. De spiralen zijn met een faseverschil van 180° bevestigd, bij het draaien worden luchtzakken gevormd met een geleidelijk variabel volume.

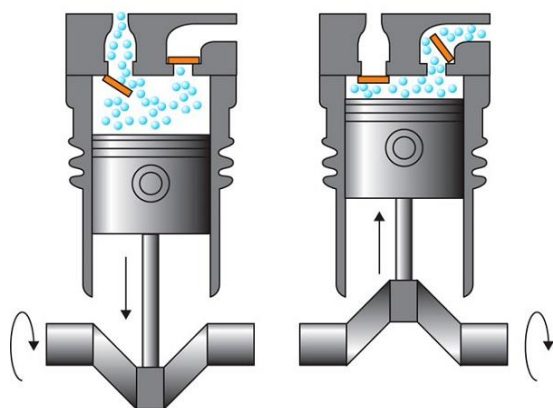
Wanneer de rotorspiraal begint te draaien in de statorspiraal worden er drie fasen uitgevoerd, namelijk aanzuigen, comprimeren en wegpersen. Het koelgas wordt via de inlaatpoort aan de buitenrand van de spiraal aangezogen. Terwijl de spiraal verder draait, wordt dit koelgas opgesloten tussen de twee spiralen en naar het center gevoerd. Tijdens dit proces verkleint steeds de ruimte waartussen het koelgas opgesloten zit waardoor dit gecomprimeerd wordt. Eenmaal het midden van de spiraal bereikt is wordt het gas weggeperst via de perspoort. Dit proces blijft zich op deze manier herhalen.



Figuur 63: Verschillende stappen in de compressie via het scrollprincipe

10.5.1.3 De zuigercompressor

De zuigercompressor is een veelgebruikte compressor die het koelmiddel comprimeert door de ruimte waarin het opgesloten wordt te verkleinen. De opbouw van dit principe wordt hieronder afgebeeld.



Figuur 64: In – en uitgaande slag bij een zuigercompressor

Het koelgas wordt in deze ruimte gebracht door de zuigklep en wordt weggeperst via de persklep. Afhankelijk van de plaats waar deze kleppen opgesteld zijn bestaan er twee types, namelijk wisselstroom- en gelijkstroomcompressoren. Bij wisselstroom worden de kleppen in het cilinderdeksel aangebracht. Bij

deze plaatsingswijze gebeurt het aanzuigen en wegpersen praktisch op dezelfde plaats. Hierdoor komen de koude gassen uit de verdamper direct in contact met de warme wanden van de zuigerkamer. Aangezien deze plaatsingswijze verlies met zich meebrengt werd de gelijkstroomcompressor ontwikkeld. Bij dit type wordt de zuigklep in de zuiger ingebouwd en is enkel de persklep in het cilinderdeksel ingebouwd.

De werking is als volgt:

Wanneer de zuiger volledig in de ingeschoven stand staat, zal de ruimte gevuld zijn met koelgas op verdamperdruk. Hierna start de zuiger zijn compressieslag, daarbij zijn de aanzuig- en perskleppen gesloten. Door het uitschuiven van de zuiger daalt het vloeistofvolume en stijgt de druk. Wanneer de persdruk bereikt is opent de persklep en worden de gecomprimeerde dampen afgevoerd. Dit afvoeren van dampen blijft plaatsvinden tot de zuiger zijn bovenste dode punt bereikt heeft. Op dit ogenblik is er nog gas op condensatietemperatuur aanwezig tussen de onderkant van de cilinder en de bovenkant van de zuiger. Deze ruimte wordt de schadelijke ruimte genoemd en dient om te voorkomen dat de zuiger tegen de onderkant van de cilinder zou stoten. Hierna gaat de zuiger weer inschuiven, de persklep sluit maar de zuigklep zal pas openen wanneer de druk van de dampen in de cilinder gedaald is tot iets onder de verdampingsdruk. Dit proces wordt steeds herhaald door de verschillende zuigers waaruit de compressor is opgebouwd.

(Verherbrugge, 5 koeltechniek, 2019)

10.5.1.4 De compressorkeuze

Om het type compressor te kunnen selecteren werden voor de toepassing van de klimaatkast het isentropische en volumetrische rendement met elkaar vergeleken. Het isentropisch rendement is afhankelijk van de warmte-uitwisseling met de omgeving en geeft de energetische kwaliteit van de compressor aan. De kosten worden aangegeven via het volumetrische rendement. Voor de vergelijking werd van onderstaande gegevens uitgegaan:

Koelmiddel R134a

Verdampingstemperatuur: 2°C

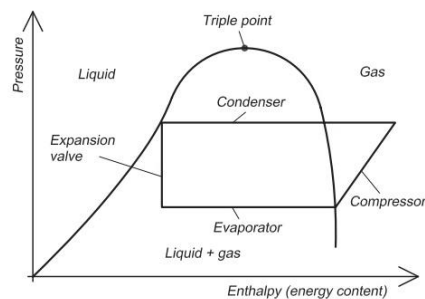
Oververhitting: 10K

Condensatietemperatuur: 40°C

Onderkoeling: 5K

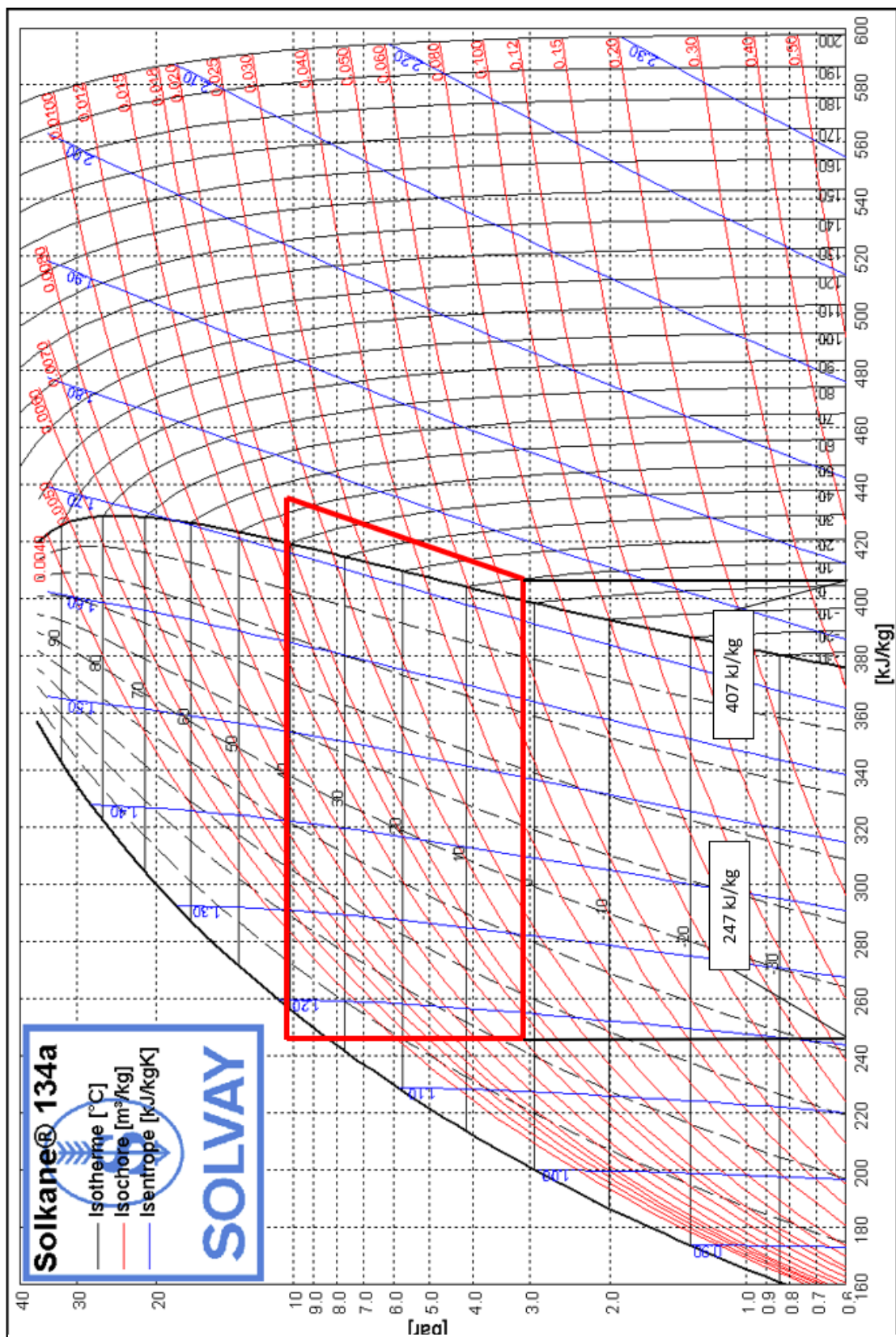
Koelvermogen 285W

Dit werd vervolgens uitgezet in een log ph-diagram. In een log ph-diagram wordt de compressiekoelcyclus uitgezet en kunnen alle toestandsgrootheden van het koelmiddel afgelezen worden. Op de x- as van dit diagram staat de enthalpie (h) en op de y-as staat de logaritme van de druk zoals op onderstaande afbeelding te zien is.



Figuur 65: Overzicht van de verschillende lijnen in een log ph-diagram

Via bovenstaande gegevens werd het onderstaande log ph-diagram getekend.



Figuur 66: Voorstelling koelcyclus klimaatkast in het log ph-diagram

Allereerst werd de benodigde koelmiddelmassastroom berekend.

$$m_{\text{koudemiddel}} = \frac{Q_{\text{verdamp}}}{\Delta h_{\text{verdamp}}} = \frac{0,285W}{(407-247)\frac{kJ}{kg}} = 0,00178 \text{ kg/s} \quad (21)$$

Vervolgens werd via de bekomen massastroom het benodigde slagvolume berekend.

$$V_{\text{slag}} = \frac{m_{\text{koudemiddel}} \cdot v_1 \cdot 3600}{h_{\text{vol}}} \quad (22)$$

Met:

Vslag = het slagvolume [m³/h]

m koudemiddel = de koelmiddelmassastroom [kg/s]

v₁ = het specifieke volume [m³/kg]

h_{vol} = het volumetrisch rendement

De koelmiddelmassastroom werd berekend in de berekening hierboven. Het specifieke volume kon teruggevonden worden in de damptabel van R134a, dit werd gezocht bij 2°C. Via deze tabel werd een waarde van 0,0646 m³/kg gevonden.

TEMP. °C	PRESSURE kPa (abs)	VOLUME m ³ /kg		DENSITY kg/m ³		ENTHALPY kJ/kg			ENTROPY kJ/(kg)(K)		TEMP. °C
		LIQUID v _f	VAPOR v _g	LIQUID 1/v _f	VAPOR 1/v _g	LIQUID h _f	LATENT h _{fg}	VAPOR h _g	LIQUID s _f	VAPOR s _g	
0	292.93	0.0008	0.0693	1293.3	14.435	200.0	198.8	398.8	1.0000	1.7278	0
1	303.70	0.0008	0.0660	1290.0	14.946	201.3	198.0	399.4	1.0049	1.7273	1
2	314.77	0.0008	0.0646	1286.7	15.472	202.7	197.3	400.0	1.0098	1.7267	2
3	326.16	0.0008	0.0624	1283.4	16.013	204.0	196.5	400.5	1.0146	1.7262	3
4	337.85	0.0008	0.0604	1280.1	16.569	205.4	195.7	401.1	1.0195	1.7257	4

Figuur 67: Uitknipsel uit de damptabellen van R134a

Het volumetrisch rendement kan gehaald worden uit onderstaande grafieken. Hiervoor moest wel eerst de drukverhouding bekend zijn, deze werd berekend via onderstaand formule:

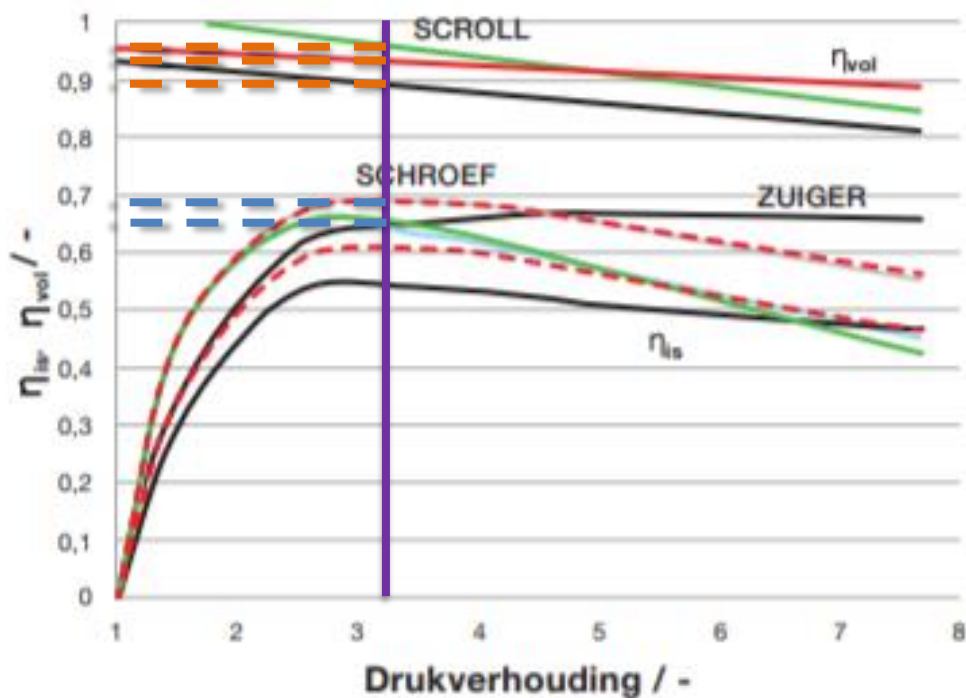
$$Drukverhouding = \frac{p_2}{p_1} = \frac{10,10 \text{ bar}}{3,18 \text{ bar}} = 3,18 \quad (23)$$

Met:

p₁ = verdampingsdruk

p₂ = condensatiedruk

Nu de drukverhouding gekend is kan deze overgehaald worden op de verschillende grafieken en kunnen de volumetrische rendementen afgelezen worden (oranje aanduiding).



Figuur 68: Rendementscurven van hedendaagse compressoren

	ZUIGER	SCHROEF	SCROLL
VOLUMETRISCH RENDEMENT	0,9	0,92	0,95

Tabel 11: Overzicht volumetrisch rendement bij de verschillende compressoren

Vervolgens kon het slagvolume berekend worden.

$$V_{slag} = \frac{m_{koudemiddel} \cdot v_1}{h_{vol}} = \frac{0,00178 \cdot 0,06460 \cdot 3600}{h_{vol}} \quad (22)$$

Via bovenstaande formule werden volgende waarden voor V slag gevonden:

	ZUIGER	SCHROEF	SCROLL
V SLAG [M³/H]	0,46	0,45	0,44

Tabel 12: Overzicht theoretisch slagvolume bij de verschillende compressoren

De arbeid van de compressor kon hierna berekend worden via onderstaande formule

$$W_{compressor} = \frac{m_{koudemiddel} \cdot \Delta h_{is}}{\eta_{is}} \quad (24)$$

Met:

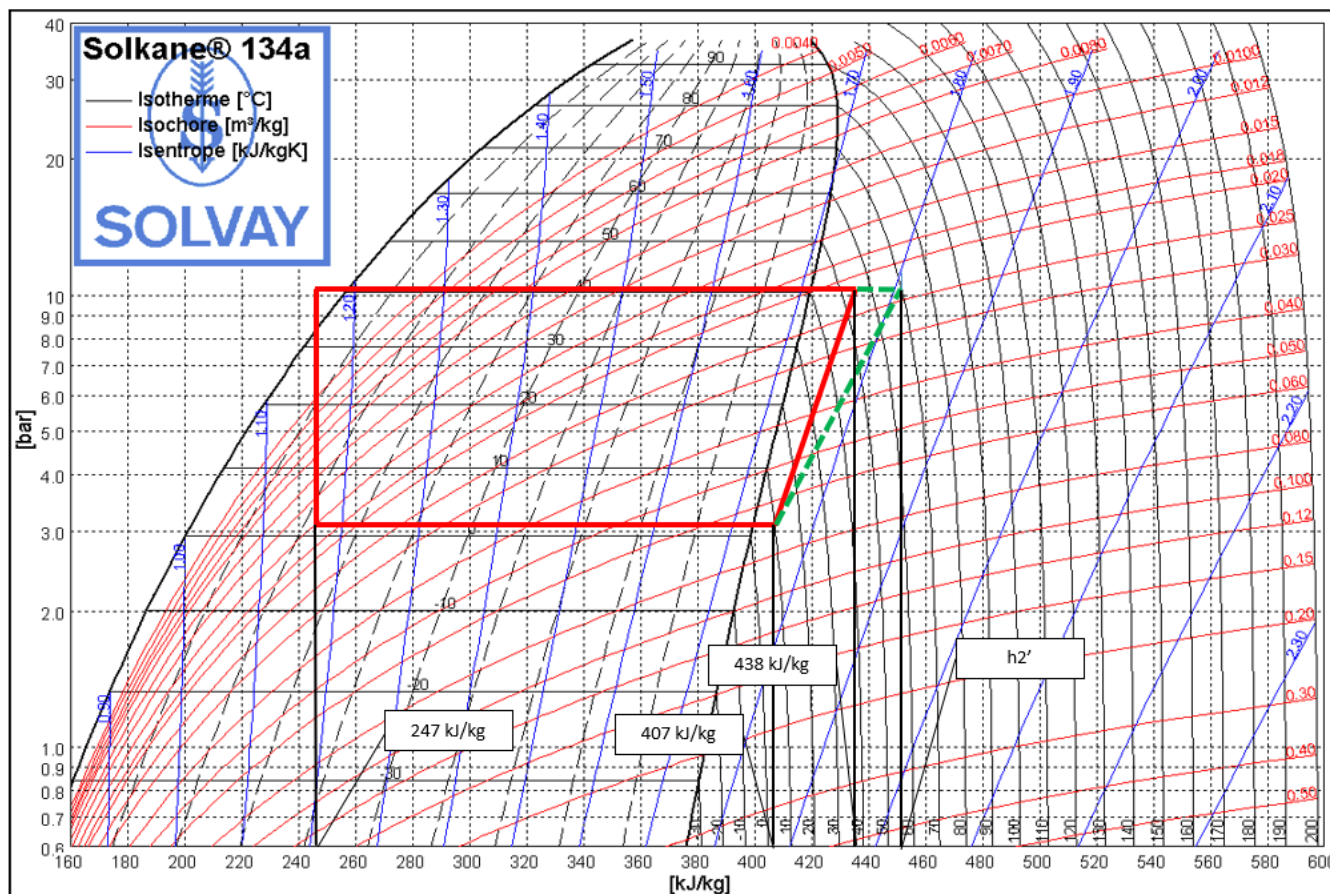
$W_{compressor}$ = de arbeid geleverd door de compressor [kW]

$m_{koudemiddel}$ = de koelmiddelmassaastroom [kg/s]

Δh_{is} = het enthalpieverschil volgens het isentropisch rendement

η_{is} = het isentropisch rendement

De koelmiddelmassaastroom is al gekend, het enthalpieverschil kan nu worden berekend door de invloed van het isentropisch rendement te bekijken in het log ph-diagram, deze invloed werd in het groen getekend.



Figuur 69: De invloed van het isentropisch rendement voorgesteld in het log ph-diagram

Om het enthalpieverschil te kunnen bepalen was het nodig om de getalwaarde van h_2' te weten. Deze waarde werd berekend via onderstaande formule.

$$his = \frac{h_2 - h_1}{h_2' - h_1} \quad (25)$$

Met:

his = isentropisch rendement

h_1 = enthalpiewaarde na compressie (bij adiabatische compressie) [kJ/kg]

h_2 = enthalpiewaarde aan het einde van de verdamper [kJ/kg]

h_2' = enthalpiewaarde na compressie (na inwerking isentropisch rendement) [kJ/kg]

Uit deze formule kan de enthalpiewaarde na compressie, rekeninghoudend met het isentropisch rendement, afgeleid worden. Het isentropisch rendement kon net zoals het volumetrisch rendement afgeleid worden uit figuur 69.

$$h_2' = \frac{h_2 - h_1}{his} + h_1 = \frac{(438 - 407)}{his} + 407 \quad (25)$$

De uitkomsten van bovenstaande formule werden hieronder uitgezet.

	ZUIGER	SCHROEF	SCROLL
H2' [KJ/KG]	454,7	458,6	454

Tabel 13: De invloed van het isentropisch rendement bij de verschillende compressoren

Via deze waarden kon Δhis berekend worden en via deze waarde werd de arbeid van de compressor berekend voor de verschillende compressoren. De uitkomsten van W_{comp} zijn hieronder weergegeven samen met een overzicht van alle berekende waarden.

	ZUIGER	SCHROEF	SCROLL
VSLAG [M³/H]	0,46	0,45	0,44
HIS	0,65	0,60	0,66
HVOL	0,90	0,92	0,95
WCOMP [KW]	0,130	0,142	0,129

Tabel 14: Vergelijkend overzicht van de verschillende compressoren

Vervolgens kan ook de prijs van het elektrisch verbruik van de compressoren berekend worden. Hierbij werd verondersteld dat 1kWh 0,22 euro kost en dat de compressor 8000 uren per jaar draait.

$$E = W_{\text{compressor}} \cdot t \cdot C_e \quad (26)$$

Met:

E = de energiekosten [€]

$W_{\text{compressor}}$ = de arbeid geleverd door de compressor [kW]

t = draaitijd [h]

C_e = prijs elektriciteit [€ / Kwh]

De uitkomsten hiervan werden hieronder weergegeven.

	ZUIGER	SCHROEF	SCROLL
ENERGIEKOSTEN [€]	228,80	249,92	227,04

Tabel 15: Vergelijking van de energiekosten bij de verschillende compressoren

Uit al het bovenstaande blijkt dat de schroefcompressor over het algemeen een slechtere score heeft dan de zuiger- of de scrollcompressor. Daarom werd de schroefcompressor buiten beschouwing gelaten. Wanneer er naar de energiekost gekeken wordt liggen beide compressoren dicht tegen elkaar maar de scrollcompressor doet het beter. Daarom worden deze tegen elkaar uitgespeeld in onderstaand overzicht.

Types van compressoren	Vermogenbereik kW	Energieprestaties
Scrollcompressor	3 tot 100kW	-Weinig bewegende delen -Goed gedrag bij deellast
Zuigercompressor		-Zeer goede prestaties op deelbelasting -Lage investeringskosten
1. Open	10kW – 1000kW	
2. Semi-hermetisch	10kW – 100kW	
3. Hermetisch	1kW – 10kW	

Figuur 70: Vermogensklassen van verschillende compressoren

Uit bovenstaand vergelijkend overzicht blijkt dat de zuigercompressor werkt met kleinere koelvermogens dan de scrollcompressor. Daarnaast heeft de scrollcompressor een hogere investeringskost. Mede om deze reden en het feit dat de prijs van het elektrisch verbruik tussen beide compressoren bijna gelijklopend is wordt er gekozen voor een hermetische zuigercompressor.

(Ferreira, 2015)

10.5.2 De selectie van de compressor

Nu de koelcapaciteit, de verdampingstemperatuur, de condensatietemperatuur, het compressortype en het koelmiddel gekend zijn, kan er een condensunit geselecteerd worden. Aangezien Climatronix voor het bestellen van compressoren vooral met de bedrijven Danfoss en Tecumseh samenwerkt, werd het aanbod aan condensunits van deze twee bedrijven vergeleken. Daarvoor werd de selectiesoftware van beide bedrijven gebruikt. Hieronder werd een overzicht weergegeven van de nodige gegevens voor de selectie:

Koelmiddel: R134a

Koelcapaciteit: 370W

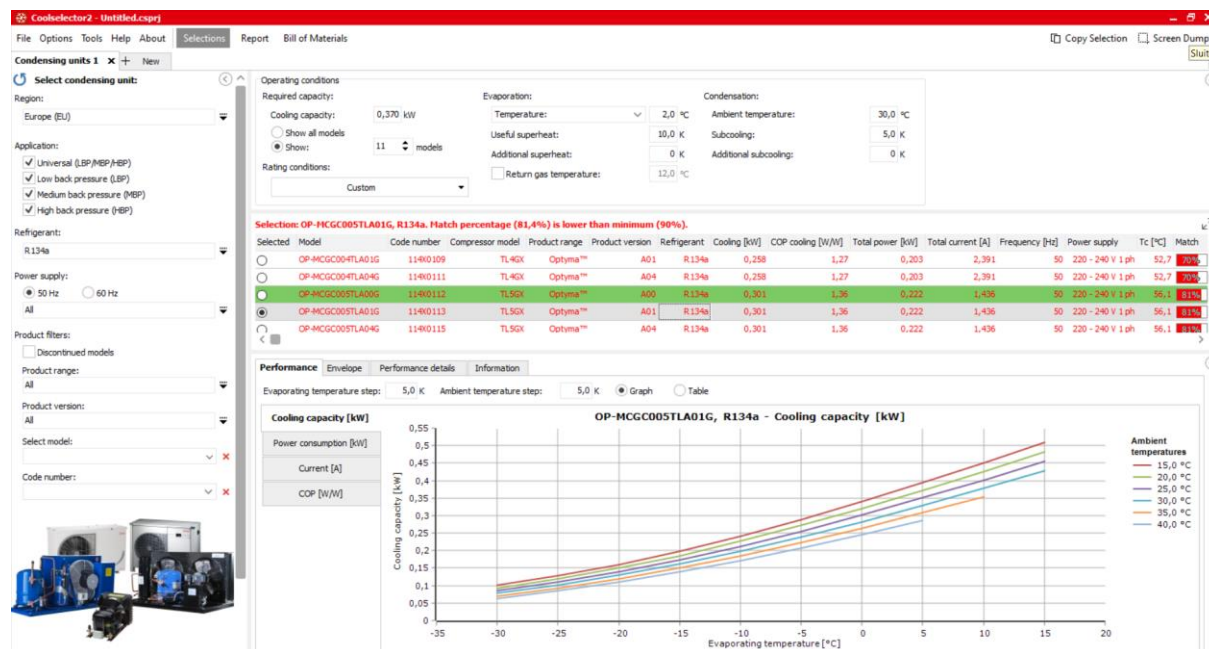
Verdampingstemperatuur: 2°C

Oververhitting: 10K

Condensatietemperatuur: 40°C

Onderkoeling: 5K

10.5.2.1 Selectiesoftware van Danfoss



Figuur 71: Printscren van de selectiesoftware van fabrikant Danfoss

Bij Coolselector2 van het merk Danfoss werden de gegevens bovenaan en aan de zijkant ingegeven. Hierna berekend de software welke compressoren in aanmerking komen voor de toepassing. Om de keuze tussen deze compressoren te vergemakkelijken geeft de software met een groene aanduiding weer welke compressor het beste is voor de ingegeven condities. De compressor die de software als beste aanduidt heeft een rood lettertype. Dit betekent dat de compressor voor de gekozen toepassing een te laag of een te hoog vermogen heeft, daarom werd besloten om het assortiment van Tecumseh te raadplegen.

10.5.2.2 De selectiesoftware van Tecumseh

The screenshot displays the Tecumseh Selection program interface. The top menu includes Language, Units, Internet, Table Format, Obsolete, Exports, and About. The main area is divided into sections for Compressors and Condensing units. The Compressors section includes Reciprocating, Rotary, and Scroll options. The Condensing units section includes Reciprocating, Rotary, Scroll, WINTSYS, and SILENSYS options. The input fields are as follows:

- Application: High Temp. Commercial
- Refrigerant: R134a
- Frequency: 50
- Voltage: All
- Operating conditions: EN13215
- Evaporating: 2.00 °C
- Ambient: 30.0 °C
- 3.15 Bar abs
- Return gas temp.: 20.0 °C
- Superheat: 10.0 K
- Subcooling: 5.00 K

The table below shows the list of compressor models and their Pf(Watt) values:

Selected Product	Voltage	Pf(Watt)
THB4410YH	FZ 220 - 240V 1~ 50 Hz	246
THB4413YH	FZ 220 - 240V 1~ 50 Hz	283
THB4415YH	XA 100V 1~ 50 Hz / 115V 1~ 60 Hz	333
THB4415YHRFZ	FZ 220 - 240V 1~ 50 Hz	344
THB4419YH	XA 100V 1~ 50 Hz / 115V 1~ 60 Hz	384
THB4419YHRFZ	FZ 220 - 240V 1~ 50 Hz	390
THB4422YH	CZ 208V 1~ 50 Hz / 230V 1~ 60 Hz	452
THB4422YHRFZ	FZ 220 - 240V 1~ 50 Hz	457
AET4425YHR-FZ	FZ 220 - 240V 1~ 50 Hz	548
AET4425NHR-FZ-SP	FZ 220 - 240V 1~ 50 Hz	596
AE4430YHR-GS	GS 220V 1~ 50 Hz / 60 Hz	670
AE4430NH-FZ	FZ 220 - 240V 1~ 50 Hz	675
AE4430YHR-FZ	FZ 220 - 240V 1~ 50 Hz	675

The THB4419YHRFZ model is highlighted in blue, indicating it is the best match. The interface also includes a 3D image of the compressor and buttons for Performances, Graphs / Table, Related documents, and Table Export.

Figuur 72: Printscren van de selectiesoftware van fabrikant Tecumseh

De selectiesoftware van Tecumseh geeft, net zoals bij Danfoss, na het ingeven van de gegevens een overzicht van de compressoren die het beste zouden zijn voor de toepassing. Tecumseh geeft wel niet aan welke compressor het beste zou zijn. Wanneer naar het koelvermogen gekeken wordt komt de THB4419YHRFZ het meeste in aanmerking. Hierbij ligt het koelvermogen dicht bij het gewenste koelvermogen dan bij de compressor van Danfoss, daarom werd er gekozen voor deze compressor.

10.6 Het berekenen van de koelleidingen

Aangezien het schema gekend is en de compressor geselecteerd is, kunnen nu de koelleidingen berekend worden. Bij deze berekeningen is het belangrijk dat de leidingen groot genoeg geselecteerd worden zodat ze vloeistof, koud- en heet gas kunnen transporteren bij de gewenste capaciteit. Daarnaast moeten de leidingen ook zodanig geselecteerd worden dat de snelheid van het gas hoog genoeg is zodat de olie kan teruggevoerd worden naar de compressor. De capaciteit en het rendement van de installatie zijn sterk afhankelijk van het drukverlies. Bovendien neemt het drukverlies kwadratisch toe met de snelheid het koelmiddel.

Bij de berekening zijn er drie leidingen die bepaald moeten worden, namelijk de zuig-, pers- en vloeistofleiding. Bij deze laatste leiding mag het verlies iets groter zijn. De zuig- en persleiding hebben een grote invloed op het rendement, hierbij mag het verlies niet te groot zijn.

Het berekenen van de koelleidingen gebeurt via onderstaande gegevens

Koelmiddel: R134a

Koelvermogen: 390W

Verdampingstemperatuur: 2°C

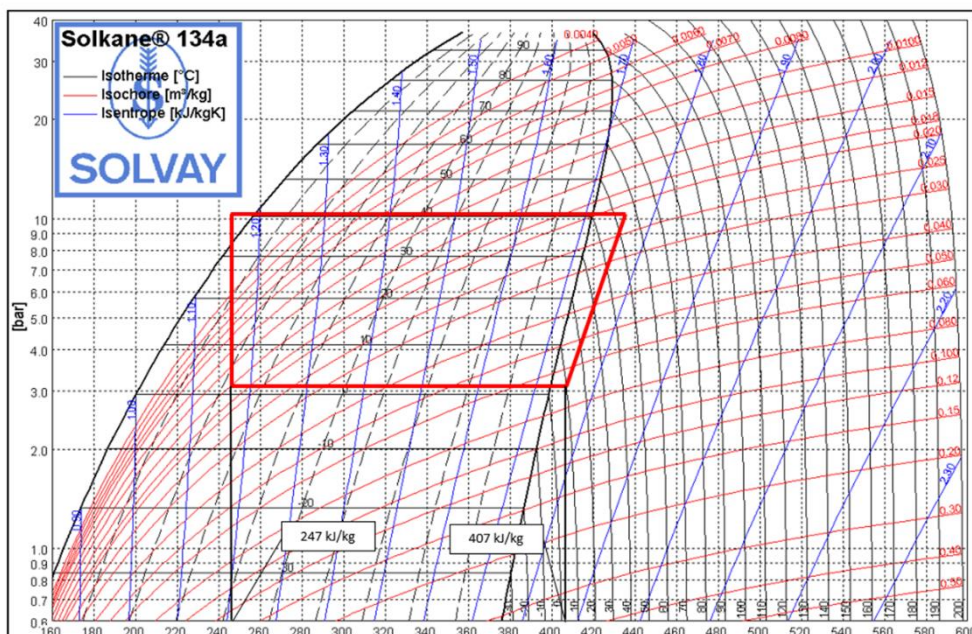
Condensatietemperatuur: 40°C

Oververhitting: 10K

Onderkoeling: 5K

10.6.1 Stap 1: het berekenen van de leidingdiameters

Voor het berekenen van de leidingdiameters werd eerst het log ph-diagram uitgetekend volgens bovenstaande gegevens. Hierbij werd het gebruik van de verdamperdrukregelaar verwaarloosd, dit werd gedaan om de berekening van de koelleidingen te vergemakkelijken.



Figuur 73: De koelgroep van de klimaatkast voorgesteld in het log ph- diagram

Vervolgens konden de volumedebieten berekend worden.

10.6.1.1 Zuigleiding

Uit het log ph-diagram kan de V_0 (damp) afgelezen worden, deze bedraagt $0,068 \text{ m}^3/\text{kg}$.

Het volumedebiet kan nu berekend worden door V_0 te vermenigvuldigen met het massadebiet. Dit massadebiet kan berekend worden via onderstaande formule:

$$Q = m \cdot \Delta h = m = \frac{Q}{\Delta h} = \frac{0,390}{(407-247)} = 0,00244 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} = 8,775 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (21)$$

Met:

Q = het koelvermogen [kW]

m = het massadebiet [kg/s(h)]

Δh = enthalpieverschil [kJ/kg]

Uit dit massadebiet volgt een volumedebiet van:

$$V_{\text{loeistofvolume}} = m \cdot V = 8,775 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 0,068 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 0,596 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (27)$$

10.6.1.2 Vloeistofleiding

Voor de berekening van het volumedebiet in de vloeistofleiding wordt de damptabel geraadpleegd. Hierin wordt het vloeistofvolume bij 35°C opgezocht deze waarde bedraagt $0,855/\text{kg}$.

Vervolgens kan het vloeistofvolumedebiet berekend worden door het massadebiet te vermenigvuldigen met vloeistofvolume bij 35°C .

$$V_{\text{loeistofvolume}} = m \cdot V = 8,775 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 0,855 \frac{\text{l}}{\text{kg}} = 7,50 \frac{\text{l}}{\text{h}} \quad (27)$$

10.6.1.3 Persleiding

Voor het berekenen van het volumedebiet in de persleiding wordt het log ph-diagram weer geraadpleegd. Hierin wordt afgelezen wat V_0 (damp) is, deze waarde komt overeen met $0,023 \text{ m}^3/\text{kg}$. Via deze waarde en via het massadebiet kan ook het vloeistofvolume in de persleiding berekend worden.

$$V_{\text{loeistofvolume}} = m \cdot V = 8,775 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 0,023 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 0,202 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (27)$$

Nu het vloeistofvolumedebiet in de verschillende leidingen berekend is, kunnen de leidingdiameters bepaald worden.

De berekening van de leidingdiameter gebeurt via onderstaande formule:

$$Q = A \cdot v \Rightarrow A = \frac{Q}{v} \quad (3)$$

Met:

Q = het volumedebiet [m³/s]

A = de leidingoppervlakte [m²]

v = de snelheid in de leiding [m/s]

Wanneer de leidingoppervlakte bekend is, dan kan de leidingdiameter berekend worden via onderstaande formule:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$$

Met:

d = de diameter van de leiding [m]

A = de leidingoppervlakte [m²]

Dit werd zo gedaan voor alle de leidingen. De resultaten werden weergegeven in onderstaande tabel.

	VOLUMEDEBIET(Q)	SNELHEID (V)	DIAMETER (D)
ZUIGLEIDING	0,5960 m ³ /h	12 m/s	0,00419 m
VLOEISTOFLEIDING	0,0075 m ³ /h	0,8 m/s	0,00182 m
PERSLEIDING	0,2020 m ³ /h	15 m/s	0,00218m

Tabel 16: Overzichtstabel van het volumedebiet, de snelheid en de diameter voor de verschillende leidingen

Voor de snelheden werd bij het berekenen van de diameters uitgegaan van de maximaal toegelaten snelheden. Deze waarden zijn vastgelegde standaardwaarden.

Aangezien een leiding van 1/4" een binnendiameter van 5,08 mm heeft, en er geen enkele berekende diameter groter is dan deze waarde, wordt gekozen voor een leiding van 1/4".

Hierna kunnen de werkelijke snelheden in de leidingen berekend worden via onderstaande formule:

$$Q = A \cdot v \Rightarrow v = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

Met:

Q = het volumedebiet [m^3/s]

A = de oppervlakte van de leiding [m^2]

v = de snelheid [m/s]

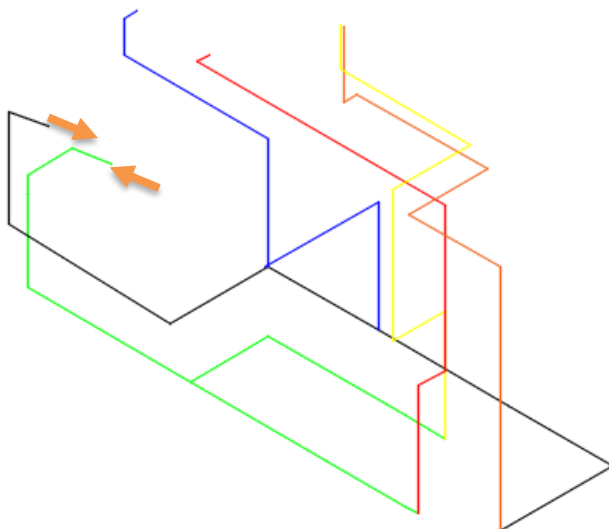
De bekomen snelheden werden in onderstaande tabel uitgezet:

	VOLUMEDEBIET(Q)	LEIDINGOPPERVLAKTE (A)	SNELHEID (V)
ZUIGLEIDING	0,5960 m^3/h	$2,027 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$	8,168 m/s
VLOEISTOFLEIDING	0,0075 m^3/h	$2,027 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$	0,103 m/s
PERSLEIDING	0,2020 m^3/h	$2,027 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$	2,768 m/s

Tabel 17: Overzichtstabel van het volumedebiet, de leidingoppervlakte en de snelheid voor de verschillende leidingen

Nu de diameters en de werkelijke snelheden van de leidingen bekend zijn, kunnen de leidingverliezen bepaald worden. Deze verliezen zijn afhankelijk van de leidinglengte en de appendages. Om de leidingverliezen te kunnen bepalen werd er een situatieschets gemaakt van de koelleidingen.

10.6.2 Stap 2: leidingverliesberekening



Figuur 74: Legplan voor de verschillende leidingen getekend in Autocad

10.6.2.1 Situatieschets

In de situatieschets hierboven wordt de condensunit aangesloten op de groene en zwarte leiding. De oranje pijlen staan voor de vloeistof- en de zuigleiding. De blauwe en rode leiding stellen de aansluitingen voor van het vochtspiraal en de gele en oranje leiding stellen de aansluiting van de verdamper voor. De persleiding is niet aanwezig in het bovenstaande schema, dit aangezien deze leiding al aangesloten is door de fabrikant van de condensunit. Hieronder werden de verschillende kleuren van bovenstaand schema uitgelegd.

KLEUR	SOORT LEIDING
GROEN	Gemeenschappelijke vloeistofleiding
ROOD	Stijgende vloeistofleiding naar vochtspiraal
GEEL	Stijgende vloeistofleiding naar verdamper
ZWART	Gemeenschappelijke zuigleiding
BLAUW	Zuigleiding afkomstig van de vochtspiraal
ORANJE	Zuigleiding afkomstig van de verdamper

Tabel 18: Verduidelijking van de verschillende kleuren op het legplan

De drukverliezen in verschillende leidingen worden berekend via onderstaande formule:

$$\Delta p = \frac{\lambda \cdot \varphi \cdot v^2}{2} \cdot \frac{l}{d} + \frac{\tau \cdot \rho \cdot v^2}{2} \quad (28)$$

Met:

Δp = het drukverlies [Pa]

λ = leidingcoëfficiënt (voor koper is dit 0,03)

v = snelheid [m/s]

ρ = dichtheid [kg/m³]

l = lengte [m]

d = de inwendige diameter [m]

τ = tau (deze waarde wordt gehaald uit tabellen m.b.t de appendages)

Bovenstaande formule bestaat uit twee verschillende delen. Allereerst het rode gedeelte, dit gedeelte geeft het drukverlies weer ten gevolge van de leidinglengte. Vervolgens is er ook een groen gedeelte, dit is het gedeelte dat rekening houdt met de appendages die gebruikt werden. De som van beide delen geeft vervolgens het totale leidingverlies weer.

Om nu de leidingverliezen te kunnen berekenen is het nodig om de totale lengte van de verschillende leidingen te weten, alsook het type en de hoeveelheden aan appendage.

10.6.2.2 Vloeistofleiding

Totale leidinglengte: 2,386 m

Aantal bochten: 17

Aantal T-stukken: 1

Dit geeft een τ - waarde van 6

Vloeistofleiding 1/4" $\rightarrow d = 0,00508\text{m}$

De ρ - waarde kan berekend worden door de dichtheid af te lezen in de damptabel bij 35°C. Deze waarde bedraagt 1166,8 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$.

Met bovenstaande gegevens en de al gekende diameter, dichtheid en leidingscoëfficiënt kan het drukverlies berekend worden.

$$\Delta p = \frac{0.03 \cdot 1166,8 \cdot (0.1028)^2}{2} \cdot \frac{(2,386 + 0,925\text{m})}{(0,00508)} + \frac{6 \cdot 1166,8 \cdot (0.1028)^2}{2} \quad (28)$$

$$\Delta p = 120,55 + 70,30 = 190,85\text{Pa}$$

Het drukverlies bedraagt 190,85 Pa. Bij de klimaatkast wordt de condensunit opgesteld onder de verdamper, dit betekent dat de vloeistof omhoog gepompt moet worden naar de verdamper en de vochtspiraal. In dit geval spreekt men van een stijgende vloeistofleiding. Hierbij is er niet alleen drukverlies door de stromingsweerstand, maar ook door het hoogteverschil. Om te vermijden dat er dampvorming zou zijn in het expansieventiel, moet ook deze drukval in rekening gebracht worden. De totale drukval wordt dan berekend via de onderstaande formule.

$$\Delta p_{tot} = \Delta p + \rho \cdot g \cdot h \quad (29)$$

Met:

Δp = drukverlies ten gevolge van de stromingsweerstand

ρ = dichtheid [kg/m³]

g = gravitatieveldsterkte (op aarde is dit gelijk aan 9,81 $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$)

h = de stijghoogte ten opzichte van de condensor

$$= 157,54 + 1166,8 \cdot 9,81 \cdot 0,92537$$

$$= 10592,07003\text{ Pa}$$

Dit betekent dat het totale drukverlies in de vloeistofleiding 10592,07003 Pa bedraagt.

Nu het drukverlies berekend is moet er nagekeken worden of deze groter of kleiner is dan het toegelaten drukverlies. Aangezien dit de vloeistofleiding is, is er volgens de vuistregel 0,6 K toegelaten. Aangezien de condensatietemperatuur 40°C is kan men via de damptabel, bij een Δt van 10°C, p absoluut zoeken bij 45°C en 35°C. Het verschil tussen de p absoluut van deze twee waarden zal het toegelaten drukverlies geven bij 10K, hierna werd dit omgerekend naar 0,6K.

Toegelaten drukverlies in de vloeistofleiding = 0,6k.

Condensatietemperatuur = 40 °C

Stel voor een $\Delta t = 10^\circ\text{C}$

Dan pabs bij 45°C=1161,01kPa

Dan pabs bij 35°C=887,91kPa

Dus $\Delta P = 1161,01 - 887,91 = 273,1\text{kPa}/10\text{k} = 2,731 \cdot 10^5\text{Pa}/10\text{K}$

→27310 Pa / K

→16386 Pa / 0,6K

Toegelaten = 0,6K

10592,07003 Pa < 16386 Pa → dus juiste leiding

Aangezien het drukverlies kleiner is dan het toegelaten drukverlies mag er gebruik gemaakt worden van een vloeistofleiding van 1/4".

10.6.2.3 Zuigleiding

Het drukverlies in de zuigleiding wordt ook berekend via bovenstaande formule. Bij de zuigleiding dient men geen rekening te houden met drukverlies in stijgende leidingen.

Totale lengte 3,747 m

Bochten = 16

T-stukken = 3

Scherpe bochten: 3

Dit geeft een τ - waarde van 9

Zuigleiding 1/4" → d = 0,00508m

De ρ - waarde voor de zuigleiding kan berekend worden door 1 te delen door de eerder gevonden V_0 (damp) -waarde voor de zuigleiding. Dit geeft:

$$\rho = \frac{1}{V_0} = \frac{1}{0,0068 \frac{m^3}{kg}} = 14,705 \frac{kg}{m^3} \quad (29)$$

$$\Delta p = \frac{\lambda \cdot \rho \cdot v^2}{2} \cdot \frac{l}{d} + \frac{\tau \cdot \rho \cdot v^2}{2} \quad (28)$$

$$\Delta p = \frac{0.03 \cdot 14,705 \cdot (8,17)^2}{2} \cdot \frac{3,747}{(0,00508)} + \frac{9 \cdot 14,705 \cdot (8,17)^2}{2}$$

$$= 12308,89 + 7067,106 = 15277,54 \text{ Pa}$$

Het totale drukverlies in de zuigleiding bedraagt 15277,54 Pa. Hieronder zal, net zoals bij de vloeistofleiding gecontroleerd worden of dit verlies toegelaten is door een aflezing te doen in de damptabel bij een Δt van 10°C.

Het toegelaten drukverlies in de zuigleiding bedraagt 1,1K

Verdampingstemp = 2°C

Stel $\Delta t = 10^\circ\text{C}$

Dan is pabs bij - 3°C = 262,36kPa

Dan is pabs bij 7°C = 374,88 kPa

$$\Delta p = 374,88 - 262,36 = 112,52 \rightarrow 1,1252 \cdot \frac{10^5 Pa}{10k}$$

15277,54 Pa > 12377,2 Pa → dus geen juiste leiding

Het aanwezige drukverlies bij 1/4" is groter dan het toegelaten drukverlies in de leiding, daarom werd de berekening nogmaals uitgevoerd met een leiding van een maat groter. Deze leiding is 3/8".

Zuigleiding 3/8" → 0,008m

$$\Delta p = \frac{0,03 \cdot 14,705 \cdot (8,17^2)}{2} \cdot \frac{4,247}{0,008} + \frac{9 \cdot 14,705 \cdot (8,17^2)}{2} \quad (28)$$

$$\Delta p = 11313,51 \text{ Pa}$$

11313,51 Pa < 12377,2 Pa → dus leiding is goed

Aangezien het drukverlies kleiner is dan het toegelaten drukverlies mag er gebruik gemaakt worden van een zuigleiding van 3/8". (Verhertbrugge, 5 koeltechniek, 2019)

10.7 Berekening van de benodigde lengte van de vochtspiraal

De benodigde lengte van het vochtspiraal werd benaderd via de formule voor de berekening van de benodigde warmteoverdrachtsoppervlakte bij een warmtewisselaar. Voor deze benaderende berekening waren volgende gegevens nodig:

Ontvochtigingsvermogen (Q): 97W

Warmteoverdrachtcoëfficiënt van stromende lucht (α): 50W/m²K

Thermische geleidbaarheid koper (λ): 370 W/mK

Wanddikte koperen buis: 0,00127m

In- en uitgangstemperatuur koelmiddel (tK): 2°C, 10°C

In- en uitgangstemperatuur luchtstroom (tL): 25°C, 30°C

Aangezien de lucht en het koelmiddel niet naast elkaar stromen wordt voor de bepaling van het gemiddelde temperatuurverschil (θ) gebruik gemaakt van de formule voor een kruisstroomwarmtewisselaar.

$$\theta = \frac{\theta_0 - \theta_1}{\ln \frac{\theta_0}{\theta_1}} \quad (30)$$

Met :

$$\theta_0 = T_{Luit} - T_{Kin} = 25^\circ\text{C} - 2^\circ\text{C} = 23^\circ\text{C}$$

$$\theta_1 = T_{Lin} - T_{Kuit} = 30^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C} = 20^\circ\text{C}$$

$$\theta = 21,465^\circ\text{C}$$

Vervolgens kan het warmtetransport brekend worden via onderstaande formule:

$$R\theta = \left(\frac{1}{\alpha}\right) + \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{d}{\lambda}\right) = 0,020017162 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \quad (31)$$

Door nu θ te delen door de bekomen waarde bij $R\theta$ worden het aantal Watts per vierkante meter teruggevonden. Deze waarde bedraagt 1071,88 W/m².

De benodigde oppervlakte voor het warmtetransport kan dan op zijn beurt gevonden worden door het ontvochtigingsvermogen te delen door het aantal Watts per vierkante meter. Via deze weg wordt er een oppervlakte van 0,091m² bekomen. Deze waarde kan vervolgens omgerekend worden naar een bepaalde lengte koperen leiding via de formule voor de berekening van het manteloppervlak bij een cilinder. (Van Delsen, 2018)

De oppervlakte van de mantel van een cilinder kan gevonden worden via de formule:

$$A_{mantel} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h \quad (32)$$

De enige onbekende in bovenstaande formule is de hoogte. Amantel werd hierboven reeds berekend en de straal bedraagt 0,003m aangezien het spiraal vervaardigd is met een koperen leiding van 1/4".

Na omvorming van de formule wordt bekomen dat de hoogte of lengte van de leiding 4,54m moet zijn. Omdat de luchtstroom niet alle delen van het spiraal goed kan bereiken, werd voor de zekerheid een spiraal vervaardigd met een lengte van 6m.

10.8 Selectie van de verdamper

Voor de selectie van de verdamper werd er gekeken naar de benodigde koelcapaciteit die bepaald werd in het hoofdstuk 'Bepaling totale koelcapaciteit'. Het berekende vermogen bedroeg 222W en is meteen ook het vermogen dat de verdamper aan warmte moet kunnen wegkoelen.

De capaciteit van een verdamper wordt bepaald via onderstaande formule:

$$Q_{evp} = U \cdot A \cdot \Delta t \quad (13)$$

Met:

Q_{evp} : De verdampercapaciteit [kW]

U : De warmtedoorgangscoefficiënt [$W/(m^2 \cdot K)$]

A : De oppervlakte van de verdamper

Δt : Het temperatuursverschil tussen de verdampingstemperatuur en de temperatuur van het te koelen medium [$^{\circ}C$]

De verdamper werd besteld op de site van ECR, de selectie werd uitgevoerd rekeninghoudend met een aantal voorwaarden. Een eerste keuze die gemaakt moest worden was de lammelafstand, hierbij werd er gekozen voor 2,1 mm. Deze kleine lammelafstand kon gekozen worden aangezien de verdampingstemperatuur niet onder het vriespunt ligt. Vervolgens moest er een keuze gemaakt worden in de maat van koperen leidingen waarmee het koelmiddel door de verdamper stroomt. Hiervoor werd rekening gehouden met de berekende diameter van de zuigleiding, dit om het opbouwen van het koelcircuit vlot te laten verlopen. Via deze redenering werd er gekozen voor een leiding van 3/8".

Via deze gegevens werd er op de website van ECR een verdamper bekomen met een oppervlak van ongeveer 0,1 m² en een totale gevinde buislengte van ongeveer 6m.

10.9 Selectie van de randcomponenten

10.9.1 Filterdroger

De meeste koeltechnische componenten worden aangekocht bij ECR, dit is een koeltechnische groothandel met vier vestigingen in België. Aangezien het bedrijf voor de aankoop van filterdrogers meestal

kiest voor de fabrikant Sporlan werd een filterdroger van dit merk geselecteerd. Deze selectie gebeurt via onderstaande tabel:

Type	Filter opp. cm ²	Lengte L mm	Ø mm	Aansl. ODF	Aansl. SAE-Flare	Capaciteit R134a (1) kW	Capaciteit R410A (1) kW	Capaciteit R404A (1) kW	No.	Prijs
C-032	58	106	42	-	1/4"	5,23	4,92	3,73	2429913 (N570-1300)	€ 21,10
C-032-S	58	97	42	1/4"	-	5,23	4,92	3,73	9978301 (N570-1000)	€ 21,10
C-052	97	121	58	-	1/4"	7,50	7,03	5,21	2612213 (N570-1310)	€ 25,70
C-052-S	97	106	58	1/4"	-	7,50	7,03	5,21	7537540 (N570-1010)	€ 25,70
C-053	97	132	58	-	3/8"	15,13	11,60	10,89	2080705 (N570-1320)	€ 25,70
C-053-S	97	110	58	3/8"	-	17,11	11,60	12,37	4667401 (N570-1020)	€ 25,70
C-082	136	143	66	-	1/4"	7,50	7,03	5,21	2680367 (N570-1330)	€ 30,60
C-082-S	136	130	66	1/4"	-	7,50	7,03	5,21	7608417 (N570-1030)	€ 30,60
C-083	136	154	66	-	3/8"	16,12	15,50	11,88	9762634 (N570-1340)	€ 30,60
C-083-S	136	133	66	3/8"	-	18,88	17,60	13,86	1174527 (N570-1040)	€ 31,50
C-084	136	160	66	-	1/2"	30,05	29,90	20,58	2723824 (N570-1350)	€ 31,50
C-084-S	136	138	66	1/2"	-	34,01	33,10	25,10	6539761 (N570-1050)	€ 31,50
C-162	213	159	74	-	1/4"	7,50	7,03	5,21	8016306 (N570-1360)	€ 39,20
C-163	213	172	74	-	3/8"	16,12	15,50	11,88	5734370 (N570-1370)	€ 39,20

Figuur 75: Printscren uit de lijsten voor filterdrogers op de website van ECR

Om de geschikte filterdroger te selecteren moest allereerst het koelmiddel, de capaciteit en de buisdiameter gekend zijn. Via deze gegevens werd er gekozen voor de 32-reeks. De keuze tussen C-032 en C-032-S, is afhankelijk van de aansluitingen. Deze filterdrogers worden gemaakt met flareverbindingen en met braseerverbindingen. Aangezien er gekozen werd om zoveel mogelijk delen te braseren, werd voor de C-032-S gekozen.

10.9.2 Kijkglas

Voor het selecteren van een kijkglas biedt ECR, net zoals bij de filterdrogers, verschillende merken aan. Voor de selectie van het kijkglas is het belangrijk om te kijken naar de benodigde aansluitingen, het koelmiddel, de werkdrukken en het type. Als type werd er gekozen voor een volledig gesloten kijkglas met vochtindicator. Omdat alle mogelijke aansluitingen gebraseerd worden en het koelmiddel R134-a was, bleven enkel de merken Danfoss en Alco nog over. Het verschil tussen beide is dat de kijkglazen van Alco universeel en de kijkglazen van Danfoss koelmiddelafhankelijk zijn. Het kijkglas van Danfoss was ook duurder in prijs, daarom werd gekozen voor Alco.

Type	Aansluiting ODF	Lengte mm	Uitvoering	No.	Prijs
MIA 014	1/4"	98,0	(1)	7525506 (N628-4310)	€ 36,80
MIA 038	3/8"	109,0	(1)	6456590 (N628-4320)	€ 38,20
MIA 012	1/2"	113,0	(1)	3975822 (N628-4300)	€ 39,70
MIA 058	5/8"	108,5	(1)	7882908 (N628-4330)	€ 43,60
MIA 078	7/8"	122,5	(1)	2762491 (N628-4340)	€ 56,30
MIA 118	1 1/8"	122,5	(1)	8509501 (N628-4350)	€ 87,60

Figuur 76: Printscreen uit de lijsten voor kijkglazen op de website van ECR

Voor het kijkglas werd de MIA 014 – 1/4" geselecteerd.

10.9.3 Magneetventiel

Voor het selecteren van het magneetventiel werd opnieuw de website van ECR geraadpleegd. Heel wat fabrikanten bieden magneetventielen aan. Om het aantal fabrikanten tot een minimum te beperken werd besloten om enkel de catalogussen van Danfoss en Sporlan te raadplegen. Aangezien de website van ECR enkel onderscheid maakt in de verschillende aansluitingen, was het nodig om de catalogussen van de fabrikanten te gebruiken. Dit aangezien een magneetventiel niet mag geselecteerd worden volgens aansluiting maar moet gebeuren volgens het koelvermogen. Bij Danfoss kon het magneetventiel geselecteerd worden met dezelfde software die ook gebruikt werd voor de selectie van condensunit. Bij fabrikant Sporlan was het nodig om tabellen te raadplegen. Het voordeel van de zoekmethode van Sporlan tegenover de selectiesoftware van Danfoss was dat er bij Sporlan meteen een serie en type geselecteerd wordt. Bij Danfoss moet er zelf een keuze gemaakt worden in de verschillende series waarna de software je het gepaste type binnen de serie aanduidt. Daarom werd er gekozen voor een magneetventiel van fabrikant Sporlan. Voor de selectie waren onderstaande gegevens nodig

Koelmiddel: R134a

Koelvermogen: 390W

Maximale bedrijfsdruk: 10,5 bar

Elektrische specificaties: 230VAC

De tabellen van Sporlan zijn samengesteld voor een verdampingstemperatuur van 40°F (= 4,5°C). Daarom worden de capaciteiten, voor elke 10°F aan verlaging van de verdampingstemperatuur, gereduceerd door middel van een aangepaste 'temperatuur correctiefactor'. Daarom werd, voor de toepassing van de klimaatkast, eerst de temperatuur van het koelmiddel in de vloeistofleiding bepaald. Aangezien er gerekend wordt met een condensatietemperatuur van 40°C en er een onderkoeling van 5K gewenst is, werd er een vloeistof temperatuur van 35°C bekomen. Dit komt overeen met 95°F in onderstaande tabel. Wanneer deze temperatuur uitgezet wordt in de tabel, rekeninghoudend met het gebruikte koelmiddel, kan de correctiefactor voor de koelcapaciteit bepaald worden.

REFRIGERANT LIQUID TEMPERATURE CORRECTION FACTORS

Refrigerant Liquid Temperature °F		40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
R-22	Correction	1.35	1.30	1.25	1.20	1.15	1.10	1.05	1.00	0.94	0.89	0.84
R-134a	Factor	1.43	1.37	1.31	1.25	1.19	1.13	1.07	1.00	0.94	0.87	0.81

Figuur 77: Correctiefactoren voor de selectie van magneetventielen

Via bovenstaande tabel wordt er een correctiefactor van 1,07 bekomen. Deze factor wordt nu vermenigvuldigd met het koelvermogen. Hierdoor wordt er een 'Tons of refrigeration' bekomen van 0,119 RT ofwel 0,417 kW voor gebruik in onderstaande tabel. Deze waarde wordt uitgezet bij het gebruikte koelmiddel R134a. Hierna kan er gekeken worden naar de beschikbare connecties, aangezien er bij de berekening van de leidingdiameter 1/4" bekomen werd, wordt er gekozen voor '1/4" ODF Solder'. Deze optie betekent dat er langs beide zijden een braseerverbinding van 1/4" aanwezig is. Vervolgens moet er enkel nog een keuze gemaakt worden tussen de 'E'-serie of de 'A'- 'B'- serie. De 'E' staat voor 'extending connections', dit betekent dat de aansluitingen van het magneetventiel langer gemaakt zijn, wat beter is bij het braseren om te oververhitting van de component te voorkomen. Daarnaast zorgt dit ook voor een kleinere drukval. Vervolgens moet er nog een keuze gemaakt worden tussen 'with' of 'without manual lift stem', dit betekent dat het magneetventiel respectievelijk enkel elektrisch of ook manueel bediend kan worden. Omdat naast de elektrische aansturing, de manuele geen extra voordelen biedt in deze toepassing wordt er gekozen voor twee ventielen without manual stem. Tenslotte kan er ook nog een keuze gemaakt worden tussen NO en NC. Gezien het feit dat de magneetventielen gebruikt worden voor het afsluiten van vloeistofleidingen wordt er gekozen voor een NC-ventiel. Via alle bovenstaande selecties werd het ventiel 'E3S120' bekomen.

Dit geselecteerde ventiel wordt geleverd zonder magneetspoel, daarom moet deze ook geselecteerd worden. Deze selectie kan gebeuren via het typenummer van de geselecteerde component. De betekenis van de verschillende elementen van het typenummer werden in onderstaande afbeelding verduidelijkt, hierbij ging men uit van het typenummer 'ME6S130'.

TYPE NUMBER						CONNECTIONS Inches	P. ORT SIZE Inches	TONS OF REFRIGERATION																				
"A" AND "B" Series Valves		"E" Series EXTENDED CONNECTIONS						22	134a					401A					402A									
Without Manual Lift Stem		With Manual Lift Stem		Without Manual Lift Stem				PRESSURE DROP - psi*																				
Normally Closed	Normally Open	Normally Closed	Normally Open	Normally Closed	Normally Open			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
A3P1	-	-	-	-	-	3/8 NPT Female	0.101	0.9	1.3	1.6	1.9	2.1	0.8	1.2	1.5	1.7	1.9	0.9	1.3	1.6	1.9	2.1	0.6	0.9	1.1	1.3	1.4	
A3F1	-	-	-	-	-	1/4 SAE Flare		0.150	1.6	2.2	2.8	3.3	3.6	1.5	2.1	2.6	3.0	3.3	1.6	2.3	2.8	3.3	3.7	1.1	1.5	1.9	2.2	2.4
A3S1	-	-	E3S120	-	-	1/4 ODF Solder			3/16	2.9	4.0	4.9	5.7	6.4	2.7	3.8	4.6	5.3	5.9	2.9	4.1	4.9	5.7	6.4	1.9	2.7	3.3	3.8
-	-	-	E3S130	-	-	3/8 ODF Solder	3/8 NPT Female			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	E3S130	-	-	1/4 ODF Solder		3/8 NPT Female		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	E3S130	-	-	3/8 ODF Solder			3/8 SAE Flare	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B6P1	-	MB6P1	-	-	-	3/8 NPT Female	1/2 ODF Solder			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B6F1	-	MB6F1	-	-	-	3/8 SAE Flare		1/2 ODF Solder		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B6S1	-	MB6S1	E6S130	-	ME6S130	3/8 ODF Solder			3/8 NPT Female	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B9P2	OB9P2	MB9P2	E6S140	-	ME6S140	1/2 ODF Solder	3/8 SAE Flare			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B9F2	OB9F2	MB9F2	-	-	-	3/8 NPT Female		3/8 SAE Flare		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B9S2	OB9S2	MB9S2	-	-	-	3/8 SAE Flare																						

Figuur 78: De selectietabel



Figuur 79: De componentnaamgeving door fabrikant Sporlan

Zoals in bovenstaande afbeelding te zien is, geeft de '1' het benodigde spoeltype aan. Fabrikant Sporlan werkt met twee verschillende soorten magneten, een type '1' en een type '2'. Aangezien de code van het geselecteerde magneetventiel ook een '1' bevat op deze plaats, kan afgeleid worden dat dit het benodigde magneettype is.

Omdat het geselecteerde magneetventiel een magneetspoel heeft van het type '1' en omdat het ventiel van het NC-type is, is de benodigde magneetspoel MKC-1 zoals blijkt uit nevenstaande afbeelding.

(ECR, 2020)



Figuur 80: De verschillende bijhorende spoelen

10.9.4 Expansieventiel

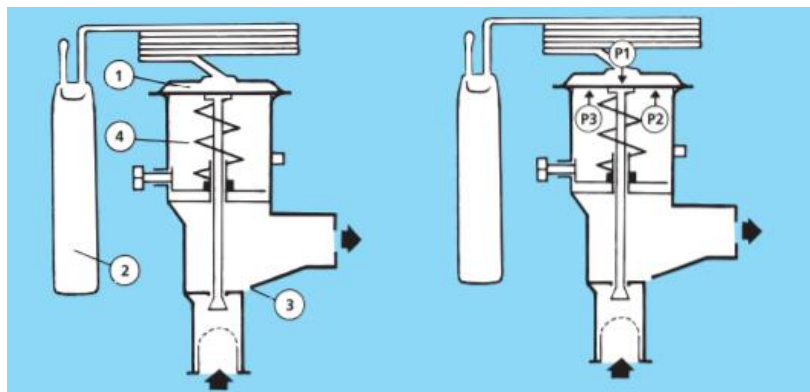
Zoals eerder vermeld kan er bij de selectie van een expansieventiel gekozen worden tussen:

- Capillaire buis
- Automatisch expansieventiel
- Elektronisch expansieventiel
- Thermostatisch expansieventiel

Deze verschillende principes werden reeds uitgelegd in het hoofdstuk 10, subtitel 10.4.5. Gezien de beperkte nauwkeurigheid van het expansiecapillaire, de beperkte toepasbaarheid van het automatisch expansieventiel en de grote meerprijs van het elektronisch expansieventiel, wordt er gekozen voor een thermostatisch expansieventiel.

Wanneer gekozen wordt voor een thermostatisch expansieventiel zijn er nog twee onderverdelingen voor de selectie, namelijk inwendige of uitwendige drukvereffening. Deze principes werden hieronder uitgelegd.

10.9.4.1 Thermostatisch expansieventiel met inwendige drukvereffening



Figuur 81: Thermostatisch expansieventiel met inwendige drukvereffening

Via de inlaat komt het koelmiddel doorheen een filter het ventiel binnen. De uitgaande pijp op bovenstaande afbeelding is de aansluiting op de verdamper. Wanneer de thermostatische voeler (2), warm wordt door een te hoge oververhitting aan het einde van de verdamper, zal de vulstof in de voeler uitzetten. Deze vulstof is een verzadigde damp en zal bij uitzetting druk opbouwen. Aangezien de voeler via een capillair verbonden is met het ventiel zal deze druk via het capillair bovenaan het membraam gebracht worden. Deze druk oefent een kracht naar beneden uit (p_1) op het membraam waardoor de stift naar beneden gedrukt wordt en de klep zou willen openen.

Op de andere kant van het membraan drukt de verdamperdruk (p_2) die bijgestaan wordt door de veerkracht van een instelveer (p_3). Deze veroorzaken een kracht naar boven, waardoor de stift naar boven zou bewegen en de klep zou willen sluiten. Bij een bepaalde temperatuur zijn beide krachten op het membraam in evenwicht en staat de stift tussen vol open, open of volledig gesloten.

Wanneer de voeler detecteert dat de oververhittingstemperatuur te hoog is, zal deze een kracht naar beneden uitoefenen op het membraam. Als deze kracht groter is dan de tegenkracht zal de stift dalen en de klep openen. Door de opening zal er meer vloeistof in de verdamper ingespoten worden. Door de inspuiting zal de oververhittingstemperatuur dalen, waardoor de stift stijgt en de klep meer of volledig sluit indien de tegenkracht groter wordt. Zoals hierboven al vermeld is het belangrijk dat het gas afkomstig uit de verdamper oververhit is om vloeistofslag te voorkomen. Om deze oververhitting te regelen bezit het expansieventiel een regelschroef waarmee de veersterkte geregeld kan worden.

Een nadeel van het hierboven beschreven ventiel is dat de werking ervan berust op de druk voor de verdamper. Hierdoor wordt geen rekening gehouden met de drukval in de verdamper waardoor de oververhitting nadelig beïnvloed wordt. Dit omdat de druk onder het membraam groter is dan de druk aan het einde van de verdamper. De voelertemperatuur zal hierdoor meer moeten stijgen alvorens de kracht groot genoeg is om de tegenkracht op het membraam te overwinnen.

10.9.4.2 Thermostatisch expansieventiel met uitwendige drukvereffening

Om het nadeel van het thermostatisch expansieventiel met inwendige drukvereffening weg te werken, bestaat er ook een thermostatisch expansieventiel met uitwendige drukvereffening. Het expansieventiel werkt op dezelfde manier met het enige verschil dat nu de verdamperdruk die onder het membraam staat, de verdamperdruk aan het einde van de verdamper is.

Om dit te kunnen realiseren werd een extra aansluiting gemaakt op de klep, deze aansluiting komt uit in de ruimte onder het membraam. De andere kant van deze leiding wordt aangesloten aan het einde van de verdamper. Deze leiding wordt de drukvereffeningsleiding genoemd en zorgt ervoor dat de drukval in de verdamper geen invloed heeft op de regelcapaciteit van het ventiel. Bij deze ventielen is er geen kanaal voor inwendige expansie aanwezig. De plaats waar de drukvereffeningsleiding na de verdamper aangesloten wordt is wel van belang. De leiding moet steeds na de thermostatische voeler gemonteerd worden. Dit omdat het risico bestaat dat de voeler door koelmiddellekkages via de drukvereffeningsleiding wordt beïnvloed.

(Verhertbrugge, 5 koeltechniek, 2019)

10.9.4.3 Uitwendige- of inwendige drukvereffening

Voor de selectie werd er gekozen voor uitwendige drukvereffening. Dit aangezien er gewerkt wordt met twee verschillende verdampingstoestellen, namelijk de verdamper en de koelspiraal. Voor het selecteren van de component werd het aanbod van Danfoss en Sporlan vergeleken. Dit werd opnieuw gedaan om het aantal fabrikanten tot een minimum te beperken. Aangezien de webshop van ECR geen thermostatische expansieventielen van Sporlan verdeelt, werd besloten om enkel het aanbod van Danfoss te bekijken. Voor de selectie waren onderstaande gegevens nodig.

Koelmiddel: R134a

$Q_{nom} = 0,39kW$

Verdampingstemperatuur = 2°C

Condensatietemperatuur = 40°C

Onderkoeling : 5°C

Allereerst moest in onderstaande tabel het koelmiddel aangeduid worden. Vervolgens kan de keuze gemaakt worden tussen 'TN 2' en 'TEN 2'. 'TN2' staat voor een expansieventiel met een inwendige drukvereffening, 'TEN 2' staat bijgevolg voor een expansieventiel met uitwendige drukvereffening. Daarom wordt er gekozen voor 'TEN 2', vervolgens kan er uit de tabel afgeleid worden dat de vereffeningleiding 1/4" groot is. Daarnaast geeft de tabel ook aan dat de ingang van het expansieventiel 3/8" is en de uitgang 1/2".

Refrigerant	Valve type	Pressure equalization Solder	Capillary tube	Connection	
				Inlet Flare	Outlet ODF solder
R22	TX 2	-	1.5	3/8 in.	1/2 in.
	TX 2	-	1.5	10 mm	12 mm
	TEX 2	1/4 in. 6 mm.	1.5	3/8 in.	1/2 in.
	TEX 2	1/4 in. 6 mm.	1.5	10 mm	12 mm
R407C	TZ 2	-	1.5	3/8 in.	1/2 in.
	TZ 2	-	1.5	10 mm	12 mm
	TEZ 2	1/4 in. 6 mm.	1.5	3/8 in.	1/2 in.
	TEZ 2	1/4 in. 6 mm.	1.5	10 mm	12 mm
R134a	TN 2	-	1.5	3/8 in.	1/2 in.
	TN 2	-	1.5	10 mm	12 mm
	TEN 2	1/4 in. 6 mm.	1.5	3/8 in.	1/2 in.
	TEN 2	1/4 in. 6 mm.	1.5	10 mm	12 mm
R404A/R507	TS 2	-	1.5	3/8 in.	1/2 in.
	TS 2	-	1.5	10 mm	12 mm
	TES 2	1/4 in. 6 mm.	1.5	3/8 in.	1/2 in.
	TES 2	1/4 in. 6 mm.	1.5	10 mm	12 mm

Figuur 82: Printscreen uit de datasheets van fabrikant Danfoss

Gezien het feit dat bovenstaande selectie enkel slaat op het expansieventiel zonder orifice, aansluitmoeren en filter moeten deze deelcomponenten nog geselecteerd worden. Dit wordt gedaan door, via onderstaande tabel, een orifice of doorlaat te selecteren. Aangezien er één orifice geselecteerd moet worden voor de ontvochtiging en één voor de koeling moet de selectie met de deelvermogens gebeuren. Het ontvochtigingsvermogen bedraagt 97W en het koelvermogen 222W. Omdat deze waarden kleiner zijn dan de vermogens bij 45°C zou het type orifice voor beide expansieventielen T2/0x zijn.

Capacities

Valve type/ Orifice	Cond. temp. ¹⁾ [°C]	R22					R134a					R404A/R507					R407C				
		Capacity in [kW]					Capacity in [kW]					Capacity in [kW]					Capacity in [kW]				
		Evaporating temp. [°C]					Evaporating temp. [°C]					Evaporating temp. [°C]					Evaporating temp. [°C]				
		-35	-30	-10	0	5	-30	-10	-5	0	5	-40	-35	-30	-10	0	-10	-5	0	5	10
T2 / 0X	25	0.49	0.51	0.55	0.54	0.51	0.35	0.40	0.41	0.41	0.40	0.33	0.35	0.37	0.42	0.41	0.59	0.59	0.59	0.58	0.55
T2 / 00		0.95	1.00	1.1	1.1	1.1	0.61	0.73	0.75	0.77	0.7	0.61	0.66	0.70	0.85	0.88	1.2	1.2	1.3	1.3	1.2
T2 / 01		1.6	1.7	2.4	2.7	2.7	0.88	1.3	1.5	1.6	1.6	0.96	1.1	1.2	1.8	2.1	2.5	2.7	2.9	3.1	3.2
T2 / 02		2.2	2.5	3.5	3.9	3.9	1.2	1.9	2.0	2.1	2.2	1.3	1.5	1.7	2.6	3.0	3.7	4.0	4.3	4.5	4.6
T2 / 03		3.9	4.3	6.2	6.9	7.0	2.2	3.3	3.6	3.8	4.0	2.4	2.7	3.1	4.7	5.4	6.6	7.1	7.6	8.1	8.3
T2 / 04		5.7	6.4	9.1	10.2	10.5	3.2	4.8	5.2	5.6	5.9	3.5	4.0	4.6	7.0	8.0	9.8	10.6	11.4	12.0	12.5
T2 / 05	7.3	8.0	11.6	13.0	13.3	4.0	6.1	6.6	7.1	7.5	4.5	5.1	5.8	8.9	10.2	12.4	13.4	14.4	15.2	15.7	
T2 / 06	8.9	9.8	14.1	15.9	16.3	4.9	7.5	8.2	8.7	9.1	5.5	6.2	7.1	10.8	12.4	15.1	16.4	17.6	18.6	19.2	
T2 / 0X	35	0.53	0.55	0.60	0.61	0.60	0.37	0.44	0.45	0.45	0.46	0.32	0.34	0.36	0.42	0.43	0.61	0.62	0.63	0.63	0.62
T2 / 00		1.0	1.1	1.2	1.3	1.3	0.64	0.79	0.83	0.86	0.8	0.59	0.64	0.69	0.86	0.92	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4
T2 / 01		1.7	1.8	2.6	3.0	3.2	0.93	1.4	1.6	1.7	1.9	0.92	1.1	1.2	1.8	2.2	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5
T2 / 02		2.3	2.6	3.8	4.4	4.7	1.3	2.0	2.2	2.4	2.6	1.2	1.4	1.7	2.7	3.2	3.9	4.3	4.6	5.0	5.3
T2 / 03		4.1	4.6	6.8	7.9	8.4	2.3	3.6	4.0	4.4	4.7	2.2	2.6	3.0	4.8	5.7	7.0	7.6	8.3	8.9	9.4
T2 / 04		6.1	6.8	10.1	11.8	12.5	3.4	5.3	5.8	6.4	6.9	3.3	3.9	4.5	7.1	8.5	10.3	11.3	12.3	13.3	14.2
T2 / 05	7.7	8.6	12.8	14.9	15.8	4.2	6.7	7.4	8.1	8.8	4.3	4.9	5.6	9.0	10.7	13.0	14.3	15.6	16.7	17.8	
T2 / 06	9.5	10.5	15.6	18.2	19.3	5.2	8.2	9.1	9.9	10.7	5.2	6.0	6.9	11.0	13.1	15.9	17.4	19.0	20	22	
T2 / 0X	45	0.55	0.57	0.64	0.65	0.64	0.38	0.45	0.47	0.48	0.49	0.29	0.31	0.33	0.40	0.42	0.62	0.63	0.64	0.64	0.64
T2 / 00		1.0	1.1	1.3	1.4	1.4	0.65	0.82	0.86	0.90	0.94	0.55	0.60	0.64	0.83	0.90	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4
T2 / 01		1.7	1.9	2.8	3.2	3.4	0.96	1.5	1.7	1.8	2.0	0.85	0.98	1.1	1.8	2.1	2.7	2.9	3.2	3.4	3.7
T2 / 02		2.4	2.7	4.0	4.8	5.1	1.3	2.1	2.4	2.6	2.8	1.1	1.3	1.5	2.6	3.2	3.9	4.3	4.7	5.2	5.6
T2 / 03		4.3	4.8	7.2	8.5	9.2	2.3	3.8	4.2	4.7	5.1	1.9	2.3	2.7	4.6	5.7	7.0	7.7	8.5	9.2	9.9
T2 / 04		6.3	7.1	10.7	12.7	13.7	3.4	5.6	6.2	6.9	7.6	3.0	3.5	4.1	6.9	8.4	10.4	11.5	12.6	13.8	14.9
T2 / 05	8.0	9.0	13.6	16.1	17.3	4.3	7.0	7.8	8.7	9.6	3.8	4.4	5.2	8.7	10.6	13.2	14.5	15.9	17.3	18.7	
T2 / 06	9.8	11.0	16.6	19.6	21	5.3	8.6	9.6	10.7	11.7	4.7	5.5	6.4	10.6	12.9	16.0	17.7	19.4	21	23	
T2 / 0X	55	0.56	0.58	0.65	0.67	0.67	0.38	0.45	0.47	0.49	0.50	0.26	0.28	0.30	0.37	0.39	0.60	0.61	0.62	0.63	0.63
T2 / 00		1.1	1.1	1.3	1.4	1.4	0.63	0.81	0.86	0.90	0.95	0.48	0.53	0.57	0.75	0.82	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3
T2 / 01		1.7	1.9	2.8	3.3	3.6	0.95	1.5	1.7	1.9	2.0	0.74	0.86	1.0	1.7	2.0	2.6	2.9	3.1	3.4	3.6
T2 / 02		2.3	2.6	4.1	5.0	5.4	1.2	2.1	2.4	2.7	2.9	0.82	1.0	1.3	2.4	2.9	3.8	4.2	4.7	5.1	5.6
T2 / 03		4.3	4.8	7.4	8.9	9.6	2.2	3.8	4.3	4.8	5.3	1.5	1.8	2.2	4.2	5.3	6.8	7.5	8.3	9.1	9.9
T2 / 04		6.4	7.2	11.0	13.3	14.4	3.4	5.7	6.4	7.2	7.9	2.4	2.9	3.5	6.3	7.8	10.1	11.3	12.4	13.7	14.9
T2 / 05	8.1	9.1	14.0	16.7	18.1	4.2	7.0	8.0	9.0	10.0	3.0	3.7	4.4	7.9	9.9	12.8	14.2	15.7	17.2	18.7	
T2 / 06	9.9	11.1	17.0	20	22	5.2	8.7	9.8	11.0	12.1	3.8	4.6	5.4	9.7	12.1	15.6	17.3	19.1	21	23	

¹⁾ Condensing temperature at bubble point.

Figuur 83: De selectietabel voor de selectie van een expansieventiel

Voor het selecteren van het expansieventiel worden de condensatie en verdampingstemperatuur uitgezet in de bovenste tabel, rekeninghoudend met het gebruikte koelmiddel. De waarde die volgt uit de bovenstaande tabel is 0,49kW, vervolgens kan er via de onderkoeling een correctiefactor geselecteerd worden in onderstaande tabel.

Correction factor

Refrigerant	Subcooling [K]										
	2	4	10	15	20	25	30	35	40	45	50
R22	0.98	1	1.06	1.11	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.39	1.44
R134a	0.95	1	1.08	1.13	1.19	1.25	1.31	1.37	1.42	1.48	1.54
R404A/R507	0.96	1	1.10	1.20	1.29	1.37	1.46	1.54	1.63	1.70	1.78
R407C	0.97	1	1.08	1.14	1.21	1.27	1.33	1.39	1.45	1.51	1.57

Figuur 84: Correctiefactoren voor het selecteren van expansieventielen

De onderkoeling bedraagt 5°C, dus wordt er gekozen voor 4°C in de tabel. Deze 4°C in vergelijking met het koelmiddel geeft een correctiefactor van 1. Wanneer nu het bekomen koelvermogen uit de tabel op de vorige pagina vermenigvuldigd wordt met de correctiefactor kan bepaald worden of de orifice te groot of te klein is.

$$0,222\text{kW} \cdot 1 = 0,222\text{kW} > 0,222\text{kW}$$

$$0,97 \cdot 1 = 0,49\text{kW} > 0,97\text{kW}$$

Deze orifice is te groot gekozen, daarom wordt er omgekeerd gerekend en wordt het benodigd koelvermogen gedeeld door de correctiefactor. Omdat de correctiefactor 1 is komt dit uit op 0,222kW en

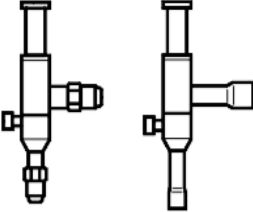
op 0,97kW. Wanneer dit in de tabel van figuur 83 opgezocht wordt, kan besloten worden dat 0,49kW de kleinste waarde is. Daarom wordt er voor beide gevallen een orifice van 'TE2 / 0x' gekozen.

10.9.5 Verdampersdrukregelaar

Aangezien de koelgroep werkt met twee verdamper, namelijk de koelverdampers en de vochtspiraals, is het nodig gebruik te maken van deze verdampersdrukregelaar. Net zoals alle bovenstaande componenten werd ook deze regelaar besteld bij ECR. ECR biedt op hun website drukregelaars van het merk Danfoss en Alco aan. Bij het selecteren werd vastgesteld dat de verdampersdrukregelaar niet aanwezig was in het assortiment van Alco, daarom werd voor de fabrikant Danfoss gekozen. De selectie gebeurde via een datasheet van Danfoss met behulp van onderstaande tabellen.

Allereerst wordt het gebruikte koelmiddel aangeduid. Vervolgens kijkt men naar de capaciteit, aangezien de benodigde capaciteit kleiner is dan 0,3TR (=1kW) werd er gekozen voor de KVP 12.

Ordering



Type	Rated capacity ¹⁾ [TR]				Flare connection ²⁾ [in.]	Code no.	Solder connection ODF	Code no.
	R22	R134a	R404A/ R507	R407C			[in.]	
KVP 12	1.3	0.9	1.2	1.2	1/2	034L0021	1/2	034L0023
KVP 15	1.3	0.9	1.2	1.2	3/8	034L0022	3/8	034L0029
KVP 22	1.3	0.9	1.2	1.2	-	-	3/8	034L0025
KVP 28	2.8	1.9	2.4	2.6	-	-	1 1/8	034L0026
KVP 35	2.8	1.9	2.4	2.6	-	-	1 1/8	034L0032

¹⁾ Rated capacity is based on:
 Evaporating temperature: t_e = 40 °F
 Condensing temperature: t_c = 100 °F
 Pressure drop across regulator: Δp = 2 psi
 Offset (design evaporating pressure minus minimum allowable evaporator pressure): 9 psi

²⁾ KVP supplied without flare nuts. Separate flare nuts can be supplied:
 1/2 in., code no 011L1103
 3/8 in., code no 011L1167

Figuur 85: Tabel voor het selecteren van verdampersdrukregelaars

10.10 Berekening van de benodigde hoeveelheid koelmiddel

Nu het koeltechnisch schema opgesteld is en alle benodigde onderdelen geselecteerd zijn kan berekend worden wat de benodigde koelmiddelhoeveelheid van het systeem is. Om de koelmiddelinhoud te berekenen werd de inhoud van de compressor, condensor, verdampers en alle leidingen berekend via onderstaande formule:

$$m = \rho \cdot V \quad (19)$$

Met:

m = De benodigde hoeveelheid koelmiddel [kg]

ρ = De dichtheid van het koelmiddel [kg/m³]

V = Het volume van de component [m³]

Deze berekening werd gedaan voor alle bovengenoemde componenten, dit rekeninghoudend met de aggregatietoestand waarin het koelmiddel zich bevindt. Het resultaat van deze berekeningen werd in de tabel hieronder weergegeven.

COMPONENT	MASSA [KG]
COMPRESSOR	0,0321
ZUIGLEIDING	0,0029
VLOEISTOFLEIDING	0,0534
PERSLEIDING	$1,1689 \cdot 10^{-4}$
VERDAMPER	0,0093
CONDENSOR	0,2322
TOTAAL	0,330

Aangezien de koelinstallatie ook beschikt over een vloeistofvat moet de inhoud van dit vat ook in rekening gebracht worden. Het koelmiddelvat heeft een capaciteit van 0,75 L, dit is de inhoud wanneer het vat voor 100% gevuld zou zijn. Omdat het vloeistofvat steeds 1,2 keer de totale koelmiddelinhoud van de installatie moet kunnen bevatten, werd de totale koelmiddelinhoud vastgelegd op 80% van deze 0,75L. Dit geeft een totale inhoud van 0,697 kg als resultaat, deze inhoud is inclusief de eerder bekomen 0,330 kg. (OFFICIAL, 2018)

11 De bevochtiging

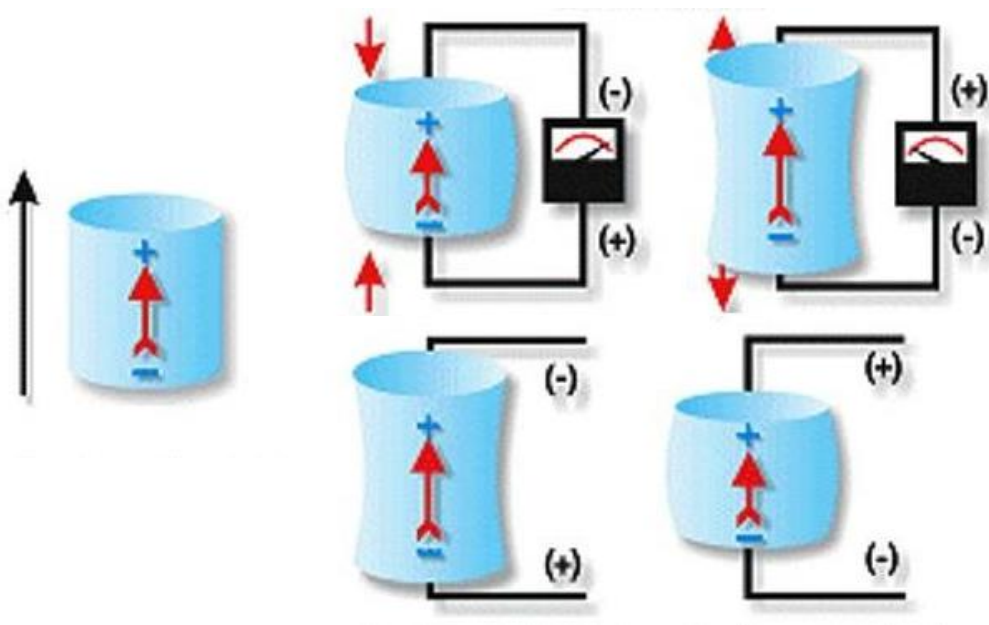
Zoals eerder vermeld werd de klimaatkast oorspronkelijk bevochtigd met een stoombevochtiger. Naast deze bevochtigingsmethode wordt ook ultrasone bevochtiging veel toegepast in klimaatkamers. Aangezien de werking van de stoombevochtiger al uitgelegd werd op pagina;;, wordt de werking van de ultrasone bevochtiger hieronder uitgelegd.

11.1 Ultrasoonbevochtiger

11.1.1 Het piëzo-elektrisch effect

Een ultrasoonbevochtiger werkt volgens het principe van het piëzo-elektrisch effect. Dit is een verschijnsel waarbij bepaalde materialen een elektrische spanning genereren bij vervorming van het materiaal. Dit principe kan ook omgekeerd werken.

Van nature is er een scheiding tussen de positieve en negatieve ladingen van een piëzo-kristal. De vervorming van het kristal brengt een bepaalde asymmetrie van de eenheidscel met zich mee. Deze asymmetrie zorgt op zijn beurt dan voor het opwekken van een spanning. Zoals hierboven reeds vermeld werkt dit principe ook omgekeerd. Wanneer men een spanning zou aanleggen aan het piëzo-kristal, dan zal deze onder invloed van de aangelegde spanning vervormen. Deze vervorming ontstaat doordat het aanleggen van de spanning de ladingen van het kristal verschillend beïnvloed.

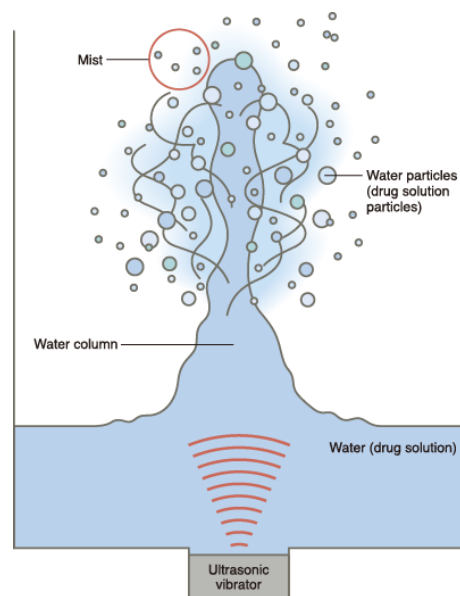


Figuur 86: Principewerking van een piëzo-kristal

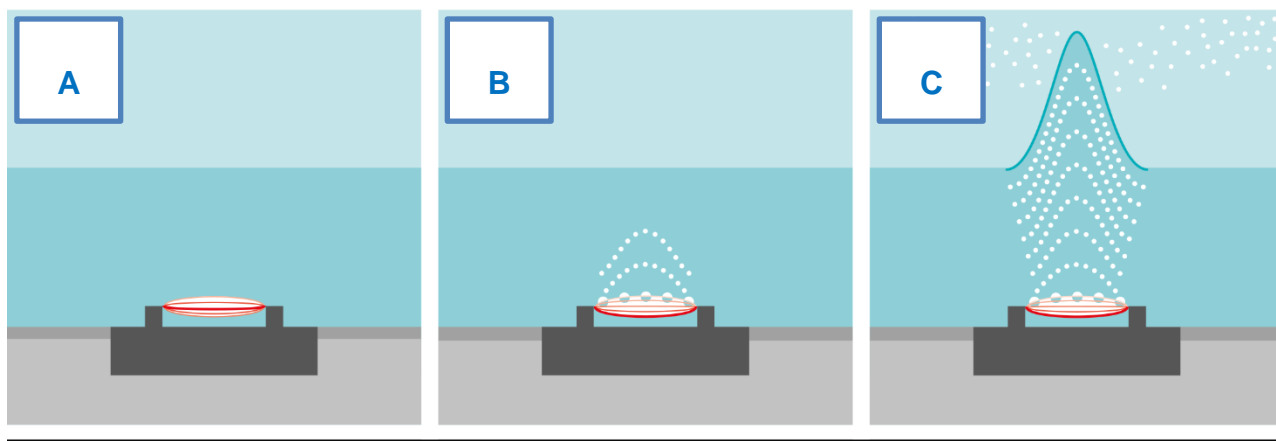
(ÇENTEZ, 2020)

11.1.2 De bevochtiger

De bevochtiger werkt volgens het principe waarbij de aangelegde spanning het kristal laat vervormen. Dit kristal wordt in een waterreservoir geplaatst dat via een vlottersysteem op een bepaald niveau gehouden wordt. De spanning die aan het kristal aangelegd wordt is een hoogfrequent elektrisch signaal, veroorzaakt door een transformator. Dit hoogfrequent signaal zorgt ervoor dat het oppervlak van het kristal aan een dusdanig hoge snelheid vibreert dat het water door zijn traagheid de trilling niet kan volgen. Hierdoor zal er een waterkolom ontstaan. Bij een negatieve amplitude zal het kristal zodanig vervormen dat er een vacuüm gecreëerd wordt. Door het cavitatie verschijnsel zullen er gasbellen ontstaan die bij een positieve amplitude omhoogschieten naar wateroppervlak waar ze met elkaar botsen. Aan de randen van de ontstane waterkolom zullen de waterdeeltjes door de botsing verneveld worden, het is deze nevel die opgenomen wordt door de luchtstroom in de klimaatkast.



Figuur 87: Principewerking bevochtiger



Figuur 88: De werking

A) Het toestel is ingeschakeld en de oscillator genereert een positieve amplitude

B) De oscillator genereert een negatieve amplitude, hierdoor ontstaat door de traagheid van het water een vacuüm.

C) Na een tiental amplitudes is de bevochtiger volledig in productie

11.2 De selectie van de bevochtiger

Voor de bevochtiging kan er gekozen worden voor een stoom- of een ultrasoonbevochtiger. Om de beste te selecteren voor de toepassing werden de voor- en de nadelen van beide bevochtigers vergeleken.

11.2.1 Voor- en nadelen stoombevochtiging

- + Een snelle opwarming waardoor het bevochtigen snel op gang komt.
- + Stoombevochtiging zorgt niet voor temperatuurdaling.
- + Hygiënische bevochtiging aangezien alle bacteriën gedood worden door de temperatuursverhoging.
- + De bevochtiger werkt meestal geruisloos.
- + De waterdeeltjes worden onmiddellijk geabsorbeerd in de lucht.
- De hete stoom brengt naast vocht ook extra warmte binnen in de kast. Deze extra warmte moet dan weer weggekoeld worden en dit vraagt ook weer extra energie.
- Stoombevochtigers hebben het grootste energieverbruik van alle bevochtigingssystemen.

11.2.2 Voor- en nadelen ultrasoonbevochtiging

- + Grootste energiebesparing, 93% minder elektrisch vermogen vergeleken met elektrode/weerstand stoombevochtigers. Deze energiebesparing is te danken aan het feit van de koudverdamping
- + Universeel toepasbaar.
- + De waterdeeltjes zijn gemiddeld slechts 0,001mm. De mist wordt, net zoals bij isotherme stoombevochtigers, meteen geabsorbeerd in de lucht.
- + Hygiënische bevochtiging, dit komt door een constante toevoer van vers water. Daarnaast zorgt een speciale spoelcyclus ook voor een optimale hygiënische bevochtiging.
- + Kleine voetafdruk.
- + Het bevochtigen komt snel op gang en wordt na het uitschakelen van het toestel direct stopgezet.
- + Nauwkeurige bevochtiging.
- Over het algemeen zijn ultrasone bevochtigers duurder in aankoop prijs.
- Ultrasoonbevochtigers zorgen voor een temperatuurdaling tijdens het bevochtigen.

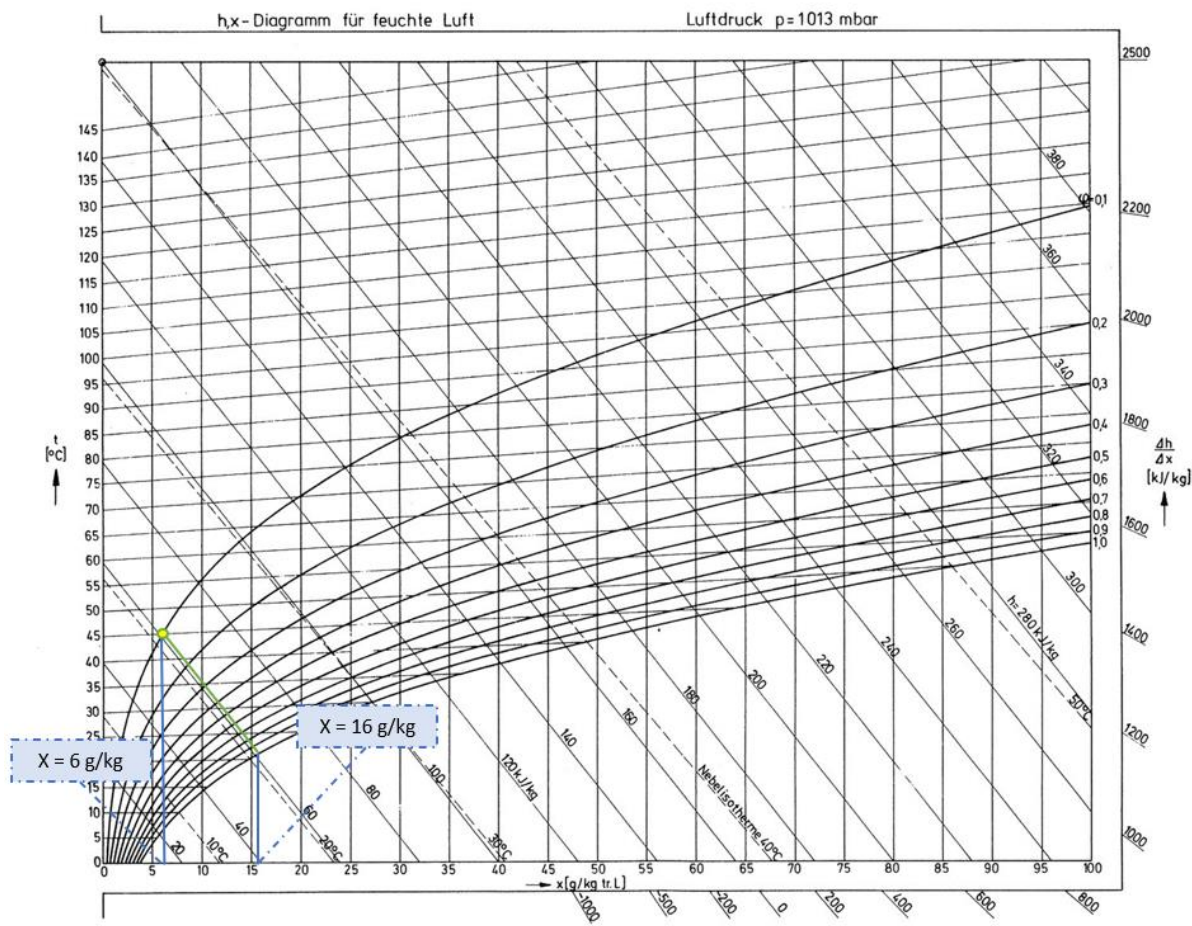
(Stulz); (Stulz Ultrasonic ultraschall luftbefeuchter, 2017)

11.3 De selectie

Wanneer gekeken wordt naar het verbruik, dan kan vastgesteld worden dat de ultrasone bevochtiger veel voordeliger is in gebruik ten opzichte van de stoombevochtiger. Daarmee zal de hogere aankoop prijs die de ultrasoonbevochtiger met zich meedraagt sneller terugverdiend zijn. Daarnaast zorgen beide bevochtigers voor een hygiënische bevochtiging en worden de waterdeeltjes meteen geabsorbeerd in de lucht. De ultrasoonbevochtiger heeft wel als extra voordeel dat de bevochtiging direct op gang komt en na het bevochtigen direct stopgezet wordt. Bij de vergelijking van beide bevochtigers kan vastgesteld worden dat de voordelen van ultrasone bevochtiging groter zijn dan bij de stoombevochtiger. Daarom wordt gekozen voor het gebruik van een ultrasoonbevochtiger.

11.3.1 De grootte van de bevochtiger

Voor het selecteren van de grootte van de bevochtiger werd er gebruik gemaakt van het h-x diagram. In dit diagram werd lucht van 45°C en een relatieve vochtigheid van 10% gekozen als begintoestand. Deze lucht wordt vervolgens zo veel mogelijk bevochtigd, aangezien geen enkele bevochtiger perfect is, zal de grens van 100% relatieve vochtigheid praktisch nooit bereikt worden.



Figuur 89: De bevochtiging voorgesteld in het h-x diagram

Uit bovenstaand diagram blijkt dat de bevochtiging van de lucht gepaard gaat met een absolute vochttoename van 10g/kg. Nu de benodigde waterhoeveelheid gekend is, kan de grootte van de bevochtiger bepaald worden via onderstaande formule:

$$Q = m \cdot \Delta X \quad (33)$$

Met:

Q = de grootte van de luchtbevochtiger [g/s]

m = het massadebiet [kg/s]

ΔX = het verschil in absoluut vochtgehalte [g/kg]

Om de grootte van de bevochtiger te bepalen dient enkel de massastroom nog gekend te zijn. Deze massastroom kan net zoals bij de ontvochtiging en de koeling bepaald worden via de redenering die gemaakt werd bij de ventilator. Aangezien het ontvochtigingsysteem boven de ventilator voorzien was, werd er net zoals bij de verdampers uitgegaan van een luchtstroom van 0.00656 m³/s.

$$Q = \rho \cdot V \cdot \Delta X = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,00656 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 10 \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 0,07872 \frac{\text{g}}{\text{s}} \quad (34)$$

De grootte van de bevochtiger wordt in catalogussen meestal uitgedrukt in liter per uur [l/h]. Daarom moet de bekomen waarde omgerekend worden.

$$0,07872 \frac{\text{g}}{\text{s}} \cdot \frac{1\text{kg}}{1000\text{g}} \cdot \frac{3600\text{s}}{\text{h}} = 0,28 \text{ l/h}$$

Voor het selecteren van een verdampers werd in de catalogussen van twee vooraanstaande leveranciers van ultrasoonbevochtigers gekeken. Deze leveranciers zijn 'Airwin' en 'Stulz'.

De catalogus van Airwin



Figuur 90: Een printscreen uit de catalogus van fabrikant Airwin

Bij leverancier Airwin heeft de kleinste bevochtiger een bevochtigingscapaciteit van 2 – 8 kg/h. Deze bevochtigingscapaciteit is veel te groot voor de benodigde toepassing, daarom werd gekeken naar de catalogus van fabrikant Stulz.

BNB – Ultrasonische luchtbevochtiger voor directe ruimte bevochtiging

Model	Bevochtigingskracht (in kg/h)	Aantal oscillators	Power input (in VA)	Afmetingen (LxBxH in mm)
BNB 1000A	1.0	2	100	254×255×200
BNB 2000A	2.0	4	180	364×255×200
BNB 3000A	3.0	6	250	474×255×200
BNB 4000A	4.0	8	340	584×255×200
BNB 5000A	5.0	10	430	694×255×200
BNB 8000A	8.0	16	670	1024×255×200

SCA and FN – Bevochtiging met nauwkeurigheid

Model	Bevochtigingskracht (in kg/h)	Aantal oscillators	Power input (in VA)	Afmetingen (LxBxH in mm)
SCA 1000A	1.0	2	100	272×195×220
SCA 2000A	2.0	4	160	272×195×220
SCA 1000AX	0.2 - 1.0	2	100	272×195×220
SCA 2000AX	0.2 - 2.0	4	160	272×195×220
FN 400HAD	0.4	1	40	158×95×90

Technische gegevens kunnen worden gewijzigd zonder voorafgaande kennisgeving.

Figuur 91: Selectietabellen voor het selecteren van een bevochtiger

Bij deze fabrikant zijn er in de categorie ‘Bevochtiging met nauwkeurigheid’ wel een aantal bevochtigers die toegepast kunnen worden. Aangezien de FN 400HAD dicht in de buurt komt van de gewenste capaciteit en aangezien deze bevochtiger ook de compactste is, werd voor deze bevochtiger gekozen. Deze bevochtiger werd geleverd met een aangepaste transformator en een netfilter. Deze laatste component verhinderd dat stoorsignalen uit het net de goede werking van de bevochtiger zouden beïnvloeden.

11.3.2 Plaatsing van de bevochtiger

De bevochtiger FN 400HAD wordt geleverd met twee aansluitslangen, één slang wordt bevestigd op de luchtinlaat en één slang op de neveluitlaat. Deze slangen moeten via een bevestigingsboring in de procesruimte gebracht worden. Hiernaast kunt u een afbeelding terugvinden van beide geleidingsbuizen.

(Stulz, 2020); (Airmed, 2019)

De plaatsing van de bevochtiger kan op twee verschillende manieren gebeuren. De bevochtiger kan zowel aangeblazen worden door de procesventilator als door een externe ventilator. Deze principes worden hieronder verduidelijkt.



Figuur 92: De FN 400 HAD

11.3.2.1 Aanblazing via procesventilator

Zoals u op figuur 92 kunt zien bestaan deze buizen uit een flexibel gedeelte en een vast buisgedeelte. Het vaste buisgedeelte is het deel dat in de procesruimte gebracht wordt. De bevochtiger moet steeds zodanig opgesteld worden dat de luchtstroom door de bevochtiger gevoerd wordt. Hiervoor zijn de vaste buisgedeeltes afgeschuind. Het buisgedeelte van de luchtinlaat moet zodanig gericht zijn dat de luchtstroom in deze buis binnenkomt. Om de lucht zo efficiënt mogelijk door de bevochtiger te kunnen voeren wordt de inlaatpijp voorzien van een bochtstuk van 90°, dit staat niet in de installatievoorschriften maar is een eigen toevoeging. De opstelling van de neveluitlaat moet zodanig opgesteld zijn dat de luchtstroom de nevel uit de buis zuigt. Langs de kant van de bevochtiger is het belangrijk dat de bevochtiger horizontaal opgesteld staat en makkelijk gedemonteerd kan worden.

Aangezien de bevochtiger steeds een luchtdoorstroming moet hebben voor een goede werking, en aangezien het nadelig is voor de werking om de bijgeleverde pijpen te verlengen, wordt bij deze opstelling de bevochtiger boven op de klimaatkast gemonteerd. De pijpen worden dan in de luchtcirculatie gebracht via twee boringen doorheen het plafond van de kast. Naast de hierboven beschreven installatievoorschriften voor de bevochtiger en zijn luchtinlaat- en neveluitlaatpijpen, bestaan er ook installatievoorschriften voor de watertoevoer naar de bevochtiger. Hierbij is het belangrijk dat het water onder een bepaalde druk de bevochtiger binnenstroomt, dit omdat de bevochtiger niet zelf-aanzuigend is. De benodigde druk is laag en wordt al behaald door de uitloop van het demiwatervat juist boven de bevochtiger te positioneren. De bevochtiger is voorzien van een veiligheidsoverloop en condensatafvoer, dit afvoerwater wordt via een leiding naar een afvalvat gebracht.

In onderstaande afbeelding wordt deze opstellingsmethode verduidelijkt:



Figuur 93: De opstellingsmethode bij aanblazing met procesventilator bij de FN 400HAD

11.3.2.2 Aanblazing via externe ventilator

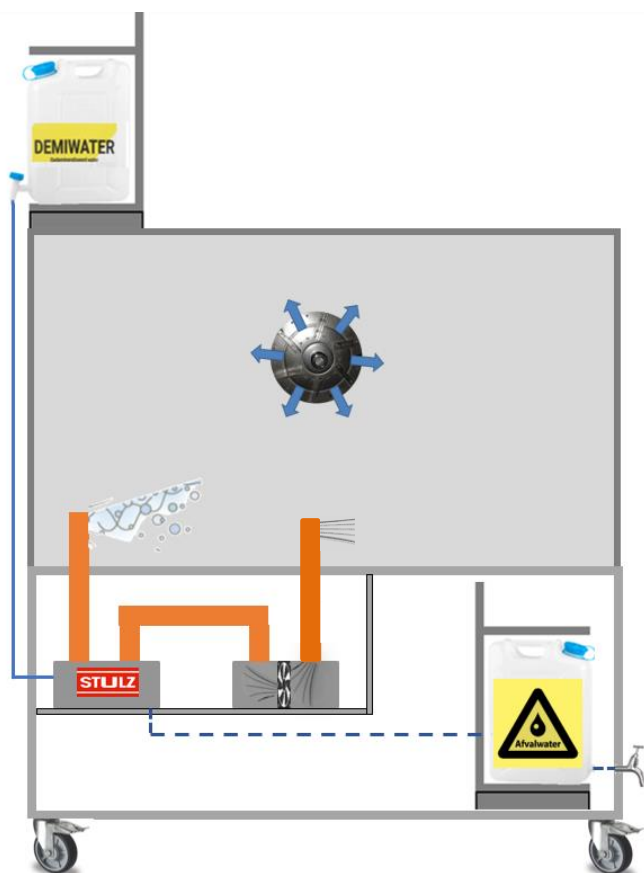
In het geval van de klimaatkast die gebruikt werd voor de bachelorproef, is er een vrij grote ruimte voorzien voor de opstelling van apparatuur. Daarom werd besloten om de bevochtiger onder de procesruimte in te bouwen. Deze opstellingsmethode heeft als voordeel dat het water onder een hogere druk de bevochtiger bereikt aangezien het vat bovenop de procesruimte staat. Omdat de ventilator de lucht rondom uitblaast, is er ook geen probleem voor de positionering van de uitlaatpijp. Wel brengt de plaatsing van de luchtinlaatpijp problemen met zich mee. Zoals eerder vermeld is het voor de bevochtiging veel voordeliger wanneer er een sterke luchtstroom de inlaatpijp binnenkomt. Om dit te kunnen realiseren werd er gebruik gemaakt van een externe ventilator. Deze ventilator werd ingebouwd in de lege behuizing van een defecte ultrasoonbevochtiger en werd geplaatst tussen de in- en uitlaatmond. Op die manier kan de externe ventilator lucht aanzuigen via de inlaatmond en de uitgeblazen lucht via een slag overbrengen naar de inlaatmond van de ultrasoonbevochtiger.

De gebruikte ventilator werd aangekocht bij Gotron en heeft volgende eigenschappen:

Aansluitspanning: 230 VAC

Afmetingen: 90 x 90 x 25

In onderstaande afbeelding werd deze opstellingsmethode verduidelijkt:



Figuur 94: De opstellingsmethode bij aanblazing met externe ventilator bij de FN 400HAD

11.3.3 Watervoorzieningen en niveauregeling

In de klimaatkast wordt, zoals hierboven reeds aangegeven, gebruik gemaakt van twee verschillende vaten, een vat voor het afvalwater en een vat voor watertoevoer. Het vat voor de watertoevoer staat bovenop de klimaatkast opgesteld en het afvalvat staat beneden onder de procesruimte. Zowel het afvalvat als het toevoervat moeten handmatig gelegeerd en gevuld worden. Voor het gebruiksgemak werd het vat voor het afvalwater voorzien van een afloop met kraan. Deze vaten werden gerecupereerd van de Binder mkf 240, hierbij stonden de vaten onder de procesruimte opgesteld naast de stoombevochtiger. Aangezien een ultrasone bevochtiger niet dezelfde afstand kan overbruggen als een stoombevochtiger werd daarom voor een andere opstelling gekozen. Wat de watertoevoer betreft is het belangrijk dat het vat steeds voldoende gevuld is zodat er zeker geen lucht in de watertoevoerleiding aanwezig is. Deze lucht kan zorgen voor een verstopping waardoor het bevochtigingsproces zal haperen. Om dit te vermijden is het toevoervat voorzien van drie vlottercontacten. Deze contacten waren al aangebracht door de fabrikant Binder en worden dus gerecupereerd. Eén contact staat iets boven de wateruitlaat opgesteld en zal de bevochtiger uitschakelen bij verdere niveaudaling. Het andere contact staat 3 centimeter hierboven opgesteld en zal eerst een alarm sturen naar de regelaar met de boodschap dat bijvullen noodzakelijk is. De bovenste vlotter dient als overvulbeveiliging en zal het bevochtigingsproces niet laten starten bij een te hoog waterniveau. Het afvalvat is ook voorzien van een vlotter die een melding geeft wanneer het vat gelegeerd moet worden.

Het afvoerwater wordt niet meer hergebruikt in de klimaatkast omdat de kans zou kunnen bestaan dat het bevuild is door de testproducten in de procesruimte.

De gebruikte vlottercontacten hebben volgende eigenschappen:

Materiaal: plastic

Contract rating (Max): 10W

Switching voltage (Max): 100V DC

Switching stroom (Max): 0.5A

Doorslagspanning (Max): 220V DC

Carry stroom (Max): 1A

Contract weerstand (Max): 1000 OHM

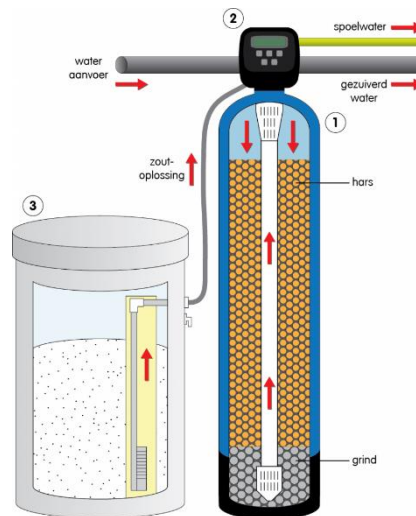
Temperatuur cijfer: -30 ~ + 125 graden Celsius

11.4 Het water van de bevochtiger

Tenslotte mag niet zomaar eender welk water aan de bevochtiger toegevoegd worden. Zoals hierboven reeds aangehaald wordt er gebruik gemaakt van demiwater. Een veelgemaakte fout bij het gebruik van het toevoerwater is het gebruik van gedestilleerd water. Hieronder wordt het verschil tussen beide uitgelegd.

11.4.1 Demiwater

Demiwater of gedemineraliseerd water is gefilterd water. Via een filter worden negatieve ionen uit het zout van het leidingwater gefilterd waardoor enkel de positieve ionen overblijven. Dit water is schoon maar niet volledig puur water. De productie van demiwater kan geschieden door het kraanwater over een ionenwisselaar te leiden. Dit toestel bestaat uit gesufoneerde kunstharz en zal ongewenste ionen uitwisselen tegen andere ionen met gelijkwaardig elektrovalentie. Dit proces is lastig maar geeft schoon water met een neutrale PH-waarde als resultaat.



Figuur 95: Principe ionenwisselaar

11.4.2 Gedestilleerd water

Voor het produceren van gedestilleerd water wordt water verhit tot het kookpunt. De condens hiervan wordt opgevangen en geeft puur water als resultaat. Dit type water is heel zuiver en wordt gebruikt in industrieën waar het water absoluut niet besmet mag zijn. Gedestilleerd water is duurder dan demiwater.

(Deloo, 2019)

11.4.3 De Drain-functie

Aangezien de Binder mkf 240 vroeger voorzien was van een magneetventiel dat dienst deed voor de spoeling van de stoombevochtiger, kon dit ventiel hergebruikt worden voor de ultrasoonbevochtiger. Hiervoor werd dit ventiel gemonteerd op de uitloop van de ultrasoonbevochtiger en werd er een vaste afvoerleiding aangelegd naar het afvalvat. Op deze manier kan de bevochtiger na lang gebruik gespoeld worden door de schakelaar op het controlepaneel te bedienen.

12 Het verwarmingssysteem

Bij de Binder mkf 240 gebeurde de verwarming van de proceslucht in de klimaatkast via elektrische verwarmingsweerstand. Hierbij stonden er twee weerstanden in voor de verwarming van de lucht in de kast en drie kleinere weerstanden deden dienst als carterverwarming. Aangezien de klimaatkast nu gebruikt zal worden voor statische testen, werd besloten om de carterverwarming niet meer te gebruiken.

Voor het verwarmen van de proceslucht werd eerst nagegaan of de al aanwezige elektrische weerstanden niet hergebruikt konden worden. Deze twee weerstanden waren samen goed voor een vermogen van 2700W en werden dus te groot bevonden voor de toepassing.

Vooraleer nieuwe weerstanden geselecteerd werden, werd er nagegaan of er geen andere verwarmingssystemen waren. Helaas zijn er geen andere systemen gevonden die dienst konden doen in de gebruikte toepassing. Daarom werd er besloten om opnieuw een elektrisch verwarmingssysteem te gebruiken, deze systemen hebben volgende voordelen:

- De snelheid: via elektrische weerstanden kan de proceslucht snel opgewarmd worden.
- Veiligheid: omdat er niet verwarmd wordt door het verbranden van fossiele brandstoffen, is er bijvoorbeeld geen mazout of gasleiding nodig, dit verhoogt de veiligheid.
- De aansturing: wanneer er een spanning en stroom aangelegd wordt aan de elektrische weerstanden, dan zullen de weerstanden warm worden. Dit principe vergemakkelijkt de aansturing van de verwarming.
- Weinig onderhoud: elektrische weerstanden vragen weinig of geen onderhoud, daarom zouden deze componenten ingewerkt kunnen worden tussen de binnenwanden van de klimaatkast en de luchtgeleidingspanelen.

12.1 De sturing

Het aansturen van de elektrische weerstanden zal, net zoals bij de Binder mkf 240, gebeuren via solid state relais. Deze relais worden dan op hun beurt aangestuurd via pulsbreedtemodulatie, de solid state relais en de aanstuurmethode werden reeds uitgelegd in het hoofdstuk 5 subtitel 5.5.2.

12.2 Het selecteren

Voor het selecteren van een elektrische weerstand moet het nodige vermogen bekend zijn. Dit vermogen is de som van het essentiële opwarmvermogen om de kast op te warmen en het verliesvermogen ten gevolge van lekken en spleten in de kast. Het verliesvermogen werd reeds bepaald in het hoofdstuk van de warmteverliesberekening. Het opwarmvermogen kan, net zoals de koelcapaciteit bepaald worden via onderstaande formule:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t = \rho \cdot V \cdot c \cdot \Delta t \quad (19)$$

12.2.1 Stap 1 : De bepaling van het volumedebiet

Aangezien de verwarmingsweerstanden onderaan in de klimaatkast geplaatst worden, onder de vloer van de procesruimte, werd er verwacht dat het debiet over de weerstand, in het beste geval, ongeveer twee keer het luchtdebiet per schoep was.

Debiet over de elektrische weerstand = 2 x Uitgeblazen debiet per schoep = 2 x 0.00458 m³/s = 0.00916 m³/s

12.2.2 Stap 2: Dichtheid en soortelijke warmte van lucht

Dichtheid (ρ) = 1,2 kg/m³

Soortelijke warmte (c) = 1,01 $\frac{kJ}{kg \cdot K}$

12.2.3 Stap 3: Bepalen van Δt

De elektrische weerstand moet de lucht, in het slechtste geval, kunnen opwarmen van 5°C naar 45°C. Daarom wordt er voor de berekening van het temperatuurverschil 40°C genomen.

12.2.4 Stap 4: De koelcapaciteit

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t = \rho \cdot V \cdot c \cdot \Delta t = 1,2 \frac{kg}{m^3} \cdot 0.00916 \frac{m^3}{s} \cdot 1,01 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 40^\circ C = 0.444 kW = 444 W \quad (19)$$

Bepaling van het totaal benodigde verwarmingsvermogen

Het totaal benodigde vermogen = opwarmvermogen + verliesvermogen

$$444W + 38,405 = 482,405 \approx 500W$$

Voor de selectie van de elektrische weerstand wordt het vermogen afgerond op 500W.

12.2.5 De selectie van een elektrische weerstand

Voor het selecteren van een elektrische verwarmingsweerstand is het belangrijk dat het benodigde vermogen en de aansluitspanning gekend zijn. Het vermogen werd hierboven berekend en de aansluitspanning is 230VAC. Deze spanning wordt via een solid state relais aangelegd aan de weerstand, hierdoor moet geen minimale werkingstijd, zoals dit bij de compressor wel het geval is, vooropgesteld worden. Voor de selectie werd er een elektrische ovenweerstand met bovengenoemde eigenschappen besteld bij een fabrikant van elektrisch horecamateriaal.

Artikelbeschrijving	Technische gegevens						
verwarmingselement 500W 230V Itemnr.: 3455534 425 mm length - 135 mm width Hoort bij - FOSTER: FSL400, FXT1350L-A, FXT600L-A	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Technische gegevens</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>vermogen</td> <td>500 W</td> </tr> <tr> <td>spanning</td> <td>230 V</td> </tr> </tbody> </table>	Technische gegevens		vermogen	500 W	spanning	230 V
Technische gegevens							
vermogen	500 W						
spanning	230 V						

Figuur 96: Een printscreen uit de catalogus van fabrikant Beko

12.2.6 De selectie van de solid state relais

Voor het selecteren van de solid state relais moeten onderstaande voorwaarden in acht genomen worden:

- Het relais mag niet gebruikt worden voor meer dan 70% van zijn nominale stroom.
- De plaatsing op een paneel, printplaat of din-rail maakt een verschil in eigenschappen.
- Elektrische omgeving (in ruwe omgevingen moet er overwogen worden om een relais te kiezen met een lijnspanning die een categorie hoger ligt dan de benodigde lijnspanning).
- De stuurspanning van het relais

Het bedrijf waar Climatronix zijn solid state relais bij aankoopt heet Carlo Gavazzi. Het relais werd geselecteerd via de selectiesoftware op de site van Carlo Gavazzi. Voor de selectie werd uitgegaan van een ruwe omgeving, vandaar dat de spanning één niveau groter gekozen werd. De stroom die geschakeld moet worden is 2,17 A. Er werd uitgegaan van 3A om een veiligheidsmarge te creëren.

Solid State Relays

[Product Overview](#)[Documentation](#)[Click for our Multi-Relay Heatsink Selector](#)

Results

Relay : RM1A48D25   

Heatsink : Panel Backplate 

Select your relay parameters and then click on the submit button.
The solid state relay that matches your selections will be displayed along with the required heatsink (if applicable)

Load Type	<input type="text" value="Heater"/>
Load Voltage	<input type="text" value="380 VAC"/>
Input Signal	<input type="text" value="24 VDC"/>
Load Current	<input type="text" value="3"/> A
Type	<input type="text" value="1 Pole"/>
Heatsink	<input type="text" value="Separate"/>
Ambient Temperature	<input type="text" value="30"/> C
<input type="button" value="Submit"/>	

Figuur 97: Printscren van de selectiesoftware van fabrikant Carlo Gavazzi

13 De temperatuurmeting

De temperatuur van de proceslucht werd bij de Binder mkf 240 gemeten via een PT100, dit meetprincipe werd reeds uitgelegd op pagina 27 in het hoofdstuk van de temperatuursensor. Naast deze methode zijn er nog twee meetsystemen die frequent gebruikt worden voor deze toepassing namelijk:

- De thermistor thermometer.
- Het thermokoppel.

Deze drie meetsystemen zijn in principe onder te verdelen in twee groepen. De thermistor thermometer en de PT100 zijn meetsystemen die een weerstandswaarde vertalen naar temperatuur. Daarom worden deze systemen weerstandsthermometers genoemd. Het thermokoppel werkt via een spanningsuitlesing en vertaald dus een elektrische spanning naar een temperatuurwaarde.

De werking van deze meetsystemen wordt hieronder uitgelegd.

13.1 De thermistor thermometer

Deze meetmethode is net zoals de PT100 gebaseerd op de weerstandsverandering van metalen in functie van de temperatuur. Er bestaan twee verschillende soorten namelijk PTC en NTC.

13.1.1 PTC

PTC staat voor 'positieve temperatuurcoëfficiënt', dit betekent dat de weerstandswaarde van het metaal toeneemt naarmate de temperatuur ervan toeneemt. De basis voor het vervaardigen van deze weerstanden zijn onder andere: strontiumtitaat, loodtitaat en bariumtitaat. Deze basismaterialen worden verontreinigd met stoffen zoals lanthaan, antimoon,... de mate van de verontreiniging bepaald hierbij het temperatuurgebied waarin de PTC werkzaam is.

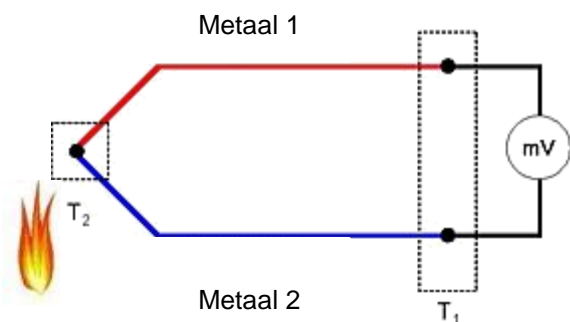
13.1.2 NTC

NTC staat voor 'negatieve temperatuurcoëfficiënt' en is het tegenovergestelde principe van PTC. Hierbij verandert de weerstandswaarde omgekeerd evenredig met de temperatuur. Dit betekent dat de weerstand van het metaal daalt als de temperatuur stijgt. Deze weerstanden worden vervaardigd uit oxiden van onder andere nikkel- mangaan samenstellingen. Daarnaast kunnen ook ijzer, chroom en kobalt gebruikt worden. In tegenstelling tot de PTC-weerstanden hebben NTC-weerstanden een gelijksoortige kleurcode als bij lineaire weerstanden.

13.2 Het thermokoppel

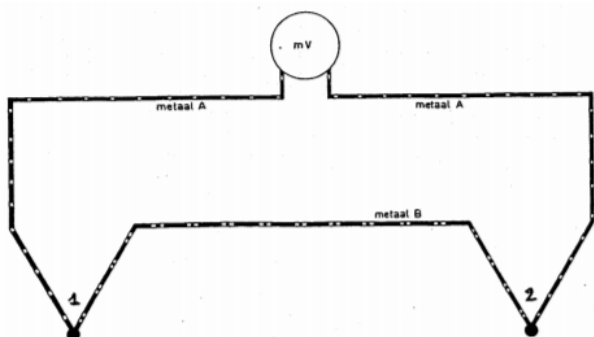
Bij een thermokoppel worden twee verschillende metalen tegen elkaar gebracht. Door dit tegen elkaar te brengen ontstaat er tussen deze metalen een spanning, deze spanning stijgt wanneer de temperatuur stijgt.

De tegen elkaar gebrachte metalen zijn een metaal met veel elektronen (metaal 1) en een metaal met minder elektronen (metaal 2). Door het contact tussen de twee zullen er in de grenslaag elektronen overgaan van metaal 1 naar metaal 2. Deze overgang van elektronen wordt het diffusieverschijnsel genoemd, dit betekent dat de elektronen zich gelijkmatig willen verdelen over de massa. Aangezien metaal 1 elektronen zal afstaan aan metaal 2 wordt metaal 1 positief. Omgekeerd, aangezien metaal 2 elektronen opneemt krijgt dit metaal een negatieve lading. Door toevoeging van warmte, aan de las tussen de twee metalen, ontstaan er vrije elektronen. Dit komt omdat de warmte ervoor zorgt dat de elektronen minder aan hun kernen gebonden zijn. Deze vrijgekomen elektronen zullen zich ook verdelen over de massa, hierdoor zal metaal 1 nog positiever worden en metaal 2 bijgevolg nog negatiever. Dit vertaalt zich in een hogere spanning, wat betekent dat de spanning toeneemt met de temperatuur.



Figuur 98: Principe thermokoppel

Het meten van deze spanning brengt wel enkele problemen mee, aangezien de aansluiting van een voltmeter op bovenstaand schema zorgt voor het ontstaan van een tweede thermokoppel. Dit tweede thermokoppel wordt de koude las genoemd. Het thermokoppel gebruikt voor de temperatuurmeting wordt de warme las genoemd. Dit betekent dat de spanning van de warme las gelijk is aan de gemeten spanning verminderd met de spanning van de koude las. Dit wil zeggen dat de spanning van de koude las constant moet zijn om de temperatuur aan de warme las te kunnen meten. Omdat de koude las gevormd wordt in de aansluitkop van het thermokoppel en de temperatuur daar variabel is, zorgt deze aansluiting voor een onnauwkeurige meting. Om dit probleem weg te werken worden er elektronische omvormers in de aansluitkop geplaatst die meteen een 4-20mA-sigitaal uitsturen.



Figuur 99: Het thermokoppel met zijn warme en koude las

Omdat de thermische spanning afkomstig van het thermokoppel zeer klein is (meestal kleiner dan 0,1V) is deze spanning moeilijk te meten, dit geeft onnauwkeurigheid tot gevolg. Om deze onnauwkeurigheid weg te regelen worden thermo-elementen in serie bijgeschakeld om de thermospanning, en tegelijk de meetnauwkeurigheid, te vergroten. Wanneer dit het geval is wordt er gesproken van een thermozuil. De tabel hieronder geeft enkele thermozuilen en hun temperatuurbereik weer.

THERMOKOPPEL	KENLETTER	TEMPERATUURBEREIK
NICR- CUNI	Type E	-250° tot 300°
NICR- NI	Type K	-250° tot 1000°
NICR- NISI	Type N	-250° tot 1200°
FE- CUNI	Type J	-200° tot 700°
PTRH- PT	Type R	-50° tot 1400°
PTRH- PT	Type S	-50° tot 1400°
PTRH- PTRH	Type B	0°C tot 1600°C

Tabel 19: Overzicht van verschillende thermokoppels

13.3 Vergelijking

	RTD (PT100)	THERMISTOR	THERMOKOPPEL
TEMPERATUURBEREIK	-250 tot 900	-100 tot 450	-270 tot 1800
NAUWKEURIGHEID	0.05 tot 1.5°C	0.1 tot 1°C	0.5 tot 5°C
LANGDURIGE STABILITEIT BIJ 100°C	0.05°C/jaar	0.2°C/jaar	Variabel
LINEARITEIT	Bijna lineair	Exponentieel	Niet lineair
VOEDING	Constante spanning of stroom	Constante spanning of stroom	Zelf-voedend
GEVOELIGHEID VOOR ELEKTRISCHE RUIS	Zelden gevoelig	Zelden enkel bij grote weerstand	Gevoelig door koude las
KOSTPRIJS	Hoog	Laag tot matig	Laag
GEVOELIGHEID	Zeer goed	Matig	Goed

BEKABELING	Complex	Afhankelijk van de toepassing	Complex
-------------------	---------	-------------------------------	---------

Tabel 20: Vergelijkende tabel voor de selectie van een temperatuurmeetsysteem

Aangezien de klimaatkast zal dienen voor het kalibreren van de sensoren van Climatronix, is het belangrijk dat de temperatuur nauwkeurig afgelezen kan worden. Wanneer de drie typen sensoren worden vergeleken kan vastgesteld worden dat de RTD het meest in de buurt komt van de toepassing. Dit omdat deze sensor het nauwkeurigst en het meest stabiel is van de drie. Deze sensor is wel duurder dan de andere. Omdat de nauwkeurigheid belangrijk is voor deze toepassing werd gekozen voor het gebruik van een vierdraads PT100 klasse 1.

Deze sensoren moeten niet meer opnieuw aangekocht worden en zouden hergebruikt kunnen worden van de Binder mkf 240. Helaas was de meetsonde omgeplooid en kon deze niet meer hergebruikt worden.

Omdat het bedrijf meer ervaring heeft met de inregeling van thermokoppels werd gevraagd om voor de bachelorproef ook gebruik te maken van dit soort temperatuursensoren. Daarnaast kunnen hierdoor ook het aantal verschillende fabrikanten beperkt gehouden worden, wat voordelen biedt naar onderhoud toe. Er werd gebruik gemaakt van een NiCh-Ni thermokoppel. Deze waren eerste keus thermokoppels met een optimale nauwkeurigheid voor calibratietesten.

(Duyck, 2019)

14 De vochtsensor

Voor het meten van de vochtigheid in de klimaatkast bestaan er twee frequent gebruikte systemen. Namelijk de capacitieve vochtsensor en de hygrometer. De capacitieve vochtsensor was het meettoestel dat gebruikt werd bij de Binder mkf 240. Deze component werd reeds uitgelegd in het hoofdstuk van de vochtsensor op pagina.... Het werkingsprincipe van de hygrometer wordt hieronder uitgelegd.

14.1 De psychrometer

Dit toestel bestaat uit een twee thermometers, één thermometer voor de drogeboltemperatuur en één voor de natte boltemperatuur.

14.1.1 Drogeboltemperatuur

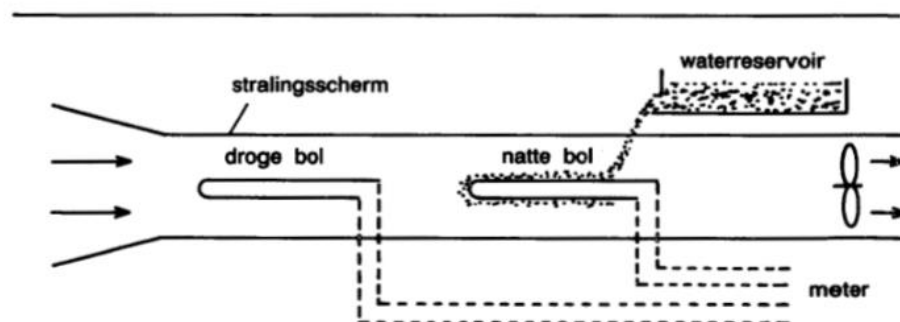
Dit is de temperatuur die een normale thermometer meet. De temperatuurstijging of temperatuurdaling die waargenomen wordt is ten gevolge van sensibele of voelbare warmte. De temperatuur wordt uitgedrukt in graden Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

14.1.2 Natte boltemperatuur

Wanneer een nat voorwerp in een luchtstroom geplaatst wordt, dan zal het aanklevend water van dit voorwerp verdampen. Dit principe wordt gebruikt voor het meten van de natteboltemperatuur. Hierbij wordt de thermometer nat gemaakt waardoor de temperatuur niet alleen daalt door de sensibele warmte maar ook door de latente warmte.

Via de psychrometer wordt de natteboltemperatuur gemeten door de thermometer te voorzien van een absorberende textiellaag. Deze laag dient voor elke meting doordrenkt te zijn met gedestilleerd water. Om tijdens de meting het verdampingsproces te versnellen wordt de 'natte' thermometer in een geforceerde luchtstroom gebracht. Deze geforceerde luchtstroom wordt veroorzaakt door een ingebouwde ventilator. Door de vergelijking van de natteboltemperatuur en de gewone 'droog' gemeten temperatuur kan bijgevolg de relatieve vochtigheid bepaald worden.

(Verhertbrugge, 3 klimatisatie, 2018)



Figuur 100: Principewerking psychrometer

14.2 Vergelijking

	VOORDELEN	NADELEN
CAPACITIEVE SENSOR	<ul style="list-style-type: none"> - Bestand tegen temperaturen van 0°C - Weinig onderhoud nodig - Werkt drukonafhankelijk - Nauwkeurig en vrij stabiel 	<ul style="list-style-type: none"> - Is gevoelig voor nevel en agressieve stoffen
PSYCHROMETER	<ul style="list-style-type: none"> - Hoge nauwkeurigheid - Hoge stabiliteit - Kan vochtbereiken tot 100% opnemen 	<ul style="list-style-type: none"> - Metingen op lange termijn zijn beperkt vanwege vereiste waterreserve en londerhoud - Metingen bij temperaturen onder de 10°C zijn moeilijk wegens ijsvorming.

Tabel 21: Vergelijkende tabel voor de selectie van een vochtmeetsysteem

De psychrometer is nauwkeuriger en stabielere dan de capacatieve vochtsensor maar heeft het moeilijk voor het meten van de vochtigheid bij temperaturen onder de 10°C. Tegelijkertijd moet de psychrometer ook regelmatig onderhouden en nagekeken worden. Uit de ervaring die opgedaan werd tijdens de stage bleek dat dit vaak een probleem was bij klanten. Wanneer de textielkous niet om de zoveel tijd vervangen wordt geeft dit toestel foutieve metingen. Daarnaast moet ook het reservoir dat de kous bevochtigt steeds gevuld zijn, dit kan gebeuren via een extra pompje. Gezien het onderhoudsgemak werd besloten om gebruik te maken van een capacatieve vochtsensor, deze sensoren zijn ook stabiel en nauwkeurig maar vragen geen fysiek onderhoud. De sensor kan vochtigheden meten tot 0°C en werkt drukonafhankelijk. Het enige nadeel van de capacatieve sensor is de gevoeligheid voor agressieve stoffen, maar dit is in deze context geen probleem.

14.3 De selectie

Via deze informatie werd bij fabrikant Vaisala een sensor geselecteerd. Deze fabrikant is gespecialiseerd in instrumenten voor binnenmeet- en procesbesturingen en levert ook aan sensoren aan het Amerikaanse Thermotron. Het was via elektrische schema's van één van de kasten van Thermotron dat deze fabrikant geselecteerd werd.

Op de website van Vaisala werd eerst de gewenste toepassing geselecteerd. Dit was de categorie 'Vochtigheid (voor normale of natte omstandigheden)'.

The screenshot shows the Vaisala website's product selection interface. The navigation bar includes 'VAISALA', 'PRODUCTEN EN DIENSTEN', 'INDUSTRIËN EN TOEPASSINGEN', 'NEEM CONTACT MET ONS OP', and 'ZOEKEN'. Below the navigation, there are three main categories: 'INDUSTRIËLE METINGEN', 'WEER- EN MILIEUOPLOSSINGEN', and 'DIENSTEN'. Under 'INDUSTRIËLE METINGEN', there are four sub-sections: 'Instrumenten voor binnenmeet- en procesbesturingen', 'Procesrefractometers', 'Continue bewakingsystemen', and 'Instrumenten voor vermogenstransformatoren'. The 'Instrumenten voor binnenmeet- en procesbesturingen' section lists various sensors, with 'Vochtigheid (voor normale of niet-normale omstandigheden)' circled in red.

Figuur 101: De selectie van de capacitieve vochtsensor bij fabrikant Vaisala (deel 1)

Vervolgens werd er een overzicht getoond zoals op onderstaande afbeelding. Hierin kon de gewenste sensor geselecteerd worden. Elke sensor is voorzien van een omschrijving over de grootheden die gemeten kunnen worden en een omschrijving van de toepassing. Er werd gekeken naar een sensor die enkel relatieve vochtigheid meet. Naar toepassingsgebied was er één sensor die geschikt was voor gebruik in milieukasten, deze werd geselecteerd.

The screenshot shows three product cards for humidity and temperature sensors. The first card is for the HMM170 module, the second for the HMP110 sensor, and the third for the HMM100 module. The HMM100 module card is circled in red. Each card includes a photograph of the sensor and a brief description of its features and applications.

Figuur 102: De selectie van de capacitieve vochtsensor bij fabrikant Vaisala (deel 2)

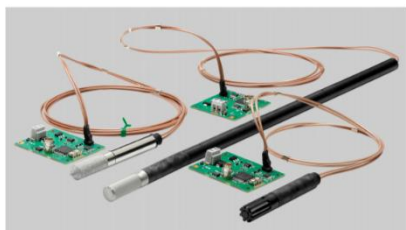
De HMM100- serie heeft volgende kenmerken:

- Volledige temperatuurcompensatie over het bedrijfstemperatuurbereik van -70°C tot $+180^{\circ}\text{C}$.
- Tolerantie op hoge temperatuur, ook geschikt voor sterilisatie door hitte.
- Uitstekende meetnauwkeurigheid met Vaisala HUMICAP® 180R-sensor.
- Duurzaam gemakkelijke veldkalibratie door trimmers.

De HMM100-serie bestaat uit twee verschillende modellen, namelijk een sonde gemaakt uit roestvrijstaal en één vervaardigd uit kunststof. De kunststoffen sonde kan verkregen worden in standaardmaat of een uitgebreide maat. Het verschil tussen beide sondes is dat de roestvrijstalen sonde meer bestand is tegen agressievere omgevingen. Gezien de betere robuustheid en het feit dat de sensor in de procesruimte zelf geplaatst wordt, werd gekozen voor een 'stainless steel probe'.

VAISALA

HMM100 Humidity Module
For Environmental Chambers



Features

- Full temperature compensation over the operating temperature range of -70 °C ... +180 °C (-94 °F ... +356 °F)
- High temperature tolerance, also suitable for heat sterilization
- Vaisala HUMICAP® 180R sensor
- Easy field calibration by trimmers
- Applications: test chambers, incubators

Vaisala HUMICAP® Humidity Module HMM100 is an open frame module for integration into environmental chambers. The module provides a single analog output channel for relative humidity (RH) or dew point (T_d).

Benefits

- Excellent measurement accuracy
- Low-maintenance
- Easy to install
- Durable

Robust and Reliable

The HMM100 probe works in freezing conditions (-70 °C (-94 °F)) and also in temperatures up to +180 °C (+356 °F). HMM100 is easy to install and the probe can be freely placed in a test chamber as the speed of airflow does not affect the measurement.

Accessories

The accessories available are a component board mounting bracket with a lid, probe clamp, USB cable for service use, a module housing, and a probe mounting flange.

Two types of probes are available, one

Figuur 103: Een printscreen uit de datasheet van Vaisala

(Vaisala, 2020); (Verhertbrugge, 3 klimatisatie, 2018)

15 De regeling

De gebruikte onderdelen voor de regeling van de kast werden opgegeven door het bedrijf. Dit aangezien de gebruikte controller nieuw is op de markt. Door het inbouwen in de klimaatkast wil Climatronix nagaan of deze controllers eventueel gebruikt zouden kunnen worden in toekomstige klimaatkasten.

De regeling van de klimaatkast geschiedt via de TM221ME32TK, dit is de PLC waarin alle regeling gebeurt. Deze PLC is voorzien van 8 digitale ingangen, 8 digitale uitgangen en 2 analoge ingangen. Voor de uitlezing van de vochtsensor en de temperatuursensor zijn er twee analoge ingangen nodig. Aangezien de vochtsensor werkt via 4-20ma-signalen en de analoge ingangen van de PLC werken met signalen van 0-10V, was het nodig om een analoge ingangskaat bij te bouwen. De kaart die hiervoor gebruikt wordt is de TM3TI4. De gebruikersinstellingen van temperatuur en vochtgehalte gebeuren via het touchpad PFXGP4114T2D.

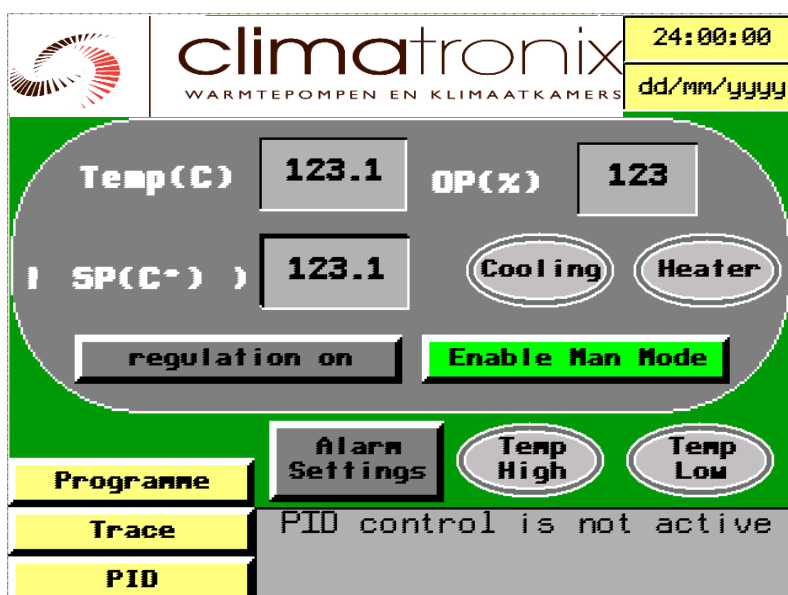
Dit systeem wordt gebruikt voor langzame klimaattesten te monitoren en biedt de mogelijkheid voor de klant om een proces te simuleren tot één vast setpoint zonder gebruik te maken van het geschreven programma. Daarnaast zijn de processen die geregeld kunnen worden met deze controller van het trage type. Het is dus niet mogelijk om deze regeling bij een snel proces, zoals dit bij een dynamische klimaatkast het geval is, te gebruiken.

Het gebruikte systeem kan ook in manuele modus gebruikt worden, dit wanneer bijvoorbeeld het thermokoppel defect is. Indien dit het geval is kan er handmatig een vaste output voor het systeem geplaatst worden om op die manier een stabiele situatie te verkrijgen tot de sonde vervangen wordt.

De gebruikte onderdelen worden hieronder verder besproken.

15.1 De PFXGP4114T2D

Deze component is het touchpad dat gebruikt wordt om het gewenste klimaat in te stellen. Dit scherm dient apart geprogrammeerd te worden via de software Blue. De touchpad bestaat uit 6 schermen en 4 pop-up vensters. Hieronder worden de verschillende functies van het scherm uitgelegd.

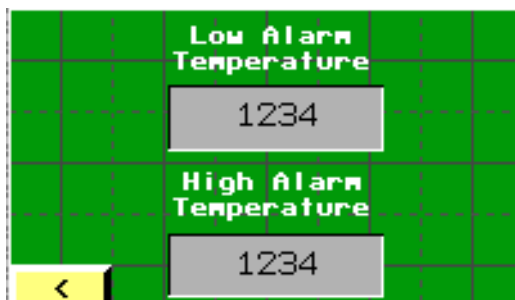


Figuur 104: Het hoofdscherm

Wanneer de klimaatkast wordt opgestart wordt het bovenstaande hoofdscherm gevisualiseerd. Het scherm dat op de afbeelding getoond wordt is het scherm dat te zien is wanneer de kast enkel moet koelen of verwarmen. De vocht- en ontvochtigingsregeling werkt op identiek dezelfde manier en wordt toegevoegd aan het bovenstaande hoofdscherm. De temperatuur wordt weergegeven naast de temp- tekst en het setpoint wordt weergegeven naast de SP-tekst. Het OP-tekstgedeelte op het scherm staat voor de uitgestuurde output. Deze output is negatief indien er gekoeld moet worden en positief wanneer er verwarming gevraagd wordt. Tegelijkertijd zal het symbool van de koeling of van de verwarming groen oplichten afhankelijk van welke functie aangestuurd werd.

Het setpoint kan enkel ingesteld worden als er geen programma loopt, wanneer het programma eenmaal loopt kan het ingestelde punt niet gewijzigd worden.

De regeling is ook uitgerust met een alarm, om dit in te stellen moet de alarminstelmingsknop aangeduid worden op het hoofdscherm. Wanneer dit gebeurt verschijnt er een pop-up zoals op onderstaande afbeelding.

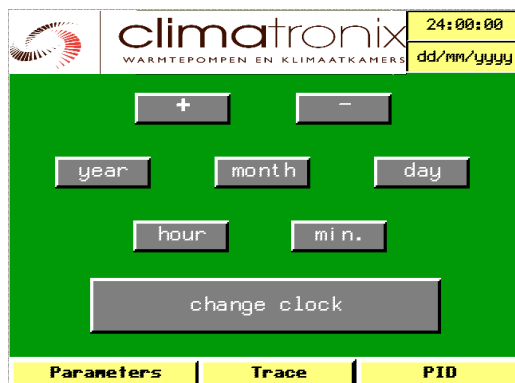


Figuur 105: Hoog- en laagtemperatuuralarm

De pop-up toont een lage en hoge alarmtemperatuur. De alarmtemperatuur is de temperatuur waarbij alle uitgangen op 0% geplaatst worden wanneer de proceswaarde de grens overschrijdt. Wanneer de

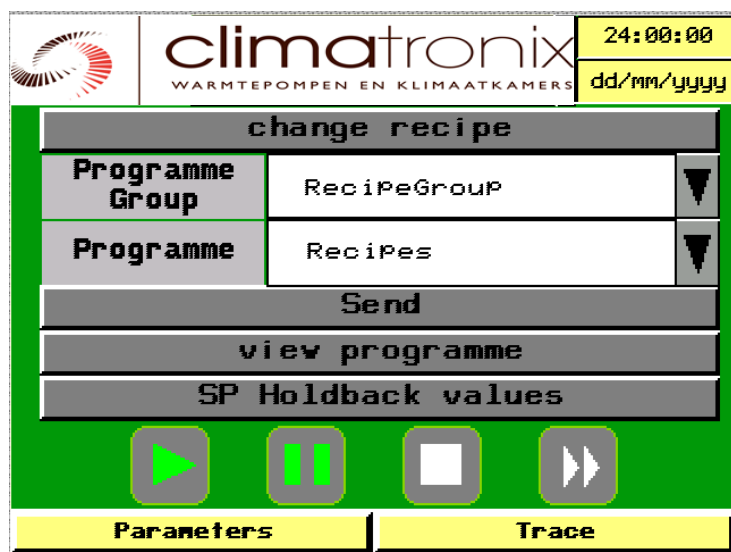
temperatuur te hoog wordt, dan zal het hoge-temperatuuralarm inschakelen en wanneer de temperatuur te laag wordt, dan zal het lage- temperatuuralarm duiding geven. Om het alarmsignaal te geven zal de temperatuurweergave rood respectievelijk blauw kleuren.

Een extra functie van het touchpad is de instelling van de tijd en datum, dit kan gebeuren door 3 seconden op de klok te duwen. Hierbij wordt onderstaand scherm getoond.



Figuur 106: De instelling van tijd en datum

Via de programmaknop wordt de gebruiker omgeleid naar onderstaand programmascherm.



Figuur 107: Het programmamenu

In het menu 'Programme Group' is het mogelijk om een bestaande programmagroep te selecteren. Hierna is het mogelijk om een bestaand programma van de geselecteerde programmagroep op te roepen. Dit principe van programmagroep en programma wordt ook gebruikt bij bakovens. Hierbij is 'taart' de programmagroep en 'appeltaart' of 'flantaart' zijn in dit geval programma's uit de programmagroep. Via de knop 'Send' is het mogelijk om het gewenste programma te verzenden naar de PLC.

De knop 'view programme' genereert een pop-up zoals te zien is op onderstaande afbeelding.

		Active Segment 12					
	Seg1	Seg2	Seg3	Seg4	Seg5	Seg6	
PSP	123	123	123	123	123	123	
Time	123	123	123	123	123	123	
HLBCH	off	off	off	off	off	off	
HLBCL	off	off	off	off	off	off	

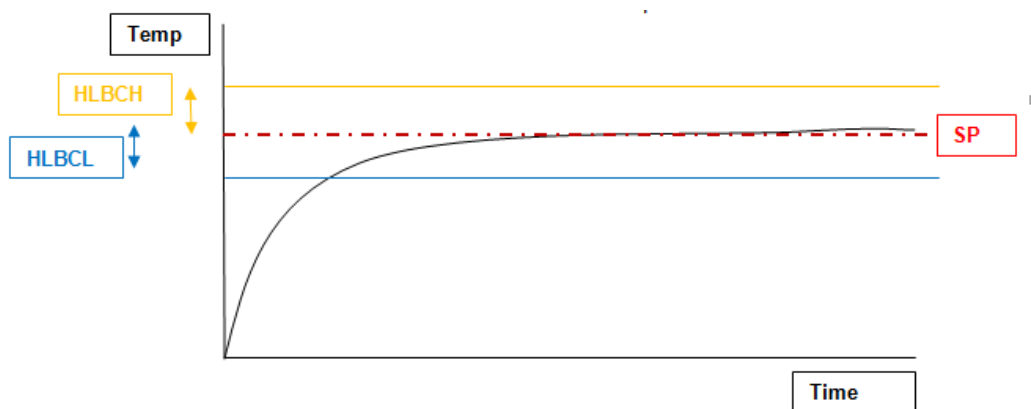
	Seg7	Seg8	Seg9	Seg10	Seg11	Seg12
PSP	123	123	123	123	123	123
TIME	123	123	123	123	123	123
HLBCH	off	off	off	off	off	off
HLBCL	off	off	off	off	off	off

Figuur 108: De verschillende segmenten

Deze pop-up visualiseert het actieve programma in de PLC, dit programma is opgebouwd uit segmenten. Hierbij geeft de 'PSP'-aanduiding het setpoint weer en de aanduiding 'Time' laat de tijd van het segment van het programma zien.

Verder staat er in deze pop-up ook nog de aanduiding 'HLBCH' en 'HLBCL', deze aanduidingen staan voor holdback. Wanneer de gewenste proceswaarde niet in het bereik ligt van de proceswaarde verminderd of vermeerderd met de holdbackwaarde, dan zal het programma niet naar het volgende segment gaan. Wanneer dit het geval is zal het programma in een 'hold'-situatie komen totdat de proceswaarde in het bereik van het setpoint verminderd of vermeerderd met de holdbackwaarde komt. Dit resulteert in een extra tijd van het programma, deze holdback kan worden geselecteerd per segment.

In de pop-up spreekt men van 'HLBCH' en 'HLBCL', de betekenis en het doel van deze waarden worden verder uitgelegd via onderstaande grafiek.



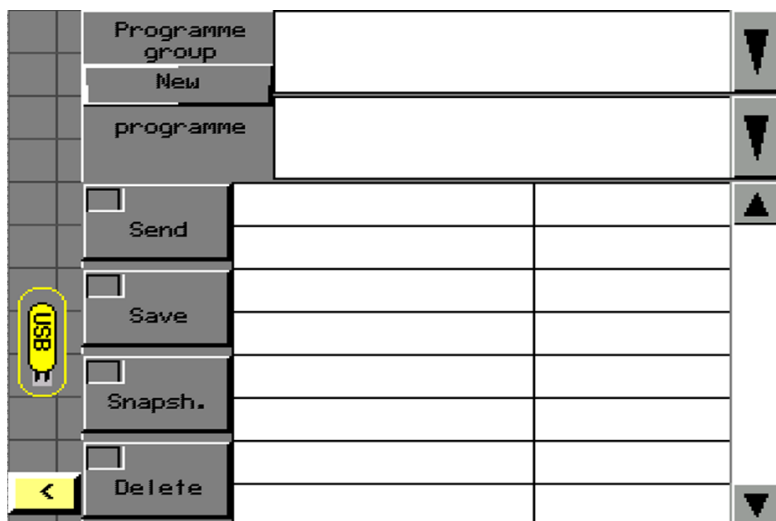
Figuur 109: De HLBCH en HLBCL weergegeven in een grafiek

In deze grafiek wordt de status van de holdbackfunctie weergegeven. Wanneer de 'HLBCH' is geactiveerd, dan gaat het programma pas naar het volgende segment als de proceswaarde zich in de bovenste band

(tussen 'HLBCH' en 'SP') bevindt. Als de 'HLBCL' wordt geactiveerd, dan gaat het programma alleen naar het volgende segment wanneer de proceswaarde zich tussen de 'HLBCL'-lijn en de 'SP'-lijn bevindt.

Wanneer noch de 'HLBCH'-, noch de 'HLBCL'-functie geselecteerd zijn in hetzelfde segment, dan gaat het programma naar het volgende segment als de tijd verstreken is. Dit betekent dat het programma naar het volgende segment gaat, zelfs wanneer de proceswaarde zich niet binnen de grenzen, afgebakend door de 'HLBCH' en 'HLBCL', bevindt. Deze grenswaarden worden ingesteld door 'SP Holdback value' aan te duiden op het scherm.

Tenslotte heeft het menu op het scherm ook een toets 'change recipe', deze toets genereert onderstaand scherm:



Figuur 110: Het 'change recipe'-menu

Wanneer er een programmagroep en een programma geselecteerd wordt, dan kan het geselecteerde programma naar de PLC gestuurd worden. De gewijzigde waarden kunnen opgeslagen worden via de knop 'Save'. De knop 'Snapsh.' staat voor snapshot en maakt een momentopname van de programmawaarden in de PLC. De 'Delete'-knop zorgt er dan weer voor dat het programma uit het interne geheugen verwijderd wordt. Tenslotte kan er ook nog een nieuw programma gemaakt worden via de knop 'New'. De instellingen van de recepten kunnen worden gewijzigd en gecontroleerd via de Vijeo designer.

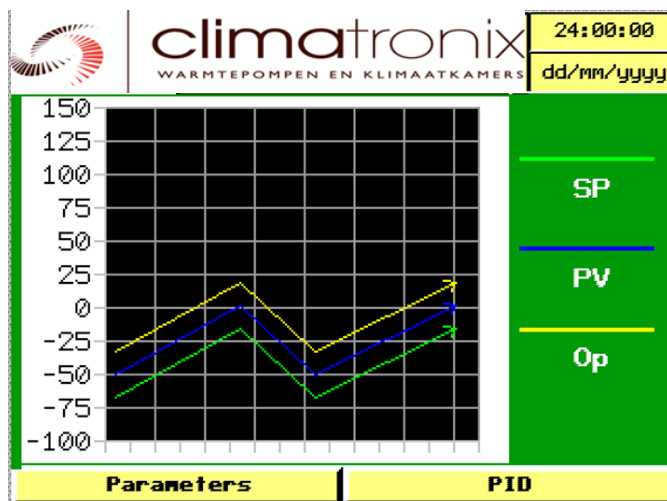
Het symbooltje van de USB op bovenstaande afbeelding is ook een knop. De knop brengt de gebruiker naar een nieuwe pop-up:



Figuur 111: Pop-up voor het overzetten van software

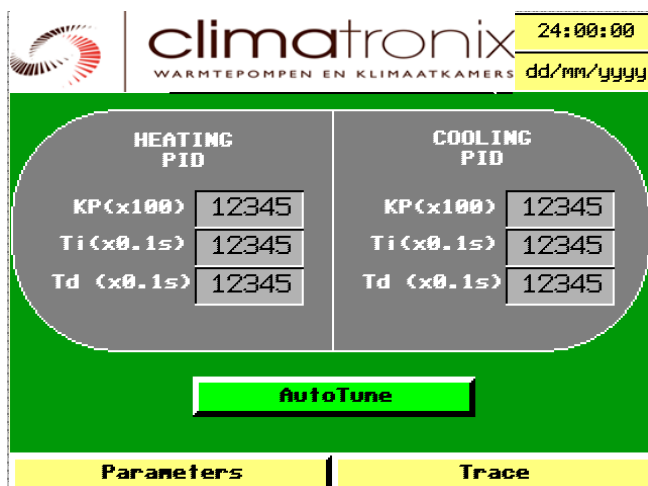
Deze pop-up toont, zoals te zien is op bovenstaande afbeelding, rechts een USB-stick en links het touchpad. De twee pijlen betekenen ofwel het programma overzetten van touchpad naar usb-stick (bovenstaande pijl), ofwel het programma overzetten van USB-stick naar touchpad (onderstaande pijl). Deze laatste functie kan handig zijn om het programma van de ene klimaatkast te kopiëren naar een andere klimaatkast.

Wanneer er op de knop 'Trace' gedrukt wordt krijgt de gebruiker de trendlijn te zien van het setpoint (SP), de proceswaarde (PV) en de output (Op) dit alles in functie van de tijd. De output uitgedrukt in procent en de SP en PV uitgedrukt in graden Celsius.



Figuur 112: Het 'Trace'-menu met de trendlijnen

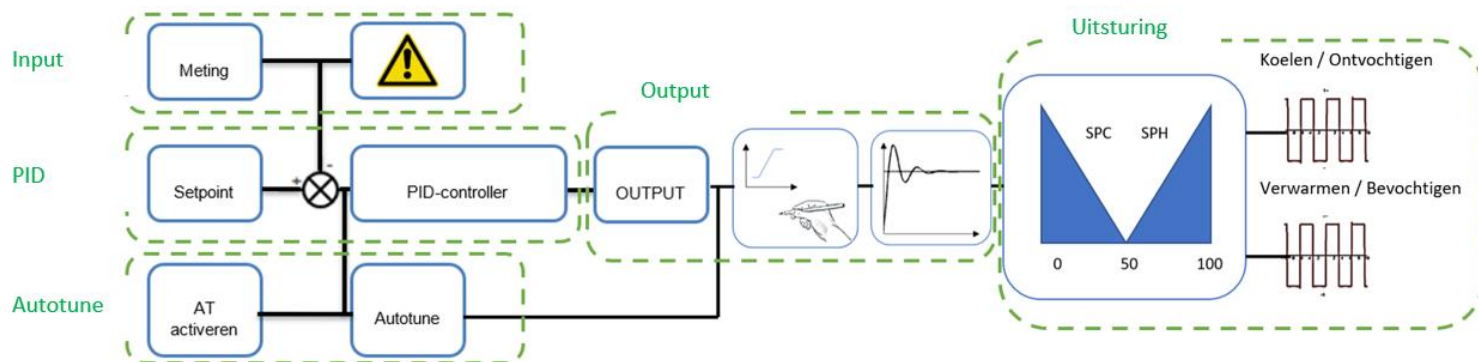
De laatste knop op het scherm is de 'PID'-knop, ook het gebruik van deze knop zal de gebruiker omleiden naar een nieuwe pagina:



Figuur 113: De PID-instellingen

15.2 De TM221ME32TK

De TM221 PLC's worden geprogrammeerd in ladderstructuur. De programmatie werd uitgevoerd door een meet- en regeltechnicus van Isotron die samenwerkt met het bedrijf. De programmatie kan grofweg uitgelegd worden via onderstaand blokschema.



Figuur 114: Blokschema ter verduidelijking van de programmatie

Bovenstaand schema verduidelijkt de principiële werking van de stuurunit. Dit wordt van links naar rechts doorlopen door de sturing.

Allereerst wordt er via de sensoren een meting gedaan, hierbij wordt er gecontroleerd of de gemeten waarde niet buiten de grenzen ligt. Wanneer dit het geval is worden alle systemen op 0% uitsturing geplaatst. Wanneer de meting goed bevonden is, dan wordt deze gemeten waarde vergeleken met de gewenste waarde, ook wel het setpoint genoemd. Het verschil tussen deze twee waarden wordt de fout genoemd, deze fout wordt doorgestuurd naar de PID-regelaar. Hierbij kan de regelaar handmatig ingesteld zijn, maar dit kan ook gebeuren via de autotunefunctie. Wanneer het handmatig gebeurt moet de gebruiker zelf de P-, de I- en de D-waarde instellen. De autotunefunctie berekent zelf deze drie waarden afhankelijk van de toepassing en stelt de PID-regelaar automatisch in.

Vervolgens wordt er een output gegenereerd, deze output kan een waarde zijn van 0 tot 100. Om te voorkomen dat de verwarming tegelijk met de koeling ingeschakeld zou worden, wordt de koeling ingeschakeld met een waarde tussen 0 en 50 en de verwarming met een waarde tussen 50 en 100. Hoe groter de uitgestuurde waarde hoe groter de aanwezige fout. Dit principe wordt ook gebruikt voor de ontvochtiging en bevochtiging. Hierbij wordt eerst de temperatuur binnen bepaalde grenzen ingeregeld, hierna pas wordt de bevochtiging of ontvochtiging van de proceslucht gestart.

(Schneider electric, 2020)

16 Elektrische aansluiting

16.1 Gebruikte veiligheidsorganen

De klimaatkast is voorzien van enkele veiligheidsorganen die de gebruikte systemen beschermen tegen beschadiging. De gebruikte veiligheidsorganen zijn:

- Pressostaat.
- Overtemperatuurbeveiliging.
- Deurcontact.

16.1.1 Pressostaat

Pressostaten zijn elektrische schakelaars die geschakeld worden door het inkrimpen of uitzetten van een balg. Deze balg is rechtstreeks verbonden aan de drukhouder. Hierdoor wordt de druk in de condensor of verdamper overgebracht naar de balg en zorgt deze druk voor het inkrimpen en uitzetten ervan. De in- en uitschakeldrukken kunnen ingesteld worden op de pressostaat door gebruik te maken van damptabellen. Bij pressostaten zijn er twee waarden die ingesteld moeten worden, een uitschakeldruk en een differentie. De uitschakeldruk is de druk waarbij het contact omgeschakeld moet worden. De differentie zorgt voor grenzen zodat de pressostaat niet constant het contact omschakelt ten gevolge van een lichte daling of stijging van de druk. Verder zijn er verschillende soorten pressostaten, namelijk:

- Lagedrukpressostaten.
- Hogedrukpressostaten.
- Combinatie HD- en LD- pressostaten.
- Differentiaalpressostaten.

16.1.1.1 Lagedrukpressostaten

Lagedrukpressostaten beschermen de installatie tegen te lage zuigdrukken. Een te lage zuigdruk kan het gevolg zijn van een berijpte verdamper of een verstopping door ijsafzetting in de doorlaat van het expansieventiel of vervuiling in de filterdroger. Hierdoor stroomt er te weinig koelmiddel naar de verdamper. Zonder deze pressostaat zou de compressor oververhitten en zal de snelle drukdaling hevige schuimvorming met risico op olieslag veroorzaken. Wanneer de druk te laag zou worden zal de lagedrukpressostaat het contact omschakelen. De koelgroep zal nu pas ingeschakeld kunnen worden als de druk gestegen is tot de uitschakeldruk vermeerderd met de differentie.

16.1.1.2 Hogedrukpressostaten

Hogedrukpressostaten beveiligen de installatie tegen te hoge persdrukken. Deze pressostaten worden veel gebruikt bij watergekoelde condensoren maar komen ook bij luchtgekoelde condensoren veel voor. Ze worden afgesteld op de hoogst toelaatbare druk, dit is meestal 2 tot 3 bar boven de werkdruk. Hogedrukpressostaten zijn ook uitgerust met een differentie, wanneer de druk te hoog oploopt, dan zal de pressostaat het contact omschakelen. Vooraleer de koelgroep nu gestart kan worden, moet de druk dalen

tot de ingestelde uitschakeldruk vermindert met de differentie. Om het pendelen van de compressor tegen te gaan zijn deze pressostaten met een vergrendeling uitgerust. Wanneer de drukken weer gedaald zijn en de pressostaat het inschakelen toelaat moet de gebruiker eerst op deze knop drukken om te bevestigen dat de koelgroep mag inschakelen.

16.1.1.3 Combinatie HD- en LD- pressostaten

Dit is de combinatie van een lagedruk- en een hogedrukpressostaat. Dit toestel is zowel aangesloten aan de zuig – als perszijde van de compressor.

16.1.1.4 Differentiaalpressostaat

Deze pressostaten zijn ontworpen voor het beveiligen van compressoren die werken met een oliepomp.

(Verhertbrugge, 5 koeltechniek, 2019)

16.1.1.5 De selectie

Voor het selecteren van een pressostaat zijn onderstaande gegevens nodig:

Condensatiedruk: 10,176 bar

Verdampingsdruk: 3,147 bar

Bovenstaande drukken zijn de werkdrukken van de koelgroep, bij deze drukken mag de pressostaat dus niet schakelen. De pressostaat werd, net zoals de meeste koeltechnische onderdelen, besteld bij ECR. Deze groothandel biedt pressostaten aan van verschillende merken, om het aantal fabrikanten beperkt te houden werd gekozen voor het merk Danfoss. De hoge en lage druk zullen binnengebracht worden in de pressostaat via een flexibele slang, daarom werd er gekozen voor een pressostaat met een flairaansluiting van 1/4". Het contact van de pressostaat is verbonden met de input van de regelaar, wanneer de drukken niet goed bevonden worden, dan zal de kast een foutmelding genereren en zal de test niet kunnen starten.

Type (2)	Druk	Lage druk bereik bar	Lage druk differentie bar	Hoge druk bereik bar	Hoge druk differentie bar	Reset lage druk	Reset hoge druk	Bestelnr. Danfoss	No.	Prijs
Voor niet corrosieve koudemiddelen - IP 33 - 1/4" flare aansluiting										
KP1 pressostaat	Laag	-0,2 tot +7,5	+0,7 tot +4,0	-	-	Aut.	-	060-110166	7649887 (N460-7200)	€ 92,60
KP1 pressostaat	Laag	-0,9 tot +7,0	Vast +0,7	-	-	Man.	-	060-110366	4800060 (N460-7210)	€ 99,10
KP2 pressostaat	Laag	-0,2 tot +5,0	+0,4 tot +1,5	-	-	Aut.	-	060-112066	5988570 (N460-7224)	€ 92,60
KP5 pressostaat	Hoog	-	-	+8,0 tot +32,0	+1,8 tot +6,0	-	Aut.	060-117166	2523155 (N460-7230)	€ 92,60
KP5 pressostaat	Hoog	-	-	+8,0 tot +32,0	Vast +3,0	-	Man.	060-117366	1668863 (N460-7240)	€ 99,10
KP15 pressostaat	DUO	-0,2 tot +7,5	+0,7 tot +4,0	+8,0 tot +32,0	Vast +4,0	Aut.	Aut.	060-124166	6147966 (N460-7250)	€ 176,00
KP15 pressostaat	DUO	-0,9 tot +7,0	Vast +0,7	+8,0 tot +32,0	Vast +4,0	Conv. (1)	Conv. (1)	060-126166	3806015 (N460-7255)	€ 188,00
KP15 pressostaat	DUO	-0,2 tot +7,5	+0,7 tot +4,0	+8,0 tot +32,0	Vast +4,0	Aut.	Man.	060-126466	8007082 (N460-7260)	€ 188,00
KP15 pressostaat	DUO	-0,2 tot +7,5	+0,7 tot +4,0	+8,0 tot +32,0	Vast +4,0	Aut.	Aut.	060-126566	3762660 (N460-7265)	€ 188,00
KP15 pressostaat	DUO	-0,2 tot +7,5	+0,7 tot +4,0	+8,0 tot +32,0	Vast +4,0	Conv. (1)	Conv. (1)	060-115466	7803639 (N460-7270)	€ 188,00

Figuur 115: Selectietabel voor de pressostaat

16.1.2 Overtemperatuurbeveiliging

Om de producten in de klimaatkast te beschermen tegen te hoge temperaturen, wordt er gebruik gemaakt van een overtemperatuurbeveiliging. Dit is een elektrisch contact dat door middel van een balg geschakeld wordt. De hoogste temperatuur die de kast kan behalen is 45°C, maar indien er cruciale onderdelen zoals de ventilator, het thermokoppel, de solid state relais of de elektrische weerstand zouden falen, dan zou deze temperatuur zo hoog kunnen oplopen dat de testproducten beschadigd worden. Wanneer dit het geval is, dan zal deze beveiliging ervoor zorgen dat alle uitgangen op 0% uitsturing geplaatst worden. Aangezien de hoogst toegelaten temperatuur 45°C is, werd besloten om de systemen uit te schakelen wanneer de temperatuur 10°C hoger zou worden dan deze 45°C. Net zoals de onderdelen van het koeltechnisch circuit werd ook deze component besteld bij ECR. Deze biedt overtemperatuurbeveiligingen aan van het merk JUMO, er werd gekozen voor een ingebouwd type. De selectie gebeurde via onderstaande tabel:

Artikelnummer	Product omschrijving	Prijs/stuk
60000211 	Type: JUMO inbouwthermostaat, serie EM Type specificatie: EM-5 temperaturbegrenzer TB, 1-polig Regelbereik (TW): 50..300°C Capillairlengte: 1000mm	Prijs aanvragen
60000213 	Type: JUMO inbouwthermostaat, serie EM Type specificatie: EM-2 temperatuurbewaker TW, 1-polig Regelbereik (TW): 0..150°C Capillairlengte: 2000mm	Prijs aanvragen
60000214 	Type: JUMO inbouwthermostaat, serie EM Type specificatie: EM-2 temperatuurbewaker TW, 1-polig Regelbereik (TW): 0..50°C Capillairlengte: 1000mm	Prijs aanvragen
60000215 	Type: JUMO inbouwthermostaat, serie EM Type specificatie: EM-1 temperatuurregelaar TR, 1-polig Regelbereik (TW): 0..100°C Capillairlengte: 1000mm	Prijs aanvragen
60000216 	Type: JUMO inbouwthermostaat, serie EM Type specificatie: EM-1 temperatuurregelaar TR, 1-polig Regelbereik (TW): 50..250°C Capillairlengte: 2000mm	Prijs aanvragen
60000217 	Type: JUMO inbouwthermostaat, serie EM	Prijs aanvragen

Figuur 116: Selectietabel voor de overtemperatuurbeveiliging

Bij deze beveiligingen wordt er ook een onderscheid gemaakt in capillairlengte, aangezien de elektrische kast zich juist onder de procesruimte bevindt, werd gekozen voor een capillair van 1000mm. Deze component zal net zoals de pressostaat een input vormen voor de regelaar, daarom was een 1-polig contact voldoende. Bij de klimaatkast werden er twee van deze beveiligingen ingebouwd, één beveiliging werd bij het thermokoppel en de capacatieve vochtvoeler in de luchtstroom geplaatst en de andere werd bij de elektrische weerstand tussen de vloerplaat en de vloer van de procesruimte geplaatst. Dit werd gedaan om een soort redundantie te creëren.

16.1.3 Deurcontacten

Oorspronkelijk was de klimaatkast niet uitgerust met deurcontacten, dit betekende dat de gebruiker de kast kon openen zonder dat de test gestopt werd. Voor de veiligheid van de gebruiker werd er tijdens de retrofit een deurcontact ingevoegd. Dit contact is ook verbonden met de input van de regelaar en zal alle systemen uitschakelen van zodra iemand de deur van de procesruimte opent. Daarnaast wordt de opening van de deur ook geregistreerd door de regelaar, dit voor testen logging.

16.2 De verschillende elektrische onderdelen

Vooraleer de voeding en de verschillende veiligheden geselecteerd konden worden, was het belangrijk om te weten voor welke stromen ze ontworpen moesten worden. Daarvoor werd er een vermogensbalans opgemaakt.

Voorlopige vermogensbalans aansluitspanning 230VAC

VERBRUIKER	AANTAL	VERBRUIK (INCLUSIEF AANLOOPSTROOM)
VENTILATOR	1	3,44 A
COMPRESSOR	1	7,2 A
KLEP	1	0,19 A
ONTVOCHTIGING		
KLEP KOELING	1	0,19 A
ELEKTRISCHE WEERSTAND	1	2,172 A
BEVOCHTIGER	1	0,58 A
VERLICHTING	2	0,260 A

Tabel 22: Voorlopige vermogensbalans

16.2.1 De contactor

Buiten de verlichting moeten alle onderdelen uit bovenstaande tabel aangestuurd worden via contactoren. Deze componenten werden net zoals de sturing besteld bij de fabrikant Schneider Electric. Voor de selectie van de contactor waren onderstaande gegevens nodig:

Maximaal schakelvermogen: 7,2 A

Doorschakelspanning: 230VAC

Aanstuurspanning: 24VDC

Aantal contacten: 3

Via bovenstaande gegevens werd de contactor LC1D09P7 geselecteerd. Gezien het feit dat 9A het laagste schakelvermogen is in het aanbod van de fabrikant, en gezien het feit dat er wel degelijk drie contacten nodig zijn, werd besloten om dit type contactor te gebruiken voor de vijf systemen. Op die manier blijft ook het aantal onderdelen beperkt, dit biedt vele voordelen bij het onderhoud aan de kast. Hieronder werden de specificaties van deze component nogmaals opgesomd.

Kenmerk	Waarde
Spoelspanning	24 V gelijkstroom
Aantal Polen	3
Contact Huidige beoordeling	9 A
Vermogen	4 kW
Bereik	TeSys D
Serie	LC1D
Configuratie van de normale toestand	3NO
Contactspanning	690 V ac
Aantal hulpcontacten	2
Terminaltype	Schroef
Minimale bedrijfstemperatuur	-5 ° C
Diepte	93mm
Maximale bedrijfstemperatuur	+ 60 ° C



Figuur 117: Technische eigenschappen van de contactor

16.2.2 De voeding

Zoals eerder vermeld moet de sturing gevoed worden met 24VDC. Daarom werden ook de contactoren hierboven geselecteerd voor een stuurspanning van 24VDC. Daarnaast moet ook de vochtsensor gevoed worden met 24VDC. Aangezien de klimaatkast gevoed dient te worden met 230VAC was het nodig om een voeding in te bouwen voor het gelijkspanningsgedeelte van de kast. Om deze voeding te selecteren moest eerst bepaald worden hoeveel stroom de voeding moet kunnen leveren. Daarvoor werd onderstaande vermogensbalans opgesteld:

VERBRUIKER	AANTAL	VERBRUIK
VOCHTSENSOR EN THERMOKOPPEL	1	0,008 A
REGELING	1	0,208 A
CONTACTOREN	5	1,125 A
SOLID STATE RELAIS	1	0,003 A

Tabel 23: Vermogensbalans gelijkspanningsgedeelte

Wanneer deze verbruiken opgeteld worden, dan resulteert dit in een stroom van 1,344A. Net als al het ander elektrisch materiaal wordt ook de voeding besteld bij Cebeo. Deze webshop biedt voedingen aan die geschikt zijn voor machinebouw van het merk 'Phoenix Contact'. De kleinste voeding die beschikbaar was in deze reeks was de voeding 'TRIO-PS/1AC/24DC/ 5'. Deze voeding werd besteld voor het stuurgedeelte van het elektrische circuit.

16.2.3 De beveiligingen

Als beveiliging tegen overstroom, veroorzaakt door overbelasting of kortsluiting, wordt er in het elektrische circuit gebruik gemaakt van een automaat.

De karakteristiek van een automaat bestaat uit twee gebieden:

- Allereerst uit het thermische gedeelte, dit is het gedeelte waarbij het schakelcommando afkomstig is van het bimetaal met een schakeltijd van minimaal 0,1s. Dit thermische gedeelte beveiligt tegen overbelasting.
- Het tweede gedeelte is het magnetische gedeelte, hierbij wordt het schakelcommando gegeven door de elektromagneet met schakeltijden van maximaal 0,1 s. Dit gedeelte beveiligt tegen kortsluiting.

Vanaf welke stroomsterkte een automaat magnetisch reageert hangt af van het type karakteristiek, men onderscheidt:

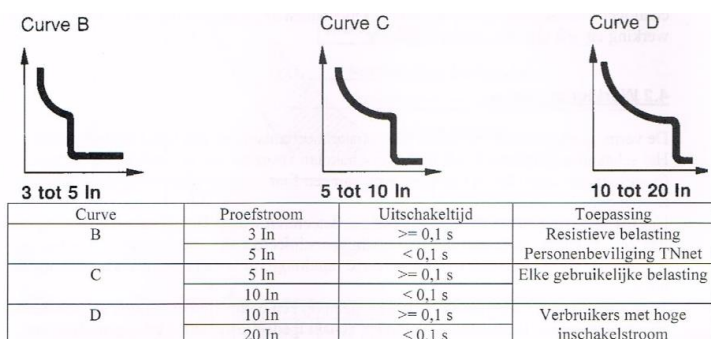
B- curve

C-curve

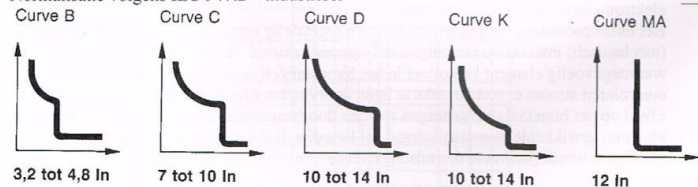
D-curve

Wanneer men te maken heeft met industriële elektriciteit, dan bestaan er nog twee extra curves namelijk de K en de MA- curve. Aangezien deze enkel geschikt zijn voor industriële elektrische toepassingen worden deze twee curven buiten beschouwing gelaten.

Bij de selectie van het soort curve is het eerst belangrijk om de nominale stroom te kennen. De nominale stroom is de stroom die de vermogensschakelaar onbepaald in de tijd moet kunnen voeren zonder uit te schakelen. Onderstaande afbeelding verduidelijkt het verschil tussen de verschillende curves.



Normalisatie volgens IEC 947.2 – industrieel



Figuur 118: De verschillende curves

Vervolgens is het belangrijk om de nominale stroom te weten, dit werd reeds gedeeltelijk bepaald door een voorlopige vermogensbalans op te stellen. De enige verbruiker die deze balans nog ontbrak was de voeding, zodat onderstaand resultaat wordt bekomen.

VERBRUIKER	AANTAL	VERBRUIK (INCLUSIEF AANLOOPSTROOM)
VENTILATOR	1	1,82 A
COMPRESSOR	1	5,2 A
KLEP	1	0,19 A
ONTVOCHTIGING		
KLEP KOELING	1	0,19 A
ELEKTRISCHE WEERSTAND	1	2,172 A
BEVOCHTIGER	1	0,58 A
VERLICHTING	2	0,260 A
VOEDING	1	1,2 A

Tabel 24: Volledige vermogensbalans

Het totaal van bovenstaande tabel is de nominale stroom die de vermogensschakelaar onbepikt in de tijd moet kunnen laten vloeien zonder af te schakelen. Deze nominale stroom bedraagt: 13,952 A. Nu deze stroom gekend is kan er een curve en kaliber gekozen worden.

Aangezien de C-curve voor gebruikelijke belastingen is en geschikt is voor kleine tot middelgrote inschakelstromen, werd deze curve gekozen. Het kaliber werkt in functie van de nominale stroom vastgelegd op 16A, dit werd gedaan via onderstaand overzicht:

0,5	1	2	4	6	10	16	20	25	32	40	50
63	125	160	250	400	630	800	1250				
(Alle waarden in Ampère – nog meer varianten mogelijk)											

Figuur 119: De verschillende kalibers voor automaten

Deze automaat werd net zoals het meeste elektrische materiaal besteld bij Cebeo. Er werd gekozen voor een tweepolige automaat van 16A met curve C van het merk Schneider Electric.



Figuur 120: Printscren van de geselecteerde automaat

16.2.4 De smeltzekering

Dit is een overstroombeveiliging die door het doorsmelten van een smeltelement de stroom onderbreekt wanneer deze een bepaalde waarde gedurende een bepaalde tijd overtreft. Deze veiligheid werd in het elektrisch circuit geïntegreerd om de transformator en de voeding te beveiligen. Daarnaast werd er ook een smeltzekering geplaatst om de ultrasoonbevochtiger te beveiligen, dit aangezien deze component vrij duur is in aankoop. Een vierde en laatste smeltzekering werd geplaatst direct na de voeding, dit ter beveiliging van het gelijkspanningsgedeelte van het circuit.

Smeltveiligheden worden volgens de normen ingedeeld volgens bedrijfsklassen. De bedrijfsklassen bestaan uit een combinatie van functieklassen en gebruiksklassen.

De functieklassen zijn een verwijzing naar het stroombereik dat de veiligheid kan uitschakelen

- g: (general purpose of total bereik)
De g- klasse is bedoeld om overbelastingen en kortsluitingen te onderbreken.
- a: (accompanied of deelbereikbeveiliging).
De a -klasse is bedoeld om overbelastingen en kortsluitingen te onderbreken in combinatie met andere overstroombeveiligingen.

De gebruiksklassen hebben betrekking op de toestellen waarvoor de smeltveiligheid gebruikt wordt.

- M voor motoren
- R voor halfgeleiders
- Tr voor transformatoren
- B voor mijnbouw
- I of II (Engeland) of L (Duitsland) voor leidingen.

De standaard IEC 60127 voorziet in vijf typen zekering: FF, F, M, T, TT. Ieder type is gedefinieerd volgens de tijd die nodig is om 10x de nominale stroom uit te schakelen.

- FF (supersnel): max. 12 ms
- F (snel): max. 20 ms
- M (normaal): min. 5 ms, max. 90 ms
- T (traag): min. 10 ms, max. 300 ms
- TT (supertraag): min. 100 ms, max. 4 s

De smeltveiligheden ter beveiliging van de transformator van de ultrasoonbevochtiger werden door de fabrikant vastgelegd op een kaliber van 10A met een trage curve.

De voeding en de transformator worden beveiligd via smeltzekeringen. Deze zekeringen worden, gezien de nominale stroom, vastgelegd op een kaliber van 4A met een trage curve. De trage curve werd gekozen aangezien de veiligheid niet steeds dezelfde stroom moet beveiligen, maar deze sterk afhankelijk is van de situatie.

(Van Goethem, 2017)

16.3 Kabelsectieberekening

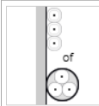
Voor het berekenen van de benodigde kabelsectie voor de bekabeling van de klimaatkast moet rekening gehouden worden met de stromen die door deze kabels zouden kunnen vloeien. Hiervoor werd het elektrisch gedeelte opgedeeld in een vermogensgedeelte met een voedingsspanning van 230VAC en een stuurgedeelte met een voedingsspanning van 24VDC. In de tabel hieronder werden de verschillende verbruiken van de verbruikers opgesomd.

VERBRUIKER	AANTAL	VERBRUIK (INCLUSIEF AANLOOPSTROOM)
VENTILATOR	1	1,82 A
COMPRESSOR	1	5,2 A
KLEP	1	0,19 A
ONTVOCHTIGING		
KLEP KOELING	1	0,19 A
ELEKTRISCHE WEERSTAND	1	2,172 A
BEVOCHTIGER	1	0,58 A
VERLICHTING	2	0,260 A
VOEDING	1	1,2 A
TOTAAL		13,592 A

Tabel 25: Overzicht van de stromen door de verschillende kabels

De bekomen totaalstroom is de stroom die door de hoofdleiding zou vloeien indien alle systemen aangestuurd worden, dit is eigenlijk nooit het geval. Natuurlijk moet er bij een kabelberekening rekening gehouden worden met het 'worst case scenario' daarom wordt er gewerkt met een stroom van 13,592A voor de hoofdleiding. De sectie van de hoofdleiding of het stekkersnoer werd berekend via een online calculator.

☰
BASISGEGEVENS

Ontwerpstroom (I _b) 13.2	Kernmateriaal Koper	Isolatiemateriaal XLPE of EPR	Aantal belaste aders 2
Basis installatie methode  Een- of meeraderige kabel aangebracht tegen een houten wand		Omgevings- of grondtemperatuur 30	
Lengte trace (m) 5		Zekeringstroom (I _n) 16	
Type gebruik Overig gebruik		Type installatie Direct gevoed openbare net	
Halogeenvrij Ja		Max spanningsverlies % norm 5	
Extra flexibel Ja		Max spanningsverlies % eigen 0.8	

[Alternatieve installatiemethoden »](#)

Figuur 121: De selectie van het stekkersnoer via de online calculator

RESULTAAT

OPTIMALE GELEIDERSDOORSNEDE MET KOPER VOOR EEN LENGTE VAN 5 M:

	Optimaal
Geleiderdoorsnede:	2.50 mm ²
Maximale lengte:	37 m
Iz:	24.00 A
Spanningsverlies:	0.69 %

Figuur 122: Resultaat van de calculator

De uitkomst van de online calculator was een sectie van 2,5 mm² als aansluitsnoer voor de klimaatkast. De voeding wordt via een klemmenstrook verdeeld naar de verschillende verbruikers. Door nu ook de stromen van de verschillende verbruikers in de calculator te stoppen konden de verschillende leidingsecties berekend worden. Hierbij werd rekening gehouden met een maximale lengte van 10m kabel. Bij alle stroomketens werd een kabelsectie bekomen van 1,5 mm². Dit betekent dat de gehele vermogenskring bekabeld dient te worden met een kabel van 1,5 mm².

Deze berekening werd ook uitgevoerd voor de stuurkring met behulp van een andere calculator voor gelijkspanning, hierbij werd gerekend met een lengte van 3m. Er werd vastgesteld dat de aangeraden sectie, gerekend bij een verbruik van 50W en een kabellengte van 3m, minstens 1mm² moet zijn. Daarom werd ook de bekabeling van de elektrische kast uitgevoerd met een kabel van 1,5 mm².

(tkf, 2020)

Draadkleuren

Voor het bekabelen van een klimaatkast gebruikt Climatronix vier vaste kleuren, namelijk:

- Geel/groen voor aarding
- Blauw voor nulleider
- zwart voor lijndraad
- Donkerblauw voor gelijkspanning
- Rood voor getransformeerde spanningen

16.4 De elektrische schema's

16.4.1 Bespreking betreffende de opbouw van de schema's

Zoals eerder vermeld gebeurt de inregeling van de klimaatkast door een PID-regelaar. Deze regelaar stuurt de verwarming, koeling, ontvochtiging en bevochtiging aan door de uitgang van het systeem in kwestie aan te sturen. Deze uitgangen zijn niet geschikt voor het doorschakelen van grote stromen en sturen slechts

24VDC uit. Daarom wordt deze uitgestuurde spanning gebruikt voor het bekrachtigen van een contactor. Wanneer de contactor bekrachtigd wordt, worden zijn contacten geschakeld waardoor de benodigde voedingsspanning en stroom aan een bepaald systeem aangelegd worden. Het enige systeem dat een uitzondering is op bovengenoemd principe is de elektrische verwarmingsweerstand. Deze weerstand wordt aangestuurd via een solid state relais om inregeling te vergemakkelijken. De ultrasone bevochtiger werkt slechts op 48VAC, hiervoor wordt de transformator met lijnfilter ingeschakeld en wordt de getransformeerde spanning aangelegd aan de bevochtigingscontactor.

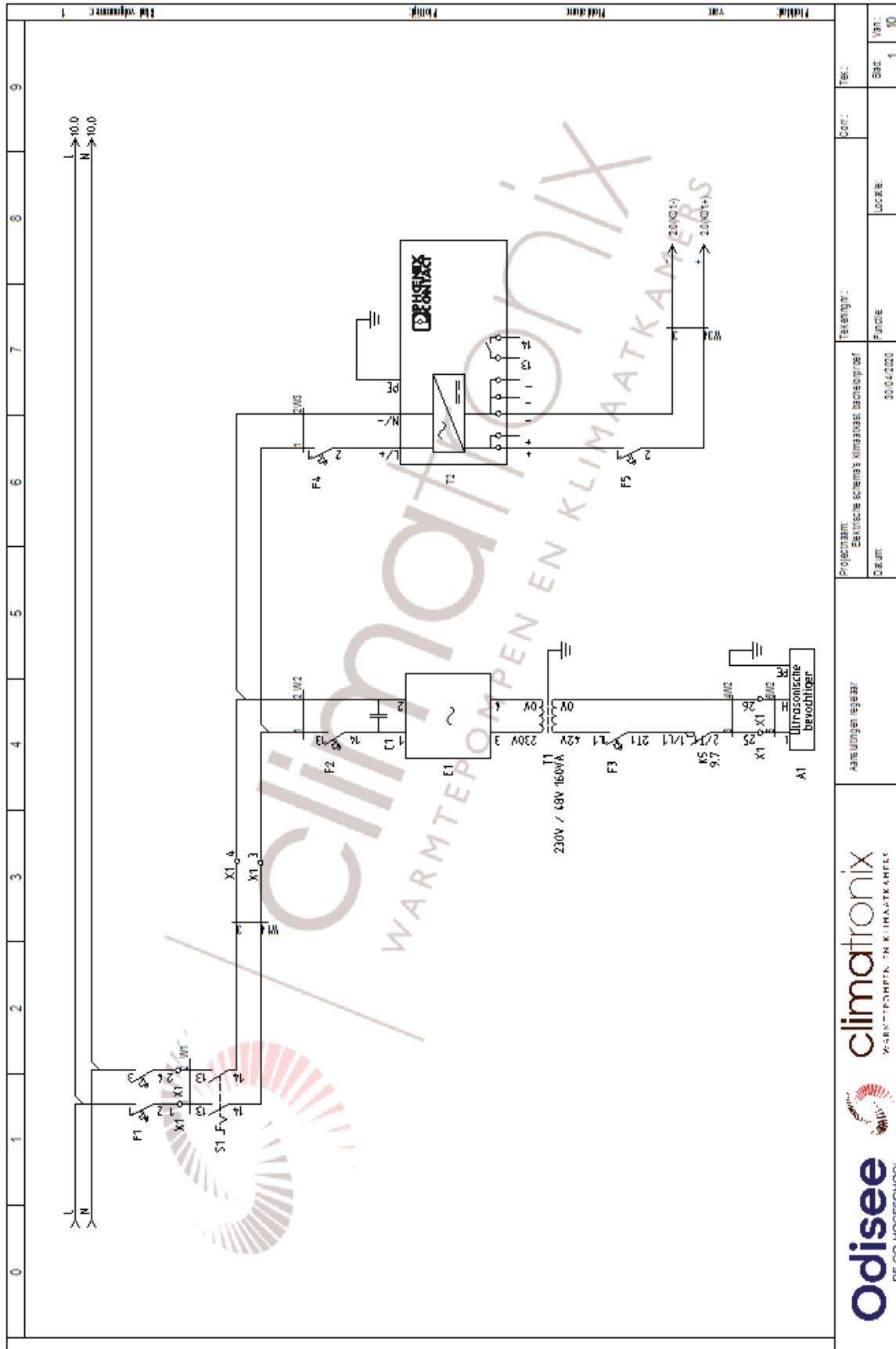
De contactoren voor koeling en ontvochtiging sturen de magneetkleppen aan in het koelcircuit. Wanneer deze kleppen aangestuurd worden, wordt ook de uitgang van de compressor aangestuurd. De twee magneetkleppen en de compressor zijn geprogrammeerd met een afvaltijdvertraging om te voorkomen dat de draaitijd van de compressor te kort zou zijn, dit alles werd intern geprogrammeerd.

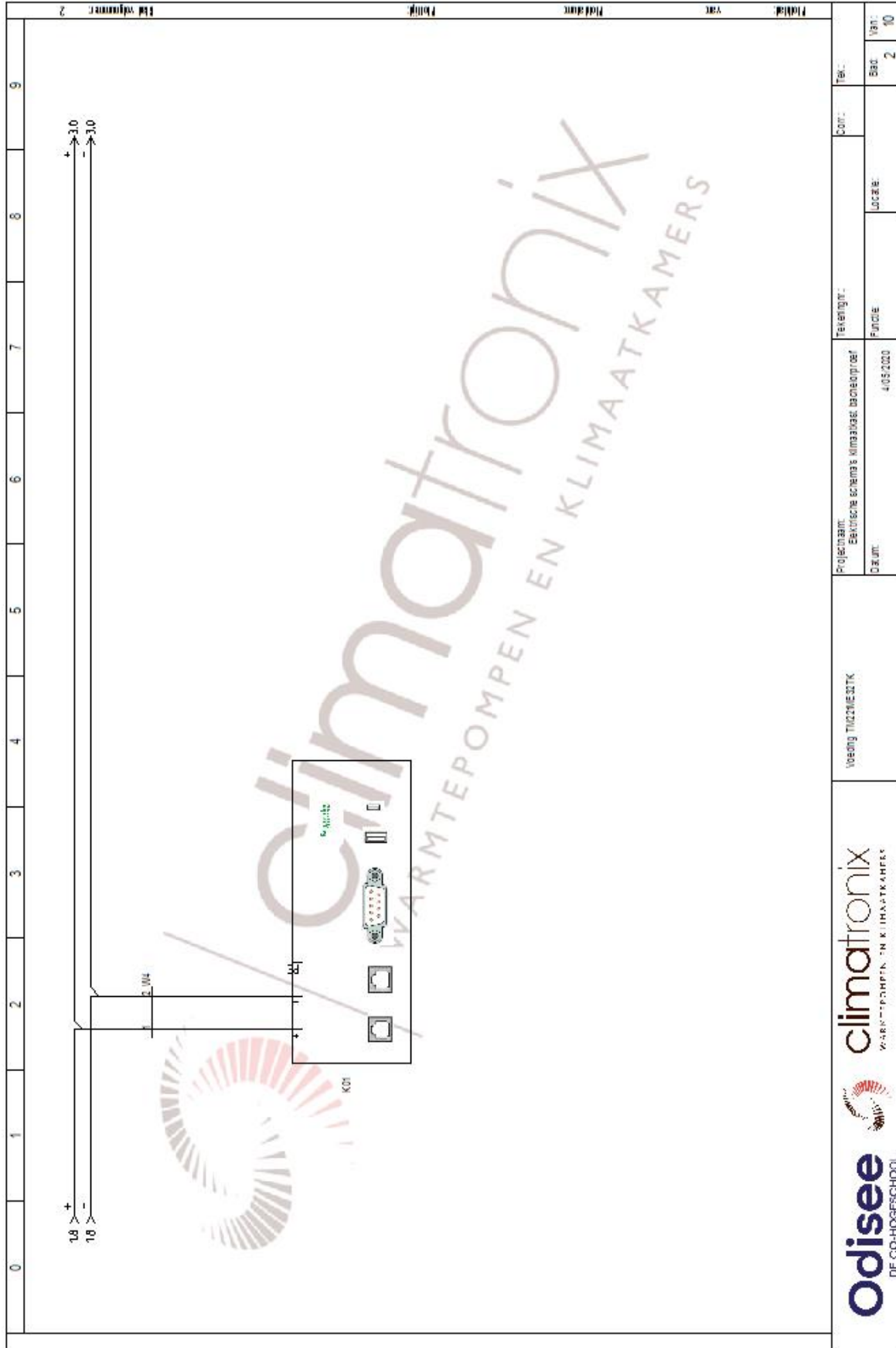
Geen van deze vier systemen kan in werking treden wanneer de ventilator niet aangestuurd is. De ventilator wordt ook via een contactor ingeschakeld door de regelaar. Wanneer deze uitgang niet geschakeld is, gaat de klimaatkast in storing en worden alle uitgangen geregeld naar 0% uitsturing.

De ingangssignalen van de regelaar worden verzorgd door een capacatieve vochtvoeler en een thermokoppel. Deze sensoren vertellen de regelaar wat de situatie is in de procesruimte en aan de hand van deze informatie bepaalt de regelaar welke systemen hij moet aanspreken.

Dit gehele proces wordt beveiligd via een deurcontact, overtemperatuurbeveiliging en een pressostaat. Wanneer er een programma loopt en iemand de deur van de klimaatkast zou openen, dan zal het deurcontact een signaal geven aan de regelaar waardoor deze op zijn beurt alle uitgangen regelt naar 0% uitsturing. Hetzelfde gebeurt wanneer de overtemperatuursbeveiliging een fout detecteert, dit veiligheidsorgaan is ingebouwd om te voorkomen dat de temperatuur te hoog zou worden ten gevolge van een defect aan de ventilator of het thermokoppel. Tot slot wordt de compressor beveiligd via een pressostaat tegen te hoge en te lage drukken, ook dit veiligheidsorgaan is verbonden met een ingang van de regelaar. Het stuurgedeelte van de klimaatkast wordt gevoed via een voeding van 24VDC.

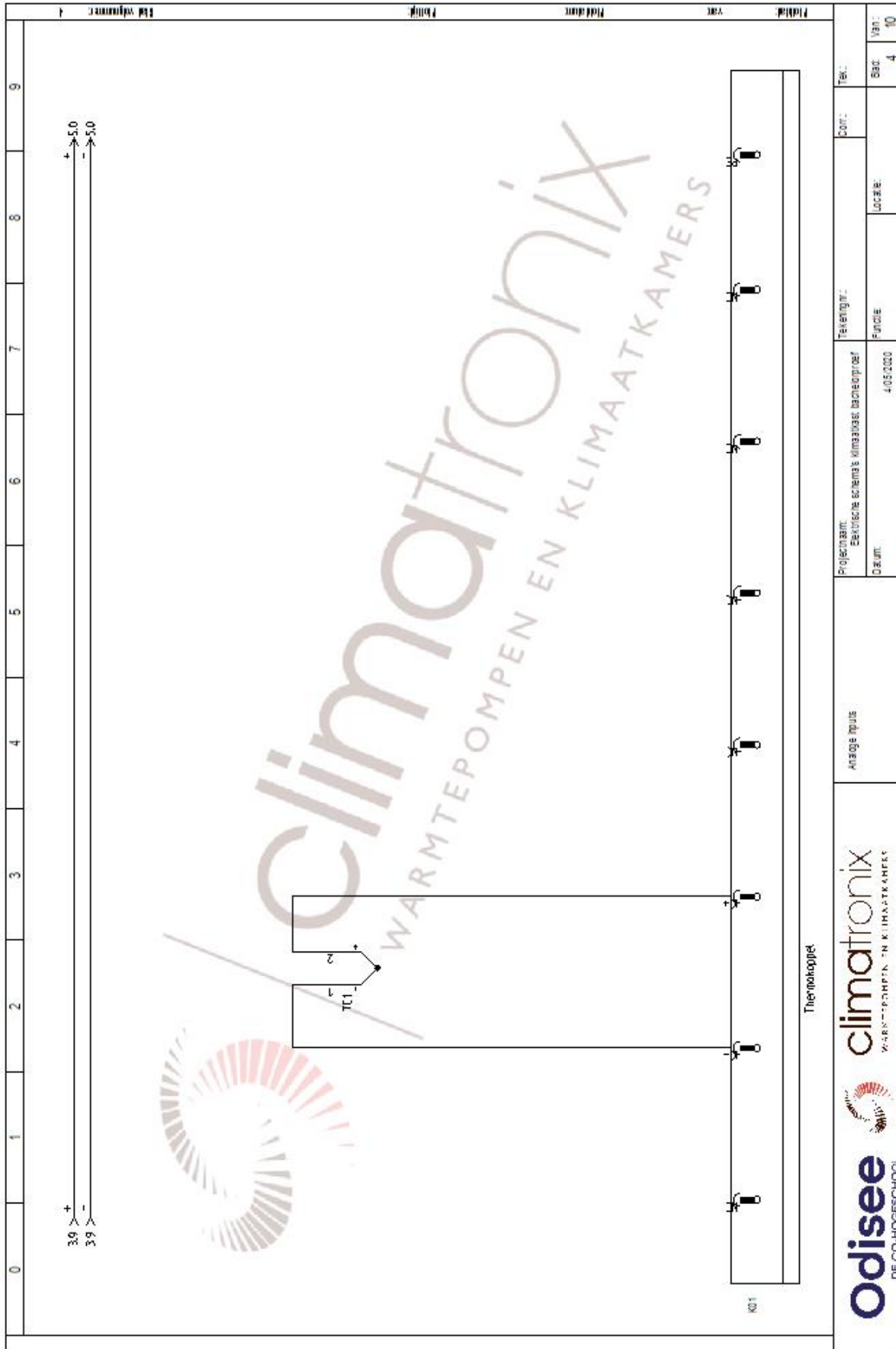
16.4.2 Elektrische schema's



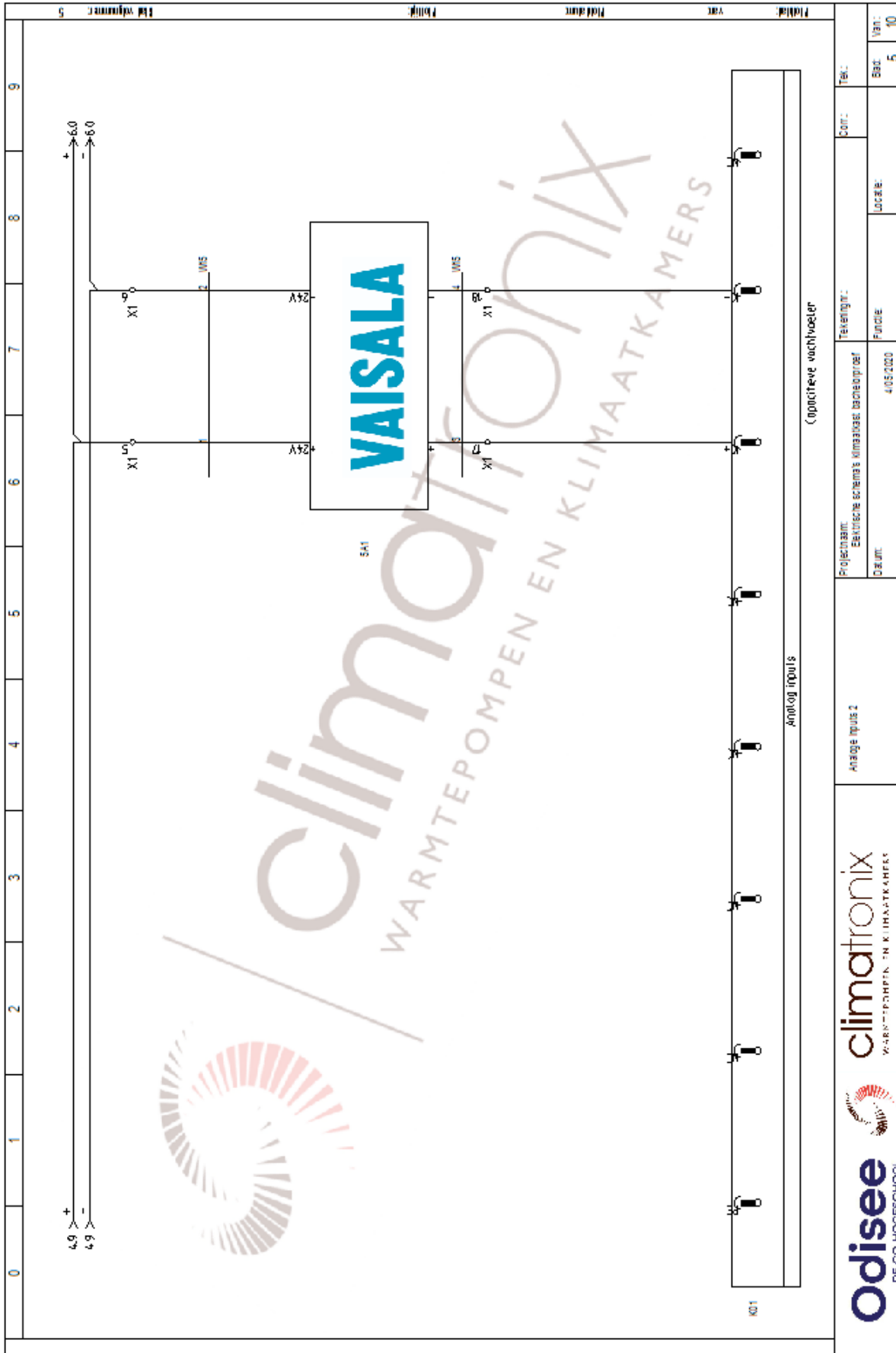


 DE CO-HOGESCHOOL		 WARMTEPOMPEN EN KLIMAATKAMERS		WERK TUZINVESTIK		Projectnaam: Elektronische schakels Klimaatvoel- en besturing		Tekeningnr.: Functie		Conr.: Terc.:	
						Datum: 4-05-2020		Locatie:		Blad: 2 Van: 10	

Figuur 2: Bedradingsschema



 DE CO-HOGESCHOOL	 WARMTEPOMPEN EN KLIMAATKAMERS	Analoge spuis	Projectnaam: Elektrische schema's klimaatvoeltoestel		Conr:	Tek:
			Datum: 4-05-2020	Locatie:	Functie:	Blad: 4



 DE CO-HOESCHDOL		 WARMTEPOMPEN EN KLIMAATKAMERS		Analog input 2		Projectnaam: Elektrische schema's klimaatinstallaties		Conr.:		Tek.:	
				Datum: 4-03-2020		Functie: Locatie:		Bad:		Van:	
								5		10	

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

5

5

5

5

5

5

5

5

5

5

5

5

5

5

5

5

5

5

5

5

5

5

5

5

5

5

5

5

5

5

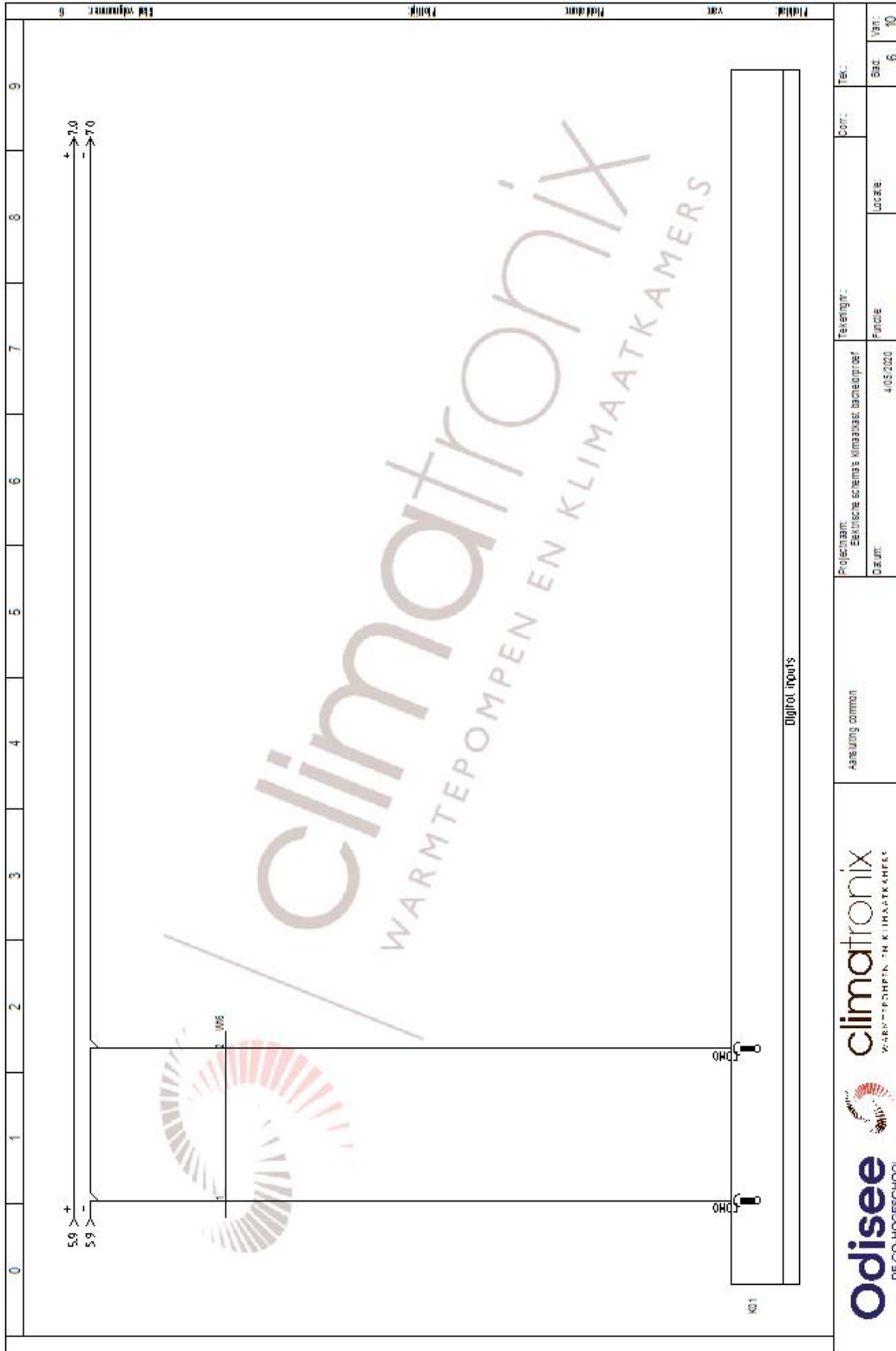
5

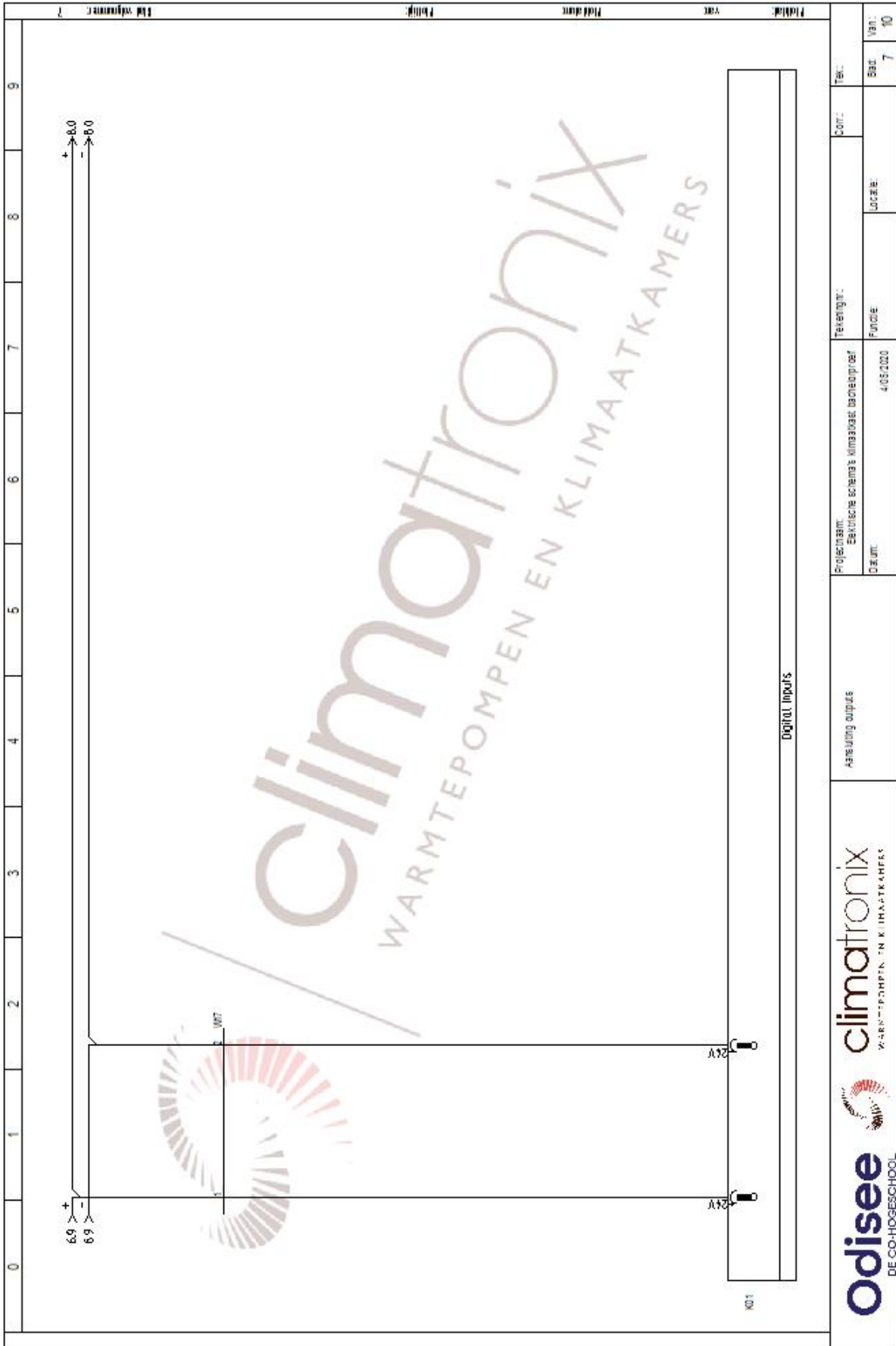
5

5

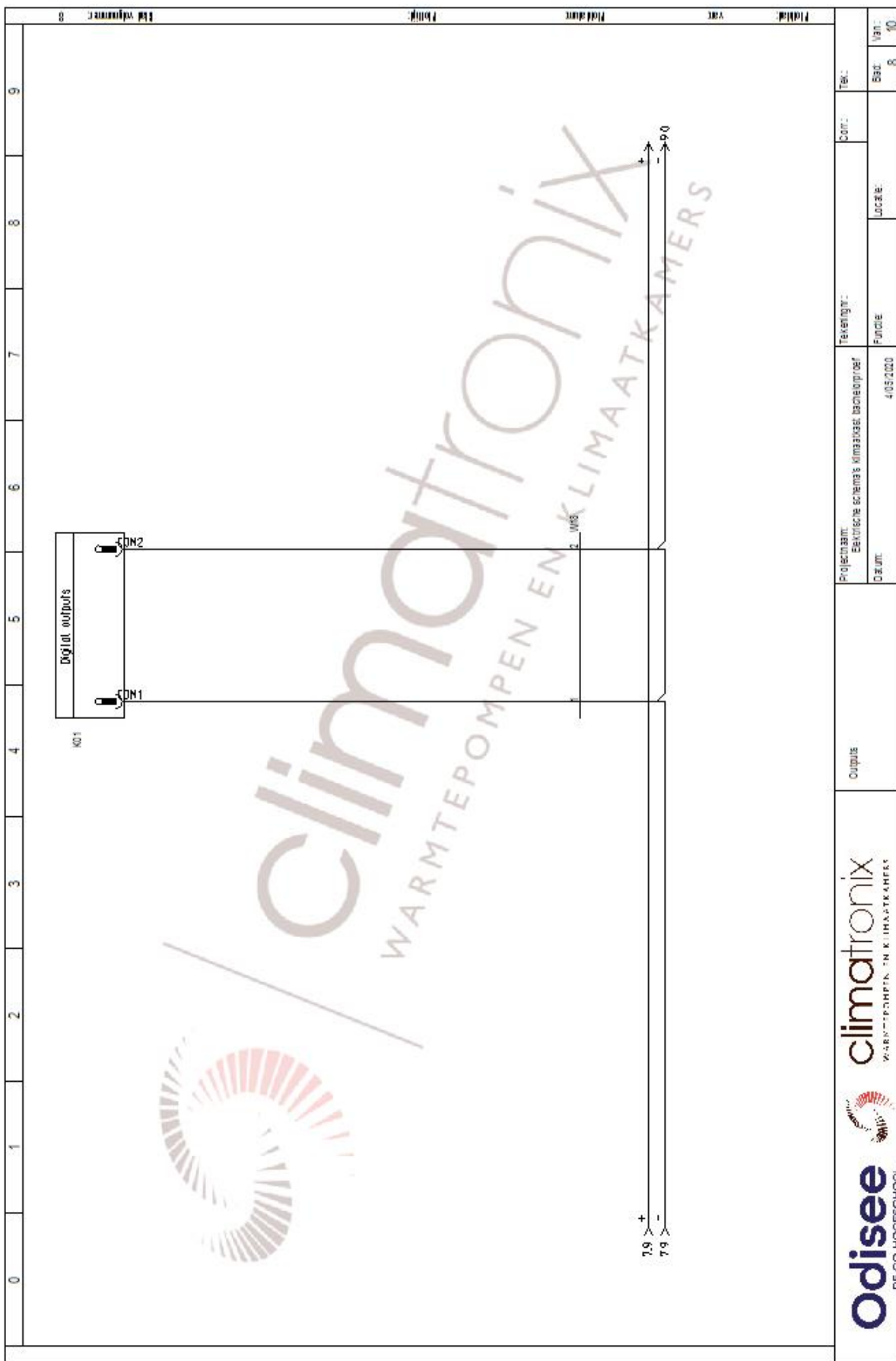
5

5



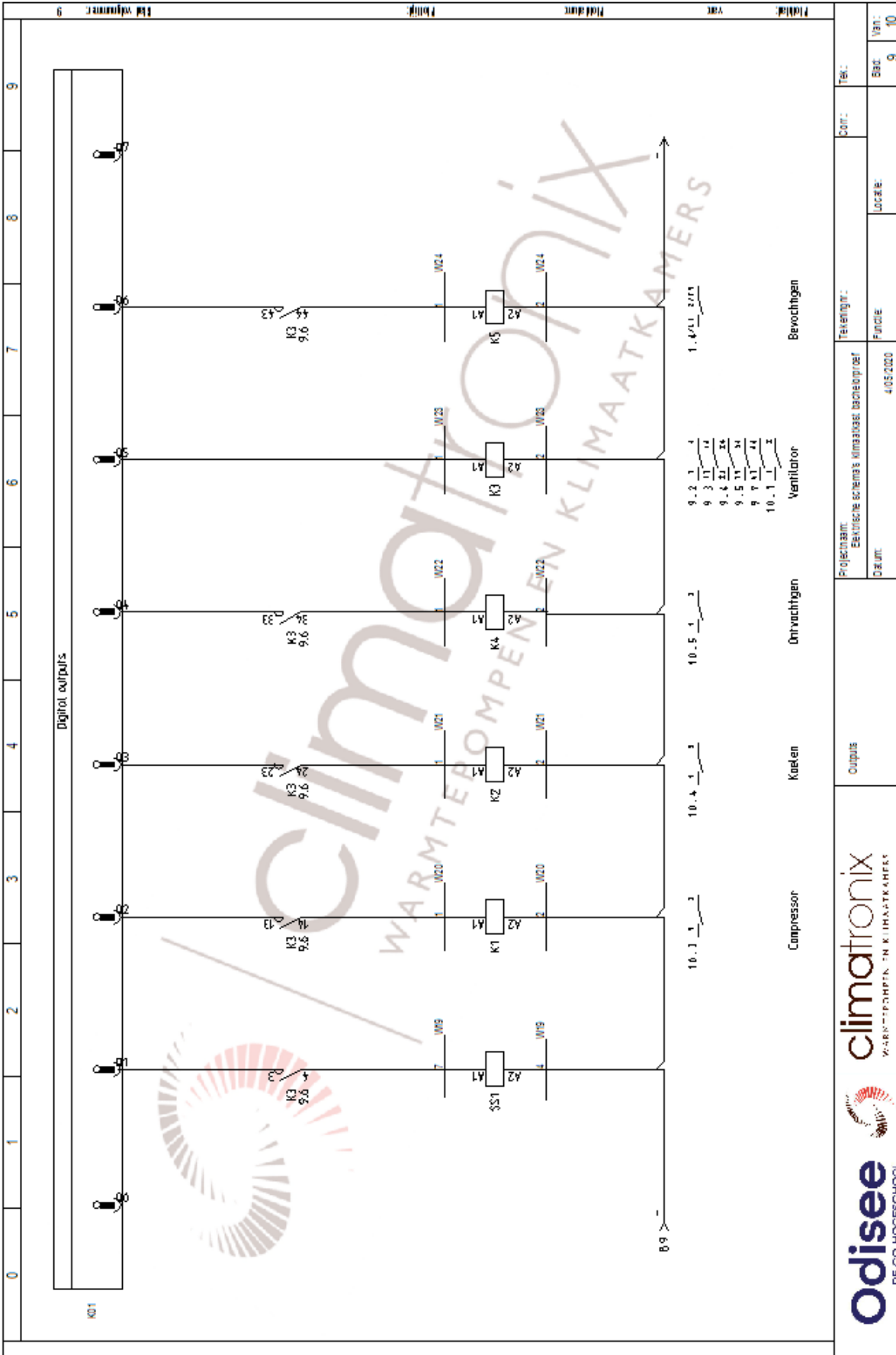


 Odisee DE CO-HOGESCHOOL		 climatronix WARMTEPOMPEN EN KLIMAATKAMERS		Aansluiting output		Projectnaam: Elektrische schema's klimaatwet labo/oproef		Teveiliging: Functie		Datum: 4/05/2020		Locatie:		Serie: 7		Vers: 10	
---	--	---	--	--------------------	--	---	--	-------------------------	--	---------------------	--	----------	--	-------------	--	-------------	--



 DE CO-HOGESCHOOL	 WARMTEPOMPEN EN KLIMAATKAMERS	Ouplus	Projectnaam: Elektrische schakels klimaatset: bescheiding	Tekeningnr.:	Com.:	Tek.:
			Datum: 4/05/2020	Functie:	Locatie:	Bas:
						8
						10

Pagina: 8
 Titel: 8
 Functie: 8
 YWB: 8



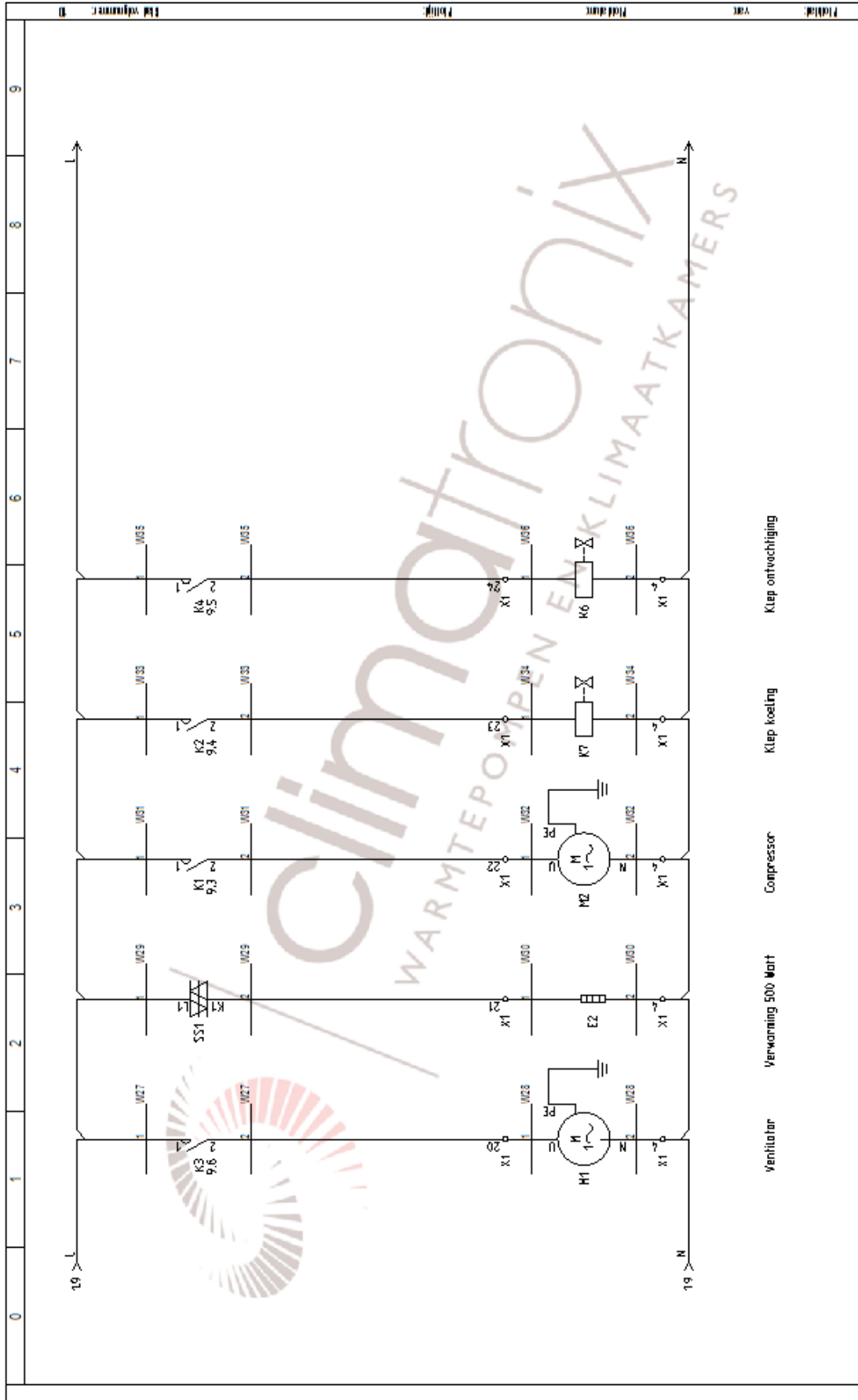
Output

Projectnaam: Elektrische schema's klimaatset installatie
 Datum: 4-05-2020

Tekeningnr.: Functie

Corr: Locatie:

Tek: Blad: 9
 Van: 10



 DE CO-HOOGESCHOOL		 WARMTEPOMPEN EN KLIMAATKAMERS		Aansluiting		Projectnaam: Elektrische schema's klimaatkast technolooproef Datum: 4-05-2020		Tekeningnr.: Functie:		Coll.: Tek.:	
										Blad: 10 Van: 10	

Ventilator Verwarming 500 Watt Compressor Klep koeling Klep ontvochtiging

17 De praktische werkgang

Wanneer alle geselecteerde componenten geleverd waren kon het praktisch opbouwen beginnen. In dit hoofdstuk worden de praktische handelingen beknopt samengevat.

17.1 Stap 1 Het demonteren van de klimaatkast

Nadat bepaald was welke onderdelen hergebruikt konden worden en welke aan vervanging toe waren, ging de demontagefase van start. De elektrische weerstanden, de verdamper, de condensunit, de bevochtiger, alle meetapparatuur en het elektrisch schakelbord werden uit de kast verwijderd, op die manier kon het project vanaf nul opgebouwd worden. Daarnaast werden ook de poederlakplaat en roestvrijstalenplaat, bevestigd op de rug van de kast, gedemonteerd. Hierna werd ook de rockwool die de achterkant van de kast isoleert weggenomen zodat de nieuwe systemen en hun toebehoren makkelijk geplaatst en aangesloten konden worden.

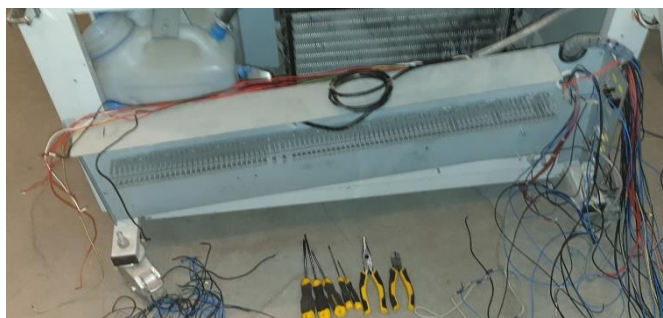
Verder werd ook de glasplaat uit de deur verwijderd, zodat de latere plaatsing en aansluiting van het bedieningspaneel zonder al te veel moeite kon verlopen.



Figuur 124: De klimaatkast na demontage van de bevochtiger



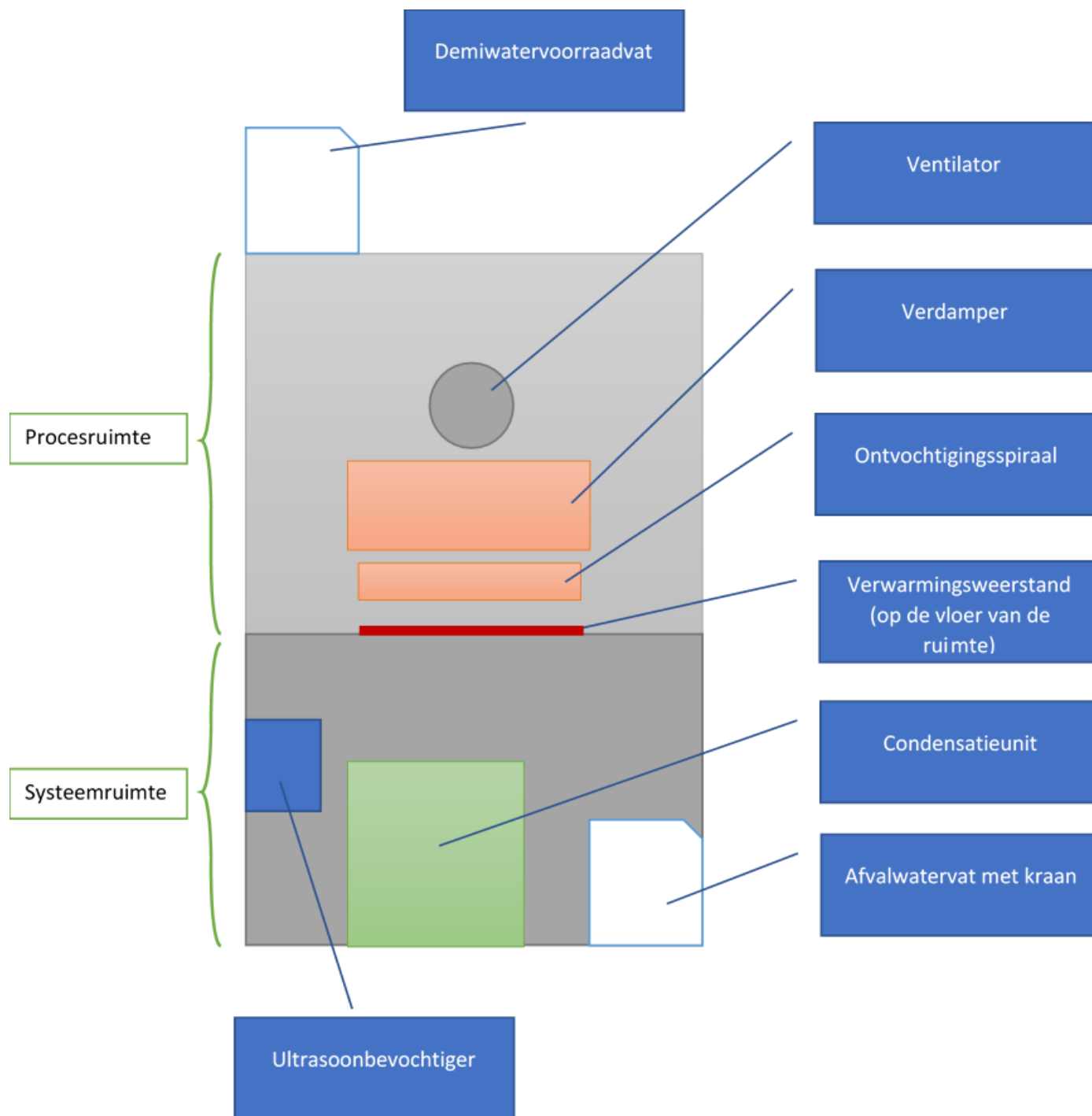
Figuur 123: De klimaatkast na demontage van de koelgroep



Figuur 125: De demontage van het oude elektrische bord

17.2 Stap 2 Het plaatsingsontwerp

Vooraleer de opbouw van de klimaatkast startte, werd er eerst een grove schets gemaakt over de plaatsing van de verschillende systemen. Hierbij werd rekening gehouden met de vooropgestelde plaatsingsnormen.



Figuur 126: Het plaatsingsontwerp

17.3 Stap 3 De opbouw van het koelcircuit

Het eerste systeem dat in de klimaatkast werd ingebouwd was de koelgroep, hiervoor werd eerst de verdampers opgehangen binnenin de klimaatkast. Gezien het feit dat de oude systemen verwijderd waren konden doorvoeren doorheen de rug van de klimaatkast naar de procesruimte hergebruikt worden.

Vervolgens werd ook de condensunit vastgeschroefd op de gerecupereerde onderplaat van de oude condensunit. Na de opstelling van het koeltechnisch schema en de leidingberekening konden de koperen leidingen op maat afgesneden worden via een buizensnijder om ze hierna uit te plooiën via de gepaste pijpenbuiger. Zoals eerder vermeld werd het vochtspiraal vervaardigd via een rond lichaam. Om de 1/4"-leidingen van het vochtspiraal te verbinden met de 1/4"-leidingen van de koelgroep, werden de leidingen van het vochtspiraal uitgezet met een optromptang.

Na het uitplooiën werden alle 36 verbindingen dichtgebraseerd met behulp van een hardsoldeertoestel een zilversoldeer van 5%. Het braseren gebeurde steeds met een stikstofstroom doorheen het circuit.

Wanneer alle verbindingen gebraseerd waren werd het circuit gedurende vier dagen aan een druktest van 20 bar onderworpen. Na de positieve evaluatie van de druktest werd het circuit gedurende vier dagen getest onder vacuüm. Deze test gaf net zoals de druktest als resultaat dat er geen lekken aanwezig waren op de installatie. Hierna werd het vacuüm in de installatie eerst gebroken met stikstof waarna de installatie opnieuw een halve dag gevacumeerd werd. Na het vacumeren werd de installatie gevuld met de berekende hoeveelheid koelmiddel.



Figuur 127: Het plooiën van de vochtspiraal



Figuur 128: Het opbouwen van het koelcircuit

17.4 Stap 4 Het inbouwen van de bevochtiger

Zoals eerder vermeld is het voor de goede werking van de bevochtiger noodzakelijk dat het aanvoerwater onder enige druk het toestel binnenkomt. Daarom werd besloten om de bevochtiger in te bouwen in de ruimte onder de procesruimte en het demiwatervoorraadvat bovenop de procesruimte te plaatsen.

Aangezien de bevochtiger ook doorblazen moet worden, om het vocht in de klimaatkast te kunnen brengen, werd er een ventilobox vervaardigd.

Voor het vervaardigen van de ventilobox werd er een computerventilator geïntegreerd in de lege behuizing van een oude ultrasoonbevochtiger. Hierbij werd één opening als aanzuig gebruikt voor de lucht uit de procesruimte en één opening gebruikt om de lucht via een slang over te brengen naar de ultrasoonbevochtiger. Het eindresultaat werd op onderstaande afbeelding weergegeven.



Figuur 129: Het inbouwen van de bevochtiger en zijn ventilobox

Naast de aansluitingen van de lucht en het aanvoerwater werd er ook een magneetventiel geplaatst op de uitloop van de bevochtiger. Dit ventiel werd verbonden met een schakelaar op het bedieningspaneel en geeft de gebruiker de mogelijkheid om de bevochtiger door te spoelen na lange tijd in gebruik.



Figuur 130: De ultrasoonbevochtiger met zijn watertoevoer en magneetventiel

17.5 Stap 5 Het inbouwen van het verwarmingssysteem

Voor het verwarmingssysteem werd er gekozen voor een elektrische verwarmingsweerstand. Deze weerstand werd geplaatst tussen de vloer van de procesruimte en de vloerplaat. Aangezien de vloer van de procesruimte dienst doet als waterafloop was het belangrijk dat de weerstand iets hoger geplaatst werd zodat deze zich volledig in de luchtstroom bevond. Dit werd gerealiseerd door de roestvrijstalen beugeltjes van het oude verwarmingssysteem te hergebruiken en deze via hogetemperatuursilicone op de vloer te monteren.



Figuur 131: De elektrische weerstand opgesteld in de beugels

17.6 Stap 6 Het inbouwen van de meetapparatuur

Voor het meten van de procesvariabelen werd er gebruik gemaakt van een thermokoppel voor de temperatuur en een capacatieve vochtvoeler voor de relatieve vochtigheid. Voor de plaatsing van de meetapparatuur was het van belang dat deze zich in de aanzuigluchtstroom bevonden, dit aangezien de aanzuiglucht een mengsel is van alle behandelde luchtdelen. Daarom werden deze sensoren via een doorvoer in de rug van de klimaatkast en door de luchtgeleidingsplaten in de aanzuig van de ventilator gebracht. De sensoren werden opgesteld in een buisje en gemonteerd tegen de luchtgeleidingsplaat via twee beugels. De draden van de sensoren werden voorzien van een speciale sok zodat deze zo min mogelijk beïnvloed worden door de omgeving.



Figuur 132: De sensoren opgesteld in de aanzuig van de ventilator

De klimaatkast beschikt ook over twee overtemperatuurbeveiligingen. Een eerste beveiliging werd geplaatst in de ruimte waar de elektrische weerstand werd opgesteld, de tweede beveiliging werd samen met het thermokoppel en de capacatieve vochtvoeler in het meetbuisje geplaatst in de aanzuig van de ventilator. Deze tweede beveiliging dient als redundantie voor wanneer de overtemperatuurbeveiliging in de ruimte van de elektrische weerstand defect zou zijn.



Figuur 134: De elektrische weerstand en zijn overtemperatuurbeveiliging



Figuur 133: Het contact van de overtemperatuurbeveiliging

17.7 Stap 7 Het voorzien van de wateraflopen

De klimaatkast is ook voorzien van een afvalwatervat waarin het afvalwater van drie verschillende plaatsen verzameld wordt. Het grootste aandeel aan verontreinigd water komt uit de afloop van de procesruimte, deze afloop werd via een gardenaslang en tandklem verbonden met een mondstuk dat uitmondt in het afvalvat. Op deze gardenaslang werd er een aftakking gemaakt zodat het restwater afkomstig van de condensgoot onder de deur ook afgevoerd kan worden. Een derde toestel dat water afvoert in het vat is de ultrasoonbevochtiger. Zoals eerder vermeld, kan deze via de schakelaar op het controlepaneel doorgespoeld worden. Dit verontreinigd water wordt vanaf het magneetventiel via een vaste leiding naar het vat geleid waar het via een mondstuk het vat binnenstroomt.

In het afvalvat werd ook een vlotter ingebouwd die de gebruiker een waarschuwing geeft wanneer het waterniveau te hoog staat. De gebruiker kan het vat dan legen door achteraan aan de klimaatkast een kraan open te draaien.



Figuur 135: De waterafvoerleidingen



Figuur 136: Het waterafvalvat

17.8 Stap 8 Het bekabelen van de klimaatkast

Nadat alle systemen en meetapparatuur geplaatst waren en het elektrisch schema gemaakt was, werd gestart met de bekabeling van de klimaatkast. Hiervoor werden er kabels getrokken van alle systemen, beveiligingen en meetapparatuur naar het voorpaneel van de klimaatkast. Wanneer alle kabels geplaatst waren en de klimaatkast voorzien werd van kabelgoten werd ook het montagepaneel van de elektrische kast voorzien van goten en dinrails. Hierna werden de verschillende elektrische componenten op de rails geplaatst en bekabeld. Eens het schakelbord gemaakt was werd dit opnieuw bevestigd aan de voorkant van de klimaatkast en werden de reeds getrokken kabels in de klimaatkast op de juiste klemmen van de klemmenstrook aangesloten.



Figuur 137: Het nieuwe elektrisch bord



Figuur 138: Het bedieningspaneel

17.9 Stap 9 Het vervaardigen van het bedieningspaneel op de deur

Voor het inbouwen van het touchpad van de regelaar werden de oude bevestigingsgaten en kabeldoorvoeren in de deur weggewerkt via een roestvrijstalen plaat. Deze plaat werd onder een hoek van 90° geplooid en via een pons voorzien van drie ventilatiegaten. Deze gaten waren nodig aangezien het touchpad ingebouwd zit in de deur en door de isolatie zijn warmte niet zou kunnen afgeven. Daarnaast werden er aan de voorkant ook twee ponsgaten gemaakt.



Figuur 139: De ventilatiegaten



Figuur 140: Het bedieningspaneel in de deur met usb

17.10 Het resultaat

17.10.1 De klimaatkast bij aanvang van de proef



Figuur 142: De klimaatkast bij aanvang van de proef



Figuur 141: De procesruimte bij aanvang van de proef

17.10.2 Het eindresultaat



Figuur 143: De volledig afgewerkte procesruimte



Figuur 144: Het eindresultaat (deel 1)



Figuur 145: Het eindresultaat (deel 2)



Figuur 146: Het eindresultaat (deel 3)



Figuur 147: Het eindresultaat (deel4)

18 Besluit

Het centrale onderwerp waarrond de volledige bachelorproef opgebouwd is, is het retrofitten van een klimaatkast. Een oude kast werd voor deze proef onder handen genomen en weer omgevormd tot een werkend apparaat voor de industrie. Wanneer de reeds ingebouwde systemen van deze klimaatkast werden bekeken, werd vastgesteld dat deze systemen hun beste tijd hadden gehad en dus aan vervanging toe waren. Deze systemen werden gedemonteerd en maakten plaats voor vijf nieuwe installaties, namelijk een koelcompressiemachine met bijhorend koeltechnisch schema en onderdelen voor de koeling, een elektrische weerstand voor het verwarmen, een condensatiedroger voor luchtdroging en een ultrasone bevochtiger die de bevochtiging van de lucht verzorgt. Deze systemen werken samen via een nieuwe PID-regelaar die de klimaatkast in staat stelt om zichzelf te regelen naar de gewenste waarden. Deze gewenste waarden worden vervolgens vergeleken met een proceswaarde gemeten door een capacitieve vochtvoeler en een thermokoppel. De samenwerking tussen de verschillende componenten wordt door een elektrisch circuit bestaande uit contactoren, voedingen, veiligheidsorganen,... tot stand gebracht.

De klimaatkast werd hierna gekalibreerd en ingeregeld en kan nu nog vele jaren gebruikt worden door Climatronix voor de interne validatie van hun temperatuur- en vochtsensoren.

De klimaatkast werd ook opgebouwd met een marge voor extra toevoegingen, het koeltechnische circuit werd zodanig geïnstalleerd dat het weinig plaats inneemt in de systeemruimte. De capacitieve vochtvoeler en het thermokoppel werden ook makkelijk demonteerbaar opgesteld met het oog op onderhoud en innovatie. De huidige opstelling van de klimaatkast leent zich ook goed om UV-testen uit te voeren, ook op de regelaar kan deze functie makkelijk bijgevoegd worden mits toevoeging van een extra module.

19 Algemeen besluit

Voor mij was de keuze voor de afstudeerrichting klimatisatie al gemaakt nog voor de aanvang van mijn bacheloropleiding. In de loop van de opleiding raakte ik steeds meer overtuigd van deze keuze, sterker nog, ik heb er nog geen seconde spijt van.

Gedurende mijn educatie leerde ik planmatiger te werk gaan, hetgeen ik merk aan de manier waarop ik problemen aanpak. Dit kwam ook naar voren tijdens de bachelorproef, hierbij deelde ik de opdracht op in kleinere deelproblemen die ik stelselmatig aanpakte om zo stap voor stap oplossingen te bekomen. Daarnaast leerde ik ook veel zelfstandiger werken en durfde ik mijn werk veel kritischer beoordelen. Deze vaardigheden groeiden naarmate de opleiding vorderde maar kwamen vooral naar voren tijdens mijn bachelorproef. Aangezien deze proef en stage niet ideaal verliepen vanwege de coronapandemie, was het belangrijk om het project van thuis uit tot een goed einde te brengen. Daarom waren zelfstandigheid en initiatief nemen een must. Ik leerde ook om mijn werk kritisch te bekijken en dingen te durven aanpassen en/of opnieuw te maken indien nodig.

Het grote voordeel van een bachelorproef is dat deze een samenvatting is van alle opgedane kennis gedurende de vele hoorcolleges en labo's. De bachelorproef overkoepeld eigenlijk alle geziene thema's en verplicht ertoe om al deze kennis niet meer afzonderlijk te beschouwen maar samen te zetten en te gebruiken in één centraal project.

Wanneer ik de vergelijking maak van mijn technische kennis voor en na deze opleiding kan ik enkel besluiten dat deze drie jaar mijn technische bagage veel hebben vergroot. De opleiding leerde mij ook om mij ruimdenkend op te stellen, wat ervoor zorgt dat ik mij niet vastbijt in één oplossing maar mij ook open durf te stellen voor andere mogelijkheden, ook dit kwam van pas voor de bachelorproef.

Wanneer ik terugkijk op de afgelopen drie jaar en naar wat ik allemaal bijgeleerd heb gedurende deze periode ben ik heel tevreden dat ik na het secundair de stap durfde te zetten naar bachelor.

Bibliografie

- Airned. (2019). *Vochtigheidstabellen*. Opgehaald van Airned: http://www.airned.nl/1_nl_vochtigheidstabellen.php
- Andrew Sykes. (2020). *Wat is het verschil tussen adsorptiedrogers en condensatiedrogers?* Opgehaald van Andrew Sykes Klimaatverhuur: <https://www.andrewssykes.be/nl/bouwdroger-huren/adsorptiedrogers-condensatiedrogers-bouwdrogers-verschil/>
- Binder. (2017). *ZES PUNTEN WAAROP U MOET LETTEN BIJ AANKOOP VAN EEN CONSTANTE KLIMAATKAST IN DE FARMACEUTISCHE INDUSTRIE*. Binder.
- Binder. (2020, Maart 03). *mkf 240*. Opgehaald van Binder: <https://www.binder-world.com/nl/producten/milieusimulatiekasten/serie-mkf/mkf-240>
- ÇENTEZ, M. (2020). *Piezoelektrik Geleceğin Elektrik Üreteçleri*. Opgehaald van Elektrik Port: https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/piezoelektrik-gelecegin-elektrik-uretecleri/4239?fb_comment_id=276610825783656_725982294179838&fb_comment_id=276610825783656_725982294179838#ad-image-0
- ClimaTronix. (2020, 02 28). *Wie zijn wij?* Opgehaald van ClimaTronix: <https://www.climatronix.org/wie-zijn-wij/>
- Condair. (sd). *EEN STAP IN DE GOEDE RICHTING Ontvochtigen en drogen bij industriële en zakelijke toepassingen*. Condair.
- Danfoss (Regisseur). (2019). *How a stepper motor valve works | Quick walkthrough w/ animation* [Film].
- Davidian, S. (2018, oktober 25). *humidity sensors capacitive vs resistive*. Opgehaald van Servoflo: <http://blog.servoflo.com/humidity-sensors-capacitive-vs-resistive#:~:text=Capacitive%20Sensors&text=These%20are%20a%20common%20type,it%20creates%20a%20voltage%20change>.
- Deloo, A. (2019, januari 25). *Het verschil tussen gedemineraliseerd en gedestilleerd water*. Opgehaald van naturalheroes: <https://www.naturalheroes.nl/blogs/artikelen/het-verschil-tussen-gedemineraliseerd-en-gedestilleerd-water>
- Denie, P. (sd). *Energie en comfort 1*. P.Denie.
- Driesen, F., Mertens, E., & Willekes, L. (2010). *Thomas Moore stijlwijzer: Richtlijnen voor het maken van schriftelijke werkstukken*. Geel: Thomas Moore.
- Duyck, J. (2019). *Meettechniek Procesvariabelen*. Aalst: Johan Duyck.
- ECR. (2020). Opgehaald van ecr-belgium: <https://www.ecr-belgium.be/be>
- Eeuwema, K. (2014, juli). Vocht. *LandbouwMechanisatie*, p. 40;41.

- Engineering ToolBox. (2004). *Cooling dehumidifying air*. Opgehaald van engineeringtoolbox: https://www.engineeringtoolbox.com/cooling-dehumidifying-air-d_695.html
- Ferreira, D. I. (2015). Optimale compressorkeuze: Een selectieprocedure. In D. I. Ferreira. Delft: Universiteit Delft.
- Goegebeur, W., & Van Looy, L. (2007). Teachers and teacher trainees as classroom researchers: beyond Utopia? *Educational Action Research*, 15(1), 107-126.
- OFFICIAL, M. E. (Regisseur). (2018). *refrigerant charge calculation | charge calculation for a vapor compression refrigeration system* [Film]. Opgehaald van <https://www.youtube.com/watch?v=1t13FZZO0dI&t=313s>
- Pollefliet, J. (2018). *Elektronische vermogencontrole*. Gent: Academia press.
- Restutech. (2020). *Solid state relais werking*. Opgeroepen op Maart 24, 2020, van Restutech: <https://restutech.com/solid-state-relais-werking/#:-:text=Een%20solid%20state%20relais%2C%20ook,namelijk%20een%20secondaire%20kring%20schakelen.>
- Schneider electric. (2020). *controller m221 16 io relais ethernet*. Opgehaald van se: <https://www.se.com/be/nl/product/TM221CE16R/controller-m221-16-io-relais-ethernet/>
- Stulz. (2020). *Ultrasonic technische gegevens*. Opgehaald van Stulz - benelux: <https://www.stulz-benelux.com/nl/ultrasonic/technische-gegevens/>
- Stulz. (sd). *ULTRASONIC / FN 400H*. Stulz.
- Stulz Ultrasonic ultraschall luftbefeuchter. (2017). Hamburg: Stulz.
- Tecumseh. (2019). KATALOG VERFLÜSSIGUNGSSÄTZE Europäisches Angebot 50 Hz.
- tkf. (2020). *kabelberekening laagspanning*. Opgehaald van tkf: <https://www.tkf.nl/nl/servicecenter/kabelberekening/kabelberekening-laagspanning>
- Vaisala. (2020). *nstruments industrial measurements*. Opgehaald van Vaisala: <https://www.vaisala.com/en/products/instruments-sensors-and-other-measurement-devices/instruments-industrial-measurements/hmm100>
- Van Delsen, B. (2018). *3 Toegepaste Mechanica*. Aalst: Bart Van Delsen.
- Van Goethem, J. (2017). *Beveiligingen basisbegrippen*. Aalst: Joeri Van Goethem.
- Verhertbrugge, D. (2018). *3 klimatisatie*. Aalst: Standaard Boekhandel.
- Verhertbrugge, D. (2019). *4 Klimatisatie*. Aalst: Standaard Boekhandel.
- Verhertbrugge, D. (2019). *5 koeltechniek*. Aalst: Dany Verhertbrugge.
- Verhertbrugge, D. (2019). *5 Luchtbehandelingstechnieken*. Aalst: Dany Verhertbrugge.

Warmtepompweetjes. (2020, maart 06). *Kringloop koudetechniek warmtepomp*. Opgehaald van warmtepompweetjes: <https://warmtepomp-weetjes.nl/uitleg/kringloop-koudetechniek-warmtepomp/>

Wikipedia. (2016, april 03). *Klimaatsimulatie*. Opgehaald van Wikipedia: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Klimaatsimulatie>

Wikipedia. (2020, 04 30). *Pt100*. Opgehaald van Wikipedia: <https://nl.wikipedia.org/wiki/Pt100>

Bijlagen

Bijlage 1: Weekverslagen



Odisee
Professionele Bachelor
Elektromechanica

2019-2020

Campus Dirk Martens

Kwalestraat 154

9320 AALST

Tel.: 0032 53 72 71 70

Fax: 0032 53 72 71 00

www.odisee.be

NAAM: Jarno De Meerleer

FIRMA: Climatronic bvba

ADRES: Honderdweg 10, 9230 Wetteren

CONTACTPERSOON: Tomas Van De Vijver

GSM NR CONTACTPESOON: 0475 29 46 29



climatronic
WARMTEPOMPEN EN KLIMAATKAMERS

VERSLAG WEEK 1:**ROL:**

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (mecaniciens) | <input type="checkbox"/> Ontwerpafdeling Elektrisch |
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (elektriciens) | <input type="checkbox"/> Dienst planning |
| <input type="checkbox"/> Preventie/veiligheidsadviseur | <input type="checkbox"/> Productie |
| <input type="checkbox"/> Kwaliteitscontrole | <input type="checkbox"/> Dienst Aankoop |
| <input type="checkbox"/> Prototype bouwen/werkplaats | <input type="checkbox"/> Programmeur (sturing) |
| <input type="checkbox"/> Ontwerpafdeling Mechanisch | <input type="checkbox"/> |

KORTE BONDIGE UITLEG (MAX halve A4) ROL:

(Wat, Waarom, welk nut, wat heb je zelf hieruit geleerd, wat heb je eventueel zelf gedaan...)

Deze week werd de rol opgenomen van kwaliteitscontrole. Tijdens mijn eerste stagedag stond een bezoek aan een bedrijf, dat in het bezit is van meerdere klimaatkasten van Climatronix, op het programma. Twee van deze klimaatkasten moesten een onderhoud krijgen en opnieuw gekalibreerd worden. Uit het onderhoud bleek dat het bevochtigingssysteem van één van de klimaatkasten niet meer werkte naar behoren, daardoor duurde het, bij deze kast, langer vooraleer het gewenste klimaat in de klimaatkast bereikt was. Daarnaast bleek ook uit de kalibratie van deze kast dat de regelaar opnieuw ingesteld moest worden. Op deze stagedag werd wat meer bijgeleerd over de acties die ondernomen moeten worden bij het ontdekken van een bepaalde fout.

De overige vier dagen was ik één dag op de campus en drie dagen op het bedrijf aanwezig. Op het bedrijf werd gestart met de eerste werkzaamheden aan mijn bachelorproef. Tijdens de eerste dag werd het elektrisch bord van de oude klimaatkast gedemonteerd, hierbij werd ook nagekeken welke kabels hergebruikt moesten worden (verlichting en ventilator). Hiervoor was het nodig om het volledige achterpaneel met bijhorende isolatie los te snijden en met een multimeter enkele metingen uit te voeren. Daarnaast werd ook uitgezocht hoe het oude koelcircuit werkte en werd achterhaald wat het doel was van de gebruikte componenten door de buisisolatie los te snijden. Ten slotte werd ook de oude stoombevochtiger gedemonteerd en werd uitgezocht welke componenten van de klimaatkast hergebruikt zouden kunnen worden.

PROSPECTIE (Welke rol volgende week, waarom):

Onderhoud, volgende week zullen er foutzoekingen moeten gebeuren aan een klimaatkast die na twee weken proefdraaien luchtballen in het kijkglas vertoonde, dit kan eventueel een klein lek zijn. Volgende week zal ook nagekeken worden welke componenten hergebruikt kunnen worden en daarnaast zal ook de oude koelgroep gedemonteerd worden.

OPMERKINGEN:

De namen van bedrijven van klanten mogen niet vermeld worden in het verslag.

VERSLAG WEEK 2:**ROL:**

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (mecaniciens) | <input type="checkbox"/> Ontwerpfdeling Elektrisch |
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (elektriciens) | <input type="checkbox"/> Dienst planning |
| <input type="checkbox"/> Preventie/veiligheidsadviseur | <input type="checkbox"/> Productie |
| <input type="checkbox"/> Kwaliteitscontrole | <input type="checkbox"/> Dienst Aankoop |
| <input type="checkbox"/> Prototype bouwen/werkplaats | <input type="checkbox"/> Programmeur (sturing) |
| <input type="checkbox"/> Ontwerpfdeling Mechanisch | <input type="checkbox"/> |

KORTE BONDIGE UITLEG (MAX halve A4) ROL:

(Wat, Waarom, welk nut, wat heb je zelf hieruit geleerd, wat heb je eventueel zelf gedaan...)

Deze week was ik woensdag, donderdag en vrijdag aanwezig op het bedrijf. Woensdag en donderdag werd de rol van productie en ontwerpfdeling mechanisch opgenomen. Deze dagen werd mij geleerd hoe een koelgroep zelf opgebouwd kan worden (leidingen uitplooiën, braseren...) en werd er inzicht verkregen bij de plaatsing van de koeltechnische leidingen en componenten. Dit inzicht is ook belangrijk bij het bouwen van het koelcircuit voor mijn bachelorproef (Bij het onderhoud is het bijvoorbeeld belangrijk dat men de condensor en de kraantjes van pers- en zuigzijde voor de aansluiting van de manometer eenvoudig kan bereiken). Daarnaast werd ook aangeleerd hoe een ander type klimaatkast opgebouwd wordt, dit kan in grove lijnen doorgetrokken worden voor de selectie van de onderdelen bij de bouw van de klimaatkast voor mijn bachelorproef.

Naast de opbouw voerde werd er ook een lekttest (zowel elektronisch als met lekzoekspray) uitgevoerd op de klimaatkast waar er plots luchtbellens te zien waren in het kijkglas. Deze lekttesten werden eerst uitgevoerd bij 12 bar en vervolgens bij 16, 18, 20 en 22 bar stikstofdruk. Aangezien er nog steeds geen lekken werden vastgesteld werd het koelcircuit aan een druktest van 22 bar onderworpen. Dit gedurende het weekend om dan maandag te kunnen nagaan of de druk al dan niet gedaald was. Vrijdag werd de oude koelgroep met koelmiddel R404a uit de installatie verwijderd. Daarnaast werd ook gestart met alle bevindingen van de voorbije weken uit te schrijven in het dossier.

PROSPECTIE (Welke rol volgende week, waarom):

Volgende week wordt de rol van onderhoud en kwaliteitscontrole opgenomen voor de koellekdetectie bij een cytotogenetische klimaatkast + de controle van de sturing. Daarnaast moet er bij een andere klimaatkast ook een nieuwe testruimteventilator ingebouwd worden. Ten slotte moeten er bij een nog ander bedrijf luchtdiffusors in een cyclische corrosiekast vervangen worden. Voor de bachelorproef zullen volgende week de koeltechnische componenten geselecteerd worden en zal ik ook het dossier volledig op orde gezet worden ter voorbereiding van het eerste samenkomstmoment met de interne begeleider.

OPMERKINGEN:

De namen van bedrijven van klanten mogen niet vermeld worden in het verslag.

VERSLAG WEEK 3:**ROL:**

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (mecaniciens) | <input type="checkbox"/> Ontwerpafdeling Elektrisch |
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (elektriciens) | <input type="checkbox"/> Dienst planning |
| <input type="checkbox"/> Preventie/veiligheidsadviseur | <input type="checkbox"/> Productie |
| <input type="checkbox"/> Kwaliteitscontrole | <input type="checkbox"/> Dienst Aankoop |
| <input type="checkbox"/> Prototype bouwen/werkplaats | <input type="checkbox"/> Programmeur (sturing) |
| <input type="checkbox"/> Ontwerpafdeling Mechanisch | <input type="checkbox"/> |

KORTE BONDIGE UITLEG (MAX halve A4) ROL:

(Wat, Waarom, welk nut, wat heb je zelf hieruit geleerd, wat heb je eventueel zelf gedaan...)

De eerste dag werd de rol van onderhoud opgenomen. Dit om een koellek te detecteren in een klimaatkast voor het simuleren van vocht en temperatuur. Om het lek op te sporen werd eerst geprobeerd met een elektronische snuffelaar, hierna met lekzoekspray. Het lek werd niet gedetecteerd, maar de elektronische snuffelaar gaf wel signaal rond de verdamer van het toestel. Deze verdamer was namelijk sterk geoxideerd doordat het bedrijf gebruik maakt van verdunde alcoholen voor het uitvoeren van hun tests. Daarom werd besloten om het bedrijf uit de nood te helpen door de defecte klimaatkast te vervangen door een depannagekast van ClimaTronix en ondertussen de defecte kast te onderzoeken in het magazijn.

Dinsdag demonteerde werd de deur van de klimaatkast voor bachelorproef gedemonteerd. In deze deur zitten er verschillende verwarmingsweerstande om te voorkomen dat het glas in de deur door het vocht zou aanslaan. Daarnaast werd er een selectie gemaakt van de verschillende componenten die nodig zijn voor de vernieuwing van de kast.

Woensdag stonden er twee bedrijven op het programma. In de voormiddag hield de opdracht het vervangen van de ventilator in, die zorgt voor de luchtcirculatie in de kast. Verder werden ook de solid state relais en verschillende ventielen vervangen. In de namiddag werden de luchtdiffusors in een cyclische corrosiekast vervangen. Hier doken er ook nog een aantal onverwachte problemen op, zoals ventielen die niet meer schakelden en een kapotte drukregelaar.

Donderdag werkte ik thuis aan mijn theoretisch dossier.

Vrijdag werd er verder gewerkt aan de bekabeling van de schakelkast van dinsdag en werd er gestart met het verwijderen van de isolatie rond de leidingen en het gerichter zoeken naar het lek in de klimaatkast van maandag.

PROSPECTIE (Welke rol volgende week, waarom):

- Volgende week zal de rol van onderhoud, kwaliteitscontrole en elektriciens opgenomen worden. Dit omdat er volgende week een bezoek aan een testlabo, waar een zuurtegraadtestkamer de juiste waarden niet behaald, gepland staat. Daarnaast zal er bij mijn project gestart worden met het opbouwen van de koelgroep (braseren, uitplooiën,...)

OPMERKINGEN:

De namen van bedrijven van klanten mogen niet vermeld worden in het verslag.

VERSLAG WEEK 4:**ROL:**

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (mecaniciens) | <input type="checkbox"/> Ontwerpafdeling Elektrisch |
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (elektriciens) | <input type="checkbox"/> Dienst planning |
| <input type="checkbox"/> Preventie/veiligheidsadviseur | <input type="checkbox"/> Productie |
| <input type="checkbox"/> Kwaliteitscontrole | <input type="checkbox"/> Dienst Aankoop |
| <input type="checkbox"/> Prototype bouwen/werkplaats | <input type="checkbox"/> Programmeur (sturing) |
| <input type="checkbox"/> Ontwerpafdeling Mechanisch | <input type="checkbox"/> |

KORTE BONDIGE UITLEG (MAX halve A4) ROL:

(Wat, Waarom, welk nut, wat heb je zelf hieruit geleerd, wat heb je eventueel zelf gedaan...)

Opgenomen rollen: dienst planning, ontwerpafdeling mechanisch, onderhoud koeltechnisch

De taken die deze week uitgevoerd werden waren uiteenlopend. Maandag stond de reparatie van een defecte klimaatkast op het programma. Het vastgestelde probleem hield in dat de kast soms wel en soms niet wou koelen tijdens klimaattesten. Bij het onderzoeken en testen van de kast bleek een defect magneetventiel de oorzaak te zijn. Om dit ventiel te vervangen moest eerst al het koelmiddel afgepompt worden.

Dinsdag startte het in kaart brengen van de plaats van de onderdelen voor de bachelorproef. Hierna werd gestart met het aansluiten van een ultrasoonbevochtiger bij een klimaatkast die in de werkplaats stond voor reparatie. Woensdag kon het uitplooiën van de koperen leidingen voor mijn eindwerk beginnen, om op een later tijdstip te kunnen braseren. Het verder werken aan het dossier en het evaluatiegesprek met mijn interne begeleider stond gepland voor donderdag. De laatste dag van de week hield ten slotte het opstarten van een zoutnevelkamer met speciale testsimulaties in.

PROSPECTIE (Welke rol volgende week, waarom):

Volgende week zal er verder gewerkt worden aan de koelgroep van de bachelorproef en onderhoud verrichten aan een temperatuur-, en vochtsimulatiekast.

OPMERKINGEN:

De namen van bedrijven van klanten mogen niet vermeld worden in het verslag.

VERSLAG WEEK 5:**ROL:**

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (mecaniciens) | <input type="checkbox"/> Ontwerpafdeling Elektrisch |
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (elektriciens) | <input type="checkbox"/> Dienst planning |
| <input type="checkbox"/> Preventie/veiligheidsadviseur | <input type="checkbox"/> Productie |
| <input type="checkbox"/> Kwaliteitscontrole | <input type="checkbox"/> Dienst Aankoop |
| <input type="checkbox"/> Prototype bouwen/werkplaats | <input type="checkbox"/> Programmeur (sturing) |
| <input type="checkbox"/> Ontwerpafdeling Mechanisch | <input type="checkbox"/> |

KORTE BONDIGE UITLEG (MAX halve A4) ROL:

(Wat, Waarom, welk nut, wat heb je zelf hieruit geleerd, wat heb je eventueel zelf gedaan...)

Opgenomen rollen: ontwerpafdeling mechanisch, dienst planning, productie, onderhoud (mecaniciens)

Deze week werd op maandag een defecte koelgroep vervangen bij een klimaatkast in de werkplaats waarbij een koellek problemen veroorzaakte. Dinsdag ging verder gewerkt aan het uitplooiën van de koelgroep en het inbouwen van de verdamper, elektrische weerstand, en vochtspiraal. Woensdag werden de eerste leidingen gebraseerd en kreeg ik te horen dat ik vanaf donderdag niet meer aanwezig mocht zijn op het bedrijf vanwege het Coronavirus. Donderdag en vrijdag werd verder gewerkt aan het dossier over de uitwerking van de compressorselectie.

PROSPECTIE (Welke rol volgende week, waarom):

Volgende week zal de rol van ontwerper en schrijver opgenomen worden, dit omdat alles vanaf nu theoretisch uitgewerkt moet worden. Daarnaast zal ook de rol van elektriciens opgenomen worden voor het uitwerken van hoe de klimaatkast zou moeten geschakeld worden.

OPMERKINGEN:

De namen van bedrijven van klanten mogen niet vermeld worden in het verslag. Deze week werd gedeeltelijk van thuis uit gewerkt omwille van het Coronavirus.

VERSLAG WEEK 6:**ROL:**

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (mecaniciens) | <input type="checkbox"/> Ontwerpafdeling Elektrisch |
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (elektriciens) | <input type="checkbox"/> Dienst planning |
| <input type="checkbox"/> Preventie/veiligheidsadviseur | <input type="checkbox"/> Productie |
| <input type="checkbox"/> Kwaliteitscontrole | <input type="checkbox"/> Dienst Aankoop |
| <input type="checkbox"/> Prototype bouwen/werkplaats | <input type="checkbox"/> Programmeur (sturing) |
| <input type="checkbox"/> Ontwerpafdeling Mechanisch | <input type="checkbox"/> |

KORTE BONDIGE UITLEG (MAX halve A4) ROL:

(Wat, Waarom, welk nut, wat heb je zelf hieruit geleerd, wat heb je eventueel zelf gedaan...)

Opgenomen rollen: ontwerpafdeling, kwaliteitscontrole

Deze week werd het luchtdebiet dat de ventilator uitblaast bepaald en werd er verder geschreven aan de beschrijving van de oude klimaatkast. Er werd onder andere geschreven over de verschillende systemen die gebruikt werden om de kast van de gewenste klimaatcondities te kunnen voorzien.

PROSPECTIE (Welke rol volgende week, waarom):

Volgende week zal er verder gewerkt worden aan het deeltje over de werking van de oude klimaatkast. Daarnaast zal ook het koelvermogen van de bevochtigingsspiraal berekend en uitgetekend worden in het hx-diagram.

OPMERKINGEN:

Deze week werd volledig van thuis uit gewerkt omwille van het Coronavirus.

VERSLAG WEEK 7:**ROL:**

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (mecaniciens) | <input type="checkbox"/> Ontwerpafdeling Elektrisch |
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (elektriciens) | <input type="checkbox"/> Dienst planning |
| <input type="checkbox"/> Preventie/veiligheidsadviseur | <input type="checkbox"/> Productie |
| <input type="checkbox"/> Kwaliteitscontrole | <input type="checkbox"/> Dienst Aankoop |
| <input type="checkbox"/> Prototype bouwen/werkplaats | <input type="checkbox"/> Programmeur (sturing) |
| <input type="checkbox"/> Ontwerpafdeling Mechanisch | <input type="checkbox"/> |

KORTE BONDIGE UITLEG (MAX halve A4) ROL:

(Wat, Waarom, welk nut, wat heb je zelf hieruit geleerd, wat heb je eventueel zelf gedaan...)

Opgenomen rollen: ontwerpafdeling, kwaliteitscontrole

Deze week werd het koelvermogen van het ontvochtigingsspiraal berekend. Daarnaast werd er ook een warmteverliesberekening uitgevoerd op de klimaatkast en werd de koelcapaciteit berekend.

PROSPECTIE (Welke rol volgende week, waarom):

Volgende week zal de uitleg over de compressorselectie en componentenkeuze verder uitgeschreven worden. Daarnaast zal het al gemaakte koeltechnische schema in Autocad uitgetekend worden en in het dossier worden geplaatst.

OPMERKINGEN:

Deze week werd volledig van thuis uit gewerkt omwille van het Coronavirus

VERSLAG WEEK 8:**ROL:**

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (mecaniciens) | <input type="checkbox"/> Ontwerpfdeling Elektrisch |
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (elektriciens) | <input type="checkbox"/> Dienst planning |
| <input type="checkbox"/> Preventie/veiligheidsadviseur | <input type="checkbox"/> Productie |
| <input type="checkbox"/> Kwaliteitscontrole | <input type="checkbox"/> Dienst Aankoop |
| <input type="checkbox"/> Prototype bouwen/werkplaats | <input type="checkbox"/> Programmeur (sturing) |
| <input type="checkbox"/> Ontwerpfdeling Mechanisch | <input type="checkbox"/> |

KORTE BONDIGE UITLEG (MAX halve A4) ROL:

(Wat, Waarom, welk nut, wat heb je zelf hieruit geleerd, wat heb je eventueel zelf gedaan...)

Opgenomen rollen: dienst planning , ontwerpfdeling, schrijver

Deze week startte ik de berekening van de compressor. Van deze compressor werd het type en het koelvermogen bepaald waarna de compressor via selectiesoftware gekozen werd. Daarnaast werden de gebruikte componenten in het koeltechnische schema volledig uitgelegd. Ook werd het koeltechnisch schema uitgetekend in Autocad.

PROSPECTIE (Welke rol volgende week, waarom):

Opgenomen rollen: schrijver, dienst planning, ontwerpfdeling

Volgende week zal gestart worden met het berekenen van de benodigde koelleidingen. Daarnaast zullen ook de benodigde componenten gedimensioneerd worden. Ten slotte zal ook het hoofdstuk van de bevochtiging afgewerkt worden.

OPMERKINGEN:

Deze week werd volledig van thuis uit gewerkt omwille van het Coronavirus

VERSLAG WEEK 9:**ROL:**

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (mecaniciens) | <input type="checkbox"/> Ontwerpafdeling Elektrisch |
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (elektriciens) | <input type="checkbox"/> Dienst planning |
| <input type="checkbox"/> Preventie/veiligheidsadviseur | <input type="checkbox"/> Productie |
| <input type="checkbox"/> Kwaliteitscontrole | <input type="checkbox"/> Dienst Aankoop |
| <input type="checkbox"/> Prototype bouwen/werkplaats | <input type="checkbox"/> Programmeur (sturing) |
| <input type="checkbox"/> Ontwerpafdeling Mechanisch | <input type="checkbox"/> |

KORTE BONDIGE UITLEG (MAX halve A4) ROL:

(Wat, Waarom, welk nut, wat heb je zelf hieruit geleerd, wat heb je eventueel zelf gedaan...)

Opgenomen rollen: ontwerpafdeling, kwaliteitscontrole, dienst planning, schrijver

Deze week werd gestart met het berekenen van de koelleidigen, daarnaast werd het hoofdstuk van de bevochtiging afgewerkt. Er werd een eerste poging ondernomen om de vochtspiraal te berekenen. Naast dit alles werd ook het hoofdstuk van de luchtcirculatie verder afgewerkt. Ten slotte werd er ook een planning opgesteld met de nog te schrijven hoofdstukken.

PROSPECTIE (Welke rol volgende week, waarom):

Op te nemen rollen: schrijver, ontwerper

Volgende week zal nogmaals geprobeerd worden om de vochtspiraal te berekenen en zal het hoofdstuk van de verwarming uitgeschreven worden. Vervolgens zullen ook de componenten verder gedimensioneerd worden en de koelleidingberekening afgewerkt worden. Verder zal ook het elektrisch schema uitgetekend worden in SEE- Electrical.

OPMERKINGEN:

Deze week werd volledig van thuis uit gewerkt omwille van het Coronavirus

VERSLAG WEEK 10:**ROL:**

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (mecaniciens) | <input type="checkbox"/> Ontwerpafdeling Elektrisch |
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (elektriciens) | <input type="checkbox"/> Dienst planning |
| <input type="checkbox"/> Preventie/veiligheidsadviseur | <input type="checkbox"/> Productie |
| <input type="checkbox"/> Kwaliteitscontrole | <input type="checkbox"/> Dienst Aankoop |
| <input type="checkbox"/> Prototype bouwen/werkplaats | <input type="checkbox"/> Programmeur (sturing) |
| <input type="checkbox"/> Ontwerpafdeling Mechanisch | <input type="checkbox"/> |

KORTE BONDIGE UITLEG (MAX halve A4) ROL:

(Wat, Waarom, welk nut, wat heb je zelf hieruit geleerd, wat heb je eventueel zelf gedaan...)

Opgenomen rollen: Ontwerpafdeling (Elektrisch), Schrijver

Deze week werd gestart met het schrijven van het hoofdstuk over het verwarmingssysteem. Daarnaast werden ook de vochtsensor en de temperatuursensor geselecteerd en uitgeschreven in een hoofdstuk. Ten slotte werd ook de software SEE-Electrical opnieuw ingestudeerd voor het tekenen van het elektrisch schema.

PROSPECTIE (Welke rol volgende week, waarom):

Op te nemen rollen: schrijver, ontwerper

Volgende week zullen alle koeltechnische componenten geselecteerd worden en zal gestart worden met het hoofdstuk over de regelaar.

OPMERKINGEN: Deze week werd volledig van thuis uit gewerkt omwille van het Coronavirus

VERSLAG WEEK 11:**ROL:**

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (mecaniciens) | <input type="checkbox"/> Ontwerpafdeling Elektrisch |
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (elektriciens) | <input type="checkbox"/> Dienst planning |
| <input type="checkbox"/> Preventie/veiligheidsadviseur | <input type="checkbox"/> Productie |
| <input type="checkbox"/> Kwaliteitscontrole | <input type="checkbox"/> Dienst Aankoop |
| <input type="checkbox"/> Prototype bouwen/werkplaats | <input type="checkbox"/> Programmeur (sturing) |
| <input type="checkbox"/> Ontwerpafdeling Mechanisch | <input type="checkbox"/> |

KORTE BONDIGE UITLEG (MAX halve A4) ROL:

(Wat, Waarom, welk nut, wat heb je zelf hieruit geleerd, wat heb je eventueel zelf gedaan...)

Opgenomen rollen: Ontwerpafdeling, schrijver, tekenaar

Deze week werd gestart met de bespreking van de regelaar. In dit hoofdstuk werd de bediening en de achterliggende logica van de gebruikte regelaar besproken. Verder werd er ook gestart met het uittekenen van de elektrische schema's in SEE Electrical.

PROSPECTIE (Welke rol volgende week, waarom):

Op te nemen rollen: tekenaar, schrijver

Volgende week zullen de elektrische schema's verder afgewerkt worden en zal gestart worden met het selecteren van de verschillende elektrische onderdelen

OPMERKINGEN:

Deze week werd volledig van thuis uit gewerkt omwille van het Coronavirus

VERSLAG WEEK 12:**ROL:**

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (mecaniciens) | <input type="checkbox"/> Ontwerpfdeling Elektrisch |
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (elektriciens) | <input type="checkbox"/> Dienst planning |
| <input type="checkbox"/> Preventie/veiligheidsadviseur | <input type="checkbox"/> Productie |
| <input type="checkbox"/> Kwaliteitscontrole | <input type="checkbox"/> Dienst Aankoop |
| <input type="checkbox"/> Prototype bouwen/werkplaats | <input type="checkbox"/> Programmeur (sturing) |
| <input type="checkbox"/> Ontwerpfdeling Mechanisch | <input type="checkbox"/> |

KORTE BONDIGE UITLEG (MAX halve A4) ROL:

(Wat, Waarom, welk nut, wat heb je zelf hieruit geleerd, wat heb je eventueel zelf gedaan...)

Opgenomen rollen: Ontwerpfdeling en schrijver

Deze week werd gestart met het hoofdstuk over de selectie van de verschillende elektrische onderdelen. Hierbij werden de zekeringen, automaten, contactoren, en voeding geselecteerd. Verder werden de elektrische schema's ingevoegd in het dossier.

PROSPECTIE (Welke rol volgende week, waarom):

Op te nemen rollen: Schrijver en ontwerper

Volgende week zal het hoofdstuk over de elektrische onderdelen afgewerkt worden en zal het dossier verder op punt gezet worden.

OPMERKINGEN:

Deze week werd volledig van thuis uit gewerkt omwille van het Coronavirus.

VERSLAG WEEK 13:**ROL:**

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (mecaniciens) | <input type="checkbox"/> Ontwerpfdeling Elektrisch |
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (elektriciens) | <input type="checkbox"/> Dienst planning |
| <input type="checkbox"/> Preventie/veiligheidsadviseur | <input type="checkbox"/> Productie |
| <input type="checkbox"/> Kwaliteitscontrole | <input type="checkbox"/> Dienst Aankoop |
| <input type="checkbox"/> Prototype bouwen/werkplaats | <input type="checkbox"/> Programmeur (sturing) |
| <input type="checkbox"/> Ontwerpfdeling Mechanisch | <input type="checkbox"/> |

KORTE BONDIGE UITLEG (MAX halve A4) ROL:

(Wat, Waarom, welk nut, wat heb je zelf hieruit geleerd, wat heb je eventueel zelf gedaan...)

Opgenomen rollen: Ontwerpfdeling en schrijver

Deze week werd het dossier verder op punt gezet en werden buiten de vochtspiraal alle hoofdstukken afgewerkt.

PROSPECTIE (Welke rol volgende week, waarom):

Op te nemen rollen: Schrijver, ontwerper mechanisch, techniker

Volgende week mag er opnieuw naar de stageplaats gegaan worden, hierdoor zal er volgende week gestart worden met het inbouwen van de koelgroep. Wat het dossier betreft zal het besluit, de inleiding en de samenvatting gemaakt worden.

OPMERKINGEN:

Deze week werd volledig van thuis uit gewerkt omwille van het Coronavirus

VERSLAG WEEK 14:**ROL:**

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (mecaniciens) | <input type="checkbox"/> Ontwerpafdeling Elektrisch |
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (elektriciens) | <input type="checkbox"/> Dienst planning |
| <input type="checkbox"/> Preventie/veiligheidsadviseur | <input type="checkbox"/> Productie |
| <input type="checkbox"/> Kwaliteitscontrole | <input type="checkbox"/> Dienst Aankoop |
| <input type="checkbox"/> Prototype bouwen/werkplaats | <input type="checkbox"/> Programmeur (sturing) |
| <input type="checkbox"/> Ontwerpafdeling Mechanisch | <input type="checkbox"/> |

KORTE BONDIGE UITLEG (MAX halve A4) ROL:

(Wat, Waarom, welk nut, wat heb je zelf hieruit geleerd, wat heb je eventueel zelf gedaan...)

Opgenomen rollen: mecaniciens, elektriciens

Deze week mocht er terug gegaan worden naar het bedrijf. Deze week werd meteen gestart met het afwerken van het koelcircuit, de verdamper, de vochtspiraal, de verdamperdrukregelaar, de expansieventielen en de condensunit werden hiermee aangesloten. Het braseren gebeurden onder een stikstofflow en met zilversoldeer van 5%. Daarnaast werd de klimaatkast ook 4 dagen getest onder een druk van 20 bar.

PROSPECTIE (Welke rol volgende week, waarom):

Op te nemen rollen: mecaniciens, elektriciens, techniker

Volgende week zal het koelcircuit blootgesteld worden aan een vacuümtest en zal de bevochtiger ingebouwd worden. Daarnaast zal ook het elektrisch bord bekabeld worden en zullen de overtemperatuurbeveiligingen ingebouwd worden.

OPMERKINGEN:

/

VERSLAG WEEK 15:**ROL:**

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (mecaniciens) | <input type="checkbox"/> Ontwerpafdeling Elektrisch |
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (elektriciens) | <input type="checkbox"/> Dienst planning |
| <input type="checkbox"/> Preventie/veiligheidsadviseur | <input type="checkbox"/> Productie |
| <input type="checkbox"/> Kwaliteitscontrole | <input type="checkbox"/> Dienst Aankoop |
| <input type="checkbox"/> Prototype bouwen/werkplaats | <input type="checkbox"/> Programmeur (sturing) |
| <input type="checkbox"/> Ontwerpafdeling Mechanisch | <input type="checkbox"/> |

KORTE BONDIGE UITLEG (MAX halve A4) ROL:

(Wat, Waarom, welk nut, wat heb je zelf hieruit geleerd, wat heb je eventueel zelf gedaan...)

Opgenomen rollen: mecaniciens, elektriciens

Deze week werd, na een positieve evaluatie van de druktest, het koelcircuit onderworpen aan een vacuümtest. Verder werd de bevochtiger via ophangbeugels ingebouwd in de klimaatkast. Hiervoor werden de luchtgeleidingspijpen doorgeboord tot in de procesruimte en werden de leidingen gelegd voor de watervoorziening. Daarnaast werd ook de ventilobox vervaardigd waarop de aanzuiggeleidingspijp aangesloten werd. Deze ventilobox werd vervaardigd door het inbouwen van een computerventilator in het lege frame van een oude ultrasoonbevochtiger. Deze week werden ook de overtemperatuurbeveiligingen ingebouwd en werd het elektrisch bord voorzien van goten en dinrails. Hierna werd het elektrisch bord gekableerd. De laatste dag van deze week werden er kabels getrokken naar de verschillende voorzieningen in de klimaatkast en werden deze kabels ook aangesloten op de juiste plaatst op het elektrisch bord.

PROSPECTIE (Welke rol volgende week, waarom):

Op te nemen rollen: mecaniciens, elektriciens, technieker

Volgende week zullen de sensoren ingebouwd worden en zullen de watertoevoer- en afvoervaten voorzien worden. Daarnaast zal ook de verwarmingsweerstand bevestigd worden in de kast.

OPMERKINGEN:

/

VERSLAG WEEK 16:**ROL:**

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (mecaniciens) | <input type="checkbox"/> Ontwerpafdeling Elektrisch |
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (elektriciens) | <input type="checkbox"/> Dienst planning |
| <input type="checkbox"/> Preventie/veiligheidsadviseur | <input type="checkbox"/> Productie |
| <input type="checkbox"/> Kwaliteitscontrole | <input type="checkbox"/> Dienst Aankoop |
| <input type="checkbox"/> Prototype bouwen/werkplaats | <input type="checkbox"/> Programmeur (sturing) |
| <input type="checkbox"/> Ontwerpafdeling Mechanisch | <input type="checkbox"/> |

KORTE BONDIGE UITLEG (MAX halve A4) ROL:

(Wat, Waarom, welk nut, wat heb je zelf hieruit geleerd, wat heb je eventueel zelf gedaan...)

Opgenomen rollen: mecaniciens, elektriciens

Deze week werd, na een positieve evaluatie van de vacuümtest, het koelcircuit gevuld met de berekende hoeveelheid R134a. Daarnaast werden de sensoren via een buisje ingebouwd in de procesruimte met hun meetelement in de aanzuigluchtstroom van de ventilator. De verwarmingsweerstand werd vervolgens via roestvrijstalen beugels ingebouwd en via hogetemperatuursilicone gemonteerd op de vloer van de procesruimte. Verder werd ook gestart met het inbouwen van de luchtgeleidingswanden en werd de klimaatkast ingeregeld door een beroepsprogrammeur. Hierna werd het bedieningspaneel voor de deur gemaakt en gemonteerd.

PROSPECTIE (Welke rol volgende week, waarom):

Op te nemen rollen: mecaniciens, elektriciens, techniker

Volgende week zullen de gedemonteerde platen weer aangebracht worden en zal de kast volledig opgepoetst worden.

OPMERKINGEN:

/

VERSLAG WEEK 17:**ROL:**

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (mecaniciens) | <input type="checkbox"/> Ontwerpafdeling Elektrisch |
| <input type="checkbox"/> Onderhoud (elektriciens) | <input type="checkbox"/> Dienst planning |
| <input type="checkbox"/> Preventie/veiligheidsadviseur | <input type="checkbox"/> Productie |
| <input type="checkbox"/> Kwaliteitscontrole | <input type="checkbox"/> Dienst Aankoop |
| <input type="checkbox"/> Prototype bouwen/werkplaats | <input type="checkbox"/> Programmeur (sturing) |
| <input type="checkbox"/> Ontwerpafdeling Mechanisch | <input type="checkbox"/> |

KORTE BONDIGE UITLEG (MAX halve A4) ROL:

(Wat, Waarom, welk nut, wat heb je zelf hieruit geleerd, wat heb je eventueel zelf gedaan...)

Opgenomen Onderhoud, monteur

Deze week werd het frame van de klimaatkast opnieuw gemonteerd, hiervoor werd alle isolatie teruggeplaatst en werden de verschillende leidingen en kabels netjes weggewerkt. Ten slotte werd de kast opgepoetst en klaargemaakt voor de presentatie.

PROSPECTIE (Welke rol volgende week, waarom):

Op te nemen rollen: Schrijver

Volgende week zullen er foto's gemaakt worden van het eindresultaat en zal het deeltje over de praktische uitwerking aan het dossier toegevoegd worden.

OPMERKINGEN:

/

Bijlage 2: Veiligheidspictogrammen

Pictogram	Betekenis
	Handschoenen dragen verplicht!
	Gezichtsbescherming dragen verplicht!
	Algemeen waarschuwingsteken voor gevaar!
	Pas op warm oppervlak!
	Pas op elektrisch gevaar!

Bijlage 3 Metingen op de installatie

Na het opbouwen van het koelcircuit, werden er metingen uitgevoerd op de installatie. Via deze metingen werd het koelcircuit uitgetekend in het log ph-diagram. Hiervoor waren volgende metingen nodig:

- De condensatiedruk
Deze druk werd afgelezen op de hogedrukmanometer van de manifold.

- De verdampingsdruk
Deze druk werd afgelezen op de lagedrukmanometer van de manifold.

- De oververhitting
Deze temperatuur kon berekend worden door de verdampingstemperatuur af te trekken van de temperatuur gemeten aan de uitgang van de verdamper. De verdampingstemperatuur werd afgelezen op de lagedrukmanometer van de manifold.

- De onderkoeling
Deze temperatuur kon berekend worden door de temperatuur gemeten juist voor het expansieventiel af te trekken van de condensatietemperatuur. De condensatietemperatuur werd afgelezen op de hogedrukmanometer van de manifold.

Voordat deze metingen uitgevoerd werden, werd de proceslucht in de klimaatkast opgewarmd tot 40°C, hierna werd de koelgroep opgestart om deze temperatuur te koelen tot 10°C. De metingen werden uitgevoerd tijdens dit koelproces met behulp meetklemmen van het merk Sporlan en een manifold die aangesloten werd op de installatie.

Resultaten:

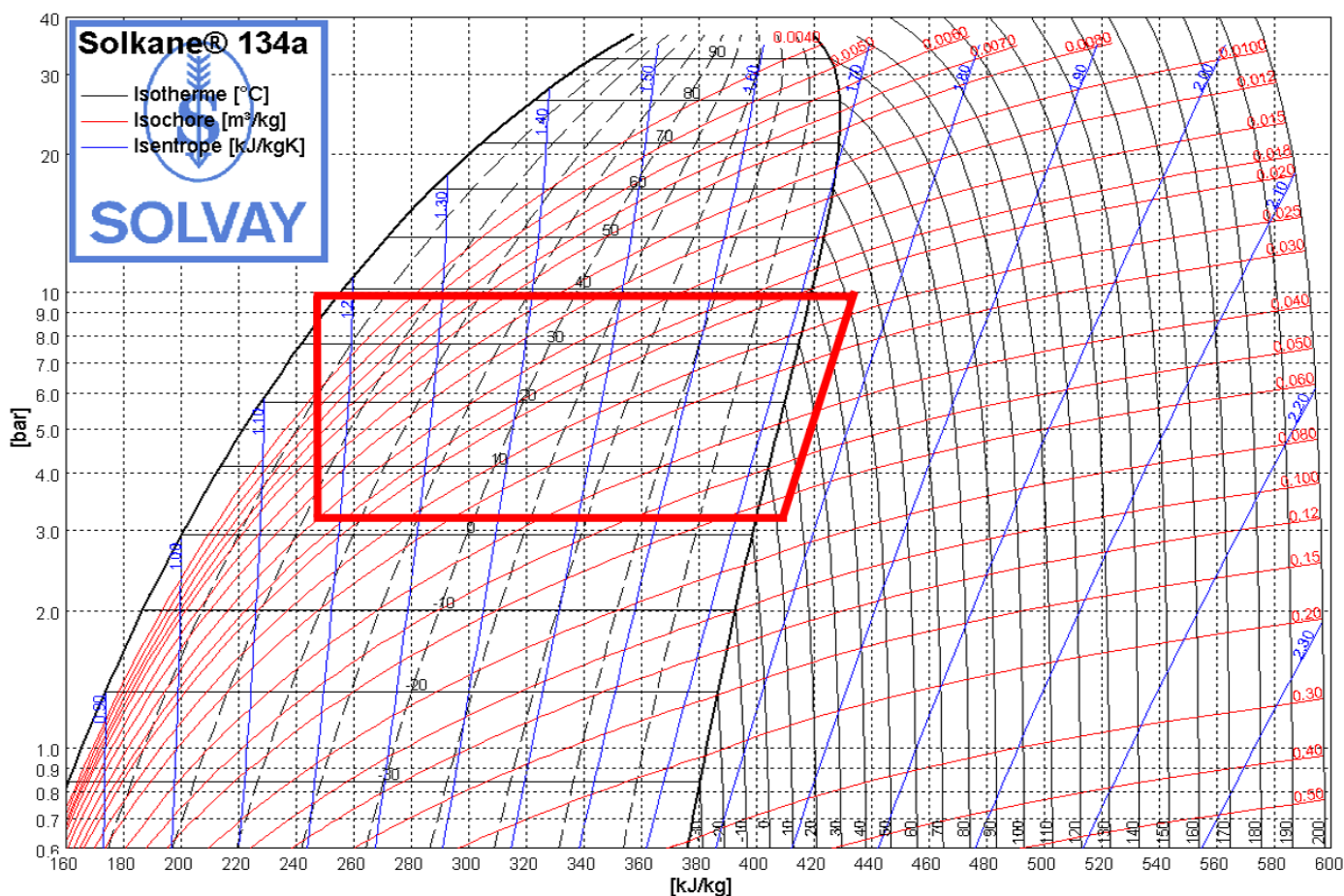
- Condensatiedruk = 9,7 bar
- Verdamperdruk = 2,3 bar
- Oververhitting = de temperatuur aan de uitgang van de verdamper – de verdampingstemperatuur => $9,3 - 2,4 = 6,9$ K
- Onderkoeling = de condensatietemperatuur – de temperatuur juist voor het expansieventiel => $39 - 32,3 = 6,7$ K

Conclusies:

Een goede oververhitting is gelegen tussen de 5 à 10K, wanneer de waarde kleiner zou zijn dan 5K, dan moet de regelschroef van het expansieventiel meer ingedraaid worden, indien deze waarde groter is dan 10K dan moet de regelschroef meer uitgedraaid worden.

Een goede onderkoeling is gelegen tussen de 5 à 10K, wanneer deze waarde kleiner zou zijn dan 5K, moet er nagekeken worden of er geen gasbellen te zien zijn in het kijkglas. Wanneer deze waarde groter zou zijn dan 10K, is er teveel koelmiddel aanwezig in de installatie.

Hieronder kunt u het koelproces uitgetekend in het log ph-diagram terugvinden:



Figuur 148: De koelcyclus getekend in het log ph-diagram

Bijlage 4 risicoanalyse

Risicoanalyse					
Onderzochte machine: Klimaatkast					
Plaats van het risico	Risico omschrijving	Kinney factoren			
		W	B	MG	R
De deur	Het glas en de behuizing van de deur zijn warm waardoor iemand zich zou kunnen verbranden.	0,2	10	3	6
De deur	Een lichaamsdeel bezeren door dit tussen de deur te steken tijdens het sluiten.	3	6	3	54
De deur	Een lichaamsdeel bezeren wanneer de deur openzwaait.	3	6	3	54
Het carter	Het carter van de kast heeft warm waardoor iemand zich zou kunnen verbranden.	0,2	10	3	6
Het carter	Iemand bezeert zich aan de hoeken van de klimaatkast.	1	10	3	30
De procesruimte en het testproduct	Door de klimaatsimulatie spat het testproduct uit elkaar door de temperatuurshok bij het openen van de klimaatkast.	1	6	7	42
De procesruimte	Iemand verbrand zich aan de warme wanden van de procesruimte.	1	6	7	42
De klimaatkast	Iemand kan zich bezeren wanneer de klimaatkast over zijn voet rijdt.	0,2	0,5	7	0,7
De klimaatkast	Iemand bezeert zich doordat de klimaatkast kantelt en op de persoon in kwestie valt.	0,2	0,5	15	1,5

De luchtgeleidingsplaten in de procesruimte	Iemand bezeert zich door zich te snijden aan de scherpe randen van de roestvrijstalen luchtgeleidingswanden.	3	6	3	54
Het carter	Men krijgt een elektrische schok via stalen carter van de klimaatkast.	0,5	10	7	35
Het testproduct	Men verbrandt zich aan het testproduct wanneer men dit verwijderd uit de klimaatkast.	0,5	6	3	9
De verschillende schappen	Men bezeert een lichaamsdeel door het vallen van een schap bij handelingen in de procesruimte.	1	6	3	18