



**HoGent**

NATUUR  
EN  
TECHNIEK

# **Berekenen van een koelinstallatie met ammoniak, vergeleken met een CO<sub>2</sub>-installatie**

**Schatteman Wesley**

Bachelorproef voorgedragen tot het behalen van de graad van  
Bachelor in de Elektromechanica

Afstudeerrichting: Klimatisering

Promotor: Patrick Depreter  
Tweede beoordelaar: Piet Goddemaer

Instelling: Arco NV

Academiejaar 2015-2016  
Tweede Examenperiode



“Wees niet bang van de perfectie, je bereikt ze toch nooit.”

- Salvador Dali -





**HoGent**

NATUUR  
EN  
TECHNIEK

# **Berekenen van een koelinstallatie met ammoniak, vergeleken met een CO<sub>2</sub>-installatie**

**Schatteman Wesley**

Bachelorproef voorgedragen tot het behalen van de graad van  
Bachelor in de Elektromechanica

Afstudeerrichting: Klimatisering

Promotor: Patrick Depreter  
Tweede beoordelaar: Piet Goddemaer

Instelling: Arco NV

Academiejaar 2015-2016  
Tweede Examenperiode



## Samenvatting

De hoofdzaak van deze bachelorproef is om een vergelijking te maken tussen een reeds berekende koelinstallatie werkende op CO<sub>2</sub> en een nog te berekenen installatie op ammoniak (NH<sub>3</sub>). Vooral de kosten en de milieu-impact worden hierin vergeleken. Deze bachelorproef beschrijft gedetailleerd de stappen die zijn ondernomen bij het berekenen van een ammoniakkoelsysteem en de vergelijking tussen de twee bovengenoemde installaties.

Om van start te kunnen gaan is het principe van koeling met ammoniak eerst volledig bestudeerd en daarna alle componenten zorgvuldig berekend en geselecteerd. Met een kritische blik is er een vergelijking gemaakt tussen twee verdampingstemperaturen. Deze vergelijking gaat tussen een lage en een hogere verdampingstemperatuur. Zowel de energiebesparing als de vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot zijn hierin beschouwd en het verschil is groot. Een hogere verdampingstemperatuur heeft enkele voordelen, bijvoorbeeld: de producten in de koelcellen drogen minder snel uit omdat de ruimte vochtiger blijft, maar er is een meerprijs aan verbonden. Echter, door minder te verbruiken haal je deze meerprijs er na een korte tijd terug uit.

Na het selecteren en berekenen is dan uiteindelijk de prijs opgemaakt van het hele systeem. Op basis van het energieverbruik en deze prijs wordt de vergelijking gemaakt tussen het ammoniaksysteem en het CO<sub>2</sub>-systeem. Ook hier zijn zowel de energiebesparing als de vermindering van de CO<sub>2</sub> uitstoot beschouwd. De ammoniakinstallatie is duurder maar verbruikt minder, waardoor deze op termijn is terugverdiend. Door het lagere verbruik stoot deze installatie ook minder CO<sub>2</sub> uit, zowel direct als indirect. Er is gekeken wat het verschil zou zijn als er zonnepanelen gelegd worden om het hele systeem van elektriciteit te voorzien. Het ammoniaksysteem komt er na elke vergelijking als beste uit.

Deze bachelorproef dient als naslagwerk en alle stappen die ondernomen zijn staan hierin beschreven. Het kan gebruikt worden om volgende ammoniakinstallaties te ontwerpen of te optimaliseren.





## Voorwoord

Mijn naam is Wesley Schatteman en voor u ligt mijn bachelorproef. Dit is het slot van mijn driejarige bacheloropleiding elektromechanica, met als afstudeerrichting klimatisering gevolgd aan de HoGent. In het kader van deze opleiding volgde ik een stage bij Arco NV, een koeltechnisch bedrijf. Aan deze stage was mijn bachelorproef verbonden. Zowel aan de stage als de bachelorproef houd ik zeer educatieve en aangename ervaringen over. Een bachelorproef schrijf je nooit alleen, daarom enkele woorden van dank.

Eerst en vooral wil ik graag de Hogeschool Gent bedanken voor de mogelijkheid die ze de studenten geeft om een stage en een bachelorproef te kunnen realiseren. Hartelijk dank aan het personeel van de HoGent, dankzij hen is de basis van mijn kunnen gevormd. In het bijzonder dank ik graag mijn stagebegeleider, de heer Patrick Depreter voor de opvolging en begeleiding van mijn stage en bachelorproef en het goede advies waarmee hij mij wist bij te staan.

Een woord van dank ook aan het personeel van het stagebedrijf, Arco NV. Ze gaven me de gelegenheid en de hulp om mijn stage en bachelorproef tot een goed einde te brengen. Dankzij hen was dit een onvergetelijke ervaring. Speciale dank aan mijn stagementor, de heer Stefan Rousseau, voor het advies en de begeleiding van dit proces.

Graag wil ik ook dank betuigen aan mijn familie en vrienden, zij brachten me steun en de kans om geconcentreerd en in alle sereniteit te kunnen werken. Ze bezorgden me allemaal de nodige ontspanning wanneer het nodig was. In het bijzonder mijn vriendin, voor het tonen van zoveel begrip en het medeleven. Ze stond steeds voor me klaar en hield het vuur brandende. Zelfs wanneer het, spreekwoordelijk dan, hemelwater goot.

Ik heb een fijne tijd gehad tijdens het schrijven van deze bachelorproef. Ik hoop dat iedereen er minstens evenveel vreugde uit kan halen bij het lezen van deze bachelorproef.

Veel leesplezier!

Wesley Schatteman

Mei, 2016



# Inhoudsopgave

<b>SAMENVATTING .....</b>	<b>III</b>
<b>VOORWOORD.....</b>	<b>V</b>
<b>INHOUDSOPGAVE .....</b>	<b>VII</b>
<b>LIJST VAN ILLUSTRATIES .....</b>	<b>X</b>
Lijst van figuren.....	X
Lijst van tabellen .....	XI
Lijst van grafieken .....	XI
<b>1.    INLEIDING.....</b>	<b>13</b>
1.1.    Het milieu.....	13
1.2.    De koelcyclus.....	13
1.3.    Het stagebedrijf .....	14
1.4.    De opdracht .....	14
<b>2.    KOELMIDDELEN .....</b>	<b>16</b>
2.1.    Vroeger en nu .....	16
2.2.    Het milieu.....	17
2.3.    Opwarming van de aarde.....	17
2.4.    Ammoniak als koudemiddel .....	17
2.5.    CO <sub>2</sub> als koudemiddel.....	18
<b>3.    BELANGRIJKE COMPONENTEN VAN HET KOUDESISTEEM .....</b>	<b>19</b>
3.1.    De compressor .....	19
3.1.1.    Zuigercompressor .....	19
3.1.2.    Centrifugaal compressor.....	20
3.1.3.    Schroefcompressor .....	20
3.1.4.    Scroll-compressor .....	20
3.2.    De Condensor.....	21
3.2.1.    Luchtgekoeld.....	21
3.2.2.    Watergekoeld.....	21
3.2.3.    Verdampingscondensor .....	22
3.3.    De verdamper .....	23
3.3.1.    Droge verdamping .....	23
3.3.2.    Natte verdamping .....	23
3.4.    Het expansieventiel .....	24
3.4.1.    Thermostatisch expansieventiel .....	24
3.4.2.    Elektronisch gestuurd expansieventiel .....	24
3.4.3.    Capillair expansieventiel .....	24
3.4.4.    Hogedrukvlotter.....	25
3.5.    Vloeistofvat.....	25
3.6.    koudemiddelpomp.....	26

<b>4.</b>	<b>THEORETISCHE ACHTERGROND .....</b>	<b>26</b>
4.1.	Log(p)h diagram .....	26
4.2.	COP (Coëfficiënt Of Performance) .....	27
<b>5.</b>	<b>CIRCULATIESYSTEMEN .....</b>	<b>28</b>
5.1.	Natuurlijke circulatie .....	28
5.2.	Pomp circulatie .....	29
<b>6.</b>	<b>WERKING GEKOZEN SYTEEM .....</b>	<b>30</b>
<b>7.</b>	<b>WERKING TRANSKRITISCH SYSTEEM (CO<sub>2</sub>) .....</b>	<b>32</b>
<b>8.</b>	<b>ONTDOOISYSTEMEN .....</b>	<b>34</b>
<b>9.</b>	<b>OLIEKOELING .....</b>	<b>35</b>
9.1.	Watergekoeld.....	35
9.2.	Luchtgekoeld.....	35
9.3.	Koelmiddel-gekoeld .....	35
9.3.1.	Vloeistofinjectie .....	35
9.3.2.	Secundaire koeling.....	35
9.3.3.	Thermosifon oliekoeling .....	36
<b>10.</b>	<b>GEGEVENS SYSTEEM .....</b>	<b>37</b>
<b>11.</b>	<b>SELECTIE VERDAMPER.....</b>	<b>38</b>
<b>12.</b>	<b>SELECTIE COMPRESSOR.....</b>	<b>39</b>
<b>13.</b>	<b>SELECTIE CONDENSOR.....</b>	<b>40</b>
<b>14.</b>	<b>LEIDINGBEREKENING.....</b>	<b>41</b>
<b>15.</b>	<b>KOELMIDDELINHOUD.....</b>	<b>43</b>
<b>16.</b>	<b>BEREKENING VLOEISTOFAFSCHIEDER.....</b>	<b>44</b>
<b>17.</b>	<b>SELECTIE ANDERE ONDERDELEN .....</b>	<b>46</b>
17.1.	Appendages Danfoss.....	46
17.2.	Hogedrukvlotter.....	46
17.3.	Thermosifon.....	46
17.4.	Verwarming.....	46
<b>18.</b>	<b>VERGELIJKING VERDAMPINGSTEMPERATUUR .....</b>	<b>47</b>
18.1.	Systeem -6°C.....	47
18.2.	Systeem -1°C.....	48
18.3.	Verbruik van de installaties.....	48
18.3.1.	Verbruik systeem -6°C.....	48
18.3.2.	Verbruik systeem -1°C.....	49
18.4.	Terugverdientijd.....	49
18.5.	Verschil in CO <sub>2</sub> -uitstoot.....	49
<b>19.</b>	<b>KOSTENRAMING .....</b>	<b>51</b>

<b>20.</b>	<b>VERGELIJKING MET HET CO<sub>2</sub>-SYSTEEM .....</b>	<b>53</b>
20.1.	Energieverbruik.....	53
20.1.1.	CO <sub>2</sub> systeem .....	53
20.1.2.	NH <sub>3</sub> systeem .....	54
20.1.3.	Grafiek maandelijks verbruik .....	54
20.1.4.	Terugverdiëntijd.....	55
20.2.	CO <sub>2</sub> -uitstoot .....	56
20.2.1.	CO <sub>2</sub> -systeem.....	56
20.2.2.	NH <sub>3</sub> -systeem.....	56
20.2.3.	Vergelijking CO <sub>2</sub> -uitstoot.....	57
<b>21.</b>	<b>BESLUIT .....</b>	<b>59</b>
	<b>LITERATUURLIJST .....</b>	<b>61</b>
	<b>VERKLARENDE WOORDENLIJST .....</b>	<b>62</b>
	<b>SYMBOLENLIJST .....</b>	<b>63</b>
	<b>LIJST MET AFKORTINGEN.....</b>	<b>63</b>
	<b>BIJLAGEN .....</b>	<b>64</b>
I.	Technische fiches verdamper.....	64
II.	Gegevens compressor.....	67
III.	Berekening van de leidingen.....	69
IV.	Isolatie van de leidingen .....	81
V.	Selectie appendages Danfoss.....	82
VI.	Gegevens hogedrukplotter .....	85
VII.	Prijslijst.....	86
VIII.	Log (p) h diagram ammoniak .....	89

## Lijst van illustraties

### Lijst van figuren

Figuur 1-1: De koelcyclus .....	13
Figuur 1-2 (Arco NV, sd).....	14
Figuur 2-1 (Wijbenga, 2016): Koelmiddelen in de tijd .....	16
Figuur 2-2: Opwarming van de aarde .....	17
Figuur 3-1: Zuigercompressor .....	19
Figuur 3-2: Centrifugaal compressor .....	20
Figuur 3-3 (Wikipedia-bijdragers, Schroefcompressor, 2016).....	20
Figuur 3-4 (Wikipedia-bijdragers, Scroll-compressor, 2015) .....	20
Figuur 3-5: Vereenvoudigde voorstelling condensor.....	21
Figuur 3-6 (Oosterom, 1991): Luchtgekoelde condensor .....	21
Figuur 3-7 (Oosterom, 1991): Watergekoelde condensor.....	21
Figuur 3-8 (Oosterom, 1991): Verdampingscondensor .....	22
Figuur 3-9 (GmbH Kelvion Holding , 2016): Verdamer .....	23
Figuur 3-10 (Oosterom, 1991): Thermostatisch expansieventiel .....	24
Figuur 3-11 (TH. WITT Kältemaschinenfabrik GmbH, sd): Hogedrukvlotter.....	25
Figuur 3-12 (Wijbenga, 2016): Vloeistofvat .....	25
Figuur 4-1: Het log(p)h-diagram .....	27
Figuur 5-1: Verdamer met natuurlijke circulatie .....	28
Figuur 5-2: Verdamer met pompsysteem.....	29
Figuur 6-1 (Danfoss, 2016): Pompcirculatie log(p)h-diagram.....	30
Figuur 6-2: Principeschema systeem met natte verdamping .....	31
Figuur 7-1 (IPU, refrigeration and energy engineering, 2009): Principeschema CO <sub>2</sub> .....	32
Figuur 7-2 (IPU, refrigeration and energy engineering, 2009): Log(p)h transkritisch CO <sub>2</sub> -systeem ....	33
Figuur 8-1 (O'Neill, 2016): IJsvorming op een verdamer .....	34
Figuur 9-1: Thermosifon oliekoeling .....	36
Figuur 11-1 (GmbH Kelvion Holding , 2016): Verdamer Goedhart type VRZ.....	38
Figuur 12-1 (BITZER Kühlmaschinenbau GmbH, sd): Open schroefcompressor.....	39
Figuur 12-2: Resultaten Bitzer Software .....	39
Figuur 13-1 (Baltimore Aircoil, sd): Werkingsprincipe verdampingscondensor .....	40
Figuur 16-1: Niveaus in een afscheider.....	44
Figuur 20-1 (IPU, 2008 - 2015): Vergelijking maandelijks verbruik.....	54
Figuur 20-2: Voorstelling CO <sub>2</sub> -uitstoot.....	58

## Lijst van tabellen

Tabel 10-1: Gegevens systeem .....	37
Tabel 11-1: Prijzen verdampers .....	38
Tabel 12-1: Prijzen compressoren en motoren .....	39
Tabel 14-1: Prijzen leidingen en isolatie .....	42
Tabel 15-1: Berekening vloeistofinhoud .....	43
Tabel 15-2: Totale vloeistofinhoud .....	43
Tabel 16-1: Goniometrische factoren per X-waarde .....	44
Tabel 16-2: Inhoud vloeistofafscheider .....	44
Tabel 16-3: Resultaten vloeistofafscheider .....	45
Tabel 18-1: Prijzen systeem -6°C.....	47
Tabel 18-2: Prijzen systeem -1°C.....	48
Tabel 18-3: Verbruik systeem -6°C.....	48
Tabel 18-4: Verbruik systeem -1°C.....	49
Tabel 18-5: Vergelijking CO <sub>2</sub> -uitstoot .....	50
Tabel 19-1: Prijzen per categorie .....	51
Tabel 20-1: Gegevens vergelijking .....	53
Tabel 20-2: Energieverbruik CO <sub>2</sub> systeem.....	53
Tabel 20-3: Energieverbruik NH <sub>3</sub> systeem .....	54
Tabel 20-4: CO <sub>2</sub> Uitstoot CO <sub>2</sub> -systeem.....	56
Tabel 20-5: CO <sub>2</sub> -uitstoot NH <sub>3</sub> -systeem.....	56

## Lijst van grafieken

Grafiek 18-1: Terugverdientijd.....	50
Grafiek 19-1: Verhouding van de prijzen .....	52
Grafiek 20-1: Terugverdientijd NH <sub>3</sub> .....	55
Grafiek 20-2: Vergelijking CO <sub>2</sub> uitstoot .....	57





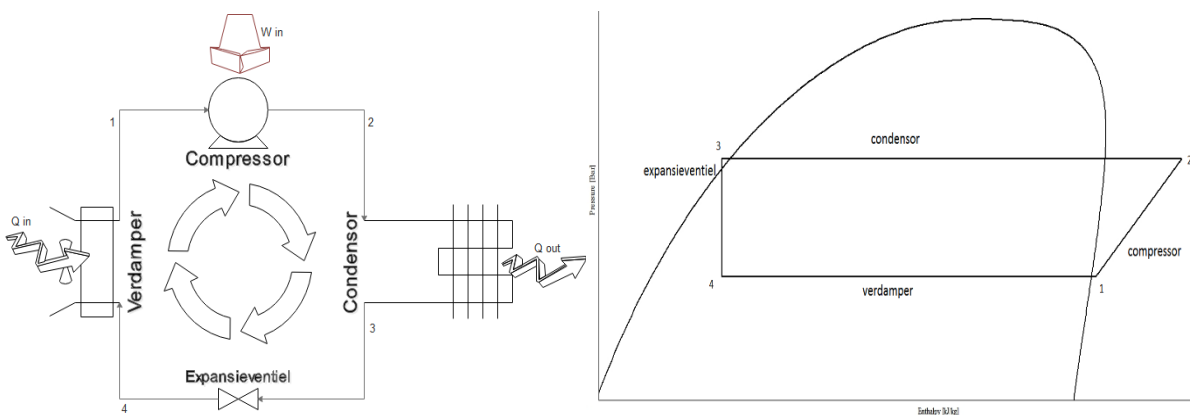
# 1. Inleiding

## 1.1. Het milieu

De afgelopen jaren is er al heel wat aandacht naar de koeltechniek en de milieu-impact hiervan gegaan. Want in Europa staat de koeltechnische wereld in voor 2 % van de broeikasgassen. Het is dan ook meer dan logisch dat de natuurlijke koelmiddelen, waarvan reeds bewezen is dat ze de ozonlaag niet aantasten en geen of nauwelijks invloed hebben op de opwarming van de aarde, terug hun opkomst gemaakt hebben. De koelinstallaties moeten voortdurend beter en beter presteren. Hiervoor worden er nieuwe technieken uitgevonden of bestaande technieken verbeterd. Deze verbeteringen moeten het energieverbruik doen dalen, deze energiedaling reflecteert zich dan ook naar de klant. Ook de warmteterugwinning doet heel erg zijn opkomst in de koeltechniek. Zo kan met de warmte die normaal verloren gaat, bijvoorbeeld water opgewarmd worden en daar dan een gebouw met verwarmen. Ook hierdoor zal de milieu-impact dalen en de klant zal zijn energiefactuur zien dalen. Win-win dus, de klant heeft er baat bij en zeker en vast niet minder belangrijk, het milieu heeft er ook voordeel bij.

## 1.2. De koelcyclus

Het basisprincipe van compressor koeling is het meest gebruikte systeem, het is onder meer terug te vinden in de koelkast en diepvriezer thuis. Het systeem wordt voorgesteld in Figuur 1-1. De compressor perst het gasvormige koelmiddel bijeen en zowel de druk als de temperatuur stijgen (1-2). Daarna gaat het gasvormige koelmiddel naar de condensor, hier koelt het af en eens het zijn dauwpunt bereikt zal het beginnen condenseren (2-3). Om dit te kunnen doen geeft het zijn warmte ( $Q_{out}$ ) af aan de buitenlucht of aan koelwater. Het gecondenseerde koelmiddel gaat dan verder naar het expansieventiel. Hierin expandeert de vloeistof (3-4) en dalen druk en temperatuur, er ontstaat een vloeistof- en gasmengsel. In de verdamper onttrekt het koelmiddel de warmte ( $Q_{in}$ ) van de omgeving om te kunnen verdampen.



Figuur 1-1: De koelcyclus

### 1.3. Het stagebedrijf

Arco NV, een bedrijf met twee vestigingen: één in Lokeren en één in Geel. Er werken ongeveer 80 werknemers, zowel arbeiders als bedienden.



Figuur 1-2 (Arco NV, sd)

Ze zijn vooral bezig met koelinstallaties maar doen ook andere werken:

- Koel- en vriesinstallaties: Uiteenlopende industrieën doen een beroep op Arco onder andere de voedingsindustrie, logistiek, land- en tuinbouw, chemie en petrochemie, drukkerijen en kunststofverwerkers...
- Supermarktinstallaties: Op maat gemaakte oplossingen voor grote supermarktketens tot kleine buurtwinkels
- IJsmachines: machines voor het maken van schilferijs of ijsblokjes
- Airco en warmtepompen: zowel bij bedrijven als particulier, op maat gemaakte oplossingen. Bij Arco wordt er steeds naar een energie- en budgetvriendelijk ontwerp gezocht.
- Luchtbehandeling: luchtverversing brengt comfort voor bezoekers en producten in een gebouw. Ze stellen het systeem optimaal af aan de noden en behoeften van het gebouw.

Het bedrijf doet ook service en onderhoud van koelinstallaties om zo uw installatie in perfect werkende staat te houden. Ook de mogelijkheid voor een onderhoudscontract bestaat, om er zeker van te zijn dat er regelmatig een controle en onderhoud gebeurt. Volgens de VLAREM II wetgeving zijn lektheidstesten verplicht voor koelinstallaties, Arco kan hier dan ook in bijstaan. Arco is een exclusieve partner voor Rittal, zij doen klimatisering voor computerruimtes. Arco voorziet hierin de plaatsing en het onderhoud. Voor B medical systems (Dometic) zijn ze ook exclusieve partner voor de medische koel- en vriestoepassingen hiervoor doen ze het onderhoud van de installaties.

### 1.4. De opdracht

Het project bestaat er in om een vergelijking te maken tussen een reeds berekende koelinstallatie werkende op CO<sub>2</sub> en een nog te berekenen installatie op ammoniak (NH<sub>3</sub>). Vooral de kosten en de milieu-impact zullen vergeleken worden. De CO<sub>2</sub>-installatie is reeds berekend door het bovengenoemde stagebedrijf. Omdat dit al berekend was, zijn ook de koellasten bekend. Bij het bepalen van het nieuwe systeem op ammoniak is er dan ook gerekend met deze gegeven koellasten.

Bij het ontwerpen van het systeem is er dus met enkele gegevens begonnen, het aantal verdamperen en de koellasten waren bekend. Op een grondplan waren deze elementen al reeds getekend. In het begin is er natuurlijk de vraag hoe hier op een goede en overzichtelijke manier aan gestart moet worden.

Om te beginnen is er zoveel mogelijk informatie verzameld en verwerkt over koeling met ammoniak als koudemiddel. Al snel werd alles duidelijk hoe de koeling met ammoniak werkt en is er de vergelijking gedaan wat het verschil is bij een hogere verdampingstemperatuur. Het verschil is groot en doorheen het hele project is er dan ook met deze hogere verdampingstemperatuur gerekend. Dan zijn de belangrijkste componenten zoals verdamper, condensor en compressor geselecteerd via speciale software van de producenten. De leidingen voor het koelsysteem zijn berekend op basis van de nodige massadebiten en de maximum snelheid van het koudemiddel in de leidingen. Eens de leidingen geselecteerd waren is er berekend wat de inhoud is van de koelinstallatie, om daarna de grootte van de vloeistofafscheider te berekenen. Hierna konden we dus ook bij de fabrikant een prijs

opvragen voor de vloeistofscheider. Stilaan begon de kostenraming zich te vormen en werden de andere componenten zoals een hogedrukvlotter en de componenten voor het thermosifonsysteem geselecteerd. Op dit punt begint de koelinstallatie vorm te krijgen en werd er begonnen met het selecteren van appendages zoals, filters, terugslagkleppen, aangestuurde kleppen, afsluitventielen, ... via de website van Danfoss. Eén koelcel zal in de winter verwarmd moeten worden, deze elementen hiervoor waren reeds berekend. De verwarming zal gebeuren met warmte die teruggewonnen is vanuit het koelsysteem. Op die manier zijn er zo weinig mogelijk verliezen en wordt energie bespaard die anders verloren zou gaan.

## 2. Koelmiddelen

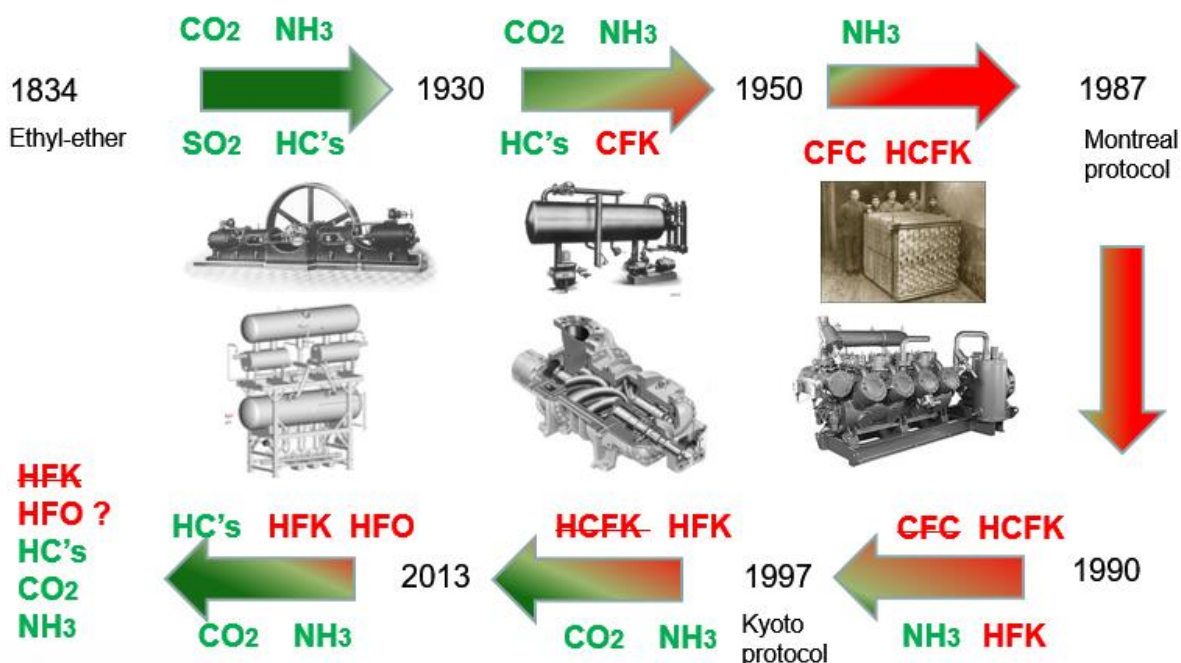
### 2.1. Vroeger en nu

In de beginnende jaren van de koeltechniek werden er (natuurlijke) koelmiddelen gebruikt die relatief gemakkelijk te produceren waren, er werd niet gekeken naar de impact op het milieu. Daarna werden de CFC's ontwikkeld, ze werden gepromoot als veilige en stabiele koelmiddelen. De natuurlijke koelmiddelen kregen het moeilijk te verduren sindsdien, maar ze zijn nooit volledig weg geweest.

Het is vooral in de jaren 80 duidelijk geworden dat de koelmiddelen met chloorcomponenten zeer schadelijk zijn voor het milieu. Bij het vrijkomen van het koelmiddel binden er telkens chloordeeltjes met een zuurstofatoom uit ozon als deze bestraalt worden met UV licht. Hierdoor wordt de ozonlaag aangetast en is er een gat in de ozonlaag gecreëerd.

Door het Montreal protocol in 1987 werden alle CFC's uitgefaseerd. De uitfasering werd uitgebreid door in 1997 ook de HCFC's uit te faseren. Later zullen ook de HFK's gebannen worden uit de koeltechnische wereld. We zijn terug meer en meer op weg naar het gebruik van de natuurlijke koudemiddelen. Ook de terugwinning van warmte is bijna niet meer weg te denken, hierdoor zijn er minder verliezen en kan een gebouw of productieproces verwarmd worden met warmte die anders verloren zou gaan. De zoektocht naar nieuwe koudemiddelen blijft duren en is nog lang niet voorbij. Er zal steeds gestreefd worden naar nieuwe koudemiddelen met betere energieprestaties om zo minder te verbruiken.

(Wijbenga, 2016)



Figuur 2-1 (Wijbenga, 2016): Koelmiddelen in de tijd

## 2.2. Het milieu

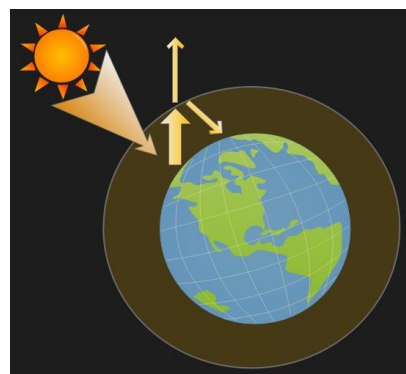
De vroegere chloor-fluor-koolwaterstoffen worden aanzien als de meest schadelijke koelmiddelen. Om deze schadelijke koelmiddelen in te delen wordt de ozon-depletion factor gebruikt, bij de meest schadelijke koelmiddelen is deze "1". Nieuwe koudemiddelen die ontworpen worden, moeten sinds de invoer van het Kyoto protocol als ODP "0" toegekend krijgen.

Daarna kwam de GWP (Global Warming Potential), dit is een aanduiding voor de mate waarin een broeikasgas schadelijk is voor het milieu. Hier wordt de vergelijking gemaakt wat het opwarmingsvermogen is van 1kg van het broeikasgas ten opzicht van 1kg CO<sub>2</sub>, en dit bekeken over een tijdsperiode van 100 jaar. (Oosterom, 1991)

Deze factoren zijn ingevoegd om de koudemiddelen te kunnen indelen op basis van hun effect op de ozonlaag en de opwarming van de aarde. De regelgevingen zullen steeds strenger worden en koudemiddelen zullen aan hogere voorwaarden moeten voldoen om nog gebruikt te mogen worden.

## 2.3. Opwarming van de aarde

De opwarming van de aarde (Figuur 2-2), ook wel het broeikaseffect genoemd, is een fenomeen dat optreedt omdat de aarde zijn warmte in mindere mate kan afgeven. De oorzaak hiervan zijn de zonnestralen die de aarde ontvangt een deel teruggekaatst worden. Maar door de broeikasgassen reflecteert een deel terug naar de aarde waardoor niet alle door de aarde gereflecteerde stralen kunnen ontsnappen. Dit zorgt voor een snelle opwarming van de aarde. Koelmiddelen dragen hier sterk hun steentje in bij. In Europa zijn koelmiddelen namelijk verantwoordelijk voor 2% van de broeikasgassen. Bij de opwarming van de aarde horen grote gevolgen voor zowel de mens en het milieu. Gletsjers en ijs op de poolkappen zullen smelten, het niveau van het zeewater zal stijgen, in sommige gebieden zal er meer neerslag zijn, andere gebieden zullen een woestijn vormen, klimaatzones zullen verschuiven, koraalriffen zullen verdwijnen, drinkwater zal verzuren door een toename aan CO<sub>2</sub>. Deze lijst gaat eindeloos lang door en om al deze gevolgen te beperken zullen er grote inspanningen moeten gebeuren.



Figuur 2-2: Opwarming van de aarde

## 2.4. Ammoniak als koudemiddel

Ammoniak is een zeer efficiënt natuurlijk koelmiddel, ammoniak wordt dan ook al lang gebruikt (al van voor 1900). Het is geen broeikasgas en zal bij het voordoen van een lek niet bijdragen aan de opwarming van de aarde. Wel is ammoniak in grote hoeveelheden schadelijk voor het milieu. Het zorgt in deze grote hoeveelheden voor een deel voor de vermesting van het grondoppervlak en de verzuring van bos- en natuurgebieden. Het koelmiddel werd in de jaren 40 verdrongen door de synthetische koelmiddelen, toen hadden ze geen idee wat de effecten waren van deze CFC's op de opwarming van de aarde. De laatste jaren komt ammoniak als koudemiddel terug op omwille van zijn

hoge efficiëntie. Zowel de GWP als de ODP hebben beide factor "0" toegekend gekregen. Ammoniak is giftig, en soms ook ontvlambaar als het zich in bepaalde concentraties bevindt. Bij lage concentraties werkt ammoniak irriterend aan de longen, in hoge concentratie kan ammoniak dodelijk zijn. Maar anders zoals bij andere koelmiddelen, heeft ammoniak een heel sterke geur. Deze geur kunnen mensen al bij lage concentraties opmerken. Bij het minste lek is dit dus te gebruiken als een waarschuwing. Bij ammoniak wordt bijna altijd een systeem gebruikt van natuurlijk circulatie of pompcirculatie, soms wordt er gebruikt gemaakt van directie expansie. Het heeft de vervelende eigenschap dat olie niet oplost in ammoniak, en omdat ammoniak lichter is dan olie zal de olie in het laagste punt van de installatie blijven liggen. Een systeem voor de olieterugvoer moet dus voorzien worden bij het ontwerpen van een installatie.

## 2.5. CO<sub>2</sub> als koudemiddel

CO<sub>2</sub> is een gas dat natuurlijk voorkomt in de lucht. CO<sub>2</sub>, voluit geschreven koolstofdioxide, werkt versuffend en is slechts in hoge concentraties schadelijk voor de gezondheid. In hoge concentraties werkt het verdovend en zorgt het voor duizeligheid, na enige tijd blootgesteld te zijn aan hoge concentraties verliest men het bewustzijn waarop zelfs de dood kan volgen. Olie is goed oplosbaar in CO<sub>2</sub> en dit zorgt ervoor dat een circulatiesysteem mogelijk is zonder speciale voorzieningen voor olieterugvoer. Bij CO<sub>2</sub> wordt zowel directe expansie als pompcirculatie vaak toegepast. Door het lage kritische punt namelijk 31°C is het in een normale koelcyclus niet mogelijk om te werken als de temperaturen in de zomer hoger zijn. De koelcyclus zal dan meestal transkritisch moeten verlopen. In de winter is het mogelijk om de installatie subkritisch te laten verlopen. Bij een transkritisch koelsysteem gaan hoge drukken gepaard, deze kunnen oplopen tot wel 85 bar. Het energieverbruik ligt beduidend hoger dan bij ammoniak omwille van de slechte COP, er gaat dus extra aandacht naar warmteterugwinning en systemen om het energieverbruik te doen dalen. Bij CO<sub>2</sub> is de ODP gelijk aan "0" en de GWP is logischerwijze "1".

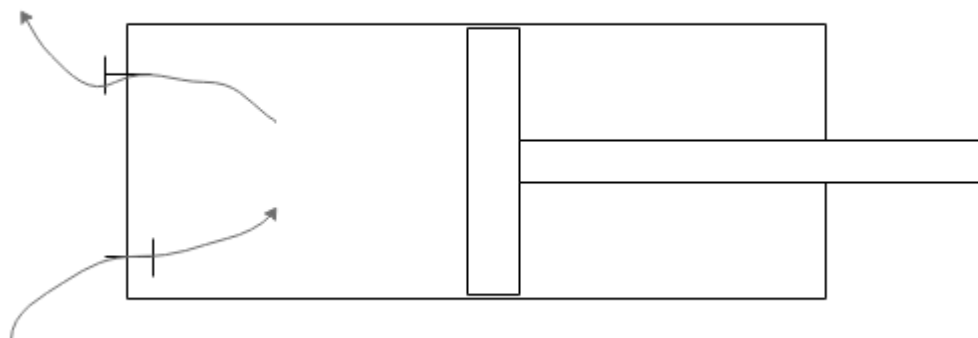
### 3. Belangrijke componenten van het koudesysteem

#### 3.1. De compressor

- Hermetisch gesloten: hierbij bevindt de elektromotor zich in een omhulsel samen met de compressor. Het omhulsel is dichtgelast en is niet toegankelijk voor reparaties.
- Semi-hermetisch gesloten: net zoals bij de hermetisch gesloten compressor, bevindt de elektromotor zich in een omhulsel samen met de compressor. In tegenstelling tot het hermetisch gesloten systeem, is dit systeem wel toegankelijk voor reparaties. Het systeem is geheel demonteerbaar.
- Open: bij een open compressor bevindt de elektromotor zich buiten de compressor zelf. Het gasvormige koelmiddel wordt door middel van asafdichtingen, die gepast zijn voor het soort koelmiddel, binnen in het compressorhuis gehouden. Dit wordt veel toegepast bij grote compressoren.

##### 3.1.1. Zuigercompressor

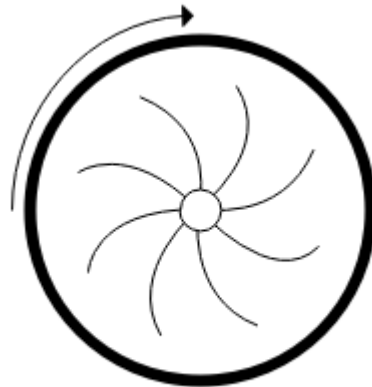
Als de zuiger achterwaarts beweegt dan zuigt de cilinder het gas aan. Wanneer de zuiger terug voorwaarts beweegt dan perst deze de gassen samen en duwt deze uit de cilinder. Deze soort compressor wordt zeer veel gebruikt bij minder grote installaties omwille van de eenvoud van de werking. (een eenvoudig prinseschema van een zuigercompressor is hieronder te zien in Figuur 3-1)



Figuur 3-1: Zuigercompressor

### 3.1.2. Centrifugaal compressor

De centrifugaal compressor (Figuur 3-2) zet een kinetische kracht (snelheid) om in een potentiele kracht (druk). Het grote voordeel van deze compressor is dat de olie gescheiden is van het koelmiddel. Een nadeel is echter dat hij maar kleine drukverschillen kan overbruggen. Deze compressoren worden regelmatig gebruikt bij grotere vermogens.



Figuur 3-2: Centrifugaal compressor

### 3.1.3. Schroefcompressor

Deze compressor bestaat uit 2 schroeven die zich bevinden in een achtvormig huis. De twee schroeven (in Figuur 3-3) die juist in elkaar passen draaien rond. Door de vorm van deze schroeven beweegt het koelmiddel van de grootste kamer naar de kleinere kamer waar het koelmiddel samengedrukt wordt en de druk bijgevolg dus stijgt. De schroefcompressor is uitermate geschikt voor installaties met grote vermogens.



Figuur 3-3 (Wikipedia-bijdragers, Schroefcompressor, 2016)

### 3.1.4. Scroll-compressor

De scroll-compressor bestaat uit 2 tegengestelde spiralen, één van deze staat stil en de andere draait rond (in Figuur 3-4 is het principe kort voorgesteld). Het gas komt binnen aan de opening, vanaf hier wordt het verder naar binnen in de spiralen geperst. Het gas wordt stilaan meer gecomprimeerd tot dat het in het midden van de compressor is en de gewenste druk bereikt is. Hier verlaat het gas de compressor onder druk.

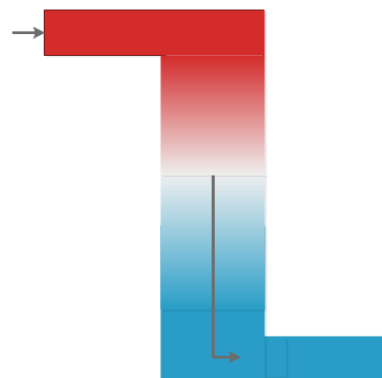


Figuur 3-4 (Wikipedia-bijdragers, Scroll-compressor, 2015)



## 3.2. De Condensor

Een condensor dient voor het afvoeren van de warmte van een koelproces, in Figuur 3-5 is een vereenvoudigde voorstelling van een condensor te zien. Deze warmte is de warmte van de persgassen die de compressor verlaten. De warme gassen treden de condensor binnen en hun warmte wordt onttrokken. De gassen worden afgekoeld tot ze beginnen condenseren en het koelmiddel vloeibaar is. Er bestaan 3 soorten condensoren, namelijk: luchtgekoeld, watergekoeld en de verdampingscondensor. Enkel op deze laatste gaan we dieper ingaan omdat deze betrekking heeft tot deze bachelorproef.

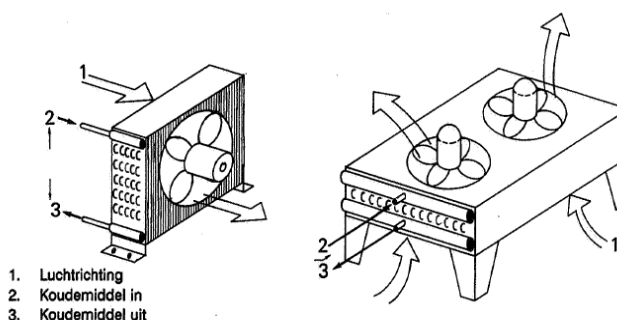


Figuur 3-5: Vereenvoudigde voorstelling condensor

### 3.2.1. Luchtgekoeld

De condensor haalt de warmte uit het persgas door lucht over de buizen te sturen met behulp van ventilatoren. Hoe sneller de ventilatoren draaien, des te meer warmte er afgevoerd zal worden. Soms wordt er dan ook een snelheidsregeling geplaatst bij de ventilatoren, deze kan traploos zijn of in stappen verlopen.

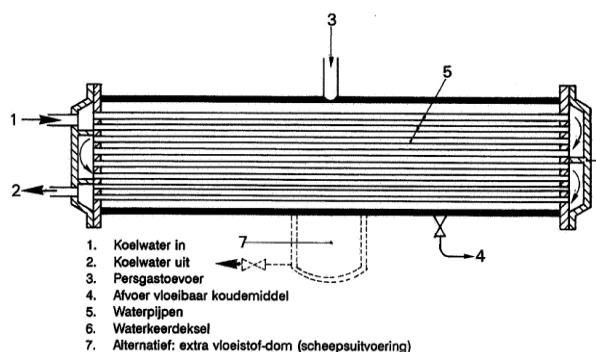
(in Figuur 3-6 staat een voorbeeld van een luchtgekoelde condensor)



Figuur 3-6 (Oosterom, 1991): Luchtgekoelde condensor

### 3.2.2. Watergekoeld

In deze condensor (Figuur 3-7) wordt de warmte afgevoerd door middel van stromend water. Doordat water een grote warmteoverdrachtscoëfficiënt heeft, kan met een kleine condensor vaak grote vermogens afgekoeld worden. Een watergekoelde condensor wordt vaak uitgevoerd bij de scheepsbouw omdat water daar onbeperkt beschikbaar is.



Figuur 3-7 (Oosterom, 1991): Watergekoelde condensor

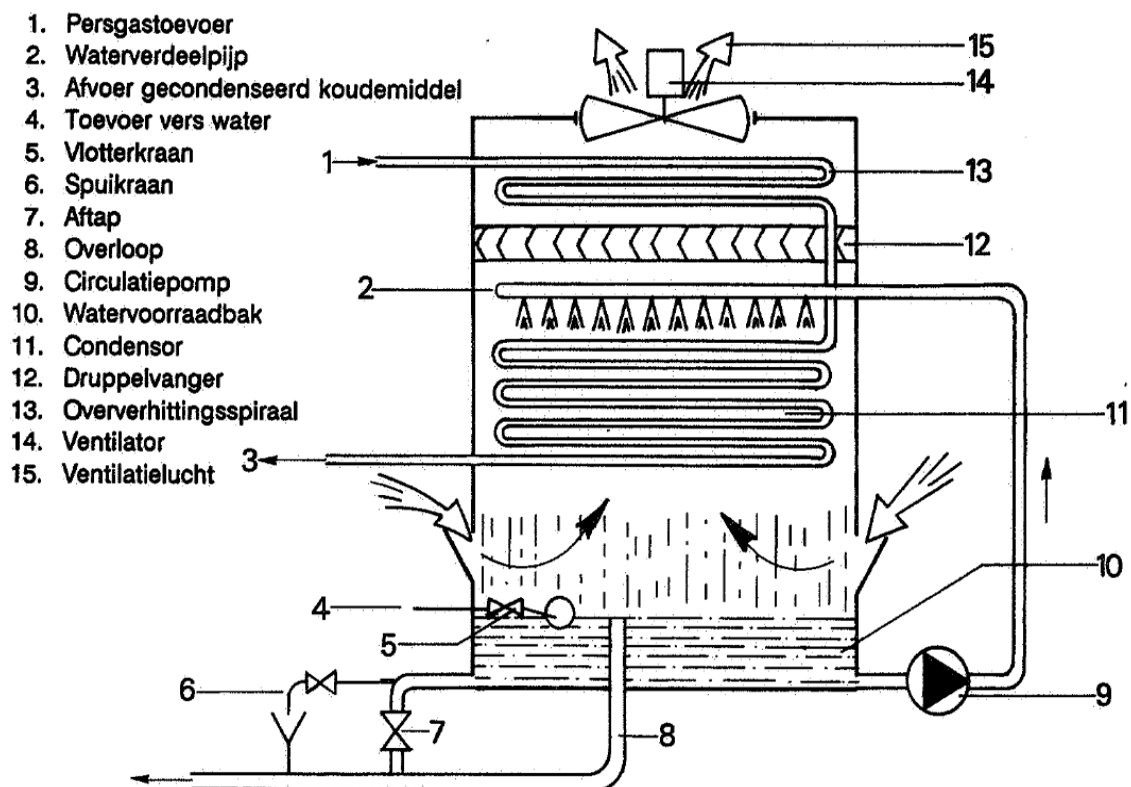
### 3.2.3. Verdampingscondensator

Een verdampingscondensator (Figuur 3-8) is een condensator die gebruik maakt van de verdampingswarmte van water. De soortelijke warmte van water ligt rond de 4200 kJ/kg. Dit is aanzienlijk meer dan die van lucht, namelijk 1kJ/kg. De condensator sproeit water over de buizen met de persgassen in.

De bovenste pijpen met persgas hebben een temperatuur van ongeveer 80°C, hierin zit het gas dat oververhit is. Om dit eerst af te koelen en kalkafzetting te vermijden, wordt het persgas eerst afgekoeld tot onder de oververhittingszone.

Met behulp van de sproeiers wordt de rest van de persgassen afgekoeld. De druppels vallen op de condensator en een deel van het water wordt verdampt en onttrekt hierbij warmte van de persgassen, de persgassen in de condensator worden vloeibaar. De rest van het water valt naar beneden in een opvangbak. De lucht die van de condensator gaat is erg vochtig door het verdampte water. Om niet allemaal dat water te verliezen is er een druppelvanger ingebouwd, deze zorgt er voor dat er druppels water uit de lucht gevangen worden en terug neervallen in het opvangbassin. Op deze manier is er zo min mogelijk waterverlies. Door de verdamping van het water wordt de concentratie aan kalk en schadelijke stoffen en bacteriën groter. Op tijd en stond moet het water dus ververs worden, dit gebeurt meestal automatisch door een vlottersysteem.

De luchthoeveelheid die aangezogen wordt is afhankelijk van de enthalpie van de lucht en de af te voeren warmte. De verdampingscondensator is zeer populair omdat de condensator temperatuur sterk kan dalen, waardoor het energieverbruik van de compressor heel sterk daalt. (Oosterom, 1991)



Figuur 3-8 (Oosterom, 1991): Verdampingscondensator

### 3.3. De verdamper

Het doel van de verdamper (Figuur 3-9) is om de warmte te onttrekken van zijn omgeving en af te geven aan het koelmiddel. Hierdoor stijgt de temperatuur van het koelmiddel en daalt de temperatuur van de omgeving. De verdamper staat steeds aan de lagedrukzijde van een koelinstallatie.



*Figuur 3-9 (GmbH Kelvion Holding , 2016): Verdamper*

#### 3.3.1. Droge verdamping

Bij de droge verdamping is het toegevoerde koelmiddel aan het einde van de verdamper volledig verdampt. Het is zeer belangrijk dat allemaal het koelmiddel zeker verdampt wordt, als er nog vloeistofdeeltjes in het koelmiddel zitten dan zal de compressor vloeistof aanzuigen en kapot gaan.

#### 3.3.2. Natte verdamping

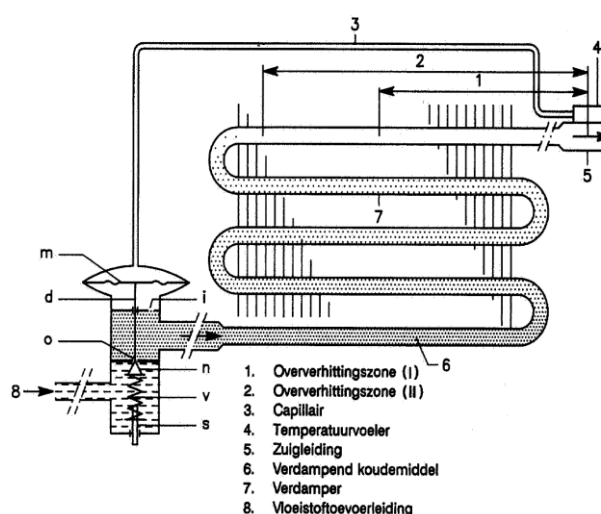
Bij natte verdamping is er op het einde van de verdamper nog een mengsel van vloeistof en gas. Het is dan ook essentieel om een vloeistofafscheider te plaatsen bij systemen met natte verdamping. Dit zorgt er voor dat de compressor geen vloeibaar koudemiddel meer kan aanzuigen. Een groot voordeel van natte verdamper systemen is dat de warmteoverdracht groter is omdat er geen oververhitting plaats vind in de verdamper. Dit zorgt ervoor dat de verdampingstemperatuur een stuk omhoog kan, wat resulteert in een winst aan energie doordat de compressor minder drukverschil moet overbruggen en de ventilatoren minder lang moeten draaien. Er is meestal wel een pomp nodig om het koelmiddel rond te pompen. Bij natte verdamping kan de verdampingstemperatuur stijgen en is de vochtigheid in een ruimte ook hoger waardoor de opgeslagen producten minder snel uitdrogen.

### 3.4. Het expansieventiel

Om de overgang te maken van de hogedrukzijde naar de lagedrukzijde wordt er altijd een expansieorgaan geplaatst. Aan de voorkant van een expansieorgaan (kant van de condensor) heerst er dus altijd een hoge druk (hoge temperatuur) en achter het ventiel (kant van de verdamper) een lage druk (lage temperatuur). Het expansieventiel bestaat dus altijd uit een nauwe opening die ervoor zorgt dat er een drukverschil ontstaat en de vloeistof kan uitzetten. Hoe groter de openingen, des te kleiner zal het drukverschil zijn waardoor de temperatuur zal stijgen. Hoe kleiner de opening, hoe groter het drukverschil wat resulteert in een lage temperatuur.

#### 3.4.1. Thermostatisch expansieventiel

Dit soort expansieventielen is een regelend ventiel, het regelt de oververhitting na de verdamper (Figuur 3-10). In het ventiel zit een regelnaald, deze zit in een zitting en wordt hier in geduwd met behulp van een regelbare veer. In de temperatuurvoeler op het einde van de verdamper wordt een temperatuur omgezet naar druk en deze druk wordt overgebracht door een dun buisje naar het expansieventiel. Als de temperatuur hoger wordt dan duwt deze de veer naar onderen en zal er meer inspuiting zijn waardoor de temperatuur terug zal dalen.



Figuur 3-10 (Oosterom, 1991): Thermostatisch expansieventiel

#### 3.4.2. Elektronisch gestuurd expansieventiel

Een elektronisch gestuurd expansieventiel doet alles wat een thermostatisch expansieventiel doet, maar dan beter. De regelaar meet de verdamper-eindtemperatuur en de druk in de verdamper, hij zorgt ervoor dat de oververhitting altijd gelijk blijft. Door de elektronica is het mogelijk om alles aan te passen naar believen, zo is het mogelijk om de oververhitting gemakkelijk aan te passen.

#### 3.4.3. Capillair expansieventiel

Een capillair expansieventiel is een uiterst eenvoudig inspuitorgaan. Bij dit soort inspuiting is er enkel een aan/uit regeling mogelijk. Het bestaat uit een dun buisje met een heel kleine doorlaat. Dit soort expansieventiel wordt vooral gebruikt bij koel- en vriesinstallaties die in serie geproduceerd worden.

#### 3.4.4. Hogedrukvlotter

Een hogedrukvlotter (Figuur 3-11) is een modulerend orgaan dat regelt a.d.h.v. de toestromende vloeistof die van de condensor komt en naar het vlotterhuis stroomt. Als er meer of minder vloeistof binnenstroomt, zal de vlotter door middel van een hefboom een regelaar meer of minder openen. De vloeistof stroomt dan door naar de vloeistofafscheider.



Figuur 3-11 (TH. WITT Kältemaschinenfabrik GmbH, sd): Hogedrukvlotter

#### 3.5. Vloeistofvat

Vloeistofvaten (Figuur 3-12) worden in de koeltechniek erg veel gebruikt. Een vloeistofvat is heel handig wanneer er werkzaamheden moeten gebeuren aan de koelinstallatie. Er bestaan twee soorten vloeistofvaten:

- Aan de hogedrukzijde (kant van de condensor)
- Aan de lagedrukzijde (kant van de verdamper), soms ook wel afscheider genoemd.

Een vloeistofvat aan de hogedrukzijde wordt bijna altijd geplaatst wanneer men van droge verdamping spreekt (directe expansie). Dit moet de wisselende vraag naar vloeistof kunnen opvangen.

Een afscheider aan de lagedrukzijde wordt altijd gebruikt bij pompsystemen. De pompen, die altijd onder de afscheider staan, verpompen het koudemiddel naar de verdampers. Vanaf de verdampers gaat een mengsel van gas en vloeistof terug naar de afscheider. In de afscheider wordt de damp van de vloeistof gescheiden. Het is belangrijk dat de afscheider goed gedimensioneerd is om te voorkomen dat de pompen gas zouden aanzuigen en/of de compressor vloeistof zou aanzuigen. (Nederlandse Vereniging voor Koude en Luchtbehandeling, september 2012)



Figuur 3-12 (Wijbenga, 2016): Vloeistofvat

### 3.6. koudemiddelpomp

Koudemiddelpompen worden gebruikt bij pompsystemen, deze transporteren zoals reeds eerder vermeld het koudemiddel naar de verdampers waar deze gedeeltelijk verdampt. Het asvermogen is laag ten opzichte van het verplaatste vermogen in vergelijking met de soortgelijke circulatiepompen bij een centraal verwarmingssysteem. Omdat deze pompen latente warmte (verdampingswarmte: door een stijging in enthalpie) verpompen en de circulatiepomp voelbare energie (door een stijging in temperatuur).

Net als bij de compressoren bestaan er open en gesloten pompen.

- Open pompen: de motor bevindt zich buiten het compressorhuis
- Gesloten pompen: de motor bevindt zich in het motorhuis.

## 4. Theoretische achtergrond

### 4.1. Log(p)h diagram

Het log(p)h diagram zoals dat van Figuur 4-1<sup>1</sup> kan op een eenvoudige manier een koelcyclus weergeven, het diagram is voor elk koelmiddel verschillend. Dit diagram dient om de toestand van een koudemiddel weer te geven eender waar in de koelcyclus.

De druk (p) kan afgelezen worden op de verticale y-as met behulp van de horizontale hulplijnen, deze staat logaritmisch voorgesteld. De horizontale lijnen kunnen gezien worden als isobaren.

De enthalpie (h) kan afgelezen worden op de horizontale x-as met behulp van de verticale hulplijnen. De verticale lijnen kunnen ook voorgesteld worden als lijnen van constante enthalpie.

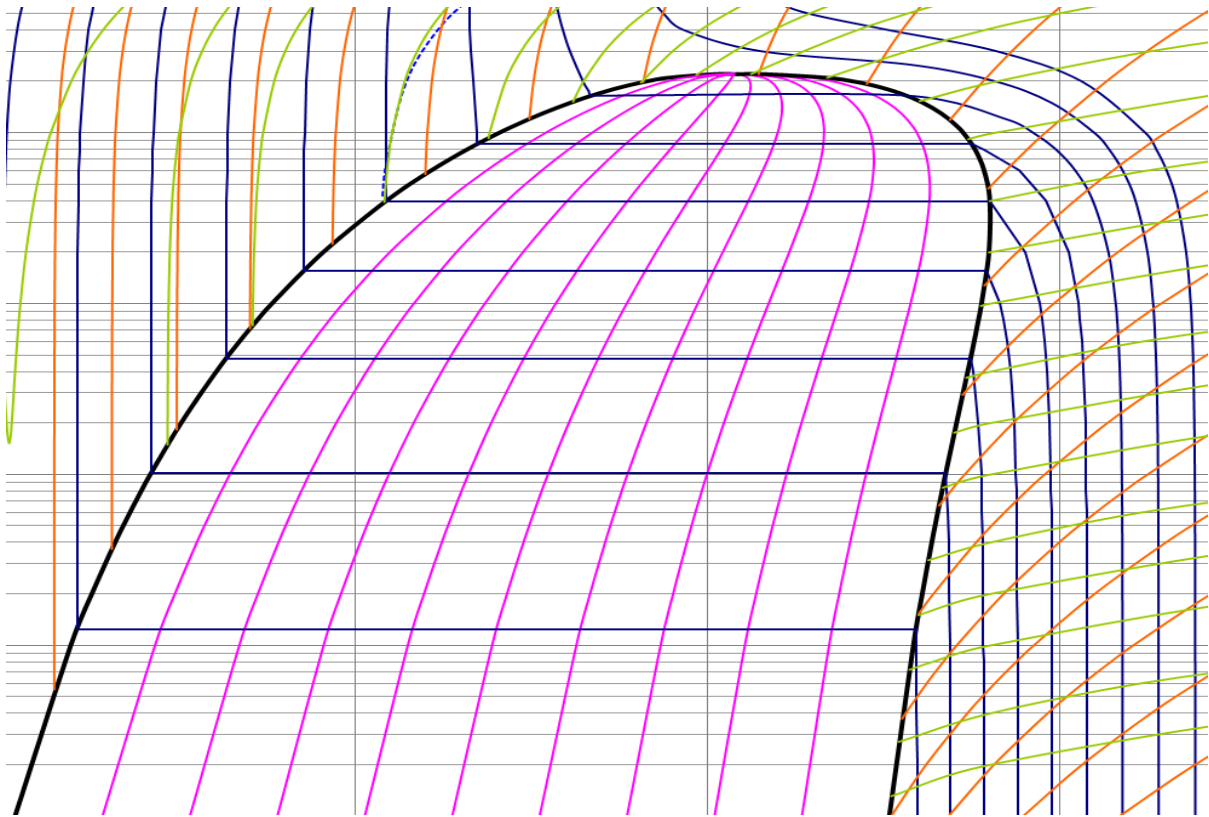
In het midden (binnen de zwarte lijn) bevindt zich het co-existent gebied hierin zit zowel gas als vloeistof. Het percentage vloeistof wordt aangegeven door de waarde "x" die varieert van 0 tot 1. Als deze 0 is (helemaal links) dan zit er geen vloeistof in het gas, als deze 1 is dan is het helemaal vloeistof. Op de figuur zijn deze lijnen roze.

De temperatuur is iets moeilijker om af te lezen, deze is voorgesteld door de blauwe lijnen in het diagram. De naam voor deze lijnen is isothermen. In het co-existent gebied lopen deze isothermen gelijk met de isobaren, dit komt omdat de warmte gebruikt wordt voor het verdampen of condenseren van het koelmiddel.

De groene lijnen stellen de lijnen voor van constant soortelijk volume. De oranje lijnen stellen constante entropie voor.

---

<sup>1</sup> Figuur 4-1 is terug te vinden op de volgende pagina



Figuur 4-1: Het log(p)h-diagram

#### 4.2. COP (Coëfficiënt Of Performance)

$$COP = \frac{\Delta h_{\text{verdamer}}}{\Delta h_{\text{compressor}}} = \frac{Q_{\text{verdamer}}}{P_{\text{compressor}}}$$

De COP geeft de verhouding weer van het vermogen of enthalpieverschil van de verdamer gedeeld door het opgenomen vermogen van de compressor. Dat wil zeggen dat als de COP gelijk is aan drie en de compressor een verbruik heeft van 1kW, dan zal de verdamer 3kW aan warmte kunnen onttrekken. Des te hoger de COP is, hoe minder de compressor dus zal verbruiken.

## 5. Circulatiesystemen

Bij de koudetechniek wordt altijd gebruik gemaakt van circulatiesystemen, welke soort gebruikt wordt hangt af van het koudemiddel.

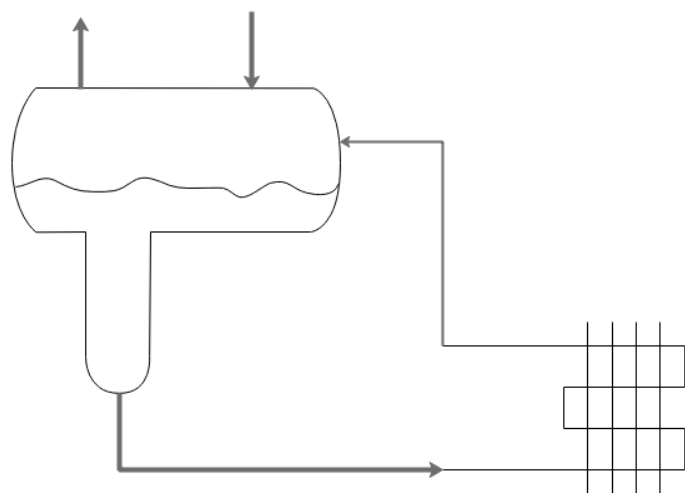
Bij natte verdamping zijn er twee soorten:

- Natuurlijke circulatie
- Pomp circulatie

Afhankelijk van de toepassing wordt gekozen welk systeem gebruikt wordt. Voor een goede werking wordt meestal gerekend met een circulatievoud van driemaal het nominale debiet. Hierdoor zal er dus ook maar één derde verdampen en twee derde vloeibaar blijven.

### 5.1. Natuurlijke circulatie

Door het verschil in soortelijke massa tussen vloeistof en zuiggas treedt er circulatie op. Vloeistof wordt toegevoerd naar de verdamper door de zwaartekracht, in de verdamper gaat de vloeistof deels over naar gas waardoor de massadichtheid verandert en lichter wordt. Hierdoor stijgt het zuiggas naar de afscheider door de druk die zwaartekracht die uitoefent op de vloeistof in de vloeistofafscheider. De vloeistof gaat terug naar de verdamper en het gas gaat door naar de compressor. Omdat het systeem zo eenvoudig is wordt het veel toegepast bij  $\text{NH}_3$  installaties, een nadeel is echter dat maar een beperkt aantal afscheiders aangesloten kan worden. Het schema hieronder in Figuur 5-1 geeft kort het principe voor natuurlijke circulatie weer.



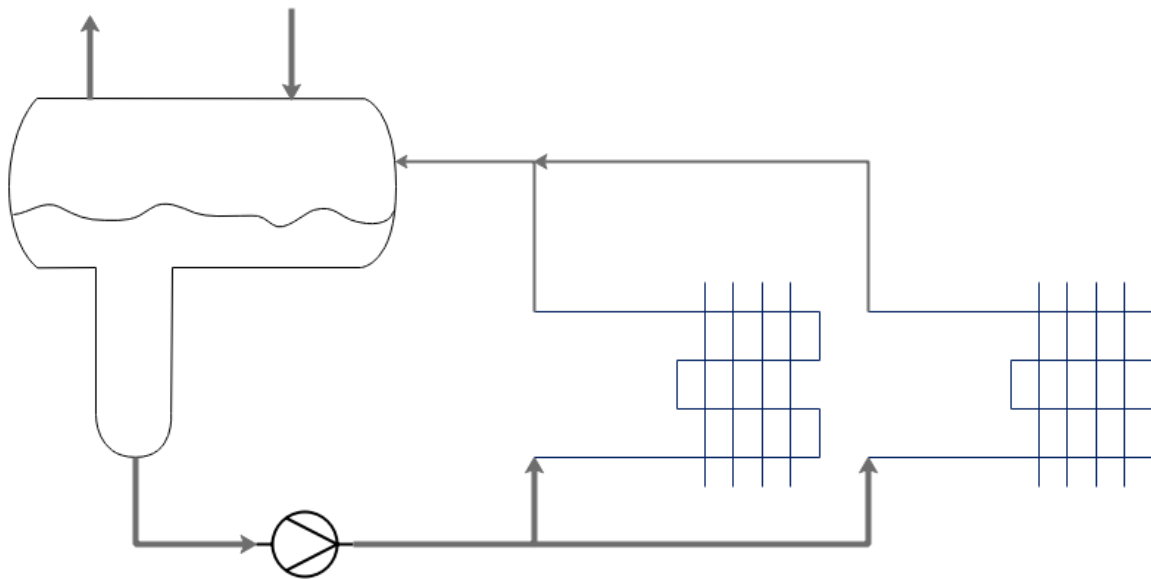
Figuur 5-1: Verdamper met natuurlijke circulatie



## 5.2. Pomp circulatie

Bij dit systeem wordt het koudemiddel rondgepompt door een koudemiddelpomp en zo naar de verdampers getransporteerd (Figuur 5-2). In de verdampers verdampt het koudemiddel gedeeltelijk.

In tegenstelling dan bij natuurlijke circulatie kunnen bij pomp circulatie wel veel verdampers aangesloten worden. De ontdooiing door middel van persgas is eenvoudig uit te voeren en er zijn minder beperkingen door de eenvoudigere appendages in de leidingen. De pomp moet geselecteerd worden op basis van het beschikbare drukverlies in de leidingen en appendages van het systeem.



Figuur 5-2: Verdampers met pompsysteem

## 6. Werking gekozen syteem

Bij de natte verdamping in combinatie met pompcirculatie<sup>2</sup> (zie Figuur 6-1 voor het log(p)-h-diagram) wordt het koudemiddel vanuit de afscheider (5) rondgepompt door een koudemiddepomp (6) en op die manier naar de verdamper getransporteerd. Er wordt altijd meer vloeistof rondgepompt dan nodig is.

Het koelmiddel verdampt gedeeltelijk en het gas/vloeistof mengsel (7) wordt daarna terug naar het vloeistofvat gebracht. In het vloeistofvat, ook de afscheider genaamd, wordt de overgebleven vloeistof gescheiden van het verdampende gas. De

vloeistof valt naar beneden en wordt terug rondgepompt en naar de verdamper gestuurd. Het gas boven in de afscheider (1s) wordt aangezogen naar de compressor en een klein beetje oververhit (1) door de temperatuur van de omgeving. In werkelijkheid wordt het gas bijna niet oververhit en zullen punten 1s en 1 bijna gelijk zijn aan elkaar omdat de compressor in theorie toch enkel gas kan aanzuigen. In de compressor wordt het gas gecompriemd en bijgevolg zullen de temperatuur en druk stijgen (2). Het gecompriemde gas wordt naar de condensor geleid waar het eerst zijn dauwpunt temperatuur (2s) zal bereiken zal beginnen condenseren.

Na de condensor (3) als allemaal het gas gecondenseerd is, en dus vloeibaar geworden is, gaat het koelmiddel naar de hogedrukvlotter. Dit modulerend expansieorgaan zal openen bij het doorstromen van vloeistof vanuit de condensor, het zorgt voor het drukverschil tussen de hoge- en lagedrukzijde. Vanuit de hogedrukvlotter stroomt de vloeistof, op een lagere druk en bijgevolg ook een lagere temperatuur, door naar de afscheider waar de verdampingstemperatuur (4) heerst.

Het benodigde massadebiet kan als volgt berekend worden:

- Om de compressor te dimensioneren:

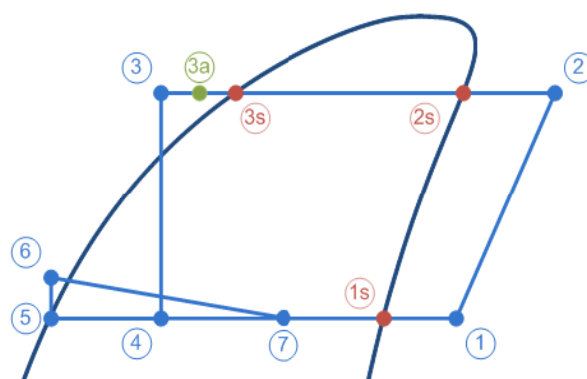
$$\dot{m}_{compressor} = \frac{Q_e}{(h_1 - h_3)} \left( \frac{kg}{s} \right)$$

- Om de verdamper te dimensioneren:

$$\dot{m}_{verdampner} = \frac{Q_e}{(h_{1s} - h_5)} \left( \frac{kg}{s} \right)$$

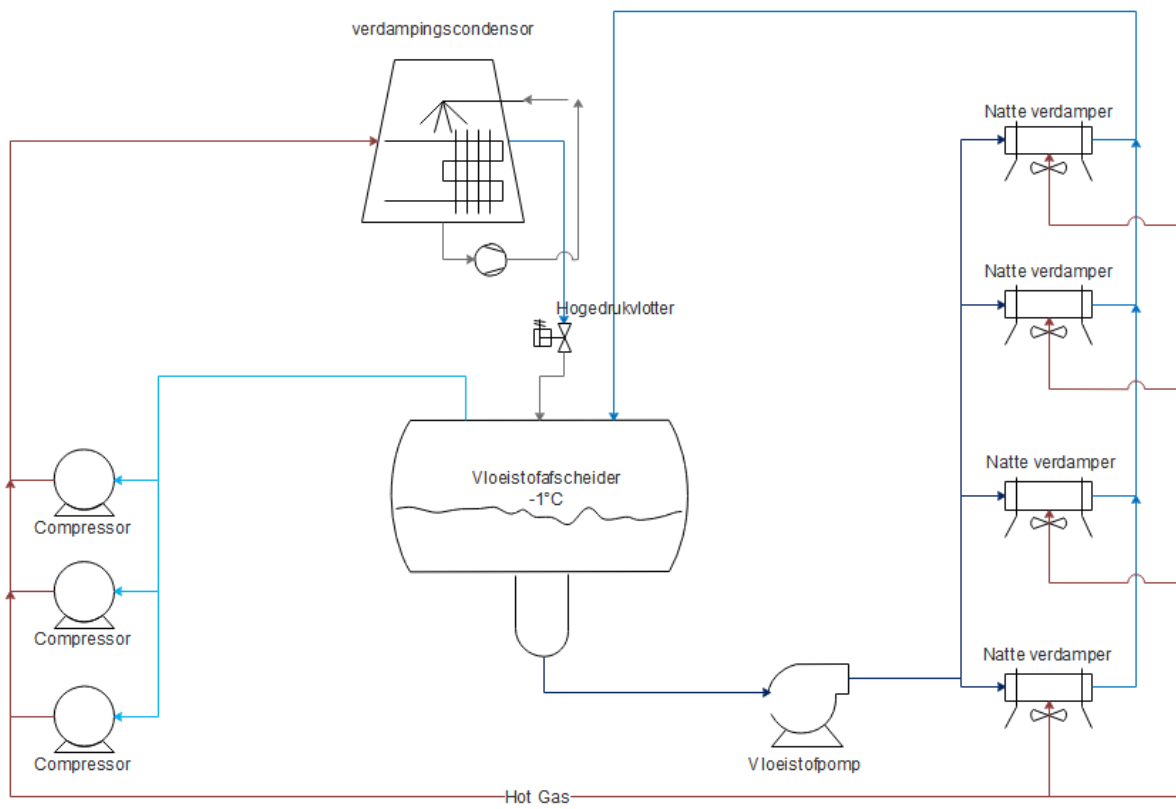
Zoals eerder vermeld, wordt er altijd meer vloeistof naar de verdamper gestuurd dan nodig is. De opbrengst die de vloeistofpomp moet leveren bedraagt dan  $\dot{m}_{verdampner} * circulatievoud$ . Door dit te doen wordt er dus meer vloeistof naar de verdamper gestuurd dan nodig is voor de ontwerpcapaciteit. De resterende vloeistof, die dan niet verdampt, kan gebruikt worden om eventuele overbelastingen op te nemen. Het gebruikelijke circulatievoud voor luchtkoelers bij een ammoniak koelinstallatie bedraagt driemaal het nominale massadebiet.

Per 100kW aan koelvermogen komen we dan uit op een volumedebiet van  $1.3 \frac{m^3}{h}$  voor luchtkoelers met een circulatievoud van drie.



Figuur 6-1 (Danfoss, 2016): Pompcirculatie log(p)-h-diagram

<sup>2</sup> Het prinseschema van pompcirculatie met natte verdamping staat op de volgende pagina in Figuur 6-2

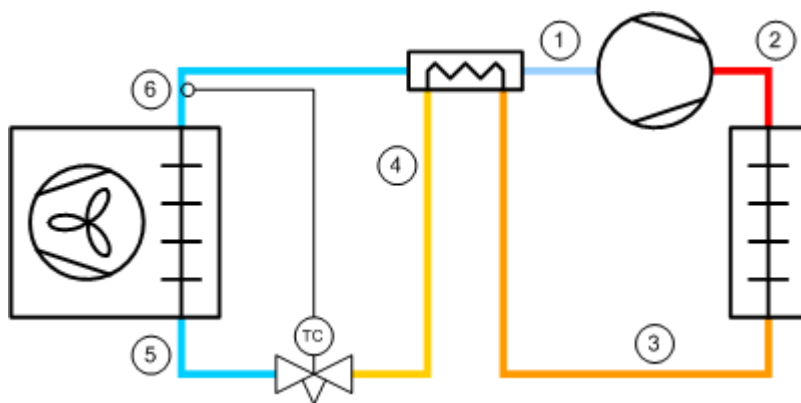


Figuur 6-2: Principeschema systeem met natte verdamping

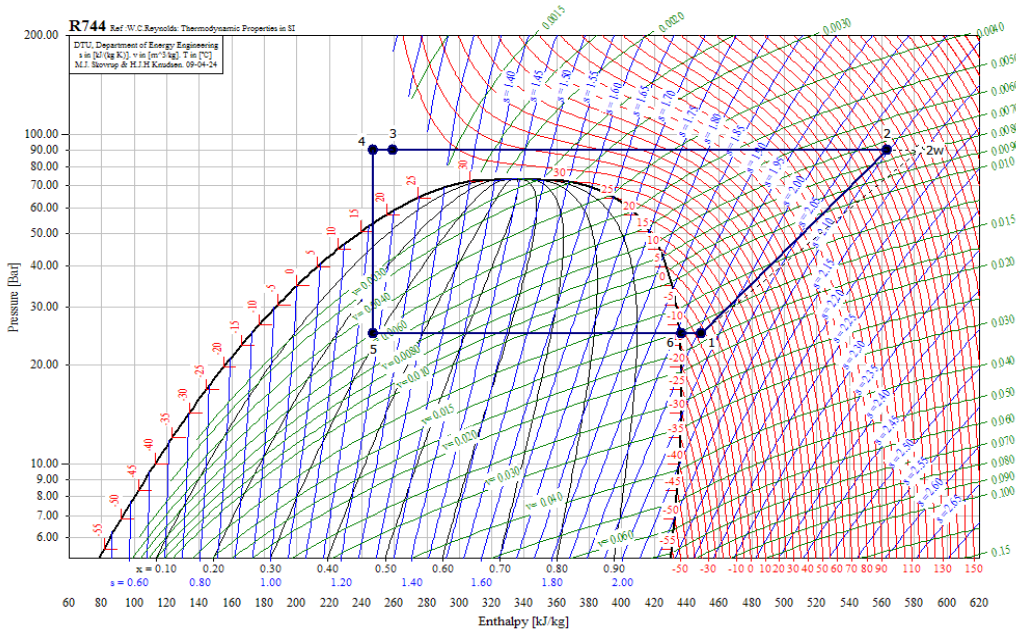
## 7. Werking transkritisch systeem (CO<sub>2</sub>)

Volgens het log(p)h diagram (Figuur 7-2) werkt een transkritisch systeem (Figuur 7-1) bijna hetzelfde als een standaard compressiekoelkring, het grote verschil is echter dat er niet van condenseren wordt gesproken maar van gaskoeling. Omdat bij de koeling er geen condensatie optreedt en er enkel en alleen gas wordt afgekoeld. Als het log(p)h diagram bekeken wordt, dan is er een groot verschil in de condensor. Bij een gaskoeler kan bij een constante druk vlugger een lage temperatuur bereikt worden. Bij een 'gewone' condensor daalt de temperatuur van het koedemiddel niet omdat het verandert van aggregatietoestand. Er moet te allen tijde voorkomen worden dat het kritisch punt bereikt wordt, men moet er steeds onder en/of boven blijven.

Tussen de gaskoeler en het expansieorgaan wordt er meestal een warmtewisselaar gezet. Voor dit expansieventiel moet altijd een vloeistofafscheider geplaatst worden om ervoor te zorgen dat in het expansieventiel geen flashgas toekomt. Het flashgas wordt weggezogen uit het vat door de compressor. De warmtewisselaar zorgt ervoor dat het gas dat uit de condensor verder wordt afgekoeld. Dit zorgt ervoor dat het enthalpieverschil groter is dan wanneer we dit niet zouden doen, hierdoor kunnen we meer warmte onttrekken van het af te koelen medium. Een bijkomend voordeel is dat het gas dat uit de verdampers komt verder oververhit wordt en er een bijkomende zekerheid is dat de compressor zeker geen vloeistof kan aanzuigen.



Figuur 7-1 (IPU, refrigeration and energy engineering, 2009): Principeschema CO<sub>2</sub>



Figur 7-2 (IPU, refrigeration and energy engineering, 2009): Log(p)h transkritisch CO<sub>2</sub>-system

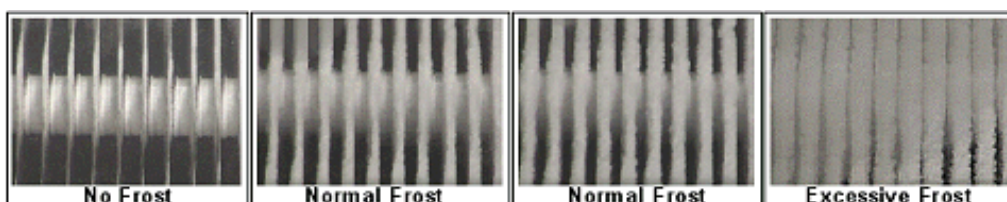
## 8. Ontdooisystemen

Wanneer de verdampingstemperatuur onder de nul is, dan is het altijd aangewezen om een ontdooisysteem te installeren. Want door de verlaging in temperatuur op het verdamperoppervlak treedt er condensatie op door het vocht in de lucht uit de ruimte. Dit condensaat zal aanvriezen en er voor zorgen dat het rendement drastisch naar beneden gaat. Op Figuur 8-1 is te zien hoe ijsvorming op een verdamper er uit ziet. De ijslaag die zich zal vormen zal functioneren als een isolator en zal de verdamper bijgevolg minder warmte uit te ruimte kunnen onttrekken. Hierdoor zullen de ventilatoren van de verdamper meer moeten draaien om toch die warmte af te kunnen voeren.

De verschillende manieren

- Natuurlijke of mechanische ontdooiing: Dit is enkel mogelijk als de temperatuur in de koelcel redelijk hoog ligt (boven 3°C). De ventilatoren zullen de warme lucht over de verdamper blazen en op deze manier het ijs ontdooien.
- Watersproeiers: watersproeiers zijn een effectieve manier om te ontdooien. Water wordt rondgepompt en over de verdamper gespreeid. Doordat water veel warmte kan opnemen en afgeven, is het ijs snel ontdooit. Het (ijs)water wordt afgeleid naar een waterbassin waar een elektrische verwarmmer het water opwarmt.
- Elektrische ontdooiing: in de verdamper en in de lekpan lopen enkele elektrische weerstanden. Deze worden meestal aangestuurd door een tijdschakelklok. Deze manier wordt veel gebruikt.
- Persgas (Hot gas) ontdooiing: de ontdooiing gebeurt door de hete persgassen die uit de compressor komen. Deze manier is zeer energiezuinig omdat bij meerdere verdampers de timing geoptimaliseerd kan worden zodanig dat niet alle verdampers op hetzelfde moment ontdooit moeten worden. De warmte van de verdampers die nog in werking zijn kan dan gebruikt worden om de te ontdooien verdampers vrij van ijs te maken.

(O'Neill, 2016)



Figuur 8-1 (O'Neill, 2016): Ijsvorming op een verdamper

## 9. Oliekoeling

De oliekoeling voor een compressor kan op verscheidene manieren gebeuren. Naargelang de middelen die ter beschikking zijn wordt er de beste oplossing gekozen. Oliekoeling gebeurt om de elementen van een compressor te vrijwaren van te hoge temperaturen en het rendement van de compressor te verhogen.

### 9.1. Watergekoeld

Dit wordt vaak gebruikt waar een onbeperkte voorraad aan water beschikbaar is, bijvoorbeeld op een boot of langs een rivier. De watergekoelde oliekoeler heeft min of meer de vorm van een watergekoelde condensor (zie Figuur 3-7). Het water loopt dan door de leidingen in de koeler en de olie loopt rondom deze leiding en wordt zo afgekoeld.

### 9.2. Luchtgekoeld

Als er al een luchtgekoelde condensor is en er is geen waterbron aanwezig dan kan dit systeem ook toegepast worden. Er wordt dan een aparte rij in de batterij van de condensor geplaatst waar de olie dan doorstroomt. Net als bij een luchtgekoelde condensor zal de lucht de olie dan afkoelen.

### 9.3. Koelmiddel-gekoeld

#### 9.3.1. Vloeistofinjectie

Vloeibaar koudemiddel dat van de condensor terugstroomt, wordt in de compressor ingespoten door het grote temperatuurverschil verdampt het koudemiddel in de compressor en koelt het de olie af.

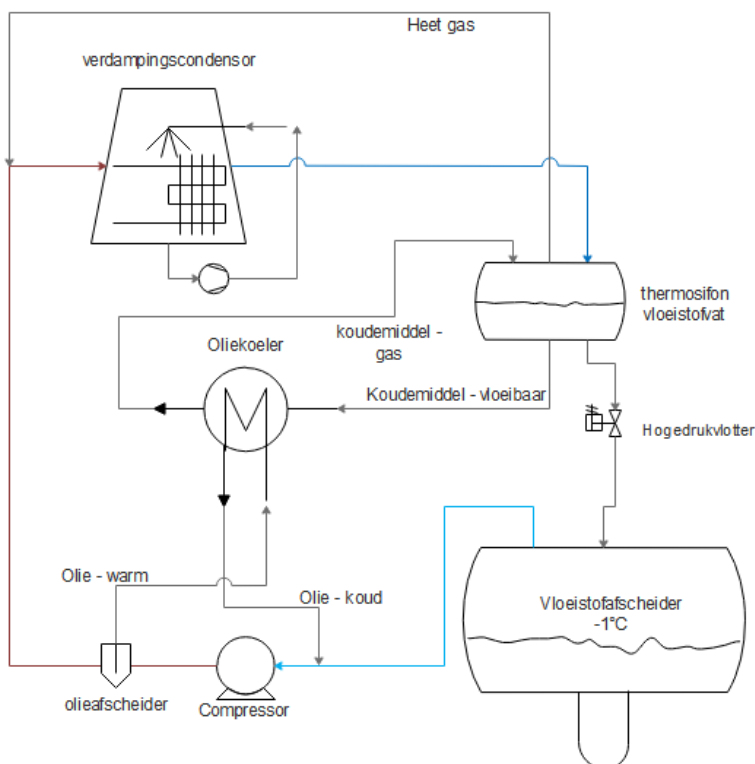
#### 9.3.2. Secundaire koeling

Door een tweede koudemiddel zoals bijvoorbeeld glycol wordt de compressor afgekoeld. Dit systeem is relatief duur omdat er een dry cooler moet worden bijgeplaatst, dit dient om de glycol te koelen.

### 9.3.3. Thermosifon oliekoeling

Dit systeem dat te zien is in Figuur 9-1 baseert zich voor een deel op de werking van natuurlijke circulatie van hoofdstuk 5.1 Natuurlijke circulatie. Koelmiddel dat van de condensor terugstroomt wordt eerst opgevangen in een vloeistofvat op hoge druk. Vloeibaar koudemiddel stroomt van dit vat naar een oliekoeler. Door de hoge temperatuur van de olie verdampt het koudemiddel waardoor de massadichtheid aanzienlijk daalt. Door dit verschil in massadichtheid ontstaat er aan de koudemiddelzijde een natuurlijk drukverschil, dit drukverschil wordt veroorzaakt door de zwaartekracht. Bij het ontwerpen van dit systeem moet er rekening gehouden worden dat de hoogte tussen het vloeistofvat en de oliekoeler berekend wordt in functie van het drukverschil in de oliekoeler.

De olie circuleert door een venturiebus aan de retour, hierdoor zuigt de compressor zijn olie terug op. Soms wordt er ook een olieterugvoer voorzien van de vloeistofafscheider om te voorkomen dat niet afgescheiden olie daar blijft opstapelen. De warme olie wordt gescheiden in een olieafscheider en zal stijgen naar de oliekoeler en de afgekoelde olie zal dalen naar de compressor. In de oliekoeler moet een kraantje voorzien worden opdat overblijvende olie kan afgetapt worden bij een onderhoud.



Figuur 9-1: Thermosifon oliekoeling



## 10. Gegevens systeem

Hieronder in Tabel 10-1 staan de gegevens van de alle punten in het log(p)h diagram.

Totaal koelvermogen [kW] = 1051

punt <sup>3</sup>	omschrijving	temperatuur [°C]	druk [bar]	dichtheid [kg/m <sup>3</sup> ]	enthalpie [kJ/kg]
1	Aanzuig compressor	-1,0	4,143	3,342	1459
2	Perszijde compressor	101,4	12,39	7,175	1676
2s	Condensatie dauwpunt	32,0	12,39	9,601	1484
3s	Condensatie bubbel punt: Alleen maar vloeistof	32,0	12,39	591,8	349,4
3a	Condensor uit	32,0	12,39	591,8	349,4
3	(onderkoeling)	32,0	12,39	591,8	349,4
4	Na hogedrukvlotter	-1,0	4,143	28,1	339,9
5	Verzadigde vloeistof	-1,0	4,143	639,9	195,4
6	Pomp uit	-1,0	6,143	639,9	195,4
7	Verdamper uit	-1,0	4,143	9,923	616,7
1s	Verdamper dauwpunt	-1,0	4,143	3,342	1459

Tabel 10-1: Gegevens systeem

<sup>3</sup> Zie Figuur 6-1: Pompcirculatie log(p)h-diagram

## 11. Selectie verdamper

Voor het selecteren van de verdampers hebben we de Goedhart selectiesoftware van het bedrijf Kelvion gebruikt. De software is in feite een elektronische catalogus die het mogelijk maakt, na het ingeven van enkele gegevens, om eenvoudig de gepaste verdamper te vinden.



Figuur 11-1 (GmbH Kelvion Holding, 2016): Verdamper Goedhart type VRZ

De gegevens die ingevuld moeten worden zijn onder andere het gewenste vermogen, de luchttemperatuur, de verdampingstemperatuur, het soort koudemiddel, ... De verdamper kan dus volledig gekozen worden naar de specifieke situatie.

Bij de selectie van onze verdampers zijn we uitgegaan van een verdampingstemperatuur van  $-1^{\circ}\text{C}$ , de gewenste vermogens: 37.7kW, 41.5kW, 53.4kW en een luchttemperatuur van gemiddeld  $2^{\circ}\text{C}$ .

Bij de verdampers die minimaal 37.7kW aan koelvermogen nodig hebben is volgende verdamper geselecteerd Goedhart VRZ-62634. Voor de verdamper van 41.5kW kwam de verdamper Goedhart VRZ-43634 als beste naar voor, en voor de verdampers van 53.4kW is de Goedhart VRZ-83636 geselecteerd.

De verdampers van het type VRZ (Figuur 11-1) zijn geschikt voor  $\text{NH}_3$  pompsystemen, de ventilatoren zuigen de lucht over de lamellen en blazen de koude lucht de ruimte in. De Goedhart VRZ verdampers hebben ook een grote luchtwerp waardoor ze ideaal zijn voor grote ruimtes. Ze zijn gemakkelijk te onderhouden en ze kunnen proper gemaakt worden met gewoon water. In bijlage I staan de technische fiches van de verdampers, hieronder in Tabel 11-1 zijn de geselecteerde vermogens en de prijzen te zien.

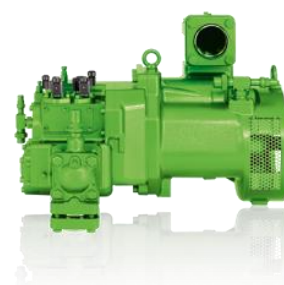
Type	Aantal	Gegeven vermogen (kW)	Geselecteerd vermogen (kW)	Prijs/stuk	Totaal
<b>VRZ-62634</b>	16	37.7	39.9	€ 10.788,00	€ 172.608,00
<b>VRZ-43634</b>	8	41.5	43.2	€ 11.547,00	€ 92.376,00
<b>VRZ-83636</b>	2	53.4	56.1	€ 16.131,00	€ 32.262,00

Tabel 11-1: Prijzen verdampers

Voor de verdampers komt dit dan op een totaal van € 297.246,00.

## 12. Selectie compressor

De selectie van de compressor is verlopen via het selectieprogramma van Bitzer. Dit is een zeer eenvoudig programma om de gepaste compressor(en) te vinden. In het programma moet worden aangegeven hoeveel compressoren nodig zijn, de verdampingstemperatuur, de condensatietemperatuur, het totale koelvermogen en het koudemiddel waarop de installatie zal werken.



Figuur 12-1 (BITZER Kühlmaschinenbau GmbH, sd): Open schroefcompressor

Er is gekozen om met 3 open schroefcompressoren (Figuur 12-1) en een condensatietemperatuur van 32°C te werken. Het programma gaf dan de compressor met typenummer OSKA8571-K als uitkomst voor de 3 compressoren.

Het programma berekende eveneens de volgende waarden die hieronder te zien zijn in Figuur 12-2. De overige gegevens van deze compressoren zijn te vinden in bijlage II.

Evaporating SST	-1,00 °C			
Condensing SDT	32,0 °C			
Compressor	Total	OSKA8571-K	OSKA8571-K	OSKA8571-K
Capacity steps		100%	100%	100%
Cooling capacity	1190 kW	397 kW	397 kW	397 kW
Cooling capacity *	–	393 kW	393 kW	393 kW
Evaporator capacity	1190 kW	397 kW	397 kW	397 kW
Shaft power	215 kW	71,6 kW	71,6 kW	71,6 kW
Condenser Capacity	1346 kW	449 kW	449 kW	449 kW
Ratio	–	33,3 %	33,3 %	33,3 %
COPIEER	5,54	5,54	5,54	5,54
COPIEER *	–	5,49	5,49	5,49
Mass flow LP	3785 kg/h	1262 kg/h	1262 kg/h	1262 kg/h
Mass flow HP	3785 kg/h	1262 kg/h	1262 kg/h	1262 kg/h
Operating mode	Standard	Standard	Standard	Standard
Liquid temp.	–	30,0 °C	30,0 °C	30,0 °C
Oil volume flow	6,72 m <sup>3</sup> /h	2,24 m <sup>3</sup> /h	2,24 m <sup>3</sup> /h	2,24 m <sup>3</sup> /h
Cooling method	External	External	External	External
Oil cooler outlet	62,1 °C	62,1 °C	62,1 °C	62,1 °C
Oil cooler load	58,6 kW	19,54 kW	19,54 kW	19,54 kW
Recommended driving motor	–	90,0 kW	90,0 kW	90,0 kW
Discharge gas temp. w/o cooling	101,4 °C	101,4 °C	101,4 °C	101,4 °C

Figuur 12-2: Resultaten Bitzer Software

Voor de aandrijfmotor gaf het programma aan dat een motor van telkens 90kW aandrijfvermogen ideaal zou zijn. Het constructietype van de motor is 280M.

Type	Aantal	Prijs/stuk	Totaal
<b>Motor 280M (90kW) 3000 rpm</b>	3	€ 2.500,00	€ 7.500,00
<b>Compressor OSKA8571-K</b>	3	€ 21.000,00	€ 63.000,00

Tabel 12-1: Prijzen compressoren en motoren

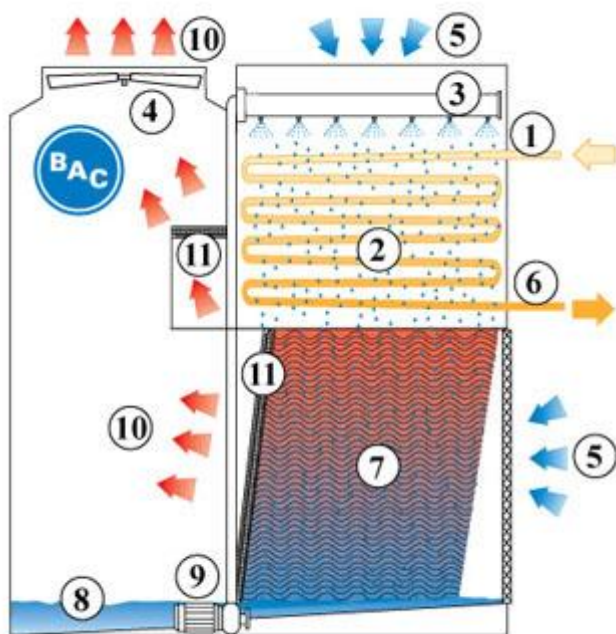
De compressoren met de bijbehorende motoren komen neer op een totaal van € 70.500,00.

### 13. Selectie condensor

Voor de condensor is een verdampingscondensor gekozen, omwille van de lagere condensatie temperatuur die hiermee gepaard gaan en de daaruit resulterende energiewinst. De aankoopkost is iets meer, maar deze is na verloop van tijd normaal wel terugverdient. En het is beter voor het milieu omdat er minder verbruikt wordt.

De gekozen condensor is van het bedrijf 'Baltimore Aircoil Company'. Voor de selectie is het 'Evaporative Condenser Selection Program' gebruikt. In dit programma moet onder meer de condensortemperatuur (32°C) en het totaal af te voeren vermogen (1346 kW) ingegeven worden. Na dat dit gebeurd is geeft het programma de meest gepaste condensor weer. In het geval van dit project was het de condensor met typenummer CXVB-226-0812-7.5.

Deze condensor heeft het groot voordeel dat het met minder koudemiddelinhoud evenveel warmte kan afgeven. De deuren van de condensor zijn eenvoudig te bereiken zodanig dat bij een onderhoud gemakkelijk kan gewerkt worden.



Het gasvormige koudemiddel (1) komt de condensor binnen en gaat in de batterij (2), hier wordt deze batterij nat gemaakt door de watersproeiers (3). Een ventilator (4) blaast de buitenlucht (5) in dezelfde richting als het water door de condensor, het gasvormige koudemiddel wordt gecondenseerd en wordt vloeibaar (6). Het sproeiwater valt op het vulpakket (7), hier wordt het verder afgekoeld voordat het naar beneden valt en de opvangbak (8). De warme vochtige lucht gaat door een soort filter (11) die ervoor zorgt dat de druppels in de lucht gevangen worden en neervallen. (Baltimore Aircoil, sd)

Figuur 13-1 (Baltimore Aircoil, sd): Werkingsprincipe verdampingscondensor

De condensor met alle bijbehorende accessoires is in totaal € 55.000,00.

## 14. Leidingberekening

Om leidingen te kunnen dimensioneren moet er een massadebiet gekend te zijn. Om dit massadebiet te berekenen gebruiken we volgende formule (zie Figuur 6-1 voor het log(p)h diagram en Tabel 10-1 voor de gegevens van het systeem):

$$\dot{m}_{\text{verdamp}} = \frac{Q_e}{(h_{1s} - h_5)} \left( \frac{kg}{s} \right)$$

Dan wordt deze formule ingevuld met de gegevens van ons systeem dan komt dit uit op:

$$\dot{m}_{\text{verdamp}} = \frac{1051}{(1459 - 196)} = 0.832 \left( \frac{kg}{s} \right)$$

De massadichtheid van vloeibare ammoniak is  $680 \frac{kg}{m^3}$  hieruit volgt dat het volumedebiet gelijk is aan:  $\frac{0.832}{680} * 3600 = 4.40 \frac{m^3}{h}$ . Het circulatievoud bedraagt drie dus dan geeft dit  $4.40 * 3 = 13.2 \frac{m^3}{h}$ .

Als we nu de algemene regel toepassen met als debiet  $1.3 \frac{m^3}{h}$  aan koudemiddel per 100kW koellast. Dan is  $\frac{1051}{100} * 1.3 = 13.66 \frac{m^3}{h}$ , de twee waarden liggen dus dicht bij elkaar en vanaf nu zal steeds gerekend worden met deze algemene regel (met  $Q_e$  = de koellast in kW).

$$\text{Volumedebiet} = \frac{Q_e}{100} * 1.3 \left( \frac{m^3}{h} \right)$$

Dit was voor de aanvoer van de verdamper, als we nu de afvoer van de verdamper willen berekenen dan moet er rekening houden met een deel verdampt koudemiddel. Aangezien het circulatievoud drie is, zal er één derde van de toegevoerde vloeistof verdampen. De massadichtheid van gasvormige ammoniak is  $6.7 \frac{kg}{m^3}$ , dit is ongeveer één honderdste van vloeibare ammoniak. Als dit toepassen in deze algemene regel dan geeft dit:

$$\text{Volumedebiet} = \frac{Q_e}{100} * 1.3 * \frac{2}{3} + Q_e * 1.3 * \frac{1}{3} \left( \frac{m^3}{h} \right)$$

Voor de gasleidingen komt dit neer op de volgende formule:

$$\text{Volumedebiet} = Q_e * 1.3 \left( \frac{m^3}{h} \right)$$

Als dan de maximum snelheid bepaald wordt voor in elk type leiding dan kan, door het volumedebiet te delen door de snelheid, de oppervlakte van de doorsnede van de leidingen berekend worden. Uit de oppervlakte kan de diameter gehaald worden met  $A = \frac{\pi D^2}{4}$ .

Daarna kan aan de hand van tabellen met DN-nummers en binnendiameters van de buizen de nominale buismaat gekozen worden door telkens naar boven af te ronden.

Om verliezen te beperken zal er isolatie aangebracht worden aan de leidingen van en naar de verdamper en de leidingen voor de hotgas ontdooiing.

De isolatie wordt aangebracht om:

- Koudeverlies te voorkomen in de vloeistofleidingen
  - Er kan vroegtijdige verdamping optreden
  - De compressor zal meer moeten draaien dan dat nodig is
- IJsvorming op componenten voorkomen
  - IJs kan componenten vervormen
- IJsvorming in isolatie voorkomen
  - Isolatie kan open breken
  - Verlies van de isolerende eigenschappen
- Condensvorming te voorkomen
  - Corrosie van onderdelen voorkomen
  - Er kan vocht komen op ongewenste plaatsen
- Voorkomen dat condensatie vroegtijdig optreed bij Hotgas ontdooiing.

Daarom moet isolatie een heel slechte warmtegeleider zijn, en mag deze zeker geen vocht doorlaten. Een dampdichte buitenlaag is dan ook essentieel, alle naden en aansluitingen moeten goed afgedicht worden. Ook ophangpunten en aftakkingen zullen extra goed geïsoleerd moeten worden. (Nederlandse Vereniging voor Koude en Luchtbehandeling, september 2012)

De leidingen met bijbehorende isolatie bedragen:

Leidingen	€ 83.679,47
Isolatie	€ 97.150,70
Ophanging buizen	€ 10.000,00
TIG lassen inox	€ 100.000,00
<b>Totaal</b>	<b>€ 290.830,17</b>

Tabel 14-1: Prijzen leidingen en isolatie

Alle uitkomsten van de leidingberekening zijn terug te vinden bij de bijlagen in bijlage III, hierbij staan ook de leidingnummers vermeld op een situatieschets. De prijsberekening van de isolatie is te vinden in bijlage IV. Bij de leidingen is het lassen van de inox buizen meegerekend omdat deze TIG gelast zullen moeten worden. Van een aantal lasnaden zal ook een röntgenscan genomen worden om zeker te zijn dat het systeem volledig gesloten is en er geen lekken kunnen optreden. De strenge regels hiervoor bestaan omdat ammoniak giftig is en er zeker geen lek mag ontstaan.

## 15. Koelmiddelinhoud

Nadat alle grote componenten geselecteerd zijn kan de koelmiddelinhoud berekend worden. Bij de leidingen is dit berekend aan de hand van de gekozen binnendiameter en de gekozen lengte van de leidingen. Bij de verdamper en de condensor waren dit gegevens van de fabrikanten. Het afscheidervat wordt berekend in het volgende hoofdstuk, voor de verdere bespreking hiervan wordt daar straks verder op ingegaan. Om de massa te berekenen is er rekening gehouden met de massadichtheid bij de verschillende drukken en temperaturen, deze zijn af te lezen in een log(p)h diagram (zie bijlage VIII voor het log(p)h diagram van ammoniak).

Wat	Vloeistof/damp	totale inhoud (m <sup>3</sup> )	Aantal Kg
Leidingen naar verdamper	100% vloeistof	0,5284	338,18
Van verdamper	66% vloeistof 33%gas	1,8377	788,18
Hot gas	100% gas	3,5738	23,94
naar compressor	100% gas	0,0997	0,67
naar condensor	100% gas	0,0904	0,61
naar afscheider	100% vloeistof	0,0146	9,34
Verdampers grote koelcellen	100% vloeistof	0,8160	522,24
Verdampers laad en loskade groot	100% vloeistof	0,4000	256,00
Verdampers laad en loskade klein	100% vloeistof	0,2020	129,28
Condensor	100% vloeistof	0,5800	356,70
Afscheidervat	100% vloeistof	1,8094	1158,05

Tabel 15-1: Berekening vloeistofinhoud

Totaal	3583 Kg
Inhoud zonder afscheider	8,14 m <sup>3</sup>
Inhoud met afscheider	9,95 m <sup>3</sup>

Tabel 15-2: Totale vloeistofinhoud

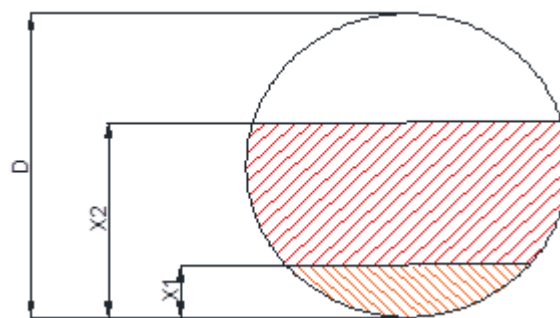
De prijs van ammoniak bedraagt 4.06 euro per kilogram, voor de totale koelmiddelinhoud komt dit dan neer op een totaal van € 14 547,70.

## 16. Berekening vloeistofafscheider

De berekening van een vloeistofafscheider is een complexe berekening, omdat er van vooraf niet te voorspellen valt hoe groot bijvoorbeeld de vloeistofdruppels zullen zijn. En er zijn nog veel meer factoren, deze zijn niet te voorspellen en bij de berekening wordt er dan ook vanuit praktijkervaringen gedaan.

Binnen de afscheider is er een maximumgassnelheid van  $0.3 \frac{m}{s}$  en een minimum gasverblijftijd van 3 seconden. Dit om ervoor te zorgen dat er zeker geen vloeistof aangezogen wordt door de compressor. Op basis van het zuiggasvolume naar de compressor en de vorige vereisten kan de diameter bepaald worden.

In de afscheider moet altijd een minimum aan vloeistof aanwezig blijven om ervoor te zorgen dat de vloeistof pomp zeker geen gas aanzuigt. Dit minimum wordt aangeduid in Figuur 16-1 met X1. Deze X-waarde is een percentage van de diameter D. Tussen X1 en X2 bevindt zich een bufferzone, deze buffer stelt de inhoud van het gehele koelsysteem voor zonder het minimumvolume in de afscheider meegerekend. Boven X2 is er de gasruimte, hierin bevindt zich verzadigde damp.



Figuur 16-1: Niveaus in een afscheider

X (%)	Y	Z	X (%)	Y	Z
5	0.049	3.091	55	1.770	1.370
10	0.163	2.977	60	1.968	1.173
15	0.295	2.845	65	2.181	0.979
20	0.458	2.681	70	2.348	0.792
25	0.622	2.517	75	2.517	0.622
30	0.792	2.348	80	2.681	0.458
35	0.979	2.181	85	2.845	0.295
40	1.173	1.968	90	2.977	0.163
45	1.370	1.770	95	3.091	0.049
50	1.570	1.570	100	3.140	0.000

Tabel 16-1: Goniometrische factoren per X-waarde

X1 en X2 zijn in die volgorde elk 10 % en 55 %. Het vloeistof- en gasoppervlak is te berekenen met de volgende formules:

$$A_{vloeistof} = \frac{y * D^2}{4} \qquad A_{gas} = \frac{z * D^2}{4}$$

	Inhoud (m <sup>3</sup> )
10% minimum	1,8094
45% buffer	8,14
45% gasruimte	8,14
Totaal	18,09

Tabel 16-2: Inhoud vloeistofafscheider



Als zowel het gasdebiet dat naar de compressor gaat en de maximum gassnelheid in de afscheider bekend zijn, dan kan hieruit de oppervlakte van het gasgedeelte berekend worden.

Met deze berekende waarde is het mogelijk om met de voorgaande formule de diameter af te leiden. Omgevormd wordt deze dan:

$$D = \sqrt{\frac{A_{gas} * 4}{z_2}} \quad \text{met } z_2 = 1.370$$

Met de diameter en de totale inhoud van Tabel 16-2 kan dan de lengte berekend worden. Als we dan van de lengte langs elke zijde 1 meter aftrekken (want de vloeistof en gasaansluitingen liggen wat verwijderd van de rand van de afscheider) en delen door de gassnelheid, dan kunnen we de gasverblijftijd berekenen.

Hieronder in Tabel 16-3 zijn de resultaten van de berekeningen te vinden.

Gasdebiet compressor (m <sup>3</sup> /h)	Gasdebiet compressor (m <sup>3</sup> /s)	Snelheid gas (m/s)	Oppervlakte gasgedeelte (m <sup>2</sup> )	Diameter (m)	Lengte (m)	gasverblijftijd (s)
896,98	0,2492	0,3	0,831	1,557	9,50	21,7

Tabel 16-3: Resultaten vloeistofafscheider

Deze bekomen resultaten zijn echter puur theoretisch, in de praktijk zal het meestal zo zijn dat het vermogen, de koelmiddelinhoud en de debieten naar een fabrikant of importeur doorgestuurd worden en dan selecteren zij de gepaste vloeistofafscheider. Vaak worden ze ook als totaalpakket geleverd met de vloeistofpompen en de regelapparatuur al gemonteerd.

De prijs van de afscheider, de pompen en bijbehorende appendages bedragen € 29.900,00.

## 17. Selectie andere onderdelen

### 17.1. Appendages Danfoss

Alle ventielen en appendages zijn geselecteerd met de online tool DIR Builder (<http://refrigerationandairconditioning.danfoss.com/support-center/apps-and-software/dirbuilder/>).

Dit programma geeft weer welke appendage waar moeten komen. Na het invullen van een aantal gegevens wordt een lijst met de serienummers verkregen. Via deze serienummers kan een prijs opgevraagd worden met daarin de prijzen van de appendages.

De selectie van de appendages is te vinden in bijlage V.

Alle appendages van Danfoss kosten samen € 121.953,00.

### 17.2. Hogedrukvlotter

De vlotter is gekozen met behulp van de software van Witt, "Witt Float regulator Selection". Dit programma geeft, na het invoeren van enkele gegevens, de meest gepaste hogedrukvlotter.

Het selectieprogramma gaf het type HR3-H als uitkomst, deze vlotter kost € 1.735,00.

De gegevens van de vlotter zijn te vinden in bijlage VI.

### 17.3. Thermosifon

De componenten van een thermosifonsysteem wordt gekozen op basis van de nodige oliekoeling. Dit vermogen wordt meestal opgegeven door de fabrikant van de compressor(en). De componenten voor de oliekoeling zijn geselecteerd in de catalogus van "Phillips Refrigeration", dit was echter de enige referentie die gevonden is omdat geen andere producent wou reageren op vraag of zij me verder konden helpen.

Het geselecteerde thermosifonsysteem met bijbehorende olieafscheider, warmtewisselaar en accessoires bedragen samen: € 10.000,00.

### 17.4. Verwarming

De luchtverwarmers, warmwaterleidingen en recuperatievat met 2 warmtewisselaars in, waren reeds geselecteerd. De luchtverwarmers zijn van het merk Kampmann en hebben elk een vermogen van 31kW.

Alles voor de verwarming kost in totaal € 9.161,72.

## 18. Vergelijking verdampingstemperatuur

Bij normale koelsystemen is er een groot verschil nodig tussen verdampingstemperatuur en ruimtetemperatuur, meestal wordt dit rond 8°C genomen. Bij een pompsysteem zoals dit systeem kan dit verschil teruggebracht worden naar 3°C tot zelfs 1°C. Hoe hoger de verdampingstemperatuur, des te minder arbeid dat de compressor moet leveren, wat dus resulteert in een winst aan energie.

Bij een ruimtetemperatuur van 2°C is de verdampingstemperatuur van een gebruikelijk systeem met directe expansie ongeveer -6°C. Als de vergelijking dan gemaakt wordt met een pompsysteem dan wordt dit -1°C. Om een goede vergelijking te maken is voor beide systemen de compressor, de aandrijfmotor voor de compressor en de verdampers gekozen. Alle andere componenten blijven ongeveer hetzelfde of maken toch niet zo een groot verschil in deze berekening.

Deze berekening is puur theoretisch en enkel bedoeld om een indicatie te geven van wat de winst kan zijn bij een hogere verdampingstemperatuur. De zonet genoemde winst is niet enkel financiële winst, maar ook de winst die het milieu er aan heeft. Door minder te verbruiken zal de impact op het milieu aanzienlijk afnemen. Bij de berekening van de energiewinst is er rekening gehouden met een energieprijis van 10 eurocent per kWh. In Tabel 18-1 en Tabel 18-2 zijn de aankooprijzen van de componenten te zien.

### 18.1. Systeem -6°C

Wat	Aantal	prijs per stuk	totaal
<b>Bitzer OSKA8581-K compressor</b>	3	€ 24 488,00	€ 73 464,00
<b>Goedhart VRZ-42567</b>	16	€ 6 104,00	€ 97 664,00
<b>Vent. op een verzameldoos bekab. incl. werkschakelaar, 1 per vent</b>	16	€ 559,00	€ 8 944,00
<b>Goedhart VRZ-43456</b>	8	€ 5 770,00	€ 46 160,00
<b>Vent. op een verzameldoos bekab. incl. werkschakelaar, 1 per vent</b>	8	€ 843,00	€ 6 744,00
<b>Goedhart VRZ-43454</b>	2	€ 6 139,00	€ 12 278,00
<b>Vent. op een verzameldoos bekab. incl. werkschakelaar, 1 per vent</b>	2	€ 843,00	€ 1 686,00
<b>Motor MS 315S2 (110kW) 3000rpm</b>	3	€ 4 349,95	€ 13 049,85

Tabel 18-1: Prijzen systeem -6°C

De totale prijs van deze componenten bedraagt dan € 259 989,85.

Stel dat de compressor bij een systeem op -6°C 60 % van de tijd zal moeten draaien, en de ventilatoren zullen 70 % van de tijd draaien.

## 18.2. Systeem -1°C

Wat	Aantal	prijs per stuk	totaal
<b>Bitzer OSKA8571 compressor</b>	3	€ 20 177,48	€ 60 532,44
<b>Goedhart VRZ-42567</b>	16	€ 10 788,00	€ 172 608,00
<b>Vent. op een verzameldoos bekab. incl. werkschakelaar, 1 per vent</b>	16	€ 559,00	€ 8 944,00
<b>Goedhart VRZ-43456 t</b>	8	€ 11 547,00	€ 92 376,00
<b>Vent. op een verzameldoos bekab. incl. werkschakelaar, 1 per vent</b>	8	€ 843,00	€ 6 744,00
<b>Goedhart VRZ-43454</b>	2	€ 16 131,00	€ 32 262,00
<b>Vent. op een verzameldoos bekab. incl. werkschakelaar, 1 per vent</b>	2	€ 843,00	€ 1 686,00
<b>Motor 280M (90kW) 3000rpm</b>	3	€ 2 418,47	€ 7 255,41

Tabel 18-2: Prijzen systeem -1°C

De totale prijs van deze componenten bedraagt dan € 382 407,85.

Stel dat de compressor bij een systeem op -1°C 50 % van de tijd zal moeten draaien, en de ventilatoren zullen ook ongeveer 70 % van de tijd draaien.

Het verschil tussen deze twee systemen is € 122 418,00.

## 18.3. Verbruik van de installaties

### 18.3.1. Verbruik systeem -6°C

Hieronder in Tabel 18-3 staan de vermogens van de compressoren en de ventilatoren voor het systeem met een verdampingstemperatuur van -6°C. De vermogens zijn afkomstig van de fabrikanten van deze componenten. De uren zijn berekend op basis van het aantal uren dat in een jaar zitten en het percentage van de tijd dat de desbetreffende machine in werking is.

	Vermogen	Uren draaien/jaar	kWh	
compressor 60% van de tijd in werking	330 kW	5 256,00	1 734 480,00	
Ventilatoren 70% van de tijd in werking	36,8 kW	6 132,00	225 657,60	
	12,96 kW	6 132,00	79 470,72	
	3,24 kW	6 132,00	19 867,68	10 ct. / kWh
<b>Totaal</b>	<b>383 kW</b>		<b>2 059 476,00</b>	<b>€ 205 947,60</b>

Tabel 18-3: Verbruik systeem -6°C

### 18.3.2. Verbruik systeem -1°C

Hieronder in Tabel 18-4 staan de vermogens van de compressoren en de ventilatoren voor het systeem met een verdampingstemperatuur van -1°C. De vermogens zijn afkomstig van de fabrikanten van deze componenten. De uren zijn berekend op basis van het aantal uren dat in een jaar zitten en het percentage van de tijd dat de desbetreffende machine in werking is.

	Vermogen	Uren draaien/jaar	kWh	
compressor 50% van de tijd in werking	270 kW	4 380,00	1 182 600,00	
Ventilatoren 70 % van de tijd In werking	48 kW	6 132,00	294 336,00	
	36 kW	6 132,00	220 752,00	
	9 kW	6 132,00	55 188,00	10 ct. / kWh
Totaal	363 kW		1 752 876,00	€ 175 287,60

Tabel 18-4: Verbruik systeem -1°C

Met een verdampingstemperatuur van -1°C kan jaarlijks dus € 30 660,00 bespaard worden.

### 18.4. Terugverdientijd

Om de terugverdientijd te berekenen delen we het verschil in aankoopprijs door de jaarlijkse besparing aan energie. Voor deze situatie geeft dit:

$$\frac{€ 122 415,00}{€ 30 660,00} = 3.99 \text{ jaar}$$

Na 3,99 jaar is deze meerprijs dus terugverdient. In Grafiek 18-1<sup>4</sup> is te zien dat de 2 lijnen zich snijden na ongeveer 4 jaar, vanaf dan wordt er dus terugverdient en is de meerprijs van de aankoop er uitgehaald. Na 15 jaar is er dus in theorie meer dan € 300 000,00 uitgespaard door een hogere verdampingstemperatuur te nemen.

### 18.5. Verschil in CO<sub>2</sub>-uitstoot

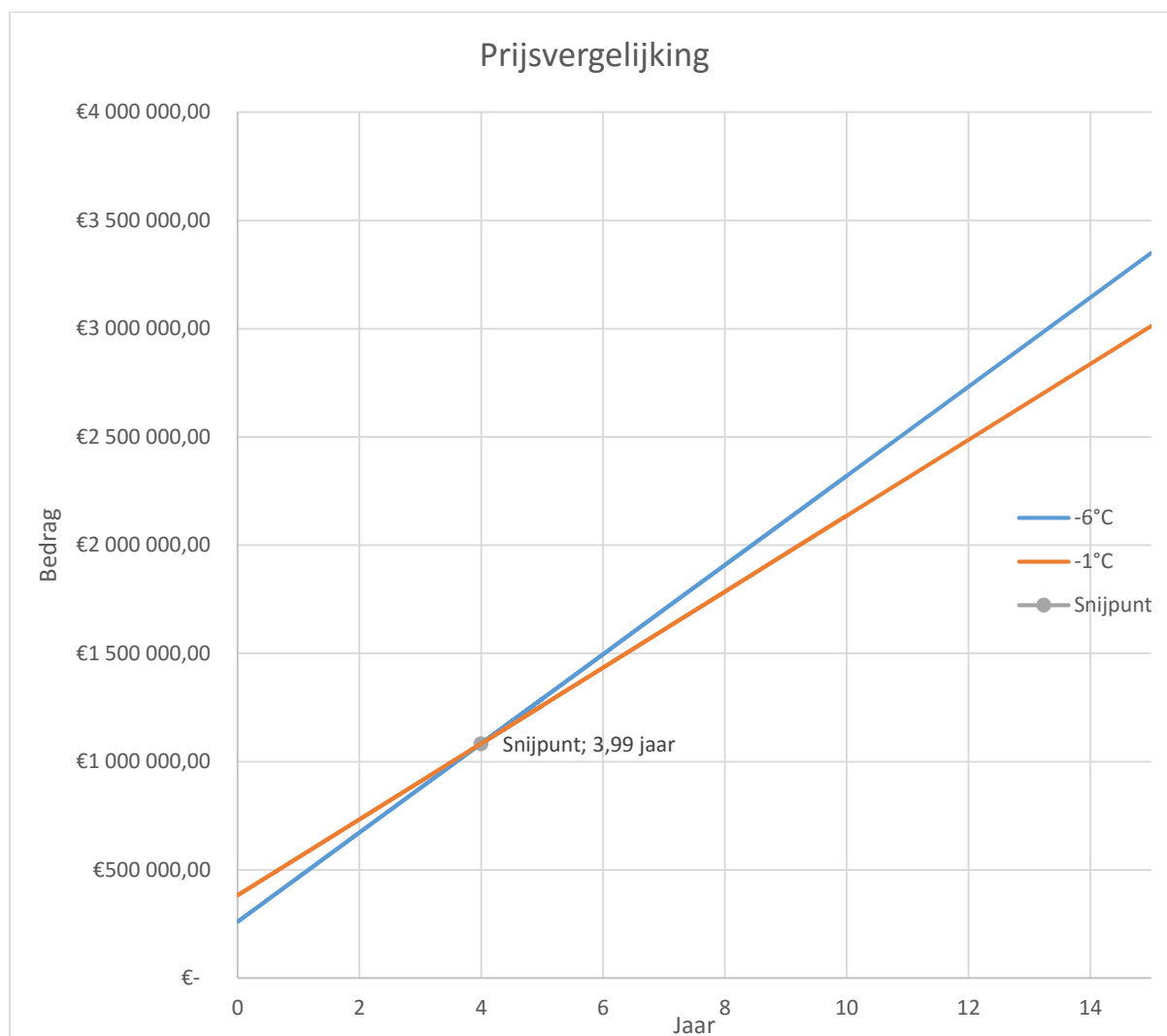
Er is berekend wat het jaarlijkse verschil is in uitstoot door minder energie te verbruiken. De berekening gebeurt door rekening te houden met een uitstoot van  $0.45 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}}$  die vrijkomt bij de opwekking van elektriciteit. In Tabel 18-5<sup>5</sup> zien we dat op jaarbasis 137 970 kg minder CO<sub>2</sub>-uitstoot is door een hogere verdampingstemperatuur te kiezen.

<sup>4</sup> Grafiek 18-1 staat afgebeeld op de volgende pagina

<sup>5</sup> Tabel 18-5 is te vinden op de volgende pagina

<b>-1°C</b>	Elektriciteit (kg CO2/jaar)
Verbruik	0,45 kg CO2 / kWh
1 752 876,00 kWh	788 794,20 Kg CO <sub>2</sub>
<b>-6°C</b>	Elektriciteit (kg CO2/jaar)
Verbruik	0,45 kg CO2 / kWh
2 059 476,00 kWh	926 764,20 Kg CO <sub>2</sub>

Tabel 18-5: Vergelijking CO<sub>2</sub>-uitstoot



Grafiek 18-1: Terugverdiëntijd

## 19. Kostenraming

Hieronder in Tabel 19-1 staan alle bedragen per categorie. Zoals te zien, zijn vooral de verdampers de grootste kost bij deze installatie. Als de leidingen en bijbehorende isolatie samen gerekend worden dan krijgen deze een tweede plaats bij de grootse kosten. De appendages vervoegen deze lijst als nummer drie. In Grafiek 19-1<sup>6</sup> staat ter verheldering een grafische voorstelling van de verhouding van de prijzen.

Compressor	€ 70 500,00
Condensor	€ 55 000,00
Elektrisch	€ 70 000,00
Koelmiddel	€ 14 547,70
Verdamper	€ 314 620,00
Leidingen	€ 193 679,47
Isolatie	€ 97 150,70
Verwarming	€ 9 161,72
Appendages	€ 123 688,00
Afscheider	€ 29 900,00
Thermosifon	€ 10 000,00
Klein materiaal	€ 10 000,00
<b>Totaal</b>	<b>€ 998 247,59</b>

Tabel 19-1: Prijzen per categorie

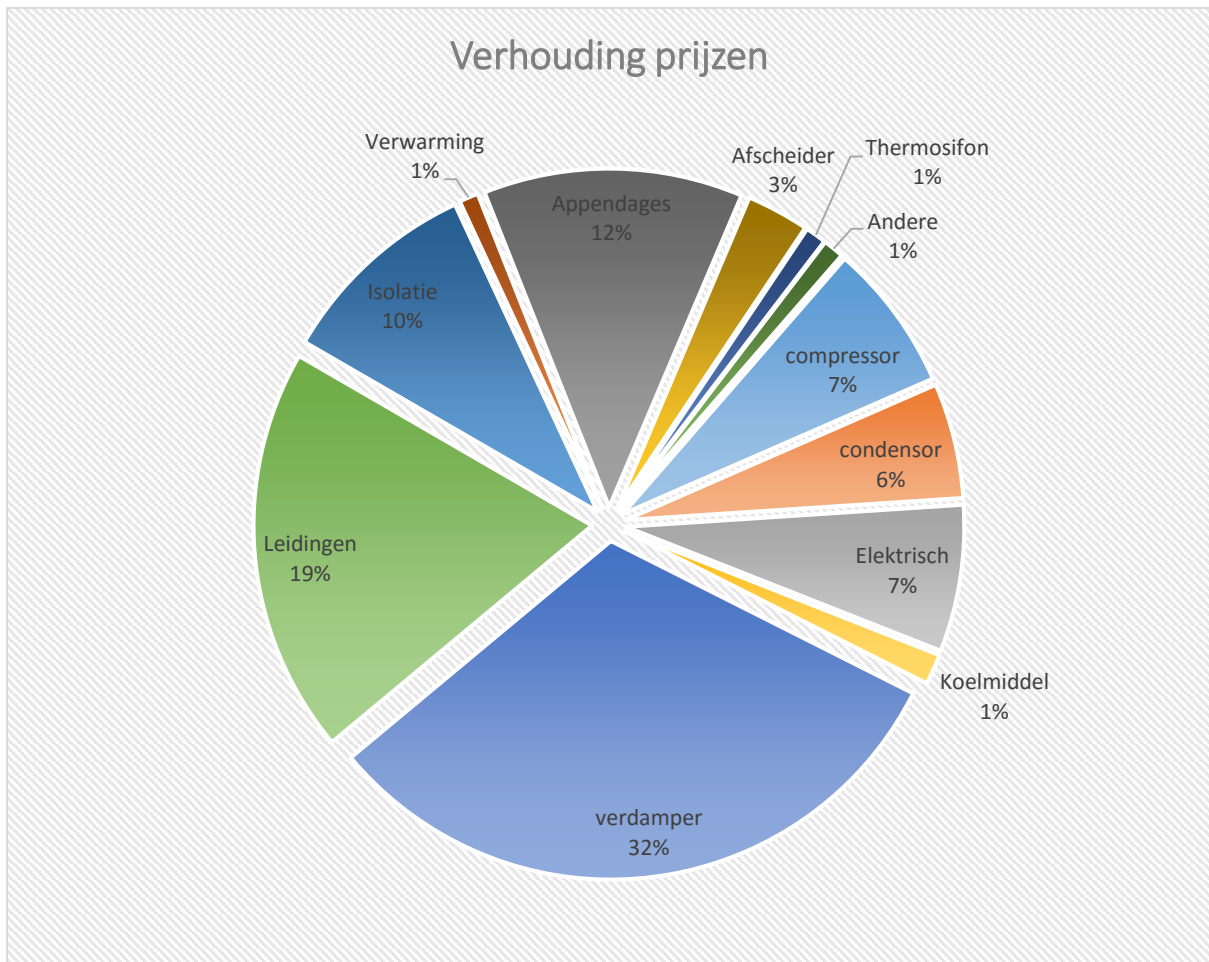
Bij deze prijsberekening is voor sommige componenten een geschatte prijs gegeven. Dit omdat producenten er meestal niet zo happig op zijn om prijzen te delen met stagairs. Maar door een goede redenering en een correct inzicht kan deze schattig behoorlijk correct gebeuren.

Aangezien er niet echt een budget opgelegd is, is er niet veel rekening gehouden met dit gegeven. Bij de selectie is eerder gelet op de kwaliteit en de prestaties van de componenten in plaats van te selecteren op basis van het budget.

Voor een uitgebreide prijslijst wordt er doorverwezen naar bijlage VII.

---

<sup>6</sup> Grafiek 19-1 is terug te vinden op de volgende pagina.



Grafiek 19-1: Verhouding van de prijzen



## 20. Vergelijking met het CO<sub>2</sub>-systeem

Een doel van deze bachelorproef is om een vergelijking te maken met een reeds berekend CO<sub>2</sub>-systeem. Om deze berekening te maken is er een vergelijking gemaakt in energieverbruik en CO<sub>2</sub>-uitstoot. Door het energieverbruik te bepalen kan de terugverdientijd van een systeem op ammoniak achterhaald worden. Met behulp van de CO<sub>2</sub>-uitstoot kan bekeken worden wat het verschil voor het milieu is.

In Tabel 20-1 staan de gegevens voor de berekeningen.

Gegevens	
Koelvermogen	1051 kW
COP CO <sub>2</sub>	3
COP NH <sub>3</sub>	5
Kostprijs CO <sub>2</sub> installatie	€ 800 000,00
Kostprijs NH <sub>3</sub> installatie	€ 998 247,59

Tabel 20-1: Gegevens vergelijking

### 20.1. Energieverbruik

#### 20.1.1. CO<sub>2</sub> systeem

Met behulp van de COP en het koelvermogen is het vermogen van de compressor berekend met de volgende formule:

$$COP = \frac{Q_{\text{verdamp}}}{P_{\text{compressor}}} \quad \leftrightarrow \quad P_{\text{compressor}} = \frac{Q_{\text{verdamp}}}{COP}$$

Er is beslist dat de compressor 50 % en de ventilatoren 70 % van de tijd in werking zijn. Op basis hiervan is het jaarlijks energieverbruik berekend en de jaarlijkse energiekost op basis van een energieprijis van € 0,10  $\frac{1}{kWh}$ . In Tabel 20-2 is te zien dat de jaarlijkse energiekost €202.502,00 bedraagt.

CO <sub>2</sub>				
Vermogen compressor (kW)	Aantal uren draaien/jaar	jaarlijks verbruik (kWh)	energieprijs (€/kWh)	jaarlijkse kost
350	4380	1534460	€ 0,10	€ 153 446,00
Vermogen ventilatoren (kW)	Aantal uren draaien/jaar	jaarlijks verbruik (kWh)	energieprijs (€/kWh)	jaarlijkse kost
80	6132	490560	€ 0,10	€ 49 056,00
			Totaal	€ 202 502,00

Tabel 20-2: Energieverbruik CO<sub>2</sub> systeem

### 20.1.2. NH<sub>3</sub> systeem

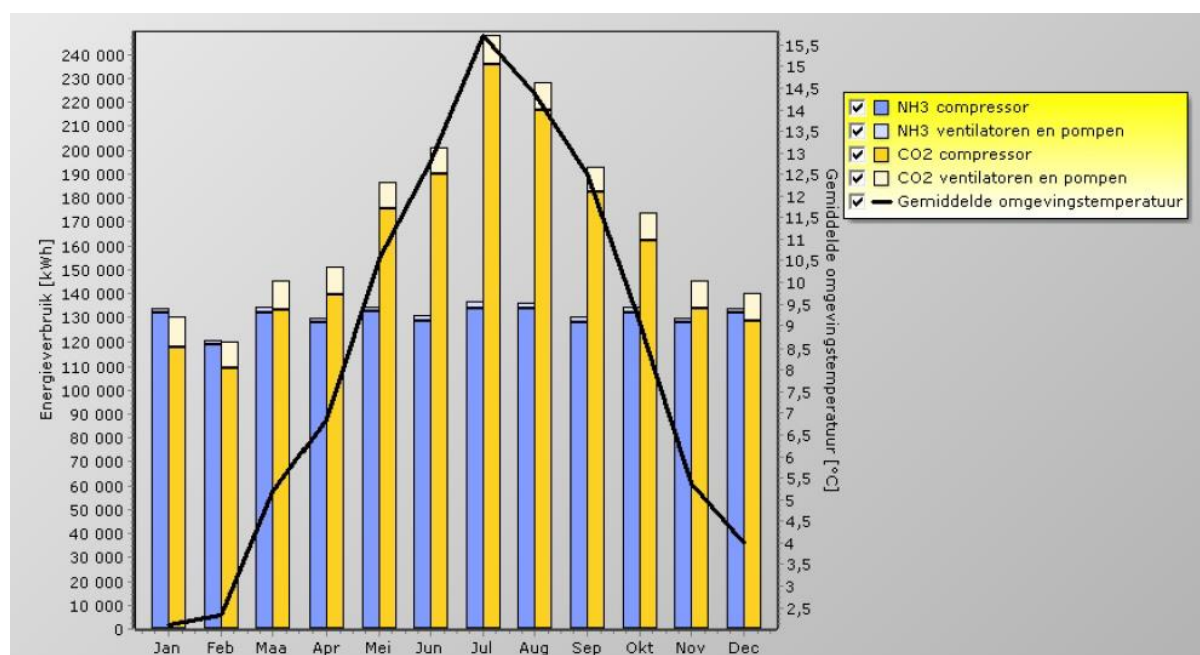
Net zoals bij het CO<sub>2</sub>-systeem is op basis van de COP het energieverbruik van de compressor berekend met de formule op de voorgaande bladzijde. De compressor, ventilatoren en pompen zijn even lang in werking als het CO<sub>2</sub>-systeem. Hieronder in Tabel 20-3 is te zien dat het jaarlijkse bedrag voor energie €153.387,60 bedraagt.

NH <sub>3</sub>				
Vermogen compressor (kW)	Aantal uren draaien/jaar	jaarlijks verbruik (kWh)	energieprijs (€/kWh)	jaarlijkse kost
210	4380	920676	€ 0,10	€ 92 067,60
Vermogen pompen en ventilatoren (kW)	Aantal uren draaien/jaar	jaarlijks verbruik (kWh)	energieprijs (€/kWh)	jaarlijkse kost
100	6132	613200	€ 0,10	€ 61 320,00
			<b>Totaal</b>	<b>€ 153 387,60</b>

Tabel 20-3: Energieverbruik NH<sub>3</sub> systeem

### 20.1.3. Grafiek maandelijks verbruik

Onderstaande grafiek (Figuur 20-1) is gemaakt door middel van de berekening-software Pack Calculation Pro van IPU. De grafiek toont het energieverbruik van beide systemen per maand. Hierin is duidelijk te zien dat de installatie op CO<sub>2</sub> meer verbruikt. Ook is het verbruik bij ammoniak veel constanter wat economisch ook beter is voor bedrijven.

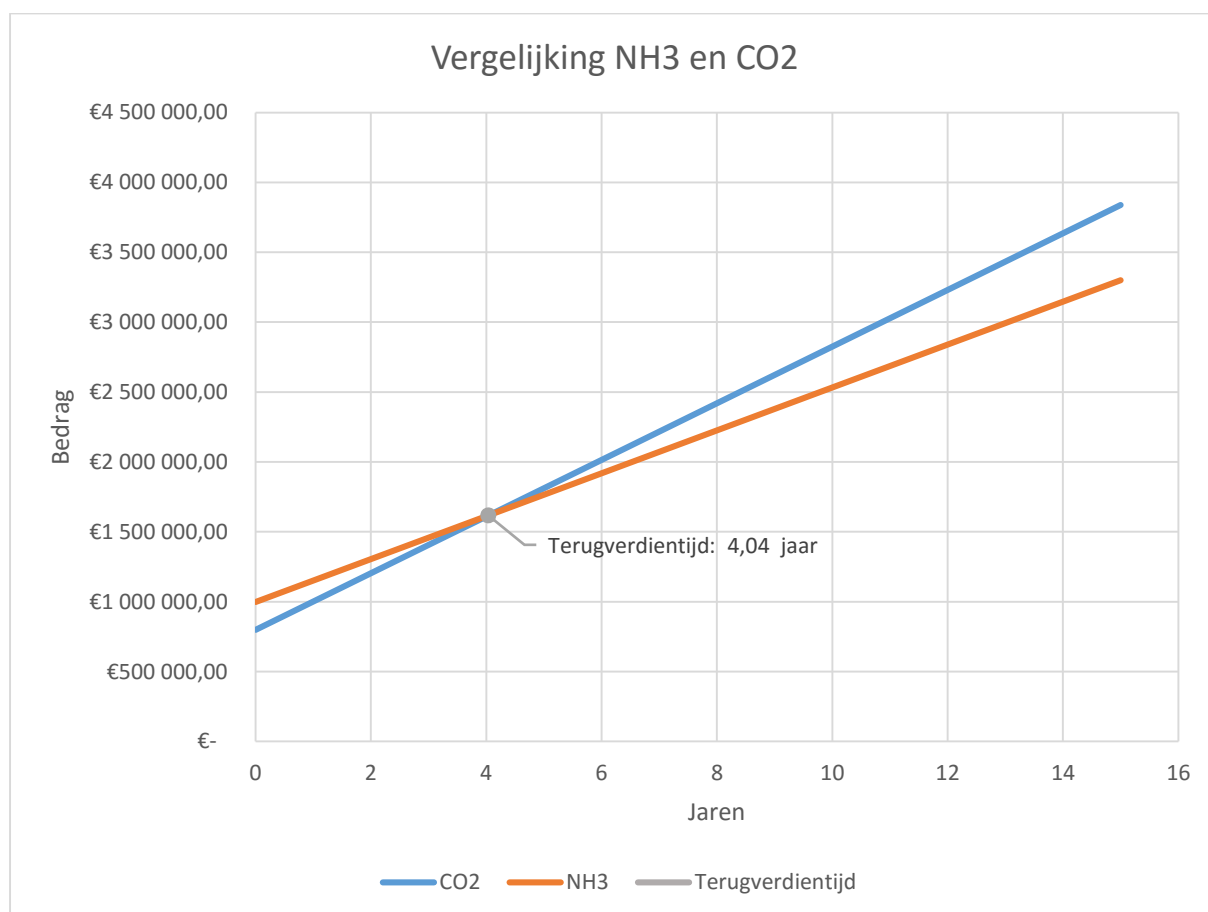


Figuur 20-1 (IPU, 2008 - 2015): Vergelijking maandelijks verbruik

#### 20.1.4. Terugverdientijd

Om de terugverdientijd te berekenen delen we het verschil in aankoopprijs door de jaarlijkse besparing aan energie. Voor deze situatie wordt dit:

$$\frac{€ 998 247,59 - € 800 000,00}{€ 202 502,00 - € 153 387,60} = 4.04 \text{ jaar}$$



Grafiek 20-1: Terugverdientijd NH<sub>3</sub>

Indien het bedrijf zich wil engageren om te investeren in fotovoltaïsche zonnepanelen, is dit een zeer interessante keuze. Bij een opbrengst van 300kWh/jaar per zonnepaneel moeten er bij CO<sub>2</sub> ongeveer 6750 zonnepanelen en bij ammoniak ongeveer 5100 zonnepanelen gelegd worden. Stel dat de zonnepanelen 200 euro per stuk bedragen, dan kosten de zonnepanelen voor bij ammoniak in totaal 330.000 euro minder. Dit wil zeggen dat de totale investering 130.000 euro minder wordt bij ammoniak.

## 20.2. CO<sub>2</sub>-uitstoot

Om het verschil in CO<sub>2</sub>-uitstoot te kunnen berekenen is er uitgegaan van een uitstoot van  $0,45 \frac{kg\ CO_2}{kWh}$ . Als het jaarlijkse energieverbruik vermenigvuldigd wordt met deze factor dan krijgen we de indirecte CO<sub>2</sub>-uitstoot. We kennen ook de totale massa van het koudemiddel en er wordt gesteld dat er een lekpercentage van 10 % en een recyclageverlies van 5 %, op deze manier weten we de directe CO<sub>2</sub>-uitstoot. Deze percentages doen er eigenlijk heel erg weinig toe, want de meeste vervuiling komt van de opwekking van de elektriciteit.

### 20.2.1. CO<sub>2</sub>-systeem

Het totale jaarlijkse energieverbruik bij het CO<sub>2</sub>-systeem bedraagt 2025020 kWh. In Tabel 20-4 staan de uitkomsten van de berekening van de CO<sub>2</sub>-uitstoot. Aangezien CO<sub>2</sub> een GWP heeft van "1" dan zal bij vrijkomen van 1kg CO<sub>2</sub> het equivalent aan kilogram CO<sub>2</sub>-uitstoot ook 1kg zijn.

CO <sub>2</sub>			
Vulling (kg)	Direct		Indirect
	Lekkage (kg CO <sub>2</sub> / jaar) 10% / jaar	Recyclageverlies (kg CO <sub>2</sub> ) 5%	Elektriciteit (kg CO <sub>2</sub> /jaar) 0,45 kg CO <sub>2</sub> / kWh
1500	150	75	911 259

Tabel 20-4: CO<sub>2</sub> Uitstoot CO<sub>2</sub>-systeem

### 20.2.2. NH<sub>3</sub>-systeem

Ammoniak heeft een GWP van "0" hierdoor zal het niet direct bijdragen aan de opwarming van de aarde. De installatie heeft een jaarlijks verbruik van 1533876 kWh en in Tabel 20-5 zijn de uitkomsten van de berekening terug te vinden

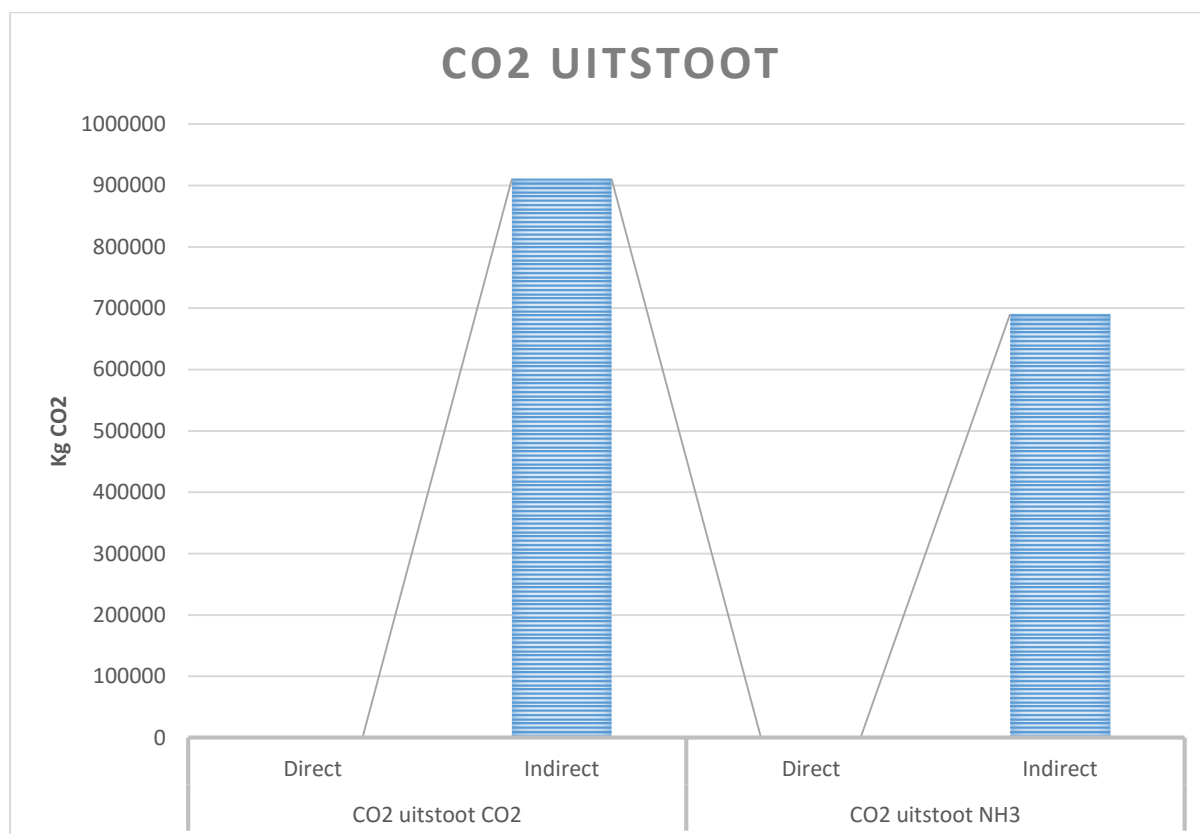
NH <sub>3</sub>			
Vulling (kg)	Direct		Indirect
	Lekkage (kg CO <sub>2</sub> / jaar) 10% / jaar	Recyclageverlies (kg CO <sub>2</sub> ) 2%	Elektriciteit (kg CO <sub>2</sub> /jaar) 0,45 kg CO <sub>2</sub> / kWh
3583	0	0	690 244

Tabel 20-5: CO<sub>2</sub>-uitstoot NH<sub>3</sub>-systeem

### 20.2.3. Vergelijking CO<sub>2</sub>-uitstoot

Zoals hieronder in Grafiek 20-2 te zien is, is de directe uitstoot zeer gering bij deze installaties. De CO<sub>2</sub>-installatie zal zoals te zien is meer CO<sub>2</sub> uitstoten dan de ammoniakinstallatie. Dit is te verwachten aangezien de ammoniakinstallatie heel wat minder verbruikt.

De ammoniakinstallatie zal bijgevolg beter zijn voor het milieu en minder inbreng hebben aan de opwarming van de aarde.



Grafiek 20-2: Vergelijking CO<sub>2</sub> uitstoot

Als we deze CO<sub>2</sub>-uitstoot willen verder vergelijken met begrippen die te begrijpen zijn dan krijgen we een voorstelling die op de volgende pagina te zien is in Figuur 20-2<sup>7</sup>.

Hier is vertrokken van volgende gegevens:

- Een auto stoot 100 gr CO<sub>2</sub> uit per gereden kilometer
- De omtrek van de aarde is 40.000 kilometer
- Een vliegtuig stoot gemiddeld 8 kg CO<sub>2</sub> uit per kilometer
- Een boom absorbeert 24 kg CO<sub>2</sub> per jaar

<sup>7</sup> Figuur 20-2 is te vinden op de volgende pagina.



Figuur 20-2: Voorstelling CO<sub>2</sub>-uitstoot

## 21. Besluit

Zoals in het begin van dit project reeds aan bod is gekomen, zijn er aan ammoniak gevaren verbonden. Ammoniak is namelijk gevaarlijk voor het menselijk lichaam en in hoge concentraties zelfs dodelijk. In bepaalde concentraties is ammoniak in theorie zelfs ontplofbaar. Dankzij de huidige technologieën kunnen de gevaren die ammoniak met zich meebrengt sterk gelimiteerd worden. De machinekamer zal dusdanig voorzien worden dat als er een lek optreedt, het koudemiddel ingesloten wordt en er een alarm wordt uitgezonden. Voor ammoniak bestaan strenge regelgevingen die gebonden zijn aan dit koudemiddel en hebben hun bestaan om de gevaren in te perken. Ondanks de gevaren vind ik dat de voordelen van ammoniakkoeling zeker opwegen tegen de nadelen.

Het grootste voordeel van ammoniak is dat het niet rechtstreeks bijdraagt aan de opwarming van de aarde, zowel de ODP als de GWP hebben als factor "0" gekregen. Door het gebruiken van een pompsysteem i.p.v. een systeem met directe expansie zal de koudemiddelinhoud groter zijn. Dit heeft als gevolg dat er bij een lek veel koudemiddel kan ontsnappen. Een voordeel van zo een pompsysteem is dat het temperatuurverschil tussen verdampingstemperatuur en ruimtetemperatuur kleiner gemaakt kan worden. Bij een systeem met directe expansie is dit verschil doorgaans 5 à 8 graden Celsius, door gebruik te maken van een pompsysteem kan in theorie dit verschil naar 1 à 3 graden Celsius zakken. Hierdoor zal het energieverbruik sterk dalen omdat de compressor minder arbeid zal moeten leveren. In de praktijk wordt dit zelden toegepast, er zal meestal een temperatuurverschil gekozen worden van 5 à 8 graden Celsius. Ik denk dat dit gegroeid is uit de gewoontes van technici bij het uitrekenen van een installatie met directe expansie, in dit rapport is het energieverval dan ook uitgerekend en het resultaat is significant. Er is een meerprijs aan verbonden omdat de verdampers iets groter gedimensioneerd zijn, maar de compressor zal met een lager vermogen kunnen draaien. In deze situatie is de meerprijs terugverdient na 4 jaar, vanaf dan wordt er jaarlijks 30.000 euro bespaard op de energierekening.

De selectie van heel wat onderdelen kan tegenwoordig door middel van software van fabrikanten eenvoudig en snel gebeuren. Bepaalde elementen zoals de leidingen of de vloeistofafscheider moeten wel berekend worden, maar ook dit was eenvoudig door middel van de computer en wat technisch inzicht. De selectie en berekeningen gingen vlot, bij sommige fabrikanten zijn prijzen eenvoudig te verkrijgen en doen ze er niet moeilijk over. Maar bij andere fabrikanten krijg je als student weinig tot geen prijzen, het is dus soms gezond verstand gebruiken en prijzen afleiden uit reeds verkregen offertes bij het stagebedrijf. Om de totale prijs op te stellen is er enkel gerekend met gekozen materialen en niet met de plaatsing, behalve bij het lassen van de leidingen omdat dit zo een groot bedrag is.

Als de installatie op ammoniak berekend was dan is de vergelijking gemaakt met het reeds berekende CO<sub>2</sub>-systeem. De systemen zijn zowel economisch als ecologisch met elkaar vergeleken. De rode draad in de conclusies is dat het ammoniakkoelsysteem beter presteert. De installatie op ammoniak kost 200.000 euro meer dan de CO<sub>2</sub>-referentie. Maar omdat ammoniak gemiddeld een zeer hoge en CO<sub>2</sub> gemiddeld een lage COP hebben, is de jaarlijkse kost voor energie ongeveer 50.000 euro minder bij ammoniak. Dit maakt dat het prijsverschil op vier jaar tijd terugverdient is. Indien de combinatie gemaakt wil worden met fotovoltaïsche zonnepanelen, zullen er dus ook minder zonnepanelen aangekocht moeten worden bij ammoniak. Dit zorgt er voor dat de totale investering 130.000 euro minder wordt bij ammoniak dan bij CO<sub>2</sub> en het totaalplaatje voor ammoniak dus goedkoper wordt.

De installatie met ammoniak heeft veel voordelen, zowel ecologisch als financieel gezien. Ik zou dan ook deze ammoniak installatie aanraden in plaats van de installatie op CO<sub>2</sub>. De berekeningen zijn vanuit een kritisch standpunt gebeurt en de cijfers tonen dat het ammoniak systeem heel wat beter uit deze vergelijking komt.

Ik zie nog een 'groene' toekomst voor de koeling met ammoniak, dit natuurlijke koudemiddel heeft goede thermodynamische eigenschappen en draagt niet bij aan de opwarming van de aarde. Maar ik ben overtuigd dat er innovaties zullen blijven gebeuren in de koeltechnische wereld van ammoniak. Nieuwe technologieën zullen ontwikkeld worden en de koelsystemen zullen constant beter en beter worden. Ook de CO<sub>2</sub>-koeling zal een grote sprong maken, hier zal geïnnoveerd worden en de systemen zullen bijna evengoed worden als de systemen op ammoniak. De innovaties die zullen gebeuren voor CO<sub>2</sub>-koeling gaan gebeuren omwille van de goede eigenschap van CO<sub>2</sub> dat het niet giftig is. In de toekomst zullen de twee belangrijkste systemen met natuurlijke koudemiddelen elkaar evenaren.

Zelf heb ik heel erg veel bijgeleerd over koeling met natuurlijke koudemiddelen, in het bijzonder dan ook over ammoniak. Het onderwerp heeft me zeker en vast kunnen boeien en mijn interesse voor natuurlijke koudemiddelen aangewakkerd. In de lessen op school hebben we heel weinig gezien over dit onderwerp en het was dan ook heel leerzaam om zoveel te kunnen opzoeken en hier zelfstandig aan te kunnen werken. Op de stage heb ik niets aan te merken, alles verliep feilloos en de collega's en de werksfeer waren heel aangenaam. Kortom, niets dan goede ervaringen aan deze vermoeiende, boeiende, leerzame, ... stage met bijbehorende bachelorproef.



## Literatuurlijst

- Arco NV. (sd). *Koelinstallaties en airconditioning installeren, onderhouden en vernieuwen*. Opgehaald van Arco NV : <http://www.arconv.com/nl/>
- Baltimore Aircoil. (sd). *CXVE principle of operation*. Opgehaald van Baltimore Aircoil Europe: <https://www.baltimoreaircoil.eu/products/CXVE-principle-of-operation>
- BITZER Kühlmaschinenbau GmbH. (sd). *Screw Compressors*. Opgehaald van Bitzer: <https://www.bitzer.de/gb/en/products/Technologies/Screw-Compressors/>
- Danfoss. (2016). *Danfoss België*. Opgehaald van Danfoss België: <http://www.nl.danfoss.be/home/>
- GmbH Kelvion Holding . (2016). *Luchtkoelers Goedhart® VRB/VRZ*. Opgehaald van Kelvion: <http://www.kelvion.com/nl/producten/lamellenwarmtewisselaars/goedhart/vrbvrz/>
- IPU. (2008 - 2015). Pack Calculation Pro.
- IPU, refrigeration and energy engineering. (2009). Simple one stage CO2 cycle. *Elfor Project 339-046*.
- Nederlandse Vereniging voor Koude en Luchtbehandeling. (september 2012). *Cursus natuurlijke koudemiddelen*. Zoetermeer: NVKL.
- O'Neill, D. (2016). *FAQ Defrostproblem*. Opgehaald van Appliance411 Home: <http://www.appliance411.com/faq/defrostproblem.shtml>
- Oosterom, I. A. (1991). *Luchtbehandelingstechniek 7: Koeltechniek*. Voorburg: Stichting Opleidingen Installatietechniek.
- TH. WITT Kältemaschinenfabrik GmbH. (sd). *TH-WITT*. Opgehaald van TH-WITT: <http://www.th-witt.com/>
- Uges, P. (1996). *KOELEN / VERHITTEN*.
- Wijbenga. (2016, 03 23). *Wijbenga*. Opgehaald van Wijbenga: <http://www.wijbenga.nl/>
- Wikipedia-bijdragers. (2015, juni 18). *Scroll-compressor*. Opgehaald van Wikipedia, de vrije encyclopedie: <//nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Scroll-compressor&oldid=44372397>
- Wikipedia-bijdragers. (2016, Januari 28). *Schroefcompressor*. Opgehaald van Wikipedia, de vrije encyclopedie: <//nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Schroefcompressor&oldid=45870559>

## Verklarende woordenlijst

Woord of begrip	Definitie
Broeikasgas	Elk gas dat bijdraagt aan het broeikaseffect
Condensatietemperatuur	De temperatuur waarbij de condensatie plaats zal vinden
Condenseren	Overgaan van gasvormige toestand naar vloeibare
Enthalpie	De totale energie-inhoud van een systeem met: $H = U + pV$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• H: enthalpie (J)</li> <li>• U: inwendige energie (J)</li> <li>• p: druk (Pa = N/m<sup>2</sup>)</li> <li>• V: volume (m<sup>3</sup>)</li> </ul>
Entropie	De mate van chaos en wanorde. Een verandering in entropie is onomkeerbaar zonder opnieuw energie toe te voegen.
Flashgas	Het spontaan vormen van gas in een vloeistof, dit kan door bijvoorbeeld een verlaging in druk
Koudemiddel	een stof die gebruikt wordt in koelinstallatie als medium om warmte te verpompen
Kyoto Protocol	Een verdrag dat in 1997 werd opgesteld om de uitstoot van broeikasgassen te verminderen
Massadichtheid	De hoeveelheid massa die aanwezig is in een bepaald volume van een bepaald materiaal
Kritisch punt	Een combinatie van druk, temperatuur en enthalpie waar de stof vreemde fenomenen vertoont, dit punt wordt dan ook best vermeden
Montreal protocol	Een verdrag dat in 1987 werd opgesteld om de ozonlaag te beschermen
Onderkoeling	Verder afkoelen van een koudemiddel tot buiten het gas/vloeistof gebied. Dit wordt ook gedaan om flash gas te vermijden in het expansieventiel
Oververhitting	Verder verhitten van een gas tot buiten het gas/vloeistof gebied. Dit wordt meestal gedaan zodat de compressor geen vloeistof aanzuigt
Soortelijk warmte	Het beschrijft de hoeveelheid warmte die nodig is om een kilogram van een stof met een graad kelvin te verhogen
Subkritisch	Een koelcyclus die steeds onder het kritisch punt verloopt
Transkritisch	Een koelcyclus die rond het kritisch punt gaat. Het afkoelen van het koudemiddel gebeurt boven het kritisch punt.
Verdampen	Overgaan van vloeistof naar gasvormige toestand
Verdampingstemperatuur	De temperatuur waarop het koudemiddel verdampt
Warmte	Energiewisseling tussen twee voorwerpen die niet in thermisch evenwicht zijn
Warmteoverdrachtscoëfficiënt	Een maat voor de warmteoverdracht, hoe groter hoe sneller warmte kan doorgegeven worden

## Symbolenlijst

Symbol	Grootheid	Eenheid
<b><i>A</i></b>	Oppervlakte	$m^2$
<b><i>COP</i></b>	Coefficient off performance	–
<b><i>D</i></b>	Diameter	$m$
<b><i>h</i></b>	Soortelijke enthalpie	$J/kg$
<b><i>L</i></b>	Lengte	$m$
<b><i>m</i></b>	Massa	$kg$
<b><i>ṁ</i></b>	Massadebiet	$kg/s$
<b><i>Q<sub>e</sub></i></b>	Koelvermogen	$W$
<b><i>Q<sub>c</sub></i></b>	Condensorvermogen	$W$
<b><i>P</i></b>	Vermogen	$W$
<b><i>p</i></b>	Druk	$bar$
<b><i>T</i></b>	Temperatuur	$^{\circ}C$
<b><i>V</i></b>	Volume	$m^3$
<b><i>V̇</i></b>	Volumedebiet	$m^3/s$
<b><i>v</i></b>	Snelheid	$m/s$
<b><i>W</i></b>	Arbeid	$J$
<b><i>ρ</i></b>	Soortelijke massa	$kg/m^3$

## Lijst met afkortingen

Afkorting	Betekenis
CFC	Chloorfluorkoolstof
CO <sub>2</sub>	Koolstofdioxide
COP	Coefficient Of Performance
GWP	Global Warming Potential
HCFC	Chloorfluorkoolwaterstof
HFK	Fluorkoolwaterstof
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
ODP	Ozone Depletion Potential
TIG	Tungsten Inert Gas (Lassen)

# Bijlagen

## I. Technische fiches verdampers



GOEDHART PRODUCT CATALOGUS 2016.01

Klant :  
 Project :  
 Pos. :  
 Aantal : 16

Ref. No. :

Kelvion Refrigeration B.V.

Nijverheidsweg 6  
 4695 ZG Sint Maartensdijk, The Netherlands  
 Phone: +31 (0) 166 665 665  
 Fax: +31 (0) 166 663 698  
[sint-maartensdijk@kelvion.com](mailto:sint-maartensdijk@kelvion.com)  
[www.kelvion.com](http://www.kelvion.com) / [www.goedhart.nl](http://www.goedhart.nl)

Datum: 23/03/2016

Enkelzijdig zuigend Goedhart VRZ-62634

### Selectiegegevens

Capaciteit	kW	39,9	Koudemiddel		R-717 (NH3) pomp
Luchthoeveelheid	m³/h	24615	Verdampingstemperatuur	°C	-1,0
Lucht temperatuur (gem.)	°C	2,0			
Lucht temperatuur In	°C	3,7 (85,0%)			
Lucht temperatuur Uit	°C	0,4 (94,9%)			
Condensaat	kg/h	15,59			
Rijplaag	mm	0,20			

### Technische gegevens

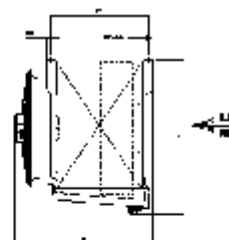
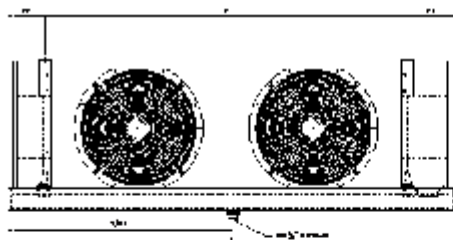
Lamel afstand	mm	4	Blok		RVS / Al
Oppervlak	m²	389	Omkastng		gegalvaniseerd
Volume	dm³	51	Afwerking		Wit (RAL 9003)
Gewicht (leeg) zonder opties	kg	446	* Geluidsdruk niveau - afstand	dB(A)-m	66,2 @ 3,0 [+/- 2 dB(A)]
Vloeistofaansluiting / Zuigleiding	mm	26,7 / 42,4	Luchtwerp	m	33
			Energie klasse		D

### Ventilator(en)

Aantal ventilatoren		2	ErP Compliance		2015
Data per ventilator:			Fase - Spanning - Frequentie	V-Hz	3 x 400 /50
Ventilator diameter	mm	630	Beschermingsklasse		IP54
Ventilator toerental	tpm	1360 [4p (D)]	Geluidsvermogen niveau (LwA)	dB(A)	86
Opgenomen vermogen	kW	1,50			
Nominale stroom	A	2,70 [@+20 °C]			

### Afmetingen zonder opties (circa) Wijzigingen voorbehouden!

L - 2856 mm	E - 2456 mm	E3 - mm	F1 - 230 mm
B - 1010 mm	E1 - mm	E4 - mm	F2 - 170 mm
H - 1110 mm	E2 - mm		C - 800 mm



Netto prijs per stuk	EUR	10 788,00
Vent. op een verzameldoos bekab. incl. werkschakelaar, 1 per vent.	EUR	559,00
<b>TOTAAL NETTO PRIJS (PER STUK)</b>	<b>EUR</b>	<b>11 347,00</b>

\* Het geluidsdruk niveau wordt berekend in overeenstemming met EN13487 +/- 2dB, vrije veld conditie, zonder reflectie. Praktische waarden kunnen afwijken als gevolg van de omstandigheden ter plaatse. De geluidsdruk, gewichten en afmetingen aangegeven zijn geldig voor luchtcoolers zonder extra opties.

\*\* Capaciteit en luchthoeveelheid zijn gerelateerd aan de standaard materiaalkeuze zonder gemoniteerde accessoires.



**GOEDHART PRODUCT CATALOGUS 2016.01**

Klant :  
 Project :  
 Pos. :  
 Aantal : 8

Ref. No. :

**Kelvion Refrigeration B.V.**

Nijverheidsweg 8  
 4895 ZG Sint Maartensdijk, The Netherlands  
 Phone: +31 (0) 166 865 665  
 Fax: +31 (0) 166 863 898  
[sint-maartensdijk@kelvion.com](mailto:sint-maartensdijk@kelvion.com)  
[www.kelvion.com](http://www.kelvion.com) / [www.goedhart.nl](http://www.goedhart.nl)

Datum: 23/03/2016

**Enkelzijdig zuigend Goedhart VRZ-43634**

**Selectiegegevens**

Capaciteit	kW	43,2	Koudemiddel		R-717 (NH3) pomp
Luchthoeveelheid	m³/h	39279	Verdampingstemperatuur	°C	-1,0
Lucht temperatuur (gem.)	°C	2,0			
Lucht temperatuur In	°C	3,2 (85,0%)			
Lucht temperatuur Uit	°C	0,9 (92,6%)			
Condensaat	kg/h	15,42			
Rijplaat	mm	0,20			

**Technische gegevens**

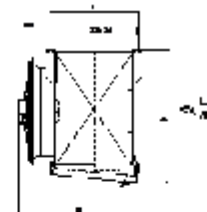
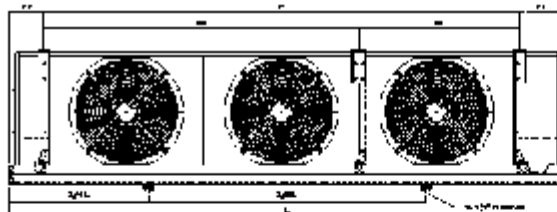
Lamel afstand	mm	4	Blok		RVS / Al
Oppervlak	m²	389	Omkastung		gegalvaniseerd
Volume	dm³	50	Afwerking		Wit (RAL 9003)
Gewicht (leeg) zonder opties	kg	519	* Geluidsdruk niveau - afstand	dB(A)-m	67,6 @ 3,0 [+/- 2 dB(A)]
Vloeistofaansluiting / Zuigleiding	mm	26,7 / 42,4	Luchtwerp	m	34
			Energie klasse		E

**Ventilator(en)**

Aantal ventilatoren		3	ErP Compliance		2015
Data per ventilator:			Fase - Spanning - Frequentie	V-Hz	3 x 400 /50
Ventilator diameter	mm	630	Beschermingsklasse		IP54
Ventilator toerental	tpm	1360 [4p (D)]	Geluidsvermogen niveau (LwA)	dB(A)	86
Opgenomen vermogen	kW	1,50			
Nominale stroom	A	2,70 [@+20 °C]			

**Afmetingen zonder opties (circa) Wijzigingen voorbehouden!**

L - 4056 mm	E - mm	E3 - mm	F1 - 230 mm
B - 910 mm	E1 - 1228 mm	E4 - mm	F2 - 170 mm
H - 1110 mm	E2 - 2428 mm	C - 700 mm	



Netto prijs per stuk	EUR	11 547,00
Vent. op een verzameldoos bekab. incl. werkschakelaar, 1 per vent.	EUR	843,00
<b>TOTAAL NETTO PRIJS (PER STUK)</b>	<b>EUR</b>	<b>12 390,00</b>

\* Het geluidsdruk niveau wordt berekend in overeenstemming met EN13487 +/- 2dB, vrije veld conditie, zonder reflectie. Praktische waarden kunnen afwijken als gevolg van de omstandigheden ter plaatse. De geluidsdruk, gewichten en afmetingen aangegeven zijn geldig voor luchtcoolers zonder extra opties.  
 \*\* Capaciteit en luchthoeveelheid zijn gerelateerd aan de standaard materiaalkeuze zonder gemoniteerde accessoires.

Op alle aanbiedingen, overeenkomsten, leveranties en rechtsbetrekkingen van Kelvion Refrigeration B.V. is de laatste tekst van onze algemene verkoop- en leveringsvoorwaarden van toepassing als gedeponeerd bij de Kamer van Koophandel te Middelburg - Nederland. Algemene voorwaarden zoals eventueel gesteld door enig koper worden door Kelvion Refrigeration B.V. volledig afgewezen.



**GOEDHART PRODUCT CATALOGUS 2016.01**

Klant :  
 Project :  
 Pos. :  
 Aantal : 2

Ref. No. :

**Kelvion Refrigeration B.V.**

Nijverheidsweg 8  
 4895 ZG Sint Maartensdijk, The Netherlands  
 Phone: +31 (0) 166 865 665  
 Fax: +31 (0) 166 863 898  
[sint-maartensdijk@kelvion.com](mailto:sint-maartensdijk@kelvion.com)  
[www.kelvion.com](http://www.kelvion.com) / [www.goedhart.nl](http://www.goedhart.nl)

Datum: 23/03/2016

**Enkelzijdig zuigend Goedhart VRZ-83636**

**Selectiegegevens**

Capaciteit	kW	56,1	Koudemiddel		R-717 (NH3) pomp
Luchthoeveelheid	m³/h	38731	Verdampingstemperatuur	°C	-1,0
Lucht temperatuur (gem.)	°C	2,0			
Lucht temperatuur In	°C	3,5 (85,0%)			
Lucht temperatuur Uit	°C	0,5 (94,3%)			
Condensaat	kg/h	21,36			
Rijplaat	mm	0,20			

**Technische gegevens**

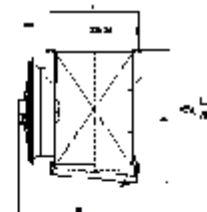
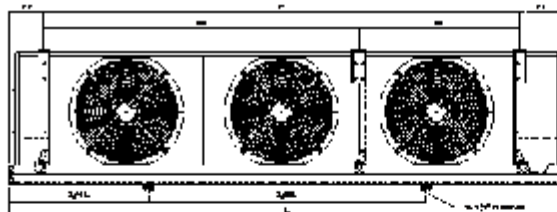
Lamel afstand	mm	6	Blok		RVS / Al
Oppervlak	m²	528	Omkasting		gegalvaniseerd
Volume	dm³	101	Afwerking		Wit (RAL 9003)
Gewicht (leeg) zonder opties	kg	675	* Geluidsdruk niveau - afstand	dB(A)-m	67,5 @ 3,0 [+/- 2 dB(A)]
Vloeistofaansluiting / Zuigleiding	mm	26,7 / 42,4	Luchtwerp	m	34
			Energie klasse		D

**Ventilator(en)**

Aantal ventilatoren		3	ErP Compliance		2015
Data per ventilator:			Fase - Spanning - Frequentie	V-Hz	3 x 400 /50
Ventilator diameter	mm	630	Beschermingsklasse		IP54
Ventilator toerental	tpm	1360 [4p (D)]	Geluidsvermogen niveau (LwA)	dB(A)	86
Opgenomen vermogen	kW	1,50			
Nominale stroom	A	2,70 [@+20 °C]			

**Afmetingen zonder opties (circa) Wijzigingen voorbehouden!**

L - 4056 mm	E - mm	E3 - mm	F1 - 230 mm
B - 1110 mm	E1 - 1228 mm	E4 - mm	F2 - 170 mm
H - 1110 mm	E2 - 2428 mm	C - 900 mm	



Netto prijs per stuk	EUR	16 131,00
Vent. op een verzameldoos bekab. incl. werkschakelaar, 1 per vent.	EUR	843,00
<b>TOTAAL NETTO PRIJS (PER STUK)</b>	<b>EUR</b>	<b>16 974,00</b>

\* Het geluidsdruk niveau wordt berekend in overeenstemming met EN13487 +/- 2dB, vrije veld conditie, zonder reflectie. Praktische waarden kunnen afwijken als gevolg van de omstandigheden ter plaatse. De geluidsdruk, gewichten en afmetingen aangegeven zijn geldig voor luchtcoolers zonder extra opties.  
 \*\* Capaciteit en luchthoeveelheid zijn gerelateerd aan de standaard materiaalkeuze zonder gemoniteerde accessoires.

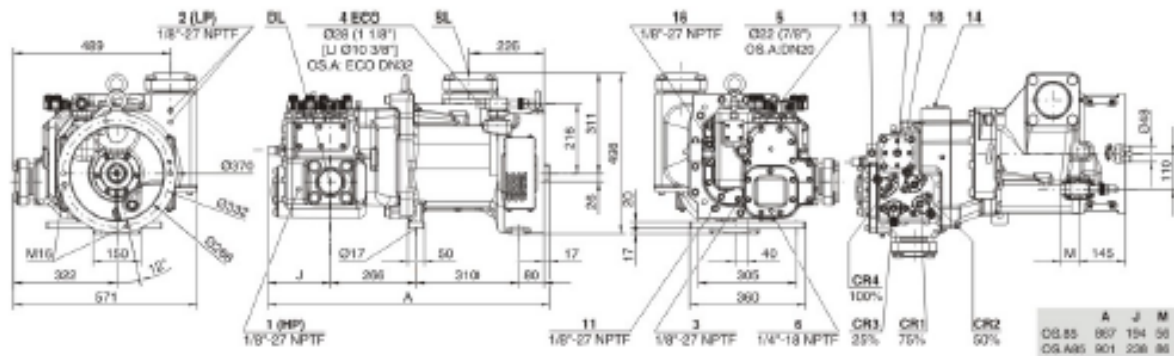
Op alle aanbiedingen, overeenkomsten, leveranties en rechtbetrekkingen van Kelvion Refrigeration B.V. is de laatste tekst van onze algemene verkoop- en leveringsvoorwaarden van toepassing als gedeponeerd bij de Kamer van Koophandel te Middelburg - Nederland. Algemene voorwaarden zoals eventueel gesteld door enig koper worden door Kelvion Refrigeration B.V. volledig afgewezen.

## II. Gegevens compressor

### Technische gegevens

## Technical Data: OSKA8571-K

### Dimensions and Connections



### Technical Data

#### Technical Data

Displacement (2900 RPM 50 Hz)	410 m <sup>3</sup> /h
Displacement (3500 RPM 60 Hz)	495 m <sup>3</sup> /h
Max. Power input	150,0 kW
Allowed speed range	1450 .. 4000 min <sup>-1</sup>
Sens of rotation (compressor)	rechts / clockwise
Weight	350 kg
Max. pressure (LP/HP)	19 / 28 bar
Connection suction line	DN 100
Connection suction line (NH3)	DN 100
Connection discharge line	76 mm - 3 1/8"
Connection discharge line (NH3)	DN 80
Adapter for ECO (NH3)	DN 30 (Option)
Oil type NH3	Reniso KC68 , SHC 226E
<b>Extent of delivery (Standard)</b>	
Pressure relief valve	Standard
Check valve	Standard
Oil flow control	Standard
Oil stop valve	Standard
Built in oil filter	Standard
Motor protection	2xSE-B2
Discharge gas temperature sensor	Standard
Start unloading	Standard
Capacity control	100-75-50% or 100-50% (Standard)
Protective charge	Standard
<b>Available Options</b>	
Suction shut-off valve	Option
Discharge shut-off valve	Option
ECO connection with shut-off valve	Option
Coupling housing	Option

Evaporating SST	-1,00 °C			
Condensing SDT	32,0 °C			
<b>Compressor</b>	<b>Total</b>	<b>OSKA8571-K</b>	<b>OSKA8571-K</b>	<b>OSKA8571-K</b>
Capacity steps		100%	100%	100%
Cooling capacity	1190 kW	397 kW	397 kW	397 kW
Cooling capacity *	–	393 kW	393 kW	393 kW
Evaporator capacity	1190 kW	397 kW	397 kW	397 kW
Shaft power	215 kW	71,6 kW	71,6 kW	71,6 kW
Condenser Capacity	1346 kW	449 kW	449 kW	449 kW
Ratio	–	33,3 %	33,3 %	33,3 %
COP/EER	5,54	5,54	5,54	5,54
COP/EER *	–	5,49	5,49	5,49
Mass flow LP	3785 kg/h	1262 kg/h	1262 kg/h	1262 kg/h
Mass flow HP	3785 kg/h	1262 kg/h	1262 kg/h	1262 kg/h
Operating mode	Standard	Standard	Standard	Standard
Liquid temp.	–	30,0 °C	30,0 °C	30,0 °C
Oil volume flow	6,72 m³/h	2,24 m³/h	2,24 m³/h	2,24 m³/h
Cooling method	External	External	External	External
Oil cooler outlet	62,1 °C	62,1 °C	62,1 °C	62,1 °C
Oil cooler load	58,6 kW	19,54 kW	19,54 kW	19,54 kW
Recommended driving motor	–	90,0 kW	90,0 kW	90,0 kW
Discharge gas temp. w/o cooling	101,4 °C	101,4 °C	101,4 °C	101,4 °C

### *Motor en koppeling*

Compressor:	OSKA8571	OSKA8571	OSKA8571
Recommendation:	90,0 kW	90,0 kW	90,0 kW
Selection:	90,0 kW	90,0 kW	90,0 kW
<b>Motor construction size</b>	<b>280M</b>	<b>280M</b>	<b>280M</b>
Recommended operating point:	A	A	A
Selected operating point:	A	A	A
Motor power	90,0 kW (50 Hz)	90,0 kW (50 Hz)	90,0 kW (50 Hz)
Coupling	KS800	KS800	KS800
Coupling housing	GS7120	GS7120	GS7120
Shaft diameter	65 mm	65 mm	65 mm

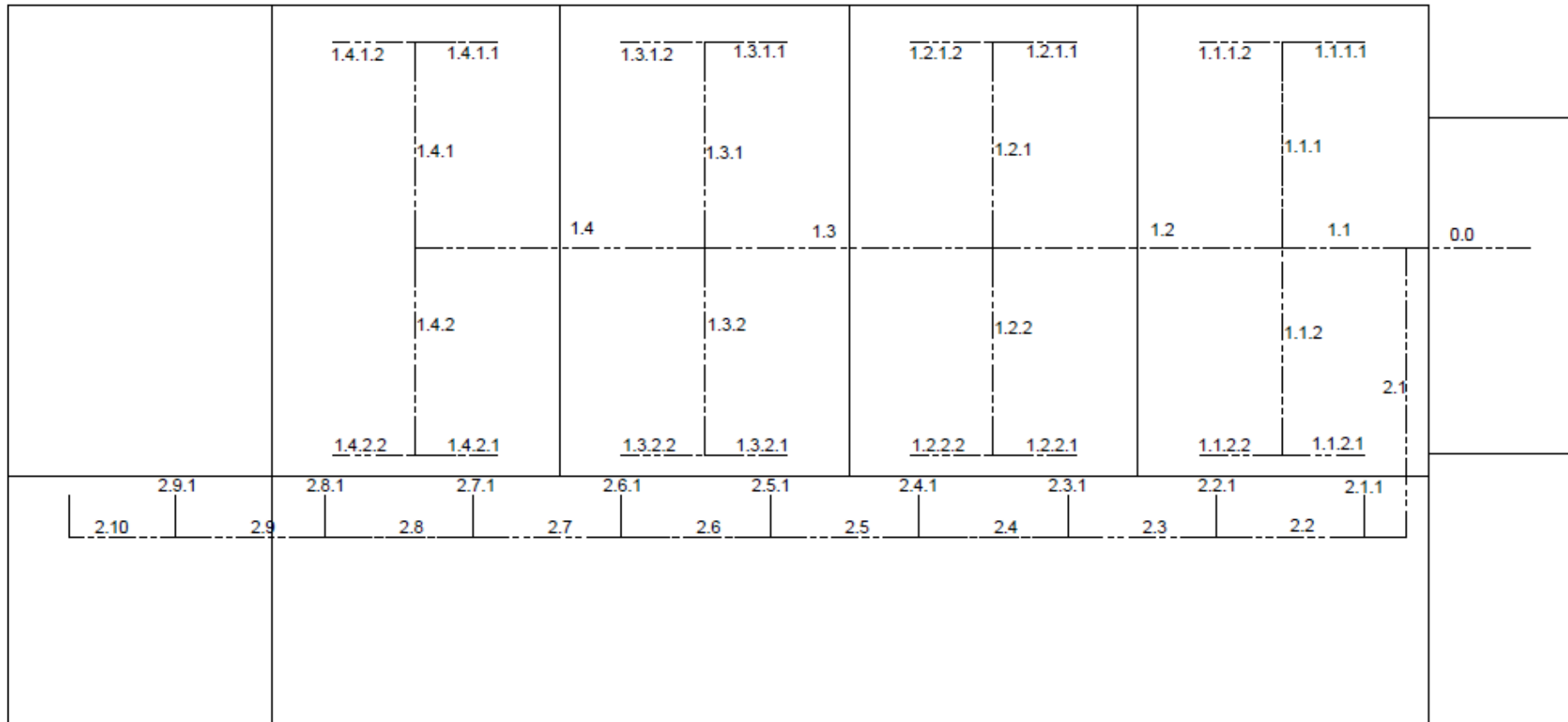


### III. Berekening van de leidingen

Op de volgende pagina's staan de berekening en de nummering van de leidingen. Voor meer gedetailleerde informatie kan je terecht bij het hoofdstuk "Leidingberekening" in de bachelorproef.

*Nummering leidingen*

De volle lijnen zijn de contouren van het gebouw en de onderbroken lijnen stellen de leidingen voor.







Omschrijving	Leidingnummer	Gegeven vermogen	Debiet (m <sup>3</sup> /h)	Snelheid (m/s)	Oppervlakte (mm <sup>2</sup> )	Diameter (mm)	Gekozen DN diameter	Gekozen binnendiameter	Herrekende snelheid (m/s)	Lengte (m)	Inhoud (m <sup>3</sup> )
<b>Naar laad en loskade groot</b>	2.1	440,6	5,73	1	1591,06	45,01	50	54,5	0,682	35	0,0816
Verdamper 1	2.1.1	41,5	0,54	1	149,86	13,81	15	17,3	0,638	5	0,0012
	2.2	399,1	5,19	1	1441,19	42,84	40	43,1	0,988	15	0,0219
Verdamper 2	2.2.1	41,5	0,54	1	149,86	13,81	15	17,3	0,638	5	0,0012
	2.3	357,6	4,65	1	1291,33	40,55	40	43,1	0,885	15	0,0219
Verdamper 3	2.3.1	41,5	0,54	1	149,86	13,81	15	17,3	0,638	5	0,0012
	2.4	316,1	4,11	1	1141,47	38,12	40	43,1	0,782	15	0,0219
Verdamper 4	2.4.1	41,5	0,54	1	149,86	13,81	15	17,3	0,638	5	0,0012
	2.5	274,6	3,57	1	991,61	35,53	32	37,2	0,912	15	0,0163
Verdamper 5	2.5.1	41,5	0,54	1	149,86	13,81	15	17,3	0,638	5	0,0012
	2.6	233,1	3,03	1	841,75	32,74	32	37,2	0,774	15	0,0163
Verdamper 6	2.6.1	41,5	0,54	1	149,86	13,81	15	17,3	0,638	5	0,0012
	2.7	191,6	2,49	1	691,89	29,68	32	37,2	0,637	15	0,0163
Verdamper 7	2.7.1	41,5	0,54	1	149,86	13,81	15	17,3	0,638	5	0,0012
	2.8	150,1	1,95	1	542,03	26,27	25	28,5	0,850	15	0,0096
Verdamper 8	2.8.1	41,5	0,54	1	149,86	13,81	15	17,3	0,638	5	0,0012
<b>Naar laad en loskade klein</b>	2.9	108,6	1,41	1	392,17	22,35	20	22,3	1,004	15	0,0059
Verdamper 1	2.9.1	54,3	0,71	1	196,08	15,80	15	17,3	0,834	5	0,0012
Verdamper 2	2.10	54,3	0,71	1	196,08	15,80	15	17,3	0,834	15	0,0035





Omschrijving	Leidingnummer	Gegeven vermogen	Debiet (m <sup>3</sup> /h)	Snelheid (m/s)	Oppervlakte (mm <sup>2</sup> )	Diameter (mm)	Gekozen DN diameter	Gekozen binnendiameter	Herrekende snelheid (m/s)	Lengte (m)	Inhoud (m <sup>3</sup> )
<b>Van laad en loskade groot</b>	2.1	440,6	194,75	10	5409,59	82,99	100	107,3	5,983	35	0,3165
Verdamper 1	2.1.1	41,5	18,34	10	509,53	25,47	25	28,5	7,987	5	0,0032
	2.2	399,1	176,40	10	4900,06	78,99	80	82,5	9,167	15	0,0802
Verdamper 2	2.2.1	41,5	18,34	10	509,53	25,47	25	28,5	7,987	5	0,0032
	2.3	357,6	158,06	10	4390,53	74,77	80	82,5	8,214	15	0,0802
Verdamper 3	2.3.1	41,5	18,34	10	509,53	25,47	25	28,5	7,987	5	0,0032
	2.4	316,1	139,72	10	3881,01	70,30	65	70,3	9,999	15	0,0582
Verdamper 4	2.4.1	41,5	18,34	10	509,53	25,47	25	28,5	7,987	5	0,0032
	2.5	274,6	121,37	10	3371,48	65,52	65	70,3	8,686	15	0,0582
Verdamper 5	2.5.1	41,5	18,34	10	509,53	25,47	25	28,5	7,987	5	0,0032
	2.6	233,1	103,03	10	2861,95	60,37	65	70,3	7,374	15	0,0582
Verdamper 6	2.6.1	41,5	18,34	10	509,53	25,47	25	28,5	7,987	5	0,0032
	2.7	191,6	84,69	10	2352,42	54,73	50	54,5	10,084	15	0,0350
Verdamper 7	2.7.1	41,5	18,34	10	509,53	25,47	25	28,5	7,987	5	0,0032
	2.8	150,1	66,34	10	1842,89	48,44	50	54,5	7,900	15	0,0350
Verdamper 8	2.8.1	41,5	18,34	10	509,53	25,47	25	28,5	7,987	5	0,0032
<b>Van laad en loskade klein</b>	2.9	108,6	48,00	10	1333,37	41,20	40	43,1	9,139	15	0,0219
Verdamper 1	2.9.1	54,3	24,00	10	666,68	29,14	32	37,2	6,134	5	0,0054
Verdamper 2	2.10	54,3	24,00	10	666,68	29,14	32	37,2	6,134	15	0,0163







Omschrijving	Leidingnummer	Gegeven vermogen	Debiet (m³/h)	Snelheid (m/s)	Oppervlakte (mm²)	Diameter (mm)	Gekozen DN diameter	Gekozen binnendiameter	Herrekende snelheid (m/s)	Lengte (m)	Inhoud (m³)
<b>Naar laad en loskade groot</b>	2.1	440,6	572,78	15	10607,04	116,21	125	131,7	11,680	35	0,4768
Verdamper 1	2.1.1	41,5	53,95	15	999,07	35,67	32	37,2	13,789	5	0,0054
	2.2	399,1	518,83	15	9607,96	110,61	125	131,7	10,580	15	0,2043
Verdamper 2	2.2.1	41,5	53,95	15	999,07	35,67	32	37,2	13,789	5	0,0054
	2.3	357,6	464,88	15	8608,89	104,70	100	107,3	14,281	15	0,1356
Verdamper 3	2.3.1	41,5	53,95	15	999,07	35,67	32	37,2	13,789	5	0,0054
	2.4	316,1	410,93	15	7609,81	98,43	100	107,3	12,624	15	0,1356
Verdamper 4	2.4.1	41,5	53,95	15	999,07	35,67	32	37,2	13,789	5	0,0054
	2.5	274,6	356,98	15	6610,74	91,75	100	107,3	10,966	15	0,1356
Verdamper 5	2.5.1	41,5	53,95	15	999,07	35,67	32	37,2	13,789	5	0,0054
	2.6	233,1	303,03	15	5611,67	84,53	100	107	9,361	15	0,1349
Verdamper 6	2.6.1	41,5	53,95	15	999,07	35,67	32	37,2	13,789	5	0,0054
	2.7	191,6	249,08	15	4612,59	76,64	80	82,5	12,943	15	0,0802
Verdamper 7	2.7.1	41,5	53,95	15	999,07	35,67	32	37,2	13,789	5	0,0054
	2.8	150,1	195,13	15	3613,52	67,83	65	70,3	13,965	15	0,0582
Verdamper 8	2.8.1	41,5	53,95	15	999,07	35,67	32	37,2	13,789	5	0,0054
<b>Naar laad en loskade klein</b>	2.9	108,6	141,18	15	2614,44	57,70	65	70,3	10,104	15	0,0582
Verdamper 1	2.9.1	54,3	70,59	15	1307,22	40,80	40	43,1	13,440	5	0,0073
Verdamper 2	2.10	54,3	70,59	15	1307,22	40,80	40	43,1	13,440	15	0,0219

<b>Aanvoer Compressor</b>											
<b>Omschrijving</b>	<b>Leidingnummer</b>		<b>Debiet (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Snelheid (m/s)</b>	<b>Oppervlakte (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Diameter (mm)</b>	<b>Gekozen DN diameter</b>	<b>Gekozen binnendiameter</b>	<b>Herrekende snelheid (m/s)</b>	<b>Lengte (m)</b>	<b>Inhoud (m<sup>3</sup>)</b>
Hoofdleiding	0.0		896,98	12	20763,35	162,60	150	159,3	12,50172896	5	0,0996 50304

<b>Aanvoer Condensor</b>											
	1346 kW										
<b>Omschrijving</b>	<b>Leidingnummer</b>		<b>Debiet (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Snelheid (m/s)</b>	<b>Oppervlakte (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Diameter (mm)</b>	<b>Gekozen DN diameter</b>	<b>Gekozen binnendiameter</b>	<b>Herrekende snelheid (m/s)</b>	<b>Lengte (m)</b>	<b>Inhoud (m<sup>3</sup>)</b>
Hoofdleiding	0.0		400,64	15	7419,18	97,19	100	107,3	12,30751592	10	0,0904 22501

<b>Aanvoer vloeistofafscheider</b>											
<b>Omschrijving</b>	<b>Leidingnummer</b>		<b>Debiet (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Snelheid (m/s)</b>	<b>Oppervlakte (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Diameter (mm)</b>	<b>Gekozen DN diameter</b>	<b>Gekozen binnendiameter</b>	<b>Herrekende snelheid (m/s)</b>	<b>Lengte (m)</b>	<b>Inhoud (m<sup>3</sup>)</b>
Hoofdleiding	0.0		4,89	1	1357,13	41,57	40	43,1	0,93022755	10	0,0145 89205

#### IV. Isolatie van de leidingen

##### Isolatie (Aanvoer verdamper)

DN MAAT	INCH	ISO DIKTE/MM	€/M	LM	BOCHT	T	Prijs
10	0,25	40	€ 41,90	160	0	0	€ 6 703,20
15	0,5	40	€ 41,90	60	1	0	€ 2 555,60
20	0,75	40	€ 43,43	210	0	9	€ 9 705,49
25	1	40	€ 45,29	245	0	3	€ 11 298,61
32	1,25	40	€ 47,46	290	0	5	€ 14 119,35
40	1,5	40	€ 49,25	60	0	3	€ 3 176,30
50	2	40	€ 52,67	135	1	5	€ 7 557,43
65	2,5	40	€ 57,27	85	0	1	€ 4 953,86
80	3	40	€ 60,98	30	0	0	€ 1 829,25
100	4	60	€ 98,72	75	0	0	€ 7 403,63
125	5	60	€ 109,04	15	0	0	€ 1 635,53
150	6	60	€ 120,47	0	0	0	€ -
200	8	60	€ 140,81	0	0	0	€ -
250	10	60	€ 162,56	0	0	0	€ -
300	12	60	€ 183,05	0	0	0	€ -

Totaal € 64 235,03

##### Isolatie (HotGas)

DN MAAT	INCH	ISO DIKTE/MM	€/M	LM	BOCHT	T	Prijs
10	0,25	50	€ 32,48	0	0	0	€ -
15	0,5	50	€ 32,48	0	0	0	€ -
20	0,75	50	€ 33,36	0	0	0	€ -
25	1	60	€ 38,36	0	0	0	€ -
32	1,25	60	€ 39,48	200	0	0	€ 7 896,00
40	1,5	60	€ 40,40	20	1	0	€ 848,30
50	2	60	€ 41,97	195	0	8	€ 8 687,79
65	2,5	60	€ 45,05	60	0	4	€ 2 972,97
80	3	60	€ 46,80	15	0	1	€ 772,20
100	4	60	€ 50,36	95	0	6	€ 5 236,92
125	5	60	€ 53,66	80	1	4	€ 4 674,69
150	6	60	€ 58,83	10	0	2	€ 764,79
200	8	60	€ 64,37	15	0	1	€ 1 062,02
250	10	60	€ 71,91	0	0	0	€ -
300	12	60	€ 78,86	0	0	0	€ -

Totaal € 32 915,68

## V. Selectie appendages Danfoss

Quantity	Product Description	Sales Code	Sales price	Total price
<b>37.7 kW Pumped liquid circulation evaporator, with hot gas defrost system, fully welded, using ICF valve station and ICS with CVP</b>				
	<b>Vloeistof leiding</b>			
16	ICF Flexline™ - Control Solution. 20 mm Butt weld (EN 10220). M1=Stop. M2=Filter. M3=Solenoid. M4=Check. M5=Regulate. M6=Stop	027L3018	€ 1 298,00	€ 20 768,00
	<b>Natte zuigleiding</b>			
16	SVA stop valve. Straightway. 25 mm(1 in) Butt weld (EN 10220) connection. Standard neck. Cap	148B5411	€ 178,00	€ 2 848,00
16	ICV 25 with 25mm Butt-weld DIN connection	027H2000	€ 1 166,00	€ 18 656,00
16	SVA stop valve. Straightway. 10 mm(3/8 in) Butt weld (EN 10220) connection. Standard neck. Cap	148B5111	€ 116,00	€ 1 856,00
	<b>Heetgas leiding</b>			
16	ICF Flexline™ - Control Solution. 32 mm Butt weld (EN 10220). M1=Stop. M2=Filter. M3=Solenoid. M4=Stop	027L3334	€ 1 268,00	€ 20 288,00
16	CHV-X check valve. Straightway. 32 mm(1 1/4 in) Butt weld (EN 10220) connection.	148G3083	€ 170,00	€ 2 720,00
16	Temperature Sensor AKS 21 M	084N2003	€ 109,00	€ 1 744,00
<b>41.5 Pumped liquid circulation evaporator, with hot gas defrost system, fully welded, using ICF valve station and ICS with CVP</b>				
	<b>Vloeistof leiding</b>			
8	ICF Flexline™ - Control Solution. 15 mm Butt weld (EN 10220). M1=Stop. M2=Filter. M3=Solenoid. M4=Check	027L4539	€ 777,00	€ 6 216,00
	<b>Natte zuigleiding</b>			
8	SVA stop valve. Straightway. 25 mm(1 in) Butt weld (EN 10220) connection. Standard neck. Cap	148B5411	€ 178,00	€ 1 424,00
8	ICV 25 with 25mm Butt-weld DIN connection	027H2000	€ 1 166,00	€ 9 328,00
8	SVA stop valve. Straightway. 25 mm(1 in) Butt weld (EN 10220) connection. Standard neck. Cap	148B5411	€ 178,00	€ 1 424,00
	<b>Heetgas leiding</b>			
8	ICF Flexline™ - Control Solution. 32 mm Butt weld (EN 10220). M1=Stop. M2=Filter. M3=Solenoid. M4=Stop	027L3334	€ 1 268,00	€ 10 144,00

Quantity	Product Description	Sales Code	Sales price	Total price
8	CHV-X check valve. Straightway. 32 mm(1 1/4 in) Butt weld (EN 10220) connection.	148G3083	€ 170,00	€ 1 360,00
8	Temperature Sensor AKS 21 M	084N2003	€ 109,00	€ 872,00
<b>54.3 Pumped liquid circulation evaporator, with hot gas defrost system, fully welded, using ICF valve station and ICS with CVP</b>				
	<b>Vloeistof leiding</b>			
2	ICF Flexline™ - Control Solution. 15 mm Butt weld (EN 10220). M1=Stop. M2=Filter. M3=Solenoid. M4=Check	027L4539	€ 777,00	€ 1 554,00
	<b>Natte zuigleiding</b>			
2	SVA stop valve. Straightway. 32 mm(1 1/4 in) Butt weld (EN 10220) connection. Standard neck. Cap	148B5511	€ 204,00	€ 408,00
2	ICV 32 with 32mm Butt-weld DIN connection	027H3000	€ 1 599,00	€ 3 198,00
2	SVA stop valve. Straightway. 32 mm(1 1/4 in) Butt weld (EN 10220) connection. Standard neck. Cap	148B5511	€ 204,00	€ 408,00
	<b>Heetgas leiding</b>			
2	ICF Flexline™ - Control Solution. (.). M1=Stop. M2=Filter. M3=Solenoid. M4=Stop	027L4072	€ 1 512,00	€ 3 024,00
2	CHV-X Check valve. Selection not complete	148G3085	€ 181,00	€ 362,00
2	Temperature Sensor AKS 21 M	084N2003	€ 109,00	€ 218,00
<b>Thermosyphon oil cooling</b>				
1	Oil regulating valve ORV 40	148H3361	€ 1 214,00	€ 1 214,00
1	FIA filter without filter module. Straightway. 40 mm(1 1/2 in) Butt weld (EN 10220) connection.	148B5625	€ 179,00	€ 179,00
1	Sight glass MLI 100	2511+022	€ 240,00	€ 240,00
1	SVA stop valve. Straightway. 40 mm(1 1/2 in) Butt weld (EN 10220) connection. Standard neck. Cap	148B5611	€ 231,00	€ 231,00
1	REG regulating valve. Straightway. 40 mm(1 1/2 in) Butt weld (EN 10220) connection. Cone type 25 - A. Standard neck. Cap.	148B5629	€ 292,00	€ 292,00
1	Sight glass MLI 100	2511+022	€ 240,00	€ 240,00
1	SVA stop valve. Straightway. 40 mm(1 1/2 in) Butt weld (EN 10220) connection. Standard neck. Cap	148B5611	€ 231,00	€ 231,00

Quantity	Product Description	Sales Code	Sales price	Total price
<b>Step control of evaporative condenser with step controller EKC 331</b>				
1	Electronic controller EKC 347, Level Ctrl.	084B7067	€ 666,00	€ 666,00
1	Pressure Transmitter AKS 33	060G1711	€ 253,00	€ 253,00
1	SVA stop valve. Straightway. 100 mm(4 in) Butt weld (EN 10220) connection. Standard neck. Cap	148B6011	€ 672,00	€ 672,00
1	SVA stop valve. Straightway. 100 mm(4 in) Butt weld (EN 10220) connection. Standard neck. Cap	148B6011	€ 672,00	€ 672,00
<b>Crankcase pressure control with ICS and CVC</b>				
1	Controller + pressure monitoring	Contact Danfoss for sales code	€ 6 972,00	€ 6 972,00
1	SVA stop valve. Straightway. 150 mm(6 in) Butt weld (EN 10220) connection. Standard neck. Cap	148B6211	€ 1 271,00	€ 1 271,00

**Totaal: € 121 953,00**



## VI. Gegevens hogedrukvlotter

### Input

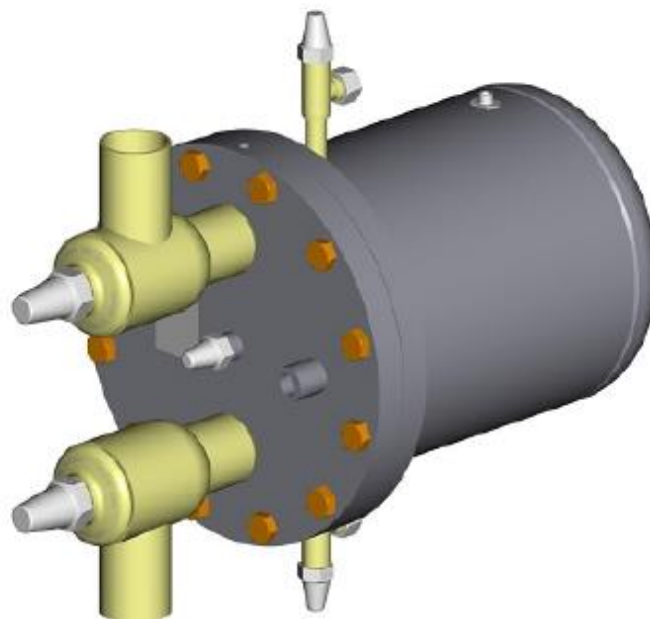
Refrigerant	Ammoniak/ammonia (NH3)		
Evaporating Temperature	-1.0 °C	Condensation temperature:	32.0 °C
Refrig. capacity	1051.0 kW	Mass flow	3409.42 kg/h
Reserve Capacity	148.1 kW	Float is above condenser	

### Results

Type	<u>HR3-H</u>		
Evaporating pressure	4.14 bar	Condensation pressure	12.38 bar
Density Liquid	592.07 kg/m <sup>3</sup>	Volume flow	5.76 m <sup>3</sup> /h
Maximum Capacity	1199.1 kW	Velocity	15.02 m/s
Articlenr. Degasing Unit	3591.000346		

Velocity OK

Nozzle: Standard



## VII. Prijslijst

Wat	Categorie	Aantal	prijs per stuk	totaal
Afscheider met appendages	Afscheider	1	€ 25 000,00	€ 25 000,00
Vloeistofpomp	Afscheider	1	€ 4 900,00	€ 4 900,00
Klein materiaal	Andere	1	€ 10 000,00	€ 10 000,00
Hogedrukvlotter Witt Type HR3-H	Appendages	1	€ 1 735,00	€ 1 735,00
Selectie Danfoss appendages	Appendages	1	€ 121 953,00	€ 121 953,00
Bitzer OSKA8571 compressor	compressor	3	€ 21 000,00	€ 63 000,00
Motor 280M (90kW) 3000rpm	compressor	3	€ 2 500,00	€ 7 500,00
Condensor BAC CXVB-226-0812-7.5	condensor	1	€ 55 000,00	€ 55 000,00
Kabels	Elektrisch	1	€ 10 000,00	€ 10 000,00
Schakelkast en elektrische componenten ruwe schatting	Elektrisch	1	€ 60 000,00	€ 60 000,00
Isolatie Hotgas buizen: zie tabblad "Leidingen"	Isolatie	1	€ 32 915,68	€ 32 915,68
Isolatie vloeistof buizen: zie tabblad "Leidingen"	Isolatie	1	€ 64 235,03	€ 64 235,03
Aantal kg ammoniak	Koelmiddel	3583 kg	€ 4,06	€ 14 547,70
Bochten Buis DN type: DN100	Leidingen	1	€ 40,69	€ 40,69
Bochten Buis DN type: DN125	Leidingen	1	€ 85,91	€ 85,91
Bochten Buis DN type: DN15	Leidingen	1	€ 2,65	€ 2,65
Bochten Buis DN type: DN32	Leidingen	1	€ 6,35	€ 6,35
Bochten Buis DN type: DN40	Leidingen	1	€ 8,14	€ 8,14
Bochten Buis DN type: DN50	Leidingen	1	€ 10,79	€ 10,79
Buis DN type: DN10	Leidingen	160 m	€ 4,95	€ 792,00
Buis DN type: DN100	Leidingen	170 m	€ 115,97	€ 19 714,90
Buis DN type: DN125	Leidingen	95 m	€ 163,93	€ 15 573,35
Buis DN type: DN15	Leidingen	60 m	€ 10,60	€ 636,00
Buis DN type: DN150	Leidingen	15 m	€ 226,73	€ 3 400,95
Buis DN type: DN20	Leidingen	210 m	€ 19,23	€ 4 038,30

Wat	Categorie	Aantal	prijs per stuk	totaal
Buis DN type: DN200	Leidingen	15 m	€ 298,08	€ 4 471,20
Buis DN type: DN25	Leidingen	245 m	€ 15,30	€ 3 748,50
Buis DN type: DN32	Leidingen	490 m	€ 18,70	€ 9 163,00
Buis DN type: DN40	Leidingen	90 m	€ 20,57	€ 1 851,30
Buis DN type: DN50	Leidingen	330 m	€ 25,25	€ 8 332,50
Buis DN type: DN65	Leidingen	145 m	€ 34,31	€ 4 974,23
Buis DN type: DN80	Leidingen	45 m	€ 42,98	€ 1 934,10
Ophanging leidingen	Leidingen	1	€ 10 000,00	€ 10 000,00
Reducties Buis DN type: DN100 naar DN80	Leidingen	15	€ 18,77	€ 281,55
Reducties Buis DN type: DN125 naar DN100	Leidingen	8	€ 31,91	€ 255,28
Reducties Buis DN type: DN15 naar DN10	Leidingen	16	€ 1,82	€ 29,12
Reducties Buis DN type: DN150 naar DN125	Leidingen	3	€ 50,67	€ 152,01
Reducties Buis DN type: DN20 naar DN15	Leidingen	25	€ 2,82	€ 70,50
Reducties Buis DN type: DN200 naar DN150	Leidingen	2	€ 103,66	€ 207,32
Reducties Buis DN type: DN25 naar DN20	Leidingen	17	€ 3,82	€ 64,94
Reducties Buis DN type: DN32 naar DN25	Leidingen	33	€ 4,81	€ 158,73
Reducties Buis DN type: DN40 naar DN32	Leidingen	47	€ 6,21	€ 291,87
Reducties Buis DN type: DN50 naar DN40	Leidingen	45	€ 6,58	€ 296,10
Reducties Buis DN type: DN65 naar DN50	Leidingen	26	€ 9,95	€ 258,70
Reducties Buis DN type: DN80 naar DN65	Leidingen	18	€ 13,57	€ 244,26
TIG lassen buizen (onderaanneming)	Leidingen	1	€ 100 000,00	€ 100 000,00
T-stukken Buis DN type: DN100	Leidingen	11	€ 53,45	€ 587,95
T-stukken Buis DN type: DN125	Leidingen	5	€ 85,90	€ 429,50
T-stukken Buis DN type: DN150	Leidingen	2	€ 127,67	€ 255,34
T-stukken Buis DN type: DN20	Leidingen	9	€ 9,48	€ 85,32
T-stukken Buis DN type: DN200	Leidingen	1	€ 306,08	€ 306,08
T-stukken Buis DN type: DN25	Leidingen	3	€ 9,55	€ 28,65
T-stukken Buis DN type: DN32	Leidingen	13	€ 13,39	€ 174,07

Wat	Categorie	Aantal	prijs per stuk	totaal
T-stukken Buis DN type: DN40	Leidingen	4	€ 16,03	€ 64,12
T-stukken Buis DN type: DN50	Leidingen	17	€ 17,16	€ 291,72
T-stukken Buis DN type: DN65	Leidingen	10	€ 25,21	€ 252,10
T-stukken Buis DN type: DN80	Leidingen	3	€ 36,46	€ 109,38
Thermosifon olieafscheider	Thermosifon	1	€ 3 000,00	€ 3 000,00
Thermosifon vat	Thermosifon	1	€ 5 000,00	€ 5 000,00
Warmtewisselaar oliekoeler	Thermosifon	1	€ 2 000,00	€ 2 000,00
Goedhart VRZ-42567 grote koelcellen	verdamper	16	€ 10 788,00	€ 172 608,00
Goedhart VRZ-43454 laadt en loskade klein	verdamper	2	€ 16 131,00	€ 32 262,00
Goedhart VRZ-43456 laadt en loskade groot	verdamper	8	€ 11 547,00	€ 92 376,00
Vent. op een verzameldoos bekab. incl. werkschakelaar, 1 per vent	verdamper	2	€ 843,00	€ 1 686,00
Vent. op een verzameldoos bekab. incl. werkschakelaar, 1 per vent	verdamper	8	€ 843,00	€ 6 744,00
Vent. op een verzameldoos bekab. incl. werkschakelaar, 1 per vent	verdamper	16	€ 559,00	€ 8 944,00
Buffervat 5000l met 2 warmtewisselaars	Verwarming	1	€ 3 067,28	€ 3 067,28
Luchtverwarmer Kampmann 31kW	Verwarming	4	€ 1 300,00	€ 5 200,00
Warmwaterbuizen	Verwarming	200 m	€ 4,47	€ 894,44

### VIII. Log (p) h diagram ammoniak

