



HOGERE ZEEVAARTSCHOOL

SCHEEPSWERKTUIGKUNDE

**OMBOUWEN VAN DAIKIN
AIRCONDITIONING TOT
WARMTEPOMP**

Promotor: Vincent Leysen

Bachelorscriptie

Academic year: 2020-2021

Woord vooraf

Mijn scriptie onderwerp is het ombouwen van een bestaande airconditioning naar een warmtepomp. Ik heb voor dit onderwerp gekozen omdat ik mezelf wou verdiepen in de koelcyclus. Het onderzoek doen naar de koelcyclus en de warmtepomp in het specifiek leken heel leerrijk te zijn voor mij.

Graag wil ik eerst en vooral de Hogere Zeevaartschool bedanken voor de mooie opleiding die me de kennis gaf om hier aan te beginnen. Als tweede zou ik mijn promotor Vincent Leysen willen bedanken die er telkens was om mij te helpen en wegwijs te maken wanneer het wat stroef verliep. Ook bedank ik Willem Maes voor de hulp bij het uitwerken van mijn Arduino programma. Buiten dat wil ik ook Lumet NV bedanken, zij hebben het materiaal voorzien voor de L-frame van de buitenunit. Ook wil ik Koen Vermeulen bedanken voor het leveren van een extra buitenunit met onderdelen zoals de vierweg omkeerklep. Als laatst bedank ik mijn familie voor de steun en het mogelijk maken van mijn studies.

Samenvatting (NL)

Mijn scriptie gaat over het ombouwen van een bestaande airconditioning met het verboden middel R22 tot een warmtepomp. Het doel er van is dus dat er niet enkel gekoeld maar ook verwarmd zal kunnen worden in de ruimte (dit geval een container). Dit heb ik gedaan door de werking van de warmtepomp te vergelijken met de airconditioning en hierbij de nodige veranderingen toe te passen, zoals de vierwegklep. Als resultaat heb ik de elektronica uit de cyclus gehaald en hiervoor zelf één geprogrammeerd voor het expansieventiel en de thermostaat. Ook heb ik een ander koelmiddel voorzien die dezelfde eigenschappen heeft als de R22 en wel voldoet aan de regulering.

Uit de resultaten kan men besluiten dat de warmtepomp efficiëntste werkt wanneer deze in koelmodus zijn werking uitvoert. Het verwarmen is ook mogelijk, maar de werking hiervan is niet perfect zolang we geen tweede verdamper aansluiten in de container. Ook de sturingen en veiligheden doen hun werk en zijn goed afgesteld.

Samenvatting (EN)

My thesis is about converting an existing air conditioning system using the prohibited agent R22, into a heat pump. The aim is therefore that not only cooling but also heating will be possible in the room (in this case a container). I did this by comparing the operation of the heat pump with the air conditioning and applying the necessary changes, such as the four-way valve. As a result, I took the electronics out of the cycle and programmed one myself for the expansion valve and the thermostat. I have also provided another coolant that has the same properties as the R22 and complies with the regulations.

From the results, it can be concluded that the heat pump operates most efficiently when it operates in cooling mode. Heating is also possible, but the operation is not perfect as long as we do not connect a second evaporator in the container. The controls and safeties also do their job and are well adjusted.

Lijst van figuren

Figuur 1: het koelproces.....	2
Figuur 2: log ph-diagram	3
Figuur 3: koelkring.....	4
Figuur 4: structuurformule van chloordifluormethaan.....	5
Figuur 5: thermostatisch expansieventiel	14
Figuur 6: elektronische expansieventiel.....	15
Figuur 7: onderdelen EEV	16
Figuur 8: sturing EEV	18
Figuur 9: aansluiting druksensor	20
Figuur 10: druksensor (0-1023).....	21
Figuur 11: Mollier Diagram R407c.....	21
Figuur 12: de spanningsdeler	23
Figuur 13: aansluiten DS18B20	24
Figuur 14: warmtepomp in koelmodus (A) en verwarmingsmodus (B).....	26
Figuur 15: warmtepomp met twee expansieventielen.....	26
Figuur 16: reversing valve in koel modus.....	27
Figuur 17: reversing valve in verwarmingsmodus	28
Figuur 18: flowchart thermostaat	30
Figuur 19: frame buitenunit	31
Figuur 20: COP berekenen	37

Lijst van tabellen

Tabel 1: vergelijking koelmiddel.....	12
Tabel 2: specificaties compressor	13
Tabel 3: specificaties druksensor	19
Tabel 4: tabel relatie druk saturatietemperatuur	22

Inhoudstafel

1.	<i>Inleiding</i>	1
2.	<i>De koelcyclus</i>	2
2.1.	Componenten	2
2.2.	Log ph- diagram	2
3.	<i>R22 koudemiddel</i>	5
3.1.	Verboden	6
3.1.1.	Koudemiddel betrekking tot milieu	6
3.1.2.	Verdrag van Montreal en Kyoto	7
3.2.	Overstap HFK's naar CO₂ en NH₃	8
3.2.1.	Ammoniak (R717)	8
3.2.2.	CO ₂ (R744).....	9
4.	<i>Vervangend koudemiddel</i>	9
4.1.	Indeling koudemiddelen	10
4.2.	Eisen koudemiddel	10
4.3.	R407C	11
4.3.1.	Vergelijking R22 met R407C	12
5.	<i>De scroll-compressor</i>	13
6.	<i>Elektronisch expansieventiel</i>	14
6.1.	Soorten expansieventielen	14
6.2.	Positie expansieventiel	15
6.3.	Onderdelen	16
6.4.	Werking EEV	16
6.5.	Specificaties EKV	17
7.	<i>Controller elektronische expansieventiel</i>	18
7.1.	Werking	18

8.	<i>Arduino expansieventiel</i>	19
8.1.	Druksensor	19
8.1.1.	Specificaties druksensor	19
8.1.2.	Aansluiten druksensor	20
8.1.3.	Testen druksensor	20
8.1.4.	Saturatietemperatuur.....	21
8.2.	Temperatuursensoren	23
8.3.	Programma expansieventiel	24
8.3.1.	Testen	25
9.	<i>Ombouwen naar warmtepomp</i>	25
9.1.	De reversing valve	27
10.	<i>Thermostaat</i>	28
10.1.	Programma Thermostaat	29
10.2.	Flowchart	30
11.	<i>Montage</i>	31
11.1.	Units	31
11.2.	Hardsolderen componenten en leidingen	32
11.2.1.	Wat is hardsolderen?.....	32
11.2.2.	Benodigdheden	33
11.2.3.	Uitvoering	33
11.3.	Montage elektrische componenten	34
11.3.1.	Aansluiting buitenunit	34
11.3.2.	Aansluiting in container	34
12.	<i>Efficiëntie warmtepomp</i>	35
12.1.	Factoren	35
12.2.	Verbeteren efficiënte	36
12.3.	Berekenen COP	37
13.	<i>Testen warmtepomp</i>	38
	<i>Bibliografie</i>	39

Bijlage **41**

1. Inleiding

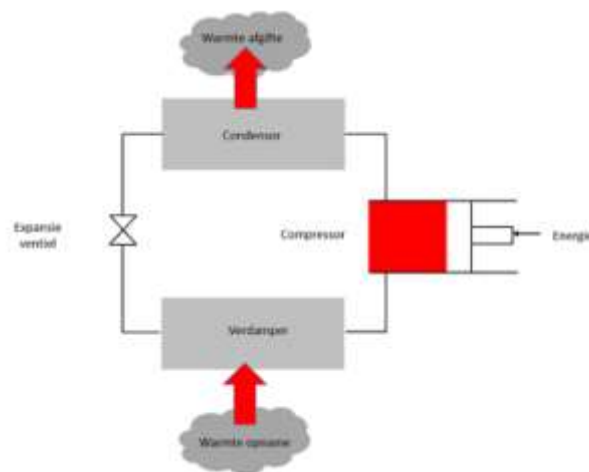
Voor mijn bachelorscriptie zal ik onderzoek doen op de koelcyclus. Hierbij specifiek op een oude airconditioning. Deze airconditioning komt oorspronkelijk uit de bibliotheek van het vorige gebouw van de Hogere Zeevaartschool. Ik zal onderzoeken waarom we het koudemiddel dezer dagen niet meer mogen gebruiken en welk koudemiddel we er als vervanging voor zullen moeten gebruiken. De installatie zal in het specifiek een nieuwe sturing krijgen van het elektronische expansieventiel via Arduino. De warmtepomp zal zowel koelend als verwarmend effectief kunnen werken om zo telkens een constante temperatuur in de ruimte te kunnen voorzien. De constante temperatuur wordt geregeld door een thermostaat die zal beslissen welke functie de warmtepomp uitvoert. Wanneer dit alles klaar is gaan we de warmtepomp installeren in een container die zich situeert aan de Hogere Zeevaartschool.

Waar ik me dus op zal focussen is eerst en vooral de koelcyclus in het algemeen. De basis principes ga ik hier in het snel nog eens overlopen. Waarom het koudemiddel veranderd moet worden. De elektronische expansieventiel in het specifieke en hoe we het kunnen ombouwen naar een warmtepomp.

2. De koelcyclus

2.1. Componenten

In de koelcyclus heeft men vier hoofdcomponenten dat aanwezig zijn. Hierbij de compressor die voor de hoge druk zijde van de cyclus zorgt waarna zich de condensor bevindt. Voor de lage druk zijde is het expansieventiel en de verdamper aanwezig.

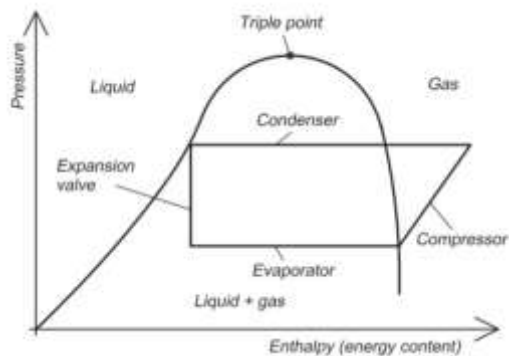


Figuur 1: het koelproces

Bron: Koelplatform

2.2. Log ph- diagram

Het druk- enthalpie diagram of ook wel eens het Mollier diagram genoemd, is bij de koelcyclus van zeer groot belang voor het bepalen van de hoeveelheid warmte die wordt afgegeven aan de omgeving. We kunnen hiermee berekenen hoe efficiënt de koelcyclus zal zijn. Deze diagram is verschillend bij elk koudemiddel en zal bepalen in welk werkgebied men de koelcyclus kan gebruiken.



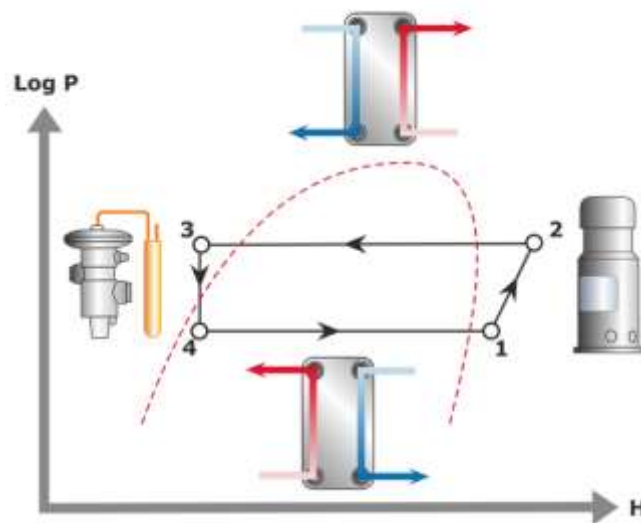
Figuur 2: log p-h-diagram

Bron: Brainkort

Op de horizontale as bevindt zich de enthalpie (h) (warmte-inhoud) waarde van het koudemiddel (in kJ/kg). Op de verticale as wordt de absolute druk weergegeven (in bar).

Rechts van de kromme vindt men het gasgebied of ook wel oververhit gebied van het koelmiddel, hierin zal het 100% gas zijn. Links van de kromme is het vloeistofgebied waar het koudemiddel steeds 100% gasvormig zal zijn. Bovenaan de kromme bevindt zich het 'triple point' of ook wel eens het kritische punt genoemd. Dit punt is de scheiding tussen vloeistoflijn en damplijn, dit doordat een gas boven deze druk niet meer zal kunnen condenseren. Onder de kromme is de tussenfase: dit is de fasen tussen gas en vloeistof. Het exacte percentage aan vloeistof en gas dat aanwezig is kan bepaald worden door dit op te zoeken in de tabellen van het desbetreffende koelmiddel waarop de grafiek zich gebaseerd heeft of door op de grafiek zelf de lijnen te volgen die overeenstemmen met het percentage vloeistof.

Werking:



Figuur 3: koelkring

Bron: Refrigerant handbook

1 naar 2:

We beginnen de cyclus op het einde van de verdamper. Het koudemiddel is hier helemaal verdampt bij een lage druk. Het gas wordt oververhit om zeker te zijn dat er geen vloeistofdeeltjes aanwezig zijn in de compressor. De compressor zal er voor zorgen dat de druk verhoogd wordt met bijkomende temperatuur stijging. Dit gebeurt door een adiabaat van punt 1 naar punt 2.

2 naar 3:

Het gas zal van toestand veranderen als het geleidelijk door de condensor gaat. Tegen het einde van de condensor moet het in zijn geheel vloeibaar zijn. De condensor is in koelmodus de buitenunit. Er zal warmte van binnen worden afgegeven aan de omgeving buiten door het koudemiddel. De vloeistof zal in praktijk nog worden onderkoeld, dit voor de zekerheid van 100% vloeistof te behouden en ook een efficiënter systeem te krijgen. Wat de druk betreft, blijft deze constant en geeft het een Isobaar weer van punt 2 naar 3 als we de druk val over de condensor verwaarlozen.

3 naar 4:

De vloeistof gaat nu het expansieorgaan passeren. Dat zorgt voor verandering van aggregatietoestand. De vloeistof zal in het expansieventiel expanderen naar een lagere druk, waardoor het een vloeistof wordt met aanwezigheid van gas. Dit geeft een isochoor weer waarbij de druk en temperaturen dalen, maar de verhouding hiervan constant is.

4 naar 1:

De verdamper dat in ons voorbeeld de binnenunit is, gaat het vloeistof (met reeds wat gas) in zijn geheel omzetten in gas. Dit door warmte te onttrekken van de omgeving waar de verdamper is gesitueerd. Hierdoor zal het koelmiddel beginnen koken tot dat het in zijn geheel is verdampt.

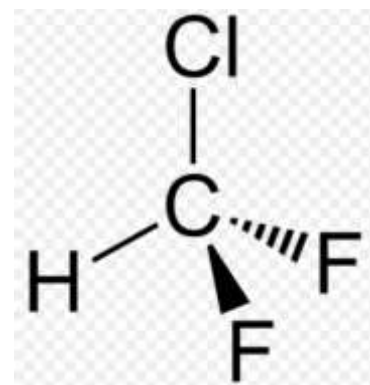
Zo komt men terug bij stap 1 terecht, deze cyclus herhaalt zich gedurende het gehele proces telkens opnieuw (Verhasselt, 2017).

3. R22 koudemiddel

R22 of ook wel Chloordifluormethaan genoemd is een halogeenaalkaan dat vandaag de dag niet meer mag worden gebruikt als koudemiddel. Het behoort onder de groep van de HydroChloorFluorKoolwaterstoffen (HCFK).

Een alkaan is een eenvoudig koolwaterstof en wordt gekenmerkt door de formule C_nH_{2n+2} . Voorbeelden van alkanen zijn: methaan, ethaan, propaan. Een halogeen heeft als kenmerk dat de buitenste schil telkens zeven elektronen bevat, hierdoor moeten ze maar 1 elektron opnemen om de edelgasconfiguratie te bereiken.

De Halogeenaalkanen zijn afgeleid van de alkanen waarbij een of meer waterstofatomen vervangen zijn door een of meer soorten halogeenatomen. (Wikipedia, 2017)



Figuur 4: structuurformule van chloordifluormethaan

Bron: Wikipedia (2017)

Chemische eigenschappen:

- Dichtheid: 3,66 g/cm³ en dus zwaarder dan lucht
- Kookpunt is -40,7 °C
- Dampdruk: 908.000 Pa
- Kleurloos
- Gas

3.1. Verboden

Sinds 2010 mocht men de R22 (of een mengsel hiervan) nog bijvullen volgens de Europese wet, maar vanaf 2015 is dit reeds ook per wet verboden. De reden hiervoor is omdat de stof de ozonlaag zeer hard aantast. Een installatie hebben dat werkt op de R22 is nog niet verboden. (Europese Unie, 2014)

3.1.1. Koudemiddel betrekking tot milieu

1. ODP = ozone depletion potential

Wat eigenlijk het ozon aantastend vermogen is en bijdrage heeft aan de afbraak van de ozon in de hogere luchtlagen. R11 wordt als referentiewaarde gebruikt en is vastgesteld aan 1,0. Dit is dus eigenlijk het globale verlies aan stratosferische ozon (ongeveer 17km boven het aardoppervlak) door een bepaalde hoeveelheid van de chemische stof, gedeeld door het globale ozonverlies door eenzelfde hoeveelheid R11. Deze ODP's zijn vastgesteld door het Protocol van Montreal. R22 heeft een ODP van 0,055 wat dus betekent dat R11 dus 18 keer zo sterk ozonafbrekend is als R22. (Wikipedia, 2013)

2. GWP = broeikas effect (kleiner dan 2500 zijn sinds 2020)

Elk koudemiddel heeft zijn individuele GWP, dit is het global warming potential. En geeft aan hoeveel een gas kan bijdragen tot de klimaatverwarming. Het is een relatieve maat, die het aard opwarmingsvermogen van een broeikasgas aangeeft vergeleken met dat van koolstofdioxide (CO₂) wat dus als 1 wordt gezien.

GWP van een mengsel wordt berekend als een gewogen gemiddelde, afgeleid van de som van de massafracties van de individuele stoffen vermenigvuldigd met het GWP ervan (tenzij anders is aangegeven). Dit met inbegrip van de stoffen die geen gefluoreerde broeikasgassen zijn.

Bv. gasmengsel uit 60% dimethylether en 10% HKF-152a en 30% isobutaan wordt als volgt berekend: $(60\% \times 1) + (10\% \times 124) + (30\% \times 3) = 13,9$ GWP

Dat betekent dat 1kg van dit mengsel overeenstemt met 13,9 ton CO₂ dat de ozonlaag aantast. De GWP van R22 bedraagt 1810. Dat betekent dat een lek van 1kg de ozonlaag met 1810 ton CO₂ zal aantasten.

3. TEWI= total equivalent warming impact

Waarin de GWP en de emissies als gevolg van lekkage en onderhoud van materialen opgeteld worden bij het elektrische energiegebruik van de installatie. Het wordt berekend in massa (kg). (Fryer, Lee, Queenin, 2012)

Het wordt berekend als de som van twee delen:

1. Het koudemiddel dat vrijkomt tijdens de levensduur.
2. De impact van CO₂ -uitstoot van gebruikte fossiele brandstoffen gebruikt om de energie te genereren tijdens de gehele levensduur.

3.1.2. Verdrag van Montreal en Kyoto

Montreal

In 1987 werden de internationale voorschriften van het Montreal protocol opgelegd, deze losten de problemen van de CFK's en HCFK's op dat een groot potentieel voor het vernietigen van de ozonlaag in de stratosfeer hadden. Een koudemiddel met een lage GWP geeft in mindere mate een negatieve reactie op milieu problemen. Wanneer het om veiligheid gaat komt de GWP niet in betrekking en geeft het geen waarde van giftig- en ontvlambaarheid van de koudemiddelen. (Environment, U.N, 2018)

KYOTO

Met het verdrag zijn grotere industrielanden overeengekomen om de uitstoot van broeikasgassen - onder andere koolstofdioxide (CO₂), methaan (CH₄), lachgas (N₂O) en een aantal fluorverbindingen (HFK's, PFK's en zwavelhexafluoride (SF₆)) – in 2008-2012 (ondertussen verlengd tot 2020) met gemiddeld 5,2% te verminderen ten opzichte van het niveau in 1990. De reductiepercentages verschillen van land tot land, naarmate economische kracht. Economisch zwakkere landen krijgen lagere reductiepercentages. (warmtepomp-weetjes, 2020)

3.2. Overstap HFK's naar CO₂ en NH₃

Momenteel is men voornamelijk bezig met de uitstoot van de broeikasgassen (ook wel eens de GWP genoemd) te verlagen. Dit wordt verkregen door af te stappen van de HFK's en over te schakelen naar de natuurlijke CO₂ en NH₃ installaties. Ook deze laatste hebben ieder hun nadelen.

3.2.1. Ammoniak (R717)

Ammoniak (NH₃) staat ook wel bekend als een van de oudste koelmiddelen dat er bestaat met een zeer hoge efficiëntie waarbij ook het broeikaseffect van ammoniak nul is. In het heden worden de installaties vaak gebruikt bij grootschalige opslag van de voedselindustrie. Bij meerdere opslagplaatsen zijn er vaak zelfs geen alternatieven voor een ander koelmiddel door de te lage capaciteiten. Als men een commerciële ruimte heeft, wordt het ammoniak in een cascaderегeling geplaatst. De installatie met NH₃ is dan aanwezig in de machinekamer terwijl er voor de ruimte zelf dan een ander koelmiddel wordt gehandhaafd (vaak CO₂). Het grootste nadeel bij ammoniak is het gevaar dat er bij komt kijken. Het staat onder de koudemiddelen van het type B2 (giftig) De kost van een systeem kan hoog oplopen door alle nodige voorzieningen en materialen om de veiligheid te kunnen garanderen. Eén van de essentiële veiligheidsaspecten is de alarmering van hoeveelheid PPM aanwezig in de ruimte. Vanaf 1 tot en met 5 PPM wordt ervaren als onprettig. Tot en met 20 PPM kan er nog gewerkt worden in die omgeving gedurende acht uur. Als men de 200 PPM bereikt heeft dan zullen er al onherstelbare gezondheidseffecten optreden en enkel nog voor meer schade zorgen. (Vakmedianet, 2020)

3.2.2. CO₂ (R744)

Koolstofdioxide is naar het klimaat toe het aantrekkelijkste koelmiddel doordat de GWP gelijk is aan één en het natuurlijk aanwezig is in de atmosfeer. Vanuit zijn thermodynamische eigenschappen gezien is het niet een efficiënt koudemiddel. Buiten dat heeft het wel een goede warmteoverdracht en een zeer lage viscositeit. De kwaliteit van het koelen met CO₂ is uitermate afhankelijk van het toepassingsgebied en in welk klimaat het zich bevindt, dit omdat bij hogere condensatietemperaturen (hoge omgevingstemperaturen) het systeem veel sterker zal dalen in rendement dan bij een ander koelmiddel. Verder staat het meer gekend als een hoge druk koelmiddel, hierbij moet het systeem continu onder hoge druk staan voor er een efficiënt koelsysteem gecreëerd kan worden waardoor de systemen relatief duur uitvallen. Het gas zelf is natuurlijk heel goedkoop. Het wordt zoals reeds vermeld vaak gebruikt in een cascade regeling samen met ammoniak of propaan. Uit ervaring worden de koolstofdioxide systemen als maar minder complex en naar de industrie toe wordt er hier veel meer gebruik van gemaakt en in geïnvesteerd. (Vakmedianet, 2020)

Wat men dus vaak zal terugvinden in deze koelruimtes is een detectiesysteem. Deze zijn geplaatst onderaan, omdat CO₂ zwaarder is dan lucht. De maximale concentratie is volgens normen vastgelegd. Bij 5000 ppm zal er een voor-alarm gegeven worden. Als de concentratie dan stijgt over de 10.000 ppm zal men moeten evacueren.

4. Vervangend koudemiddel

Een vervangend koudemiddel vinden voor de R22 is niet zeer eenvoudig. Al zijn er dezer dagen verscheidene koudemiddelen die zich evenwaardig gedragen als de R22.

4.1. Indeling koudemiddelen

De koelmiddelen worden volgens twee grote categorieën opgedeeld.

De eerste groep is volgens de chemische samenstelling (Verhasselt, 2017):

- Enkelvoudige stoffen: één type molecule en vertoont een kookpunt (bv. R134a, R22).
- Azeotropische mengsels: mengsel van twee of drie stoffen zodanig dat deze een zuiver kookpunt heeft en zich gedraagt als een enkelvoudige stof (bv. R507).
- Zeotropische mengsels: mengsel van twee of drie stoffen zonder dat deze homogeen worden en vertonen een klein kook-en condensatietraject. De verdamping bevindt zich niet bij een constante temperatuur, maar binnen een bepaald bereik (dit kan tot 10 °C oplopen), wat ook temperature glide wordt genoemd (bv. R407C).

De tweede verdeling is volgens de toxiciteit en ontvlambaarheid:

- Klasse A: lage giftigheidsgraad (onder 400 PPM concentratie aan atmosfeer) (HFK en koolwaterstoffen)
- Klasse B: hoge giftigheidsgraad (bv ammoniak)
- Klasse 1: niet-ontvlambaar
- Klasse 2(l)= (licht) ontvlambaar (kunnen ontbranden bij 21°C en normale omgevingsdruk hoger dan 0,10 kg/m³)

4.2. Eisen koudemiddel

Er worden verschillende eisen gesteld om een keuze te maken van een koelmiddel. Dit om de efficiëntie van de koelinstallatie zo min mogelijk in het nadeel te willen spelen.

(Verhasselt, 2017)

1. Comptabiliteit met de R22 installatie: Dit is het eerste belangrijkste punt waar men goed opzoekwerk naar moet verrichten. Hierbij moet men opletten dat het koelmiddel compatibel is met installatie en het materiaal waaruit de installatie gemaakt is, anders zou dat wel eens voor grote gevolgen kunnen zorgen.

2. De prijs: wanneer het te kostelijk is om te produceren, is dit niet gunstig om als consument zijnde dergelijke koelmiddel aan te schaffen.
3. Niet brandbaar/ explosief: Sommige koudemiddelen zijn niet gevaarlijk zolang ze in het koelsysteem aanwezig zijn, maar op het moment dat hier bijvoorbeeld lekkages aanwezig zijn en het zich gaat blootstellen aan de natuur zal het brandbaar kunnen worden. Hiervoor is Propaan een goed voorbeeld.
4. COP (coefficiente of performance): Hierbij kijk je naar de efficiëntie van het koelmiddel in de installatie. De hoeveelheid elektrische energie dat men er in steekt ten opzichte van de warmte energie die men uit het koelmiddel en de installatie haalt. Dus eenvoudig gezegd: Waarbij de compressor het minste energie vraagt.
5. Niet giftig: Evenals vanaf het moment het koelmiddel de koelcyclus verlaat, mag deze echter niet voor een gevaarlijke situatie zorgen rondom de installatie. Met uitzonderingen voor enkele grote ammoniak installaties waarbij er continu technisch zicht op gehouden wordt.
6. Chemisch stabiel: Het middel moet constant van aggregatietoestand veranderen, waardoor het vooral belangrijk is dat dit eindeloos kan gebeuren zonder enige complicaties.

4.3. R407C

Zoals reeds gezegd, zijn er wel wat koelmiddelen die de R22 kunnen vervangen. De meest efficiënte voor het gehele systeem is de R407C.

Deze is zowel compatibel bij de verscheidene componenten, waarbij vooral het elektronische expansieventiel van belang is. Op de datasheet hiervan is te vinden dat er vier koelmiddelen compatibel zijn waaronder R134a, R404A, R410A en natuurlijk de R407C. Ook moet het compatibel zijn met de olie die reeds aanwezig is in de compressor. Deze is een SINISO 4GSDID-K olie. Deze olie is onmogelijk te vervangen bij de scroll-compressor.

De R410A is een koelmiddel dat vooral wordt gebruikt in laag vermogen airconditionings. Als er naar de specificaties gekeken wordt, zal er uiteindelijk niet veel verschil zijn met de R407C maar telkens meer dan dat de R407C verschillend is van het R22 koelmiddel.

De R404a mag men vanaf 2020 ook reeds niet meer gebruiken door de te hoge GWP van 3922.

Bij het koelmiddel R134A ligt het probleem dan meer bij de kookpunt temperatuur bij 1,013 bar, dat -26,08°C bedraagt . Dat is veel hoger dan de oorspronkelijke R22 (-40,81°C), waardoor de capaciteit en efficiëntie van het systeem uitermate veel zal dalen.

Het grote nadeel van de R407C is dat deze ook al een relatief hoge GWP waarde heeft van 1774. Buiten dat is het praktisch het beste koudemiddel.

R407C bestaat uit: 23% (± 2%) R-32, 25% (± 2%) R-125 en 52% (±2%) R-134a.

Berekenen van de GWP waarde: $23\% \times 675 + 25\% \times 3500 + 52\% \times 1430 = 1774$

Buiten dit te vervangen hoeft men niks te veranderen aan de installatie. Al de andere componenten kunnen dus zeer eenvoudig behouden worden. (Climalife, 2020)

4.3.1. Vergelijking R22 met R407C

Tabel 1: vergelijking koelmiddel

Bron: Climalife (2020)

Specificaties	SI-eenheid	R22	R407C
Molmassa	g/mol	86,47	86,2
Smeltemperatuur	°C	-157,42	Bestaat niet
Kookpunt (onder 1,013 bar)	°C	-40,81	-43,63
Dampdruk bij			
25°C	bar	10,44	11,90
50°C		19,43	22,16
Kritische temperatuur	°C	96,15	86,00
Kritische druk	Absolute bar	49,9	46,29
Kritische dichtheid	Kg/m ³	523,8	484
Latente verdampingswarmte op het kookpunt	kJ/kg	233,7	249,08

Soortelijke warmte bij 25°C			
-vloeistof	kJ/(kg.K)	1,257	1,535
-damp onder 1,013 bar	kJ/(kg.K)	0,662	0,837

Zoals men ziet in bovenstaande tabel, heeft de R407C zo goed als dezelfde eigenschappen als de R22. Hierdoor zullen de temperaturen en drukken in de koelcyclus ook miniem verschillen van elkaar. (Climalife, 2020)

5. De scroll-compressor

Onze buitenunit bevat de scroll-compressor. Deze compressor werkt door middel van twee spiralen. Eén van de spiralen die aangedreven wordt door een elektromotor, zal een roterende beweging maken in de stilstaande spiraalvorm. Deze beweging zorgt voor het verplaatsen en comprimeren van het koudemiddel doorheen de spiraal, werkend van buiten naar binnen.

De compressor heeft maar liefst twee roterende delen, wat ten opzichte van andere compressoren zeer weinig is. Minder bewegende delen betekent minder mechanisch onderhoud, minder trillingen en dus ook minder geluid. Al deze voordelen geven aan waarom de scroll-compressor het meest effectieve is voor het gebruik als warmtepomp. (Blok, 2020)

Tabel 2: specificaties compressor

Bron: Koen Vlaeminck (2021)

Type	JT150BC-YE
Voeding	3-fasen, 380-415V, 50Hz
Vermogen	3,75 kW
Koelolie	Oil SUNISO 4GSDID-K
Drukken	High: 3 MPA Low: 1,3 MPa

6. Elektronisch expansieventiel

Het elektronisch expansie ventiel (EEV) zorgt telkens voor de drukverlaging als we van de condensor naar de verdamper gaan. Dit doordat er een klein gatje aanwezig is tussen de naald en de zitting van de EEV. De vloeistof zal door de drukdaling ook in temperatuur dalen en voor een klein gedeelte in gas worden omgezet. Afhankelijk van de temperatuur van het gas dat de verdamper verlaat zal het expansieventiel geregeld worden en zo dus de hoeveelheid koudemiddel dat door wordt gelaten bijstellen. Zo zal er dus nooit vloeistof aanwezig kunnen zijn in de compressor.

6.1. Soorten expansieventielen

Men heeft 2 types expansieventielen:

- Thermostatisch expansieventiel:



Figuur 5: thermostatisch expansieventiel

Bron: ECR- Nederland

Het is een mechanisch gestuurd ventiel dat werkt met een diafragma door middel van een capillaire tube met hier aan de bulb. Deze bulb is geplaatst vlak voor de compressor. Op het moment dat de temperatuur voor de compressor te hoog is, zal het koelmiddel in de bulb verdampen en het diafragma duwen zodat het expansieventiel meer open gaat. Deze zijn minder efficiënt wanneer het drukverschil kleiner is, wanneer de condensatiedruk naar beneden zakt met de daling van de temperatuur in de ruimte. Dan gaat men opteren om over te schakelen naar een elektronische expansieventiel. (Verhasselt, 2017)

De thermostatische expansieventielen zijn al iets ouder en worden nog steeds gebruikt door middel van hun betrouwbaarheid. Het duurt langer om deze te monteren en in te stellen, achteraf is deze ook niet meer verstelbaar.

- Elektronisch expansieventiel



Figuur 6: elektronische expansieventiel

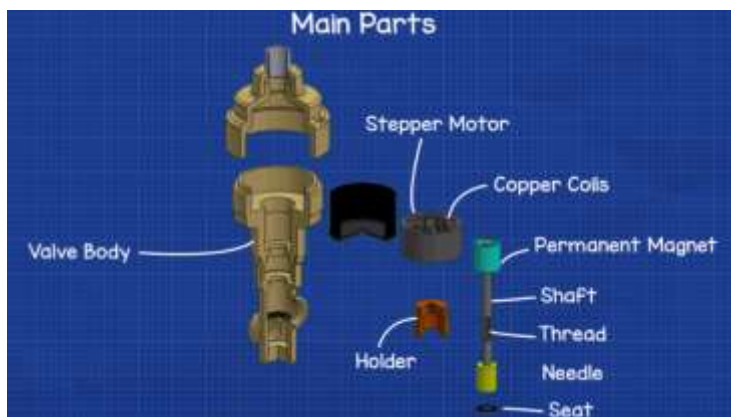
Bron: Swewe (2018)

Dit is het expansieventiel dat we gebruiken in onze cyclus. Bij een EEV zal het ventiel telkens met een stappenmotor worden geregeld. De opening zelf wordt geregeld via een geprogrammeerd elektronische sturing. Het grootste voordeel van het elektronische expansieventiel is dat deze geen tegendruk nodig heeft om zijn werking uit te voeren. De koelcyclus zal telkens de beste koelcapaciteit mogelijk hebben, dit omdat de hoeveelheid doorgelaten koelmiddel telkens exact is. De energie efficiëntie is hierdoor het hoogst mogelijke. (Verhasselt,2017)

6.2. Positie expansieventiel

Het EEV is gepositioneerd tussen de uitgang van de condensor en de ingang van de verdamper. Het expansieventiel zorgt voor de toevoer van koudemiddel richting de verdamper. Het koelmiddel zal dan een druk- en temperatuurval krijgen om zo de hoeveelheid oververhitting op het einde van de verdamper te regelen. Dit is belangrijk omdat men helemaal geen vloeistof aanwezig wilt hebben in de compressor, wat voor vloeistofslag kan zorgen.

6.3. Onderdelen



Figuur 7: onderdelen EEV

Bron: TheEngineeringMindset

In de stappenmotor zijn koperen windingen aanwezig die er voor zullen zorgen dat er een magnetisch veld zal ontstaan wanneer er stroom door vloeit. De permanente magneet zal gaan roteren afhankelijk van welke zin de polariteit in de koperen windingen zullen veranderen. Vast aan de permanente magneet hangt de as, deze beweegt mee in de richting van de permanente magneet. De naald zal zich dichterbij of verder van de zitting bevinden afhankelijk van hoeveel koelmiddel er door moet. De schroefdraad zorgt voor de verbinding van de as samen met de huls van de valve. (Paul Evans, 2018)

6.4. Werking EEV

In de originele airconditioning werd de stand van het ventiel bepaald door twee temperatuursensoren, waarbij er één vlak na het expansieventiel situeerde en de andere zich op het einde van de verdamper. Wij gaan de EEV zijn positie laten baseren op temperatuur en druk sensoren. Beide sensoren bevinden zich na de 4-weg omkeerklap. De controller zal dan de elektromagnetische wikkelingen aansturen die ervoor zorgen dat de permanente magneet een fractie zal bewegen dit clock of anti-clockwise, aangezien deze aan de as zit zal de valve naar beneden of naar boven gaan tegen of weg van de zitting. De controller meet continu de waarden af van de temperatuur en druk waarna hij de valve zal doen laten corrigeren.

Op het moment dat er een te hoge temperatuur van ons koelmiddel wordt gemeten voor de compressor dan zal het expansieventiel er voor zorgen dat er meer koudemiddel door zal worden gelaten, dit door te openen. Het zorgt voor een temperatuur verlaging waardoor er een kouder vloeistof aanwezig zal zijn in de verdamper. Anderzijds gebeurt dit ook wanneer de temperatuur te laag zal zijn en het expansieventiel dicht moet blijven om zo en grotere druk op te bouwen waarbij de temperatuur zal stijgen.

Wat een expansieventiel niet zal regelen is de temperatuur van de kamer. Dat zal worden geregeld door de motor die de ventilator aanstuurt.

6.5. Specificaties EKV

Onze EEV is een Saginomiya EKV 26. Deze wordt in een uitgebreide assortiment voor airconditioning en koel apparaten gebruikt. Waaronder meer voor de koelmiddelen: R22, R134a, R404A, R407C en de R410A.

Het expansieventiel beschikt over een groot afkoelende capaciteit, waarbij de stappenmotor met zitting zeer snel gaat reageren om zo meer/minder koelmiddel door het expansieventiel te laten gaan. Dit zorgt ervoor dat er ook minder energie verloren zal gaan in de kring.

Ook beschikt dit expansieventiel over een 'bi-flow capability'. Wat wilt zeggen dat het koelmiddel langs beide kanten kan stromen. Al heeft deze wel de voorkeur van de ene richting (wat bij ons de richting van airconditioning is). Het voordeel is dat men wel de mogelijk heeft om het te gebruiken als warmtepomp.

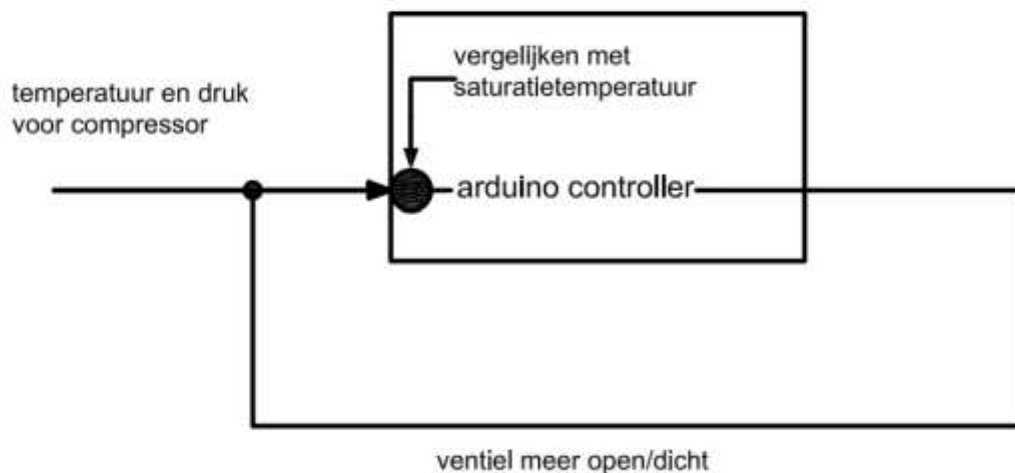
De maximale druk van dit EEV is 4,2 MPa (40,2 bar) wat bij ons koelmiddel (R407C) overeenkomt met een temperatuur van maar liefst 70°C. Het werkbereik is van 0 tot 480 stappen. Het ventiel moet gevoed worden met een 12 V DC spanning.

De '26' staat enkel voor de diameter grootte van de poort opening. Wat betekent dat ons expansieventiel maximaal 26mm open zal kunnen gaan. (Saginomiya, 2014)

7. Controller elektronische expansieventiel

De controller die ik gemaakt heb zal ervoor zorgen dat het expansieventiel telkens koelmiddel doorlaat wanneer het oververhit is boven de acht graden Celsius. Wat ervoor zorgt dat de verdamper continue een zo vloeibaar mogelijk koelmiddel krijgt in het begin. Als prioriteit heeft de controller dat er nooit vloeistof aanwezig zal zijn in de compressor en aan het einde van de verdamper volledig gasvormig is. De controller is een Arduino Uno die ik geprogrammeerd heb.

7.1. Werking



Figuur 8: sturing EEV

Bron: Koen Vlaeminck (2021)

De controller gaat als volgt te werk:

De druk en temperatuur worden gemeten na de verdamper. Volgens het programma gaat de gemeten druk de voorziene saturatietemperatuur weergeven. Deze gaat daarom niet overeen komen met de temperatuur die wij meten. De bedoeling is om telkens 8 °C in oververhit gebied te zitten om ervoor te zorgen dat het koelmiddel zeker gasvormig zal zijn op moment van binnenkomst bij de compressor. De oververhitting zorgt dat er een grotere compressor nodig is voor een gegeven koelvermogen. Het gas zal ijler (minder kg/m³) zijn dan wanneer we het op de saturatietemperatuur zouden doorlaten en verlaagt dus de efficiëntie.

Op het moment dat de temperatuur te laag is (dit wanneer het koudemiddel onder de 8°C oververhit gebied is) zal het ventiel onmiddellijk dicht gaan tot het moment dat de temperatuur hoog genoeg is.

Als de juiste temperatuur voor die druk gemeten wordt, zal het ventiel zich in dezelfde positie blijven bevinden. Het programma gaat telkens de cyclus herhalen waardoor de stappenmotor heel snel zal kunnen corrigeren.

8. Arduino expansieventiel

8.1. Druksensor

Wij hebben gebruik gemaakt van twee druksensoren, beide hetzelfde model. Zij moeten bestendig zijn tegen zowel de koude en warmte en hierbij het koelmiddel zelf. Ook sturen we deze via het Arduino programma aan waardoor de uitgang het best een 0 tot 5 V signaal geeft. De maximale druk in de cyclus zal 25 bar zijn, hiervoor moeten deze ook bestendig zijn.

8.1.1. Specificaties druksensor

Een druksensor dat al onze vereisten had was degene van Huba Control. Deze is een relative pressure transmitter met serienummer 520.

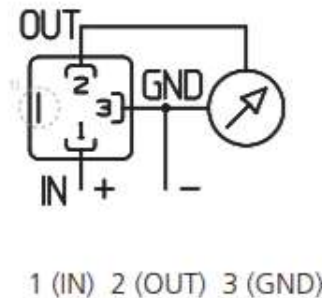
Tabel 3: specificaties druksensor

Bron: HubaControl.com (2020)

Druk	0 – 25 bar relatief
Voeding	24 V DC
Uitgang	0-5 V
Temperatuur	-40°C...- 85°C

8.1.2. Aansluiten druksensor

De aansluiting van de druksensor gebeurt zoals vertoont op figuur 9. De positieve 24 V gelijkspanningsvoeding sluit men aan op ingang 1. De negatieve spanning sluit men aan op ingang 3. De uitgang van de sensor is klem nummer 2. Deze klem gaat naar de analoge ingang van onze Arduino.

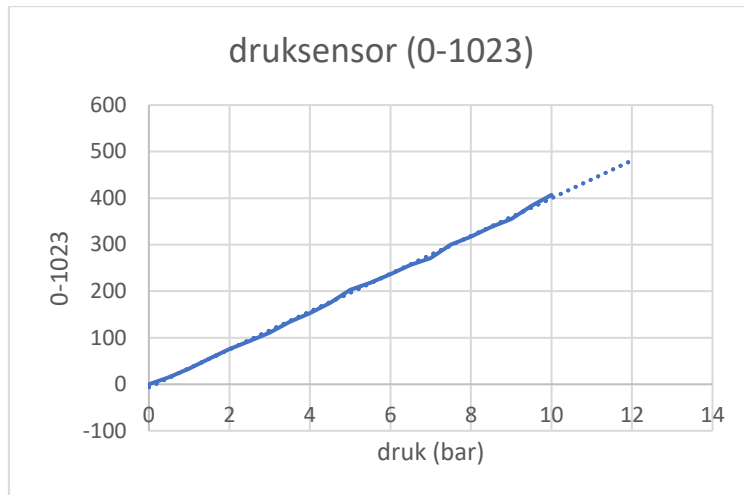


Figuur 9: aansluiting druksensor

Bron: Hubacontrol.com (2020)

8.1.3. Testen druksensor

Voor het Arduino programma op punt te zetten moet de druksensor getest worden. Dit doen we doormiddel van druk op de sensor te zetten en kijken wat de uitgang geeft in onze Arduino. De uitgang zou nominaal tussen 0-1023 zijn. Bij het testen met een handmatige pomp werd de druk opgebouwd tot en met 10 bar (zie figuur 10) waaruit men kan concluderen dat de uitgangen recht evenredig zijn met de druk. De grafiek hebben we dan doorgetrokken tot en met 25 bar door middel van voorgaande waarden.

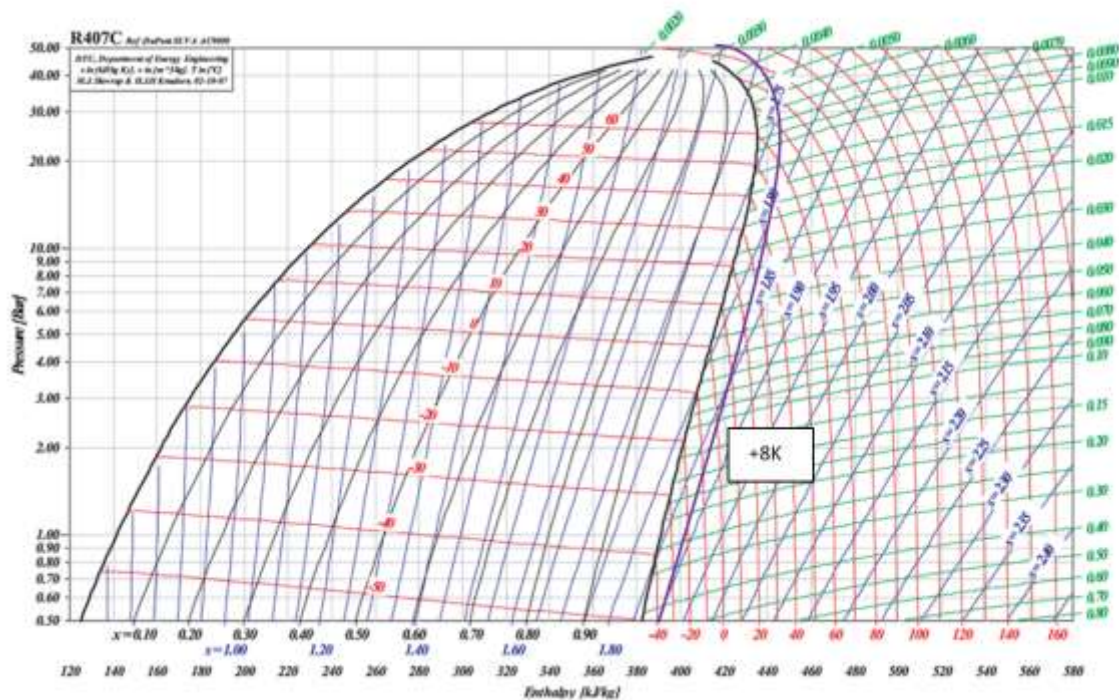


Figuur 10: druksensor (0-1023)

Bron: Koen Vlaeminck (2021)

8.1.4. Saturatietemperatuur

De druksensor dient vooral voor de zekere oververhitting van het koelmiddel R407C te voorzien vlak voor de compressor. De drukken met overeenkomende saturatietemperatuur afkomstig van het Mollier diagram zijn uitgeschreven in een tabel samen met de druktest in figuur 11.



Figuur 11: Mollier Diagram R407c

Bron: Koen Vlaeminck(2021)

Tabel 4: tabel relatie druk saturatietemperatuur

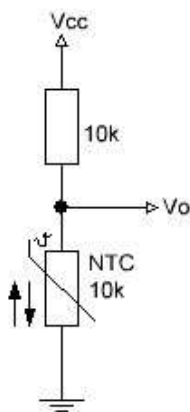
Bron: Koen Vlaeminck 2021

druk (bar)	0-1023	voltage (V)	saturatietemperatuur in °C
0	0	0,01	-40
0,5	15	0,08	-38
1	34	0,18	-37
1,5	55	0,29	-28
2	76	0,39	-21
2,5	93	0,48	-16
3	111	0,58	-12
3,5	134	0,67	-7
4	153	0,81	-4
4,5	175	0,89	0
5	203	1,00	3
5,5	218	1,12	5
6	237	1,18	8
6,5	257	1,29	10
7	271	1,37	13
7,5	300	1,48	15
8	317	1,57	17
8,5	338	1,68	19
9	355	1,78	21
9,5	383	1,90	23
10	407	2,00	25
10,5	420	2,09	26
11	440	2,19	28
11,5	461	2,29	29
12	481	2,39	31
12,5	501	2,49	32
13	522	2,59	34
13,5	542	2,69	35
14	562	2,79	37
14,5	582	2,89	38
15	603	2,98	39
15,5	623	3,08	40
16	643	3,18	42
16,5	664	3,28	43
17	684	3,38	44
17,5	704	3,48	45
18	725	3,58	46
18,5	745	3,68	47
19	765	3,78	48
19,5	786	3,88	48
20	806	3,98	51
20,5	826	4,08	52
21	846	4,18	53
21,5	867	4,28	53
22	887	4,38	54
22,5	907	4,48	55
23	928	4,58	56
23,5	948	4,68	57
24	968	4,78	58
24,5	989	4,88	59
25	1009	4,98	60

8.2. Temperatuursensoren

Als temperatuursensor voor het expansieventiel gebruiken we de negatieve temperatuur coëfficiënt weerstanden of ook wel NTC-weerstanden genoemd die reeds gebruikt werden op de airconditioning.

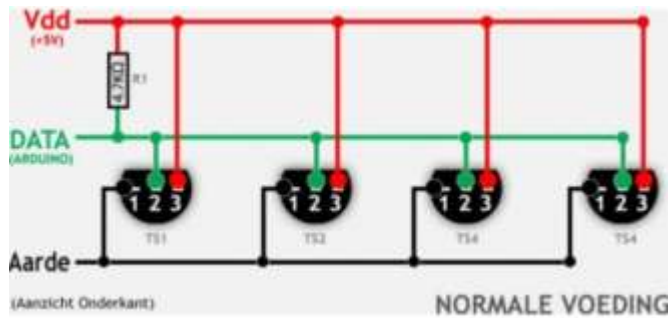
Afhankelijk van de temperatuursensor hebben deze een andere weerstand, waarbij we eenzelfde weerstand in serie moeten zetten. Dat zorgt ervoor dat de opstelling die van de spanningsdeler is. De sensor is verbonden met één kant aan de grond, terwijl de tweede draad aan de weerstand gekoppeld is. Deze verbinding is ook aangesloten aan de Arduino. Na het aansluiten zijn de temperatuursensoren ook reeds getest geweest door middel van een geijkte temperatuuroven. Formule van de spanningsdeler: $U_{uit} = U_{in} * \frac{R}{2R}$



Figuur 12: de spanningsdeler

Bron: Arduino NTC (2016)

De temperatuursensoren die gebruikt worden voor de thermostaat zijn van het type DS18B20. Deze is een 1-wire temperatuursensor en vereist maar slechts één pin om meerdere sensoren op aan te sluiten. De sensor wordt gevoed tussen de 3 en 5 V en heeft een meetbereik van -55 °C tot en met 125 °C. Het enige dat men hoeft te doen is een 4,7 kΩ parallel zetten tussen de voeding en de ingaande pin. Omdat wij meerdere sensoren hiervan gaan gebruiken, moeten we deze ook enkel parallel hierover plaatsen. In de Arduino steken we het 'one-wire' programma zodat deze dan de verschillende sensoren kan lezen via één enkele pin.



Figuur 13: aansluiten DS18B20

Bron: Domotocx (2019)

8.3. Programma expansieventiel

Voor de constante oververhitting in de compressor hebben we de saturatielijn geprogrammeerd in de Arduino. De ingangen van de druksensor worden zo omgevormd via de functie 'maps'. Om hier eerst het 0-1023 signaal om te vormen naar een 0-63 signaal. Waarna dan het 0-63 signaal overeenstemt met de specifieke saturatietemperatuur voor die druk.

Het expansieventiel zal zich continu bewegen:

Vanaf dat de temperatuur kleiner dan of gelijk aan 6 °C wordt, zal de stappenmotor zo 50 stappen dichtër gaan per cyclus en sluiten. Het sluiten dient voor de temperatuur te doen stijgen. Wanneer het groter dan 8 °C wordt, dan zal het expansieventiel openen en de temperatuur in de leiding afkoelen. Als de temperatuur dan tussen de 6 en 8 °C oververhit is, zal de stappenmotor zijn positie behouden.

Buiten deze temperatuur en druksensor hebben we nog een extra druksensor en temperatuursensor geplaatst achter de compressor. Dit dient voor de veiligheid van de kring, zodat de druk achter de compressor niet boven de 20 bar zal stijgen. Ook is de druk achter de compressor belangrijk voor de metingen nadien.

8.3.1. Testen

Voor de test van de sturing hebben we volgende opstelling gebruikt:

- De geijkte oven voor het hierin plaatsen van de temperatuursensor
- De handmatige pomp om zo de druk te voorzien op de druksensor
- Een compressor om zo druk te hebben op de leiding met het expansieventiel
- De arduino sturing zelf aangesloten op het ventiel

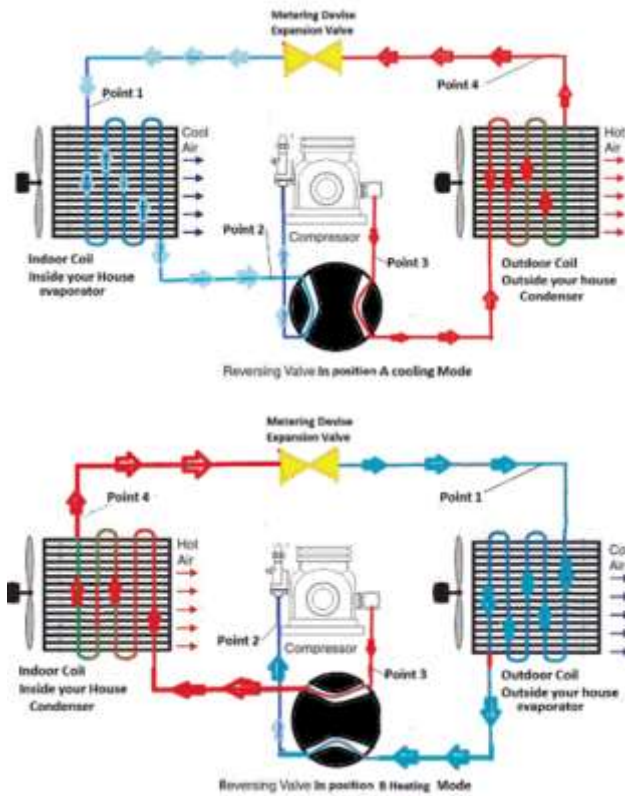
De oven hebben we op een constante nul graden gehouden. Hiermee komt ongeveer 4,5 bar overeen om oververhit te zijn. Om de 6 extra graden te kunnen voorzien voor in oververhit gebied te zitten, hebben we iets meer druk gegeven met de handmatige pomp. Vanaf het moment dat we over de 5,5 bar gaan, zal het ventiel telkens wat meer openen. Dit is voelbaar aan de uitgaande kant van het ventiel. Dit hebben we met meerdere temperaturen geprobeerd voor de zekere werking van het ventiel te kunnen waarderen.

9. Ombouwen naar warmtepomp

Het verschil tussen een airconditioning en een warmtepomp zit hem vooral in één belangrijk component, genaamd de reversing valve. Dit is een vierwegventiel dat omkeerbaar is. Deze was oorspronkelijk niet aanwezig in de opstelling en hebben we kunnen recupereren van een oude unit. De omkeerklep is vlak voor/na de compressor geplaatst om zo de weg naar de condensor of de verdamper te verbinden.

Bij de airco modus (figuur 14A) is de hoge druk zijde zoals eerder vertelt verbonden met de condensor dat buiten staat. De airco modus zorgt ervoor dat de warmte van binnen in de ruimte onttrokken wordt en zo naar buiten wordt gestuurd.

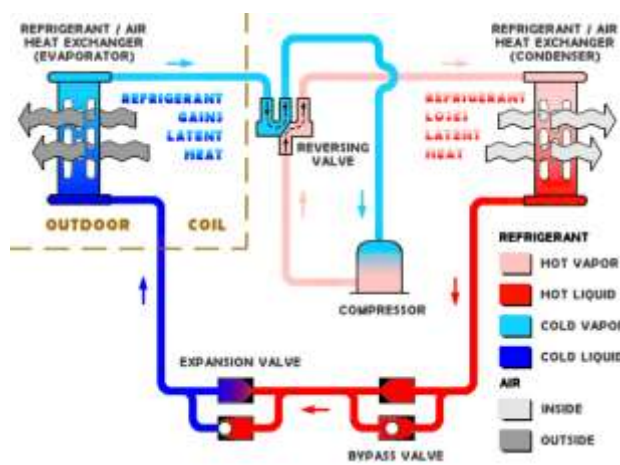
Als we de warmtepomp nu in verwarmingsmodus (figuur 14B) plaatsen, dan gaat de reversing valve de hoge druk zijde van de pomp verbinden met de binneneenheid of ook wel verdamper. Het systeem zal nu omgekeerd te werk gaan en de warmte van buiten uit wordt onttrokken naar de ruimte toe.



Figuur 14: warmtepomp in koelmodus (A) en verwarmingsmodus (B)

Bron: nuclear-power (2018)

Bij de warmtepompen worden er ook regelmatig twee thermostatische expansieventielen voorzien (figuur 15) die men in serie achter elkaar zet. Parallel hiermee worden dan de 'check valven' gebruikt. Aangezien wij voorzien zijn van een elektronisch expansieventiel met bi-flow hebben we geen tweede ventiel meer nodig.

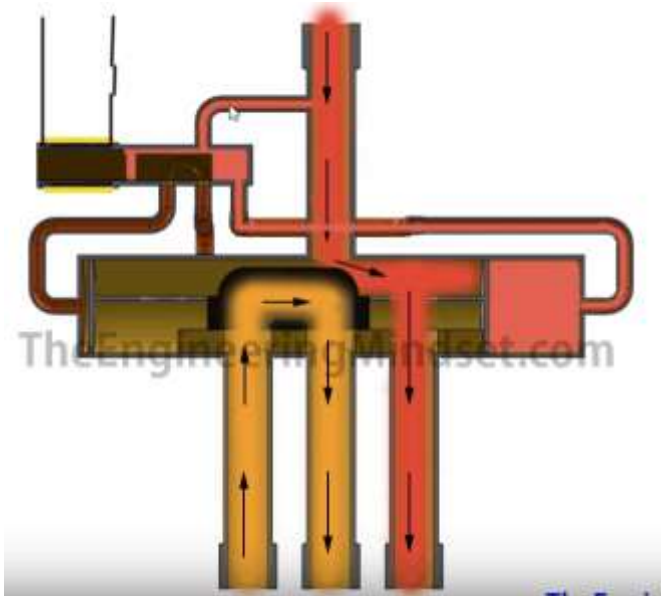


Figuur 15: warmtepomp met twee expansieventielen

Bron: air source heating (2017)

9.1. De reversing valve

De reversing valve zorgt ervoor dat de hoge druk zijde (uitgang compressor) verbonden wordt met de buitenunit (koelen) of binnenunit (verwarmen).

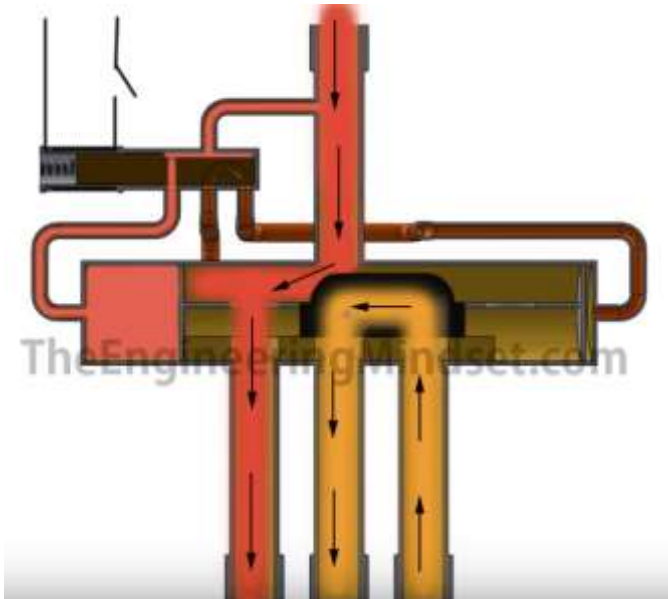


Figuur 16: reversing valve in koel modus

Bron: TheEngineeringMindset (2019)

De solenoïde die zich linksboven op figuur 16 bevindt, bepaalt de stand van de reversing valve. Op het moment dat de solenoïde bekrachtigd wordt, zal de zitting hiervan naar links bewegen door het magnetisch veld. De gas onder hoge druk zal via het kleine capillaire buisje gaan en zo rechts de grote zitting opzij duwen. Ten gevolge hiervan zal de hoge drukzijde van de compressor verbonden zijn met de condensor buiten.

Anderzijds wordt nu de verdampers verbonden met de ingaande leiding van de compressor.



Figuur 17: reversing valve in verwarmingsmodus

Bron: TheEngineeringMindset (2019)

De solenoïde wordt nu niet bekrachtigd, wat wil zeggen dat de warmtepomp zich in verwarmingsmodus bevindt. De zitting linksboven op figuur 17 zal rechts blijven door de veer, waardoor de hoge druk van de compressor via het capillaire buisje links zo de grote zitting opzij duwt. Het gevolg hiervan is dat de hoge drukzijde van de compressor verbonden zal zijn met de verdamper binnen.

Anderzijds gaat nu de condensor verbonden worden met de ingaande leiding van de compressor.

10. Thermostaat

De thermostaat zal ervoor zorgen dat er een constante temperatuur aanwezig is in de container. Deze temperatuur kan zelf worden ingesteld met de drukknoppen geïnstalleerd op de arduino. Voor de thermostaat gaan we een andere arduino gebruiken dan degene van het expansieventiel.

De thermostaat beslist ook of er verwarmd of gekoeld zal worden. Dit allemaal afhankelijk van het ingestelde setpunt.

Bij de thermostaat zal er gebruik worden gemaakt van een hysteresis. Dit betekent dat de drie verschillende fasen elkaar niet gaan overlappen en het systeem telkens volgens de juiste volgorde verloopt.

10.1. Programma Thermostaat

In het Arduino programma zijn de drie verschillende standen uitgeschreven met de 'switch state' structuur. De eerste case bestaat uit de initiële conditie van de warmtepomp en is ook de standby-post, waarheen we telkens terugkeren na het verwarmen of koelen.

Als men de installatie start zal er niks gebeuren wanneer er geen verschil is tussen setpunt en de temperatuur gemeten in de ruimte. In deze conditie wachten we dan tot er een verschil aanwezig is vooraleer de warmtepomp uit initiële conditie gaat.

Het verwarmen:

Vanaf dat de temperatuur 2 °C onder het setpunt gaat, dan zal de installatie naar de verwarmende stand gaan. Tijdens het verwarmen moeten zowel de ventilatoren buiten en binnen draaien en de vierwegventiel zich in de verwarmingsmodus bevinden. Dit doen we door het relais van de ventilatoren aan te schakelen en het relais van de vierwegventiel uit te laten.

De ruimte begint zich nu te verwarmen. Zolang de temperatuur zich onder 1 °C boven het setpunt bevindt, zal hij in deze stand blijven.

Vanaf dat we over de 1 °C gaan, zullen de ventilatoren binnen stoppen met draaien en gaat de warmtepomp terug naar de standby-modus. Hierdoor wordt de kamer niet meer verwarmd en wachten we tot het terug 2 °C onder het setpunt staat vooraleer men terug gaat verwarmen.

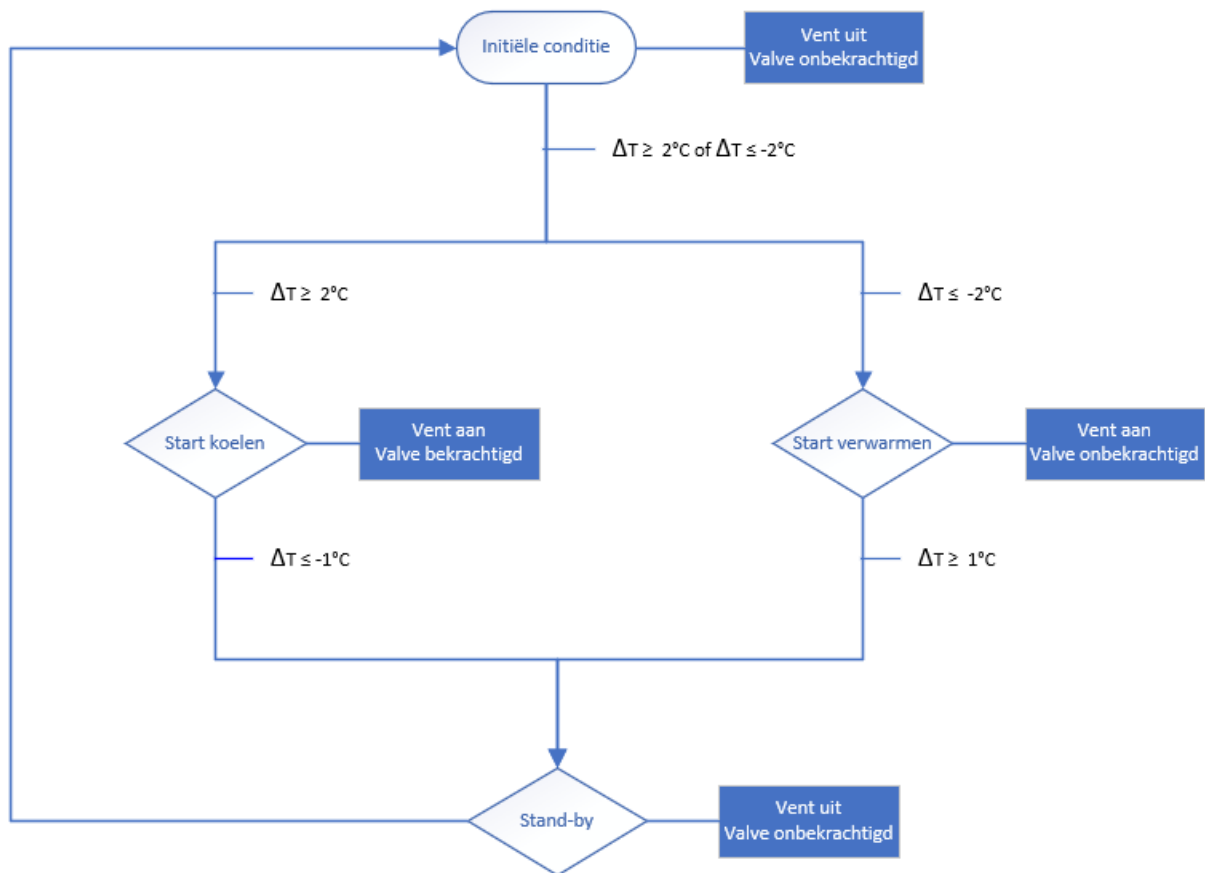
Het koelen:

Vanaf dat de temperatuur 2 °C boven het setpunt gaat, dan zal de installatie naar de koelende stand gaan. Tijdens het koelen moeten zowel de ventilatoren draaien en de vierwegventiel zich in de koelmodus bevinden. Dit doen we door het relais van de ventilatoren en het vierwegventiel aan te schakelen.

De ruimte begint zich nu te koelen. Zolang de temperatuur zich boven de 1 °C onder het setpunt bevindt, zal hij in deze stand blijven.

Vanaf dat we onder de 1 °C gaan, zullen de ventilatoren binnen stoppen met draaien en gaat de warmtepomp terug naar de standby-modus. Hierdoor wordt de kamer niet meer gekoeld en wachten we tot het terug 2 °C boven het setpunt staat vooraleer men terug zal koelen.

10.2. Flowchart



Figuur 18: flowchart thermostaat

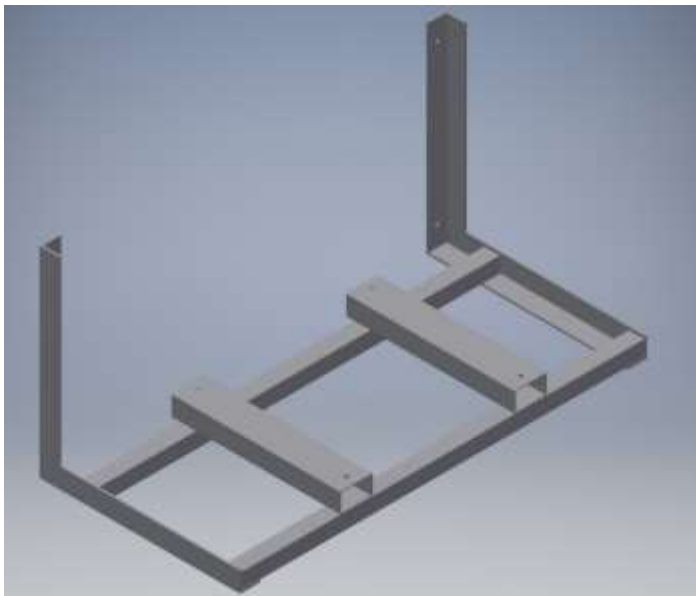
Bron: Koen Vlaeminck (2021)

11. Montage

Na het uitwerken van al de elektronische sturingen en het testen van hun werking, wordt het tijd om de units te monteren aan de container.

11.1. Units

De binnenunit hebben we op het uiteinde tegen de plafond gemonteerd, dit aan de steunbalken door middel van schroeven. De buitenunit zetten we tegen de zijkant van de container. Deze is net boven de grond geplaatst. Stel dat de container verzet zou moeten worden dan zal het niet uitmaken als de grond niet helemaal waterpas staat. Voor de bevestiging heb ik een metalen L-frame gemaakt (zie figuur 19). Deze is in elkaar gelast zodat de steunpunten van de unit hierop gemonteerd en vastgezet kunnen worden met bout en moer. Het frame zelf wordt met 4 bouten van M10 vastgeschroefd in de container. Drie punten hiervan zitten in de stalen zij- en onderkant constructie geschroefd door middel van getapte schroefdraad. De vierde bout is door de muur heen bevestigd. Aan de binnenkant is er een extra plaat voorzien om de kracht over de muur te verspreiden.



Figuur 19: frame buitenunit

Bron: Koen Vlaeminck (2021)

11.2. Hardsolderen componenten en leidingen

De componenten zoals de vierwegvalve en expansieventiel moeten nog op de juiste plaats worden hard gesoldeerd. Voor de druksensoren die voor en na de compressor staan moeten er nog een bevestigings-fitting voorzien worden. Ten slotte zal de buitenunit nog in verbinding moeten geplaatst worden met de binnenunit voor de koelcyclus tot zijn geheel te brengen.

11.2.1. Wat is hardsolderen?

Het hardsolderen is eigenlijk het verbinden van twee of meerdere koperen componenten door het hiervan opwarmen en toevoegen van zilversoldeer, koper-fosformengsel (of een ander vulmetaal). Het soldeersel gaat ervoor zorgen dat de ruimte tussen de verbindingen wordt opgevuld en dus zonder enige vorm van gaten zal zijn. Dat is een zeer belangrijk aspect bij de koelcyclus. Vanaf dat er maar één klein gatje aanwezig is, zal al het gas ontsnappen en zuurstof en andere stoffen binnendringen. Bijgevolg gaat de cyclus falen.

Het vulmetaal zorgt er eigenlijk voor of we aan het solderen of hardsolderen zijn. Vanaf dat de smelttemperatuur boven de 450 °C is, dan spreken we pas over hardsolderen.

Bij de componenten zoals de toevoerventielen en omkeerklep hebben we de verbinding gemaakt met zilversoldeer. Het zilver smelt op een veel lagere temperatuur (450 °C) dan het koper- fosfor mengsel (smelttemperatuur 650 °C). Door hier rekening met te houden zullen de componenten niet tot deze uitermate hoge temperaturen worden blootgesteld en wordt eventuele schade door de te hoge temperatuur hieraan vermeden.

Het vulmetaal zorgt er zo voor of we aan het solderen of hardsolderen zijn. Vanaf dat de smelttemperatuur boven de 450 °C is, dan spreken we pas over hardsolderen.

11.2.2. Benodigdheden

Vooraleer het hardsolderen kan plaatsvinden is er een lijst van benodigdheden:

- Koperen buizen.
- Acetyleen brander: is van cruciaal belang voor het verwarmen van de buizen.
- Zilversoldeer: het zilversoldeer zorgt voor de beste verbinding en is makkelijk aan te brengen.
- Ontbramer: hiermee gaat men over het randje van de koperen buis binnenin voor de bramen te verwijderen en zo een beter verbinding te maken.
- Natte vod: voor het koelen van de componenten die beschadigd kunnen worden door de hoge temperaturen.
- Koppeling: de koppeling zorgt voor de verbinding en wordt vaak uit messing gemaakt.
- Buigijzer: voor het mooi buigen van de leidingen.
- Flare gereedschap: met deze zijn de flare verbindingen gemaakt voor op de ventielen aan de unit te plaatsen. Ook hebben we op bij de zitting van de druksensoren een flare-verbinding voorzien.

11.2.3. Uitvoering

Voor we aan het hardsolderen konden beginnen moesten we voorzien zijn van zowel een zuurstof als acetyleen fles. De drukverhouding is ongeveer 0,3 bar acetyleen met 2,5 bar zuurstof. Om de brander aan te zetten draai je eerst de acetyleen een beetje open waarna je de vlam ontsteekt met een aansteker en dan de zuurstof rustig aan ook open zet. Het belangrijkste is de vorm van de vlam. We willen ervoor zorgen dat er een relatief kleine blauwe kegel vlam gevormd wordt, wat in de volksmond ook wel de 'ruisende vlam' wordt genoemd. De vlam zorgt voor hoge temperaturen en is uitermate belangrijk om zo roetvorming te voorkomen op de koperen leidingen. Een ander aspect om roetvorming te voorkomen, was door inert gas aan te sluiten op de leidingen met een laag debiet.

De componenten en leidingen zijn eerst gemeten, gebogen en op plaats gezet vooraleer het effectief aan elkaar wordt gebraseerd.

11.3. Montage elektrische componenten

Tijdens het hardsolderen van de buizen en componenten moet er rekening gehouden worden met de elektrische componenten en leidingen.

11.3.1. Aansluiting buitenunit

In de buitenunit zelf zit de sturing van het expansieventiel. Bij deze sturing horen de druksensoren en de temperatuursensoren voor en na de compressor, die er niet ver van gelegen is. De Arduino is met zijn 5 V DC voeding in een bakje gemonteerd samen met de 24 V DC voeding voor de druksensoren en de 12 V DC voeding die naar het expansieventiel gaat. Deze worden op hun beurt tussen twee fase gevoed door de motorbeveiliging schakelaar die met 380 V AC naar de compressor gaat. Eén van de voedingskabels getrokken wordt naar de buitenunit is de 5G 2,5 mm². Dan zijn er ook nog twee kabels die richting de ventilatoren gaan, deze zijn 3G 2,5 mm² en worden gevoed door de relais van de thermostaat dat zich binnen bevindt. Als laatste wordt de voeding van de omkeerklep ook naar binnen getrokken en aan de voorziene relais bevestigd.

11.3.2. Aansluiting in container

De thermostaat wordt binnen aan de muur gemonteerd. Ook is de elektriciteitskast reeds voorzien.

Uit de kast trekken we een paar voedingskabels. De 5G (380 V) richting de buitenunit en dan een 3G (230 V) voor de aansturing van de relais en de arduino binnen.

Uit de thermostaat box komen de temperatuursensoren en in het belang degene van de kamer. De reeds besproken kabels richting de buitenunit vertrekken hier dus ook.

12. Efficiëntie warmtepomp

De efficiëntie van een koelinstallatie wordt bepaald door de COP (coëfficiënt of performance) ervan. Hoe hoger de COP, des te efficiënter de installatie. Bij de koelcyclus wordt de COP berekend door de hoeveelheid nuttige koude in de verdamper te delen door het vermogen dat de compressor en ventilatoren vragen van het net. Bij de warmtepomp gaat men in plaats van 'de hoeveelheid nuttige koude in de verdamper', de hoeveelheid nuttige warmte in de condensor delen door het vermogen van de compressor en ventilatoren.

$$\text{Formule: } COP = \frac{Q_c}{W_c + W_v}$$

qc: hoeveelheid nuttige warmte in de condensor (in kJ/kg)

wc: vermogen compressor (in kJ/kg)

wv: vermogen ventilatoren (in kJ/kg)

De manier dat wij gaan gebruiken om de COP te bepalen is door middel van de enthalpie waarden af te lezen in het log p-h diagram (zie figuur 20).

$$\text{Formule koelen: } COP_k = \frac{h_3 - h_2}{h_4 - h_3}$$

$$\text{Formule verwarmen: } COP_{verw} = \frac{h_4 - h_1}{h_4 - h_3}$$

$h_{(1-4)}$: enthalpie (in kJ/kg)

12.1. Factoren

Er zijn diverse factoren die een rol zullen spelen voor het bekomen van een hoger COP.

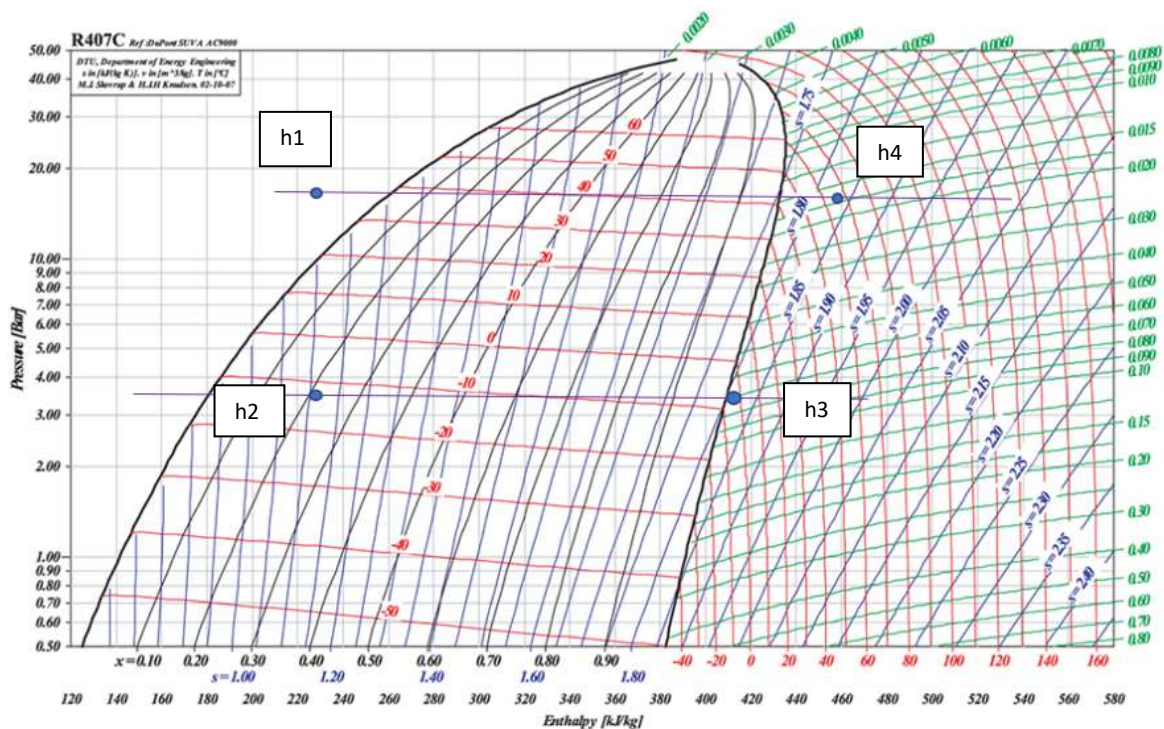
- De belangrijkste factor is de verschildruk tussen condensator en verdamper. Hoe kleiner het verschil, des te hoger de COP zal zijn.
- Het koelmiddel speelt ook een zeer belangrijke rol.
- Efficiëntie van de compressor, ventilatoren.
- Kwaliteit van de regeling.

12.2. Verbeteren efficiënte

Voor de efficiëntie van de cyclus zo goed mogelijk te laten zijn, worden er enkele aandachtspunten in norm genomen:

- De verschildruk tussen condensator en verdamper zo laag mogelijk houden, dit zorgt voor een kleiner verschil in enthalpie. De enthalpie verhouding bepaalt de COP over het systeem.
- Laag mogelijke condensatietemperatuur: De hoeveelheid vloeibaar koelmiddel is van essentieel belang om een betere warmteoverdracht te bekomen. Een grote onderkoeling zal hiervoor kunnen zorgen. De onderkoeling vergroot door de condensatietemperatuur zo veel mogelijk te verlagen.
- Klein mogelijke oververhitting: Het is enkel nodig om geen toename te krijgen van vloeistofdruppels aan de zuigzijde van de compressor. Buiten dit zorgt de oververhitting enkel voor negatieve gevolgen in de cyclus. Omdat een ijler gas veel meer verpompt volume vraagt, gaat de compressor een aanzienlijk hoge stroom vragen en de COP eveneens dalen. (Verhasselt, 2017)

12.3. Berekenen COP



Figuur 20: COP berekenen

Bron: Koen Vlaeminck (2021)

Deze meting is genomen in koelmodus om de COP te berekenen.

Temperatuurmetingen:

-> temp na condensor: 20.27°C

-> temp voor condensor: 65.44°C

-> temp na verdamper: -4.19°C

-> temp voor verdamper: -13.07°C

Drukmetingen:

-> druk uitgang: 16680 mbar

-> druk ingang: 3205 mbar

$$COP_k = \frac{h_3 - h_1}{h_4 - h_3}$$

$$COP_k = \frac{410 - 230}{460 - 410} = 3,6$$

Dit geeft dus weer dat de warmtepomp in koelmodus 1kW elektriciteit nodig heeft voor 3,4 kW warmte in de verdamper op te nemen.

Zoals zichtbaar op het Mollier diagram, is de temperatuur op het einde van de condensor in zijn geheel al vloeibaar geworden en wat onderkoelt. Dit omdat de capaciteit van de condensor gemaakt is voor twee verdampers in plaats van één.

13. Testen warmtepomp

tijdens de eerste testen in koelmodus waren de drukmetingen het meest opvallende, deze fluctueerde continu volgens dezelfde frequentie. Door deze fluctuatie gaat de vergeleken saturatietemperatuur veranderen die overeenstemt met de druk. Door deze verandering is de temperatuur van oververhitting telkens anders waardoor het expansieventiel niet geregeld wordt zoals nodig. Het systeem werkte vast en zeker wel, maar niet zoals gewild. Na wat opzoekwerk, blijkt dat de aarding van de sensoren niet verbonden waren met de 0 V voeding van de sensors. En dit voor de fluctuatie zorgde.

In het begin is de oververhitting relatief groot, dit doordat de leidingen nog niet helemaal zijn afgekoeld/verwarmt. Na vijf minuten tijd kunnen we waarnemen dat de oververhitting daalt richting de 8 °C, waarna deze dan geregeld wordt door middel van het expansieventiel.

Bij het testen in verwarmingsmodus kunnen we concluderen dat de uitgaande druk van de compressor langzaam toe neemt tot de compressor op zijn hoogste druk van 20 bar komt en dan automatisch uitschakelt door de hogedruk regeling ingesteld. Wanneer de uitgaande druk terug daalt onder 10 bar springt deze automatisch terug aan. De druk stijging komt door dat de condensor normaal geplaatst wordt met twee binnenunits in een grotere ruimte om de warmte te kunnen verplaatsen. De verdamper die wij geplaatst hebben kan het vermogen van de condensor niet verwerken waardoor aan de uitgang van de compressor de druk blijft stijgen.

Conclusie: De warmtepomp werkt het efficiëntste wanneer deze in koelmodus zijn werking uitvoert. Het verwarmen is ook mogelijk, maar de werking hiervan is niet perfect zolang we geen tweede verdamper aansluiten in de container.

Bibliografie

- Blok, H. (2020, 15 juni). Airconditioning en koeling op RCC Koude en Luchtbehandeling. 'Overzicht: de compressor in de koudetechniek'. Geraadpleegd op 22 april 2021, via <https://www.koudeenluchtbehandeling.nl/verdieping/overzicht-de-compressor-in-de-koudetechniek-100901>.
- Climalife (2020). r134a. Geraadpleegd 12 april 2021, via <https://nl.climalife.dehon.com/uploads/product/media/document/r134a-fp-nl.pdf>.
- Climalife (2020). r22. Geraadpleegd 21 oktober 2020, via <https://nl.climalife.dehon.com/uploads/product/media/document/r22-fd-nl-12.pdf>.
- Climalife (2020). r407c. Geraadpleegd 21 oktober 2020, via <https://nl.climalife.dehon.com/uploads/product/media/document/r407c-fp-nl.pdf>.
- Climalife (2020). r410a. Geraadpleegd 12 april 2021, via <https://nl.climalife.dehon.com/uploads/product/media/document/r410a-fp-nl.pdf>.
- Environment, U. N. (2018, 28 oktober). About Montreal Protocol. Geraadpleegd op 20 oktober 2020, via <http://www.unep.org/ozonaction/who-we-are/about-montreal-protocol>.
- Europese Unie (2014, 20 mei). Verordening (EU) nr. 517/2014 van het Europees Parlement en de Raad van 16 april 2014 betreffende gefluoreerde broeikasgassen en tot intrekking van Verordening (EG) nr. 842/2006 Voor de EER relevante tekst. Geraadpleegd 19 oktober 2020, via <http://data.europa.eu/eli/reg/2014/517/oj/nld>.
- Evans, P. (2018). How Electronic Expansion Valves work - The Engineering Mindset. Geraadpleegd 2 november 2020, via <https://theengineeringmindset.com/how-electronic-expansion-valves-work/>.
- Fryer, J., Lee, K., Queenin, T. (2012). Methods of calculating Total Equivalent Warming Impact. Geraadpleegd 19 oktober 2020, via https://www.airah.org.au/Content_Files/BestPracticeGuides/Best_Practice_Tewi_June2012.pdf.

Saginomiya (2014). ukv. Geraadpleegd 19 april 2021, via
<http://www.saginomiya.co.jp/en/auto/pdf/ukv.pdf>.

Vakmedianet (2020, 16 mei). Koudemiddel CO2: waar staan we en wat brengt de toekomst?
Geraadpleegd 12 maart 2021, via
<https://www.koudeenluchtbehandeling.nl/verdieping/koudemiddel-co2-waar-staan-we-en-wat-brengt-de-toekomst-100633>.

Vakmedianet (2020, 24 september). Ammoniak als natuurlijk koudemiddel: waar staan we en
wat brengt de toekomst? Geraadpleegd 12 maart 2021, via
<https://www.koudeenluchtbehandeling.nl/verdieping/ammoniak-als-natuurlijk-koudemiddelwaar-staan-we-en-wat-brengt-de-toekomst-101778>.

Verhasselt, B.(2017). Koeltechnologie: koelsystemen en wetgeving, deel 1. (pp. 54-55)
Antwerpen: Artesis Plantijn.

Verhasselt, B.(2017). Koeltechnologie: koelsystemen en wetgeving, deel 1. (pp. 104)
Antwerpen: Artesis Plantijn.

Verhasselt, B.(2017). Koeltechnologie: koelsystemen en wetgeving, deel 1. (pp. 90)
Antwerpen: Artesis Plantijn.

Verhasselt, B.(2017). Koeltechnologie: koelsystemen en wetgeving, deel 1. (pp. 88)
Antwerpen: Artesis Plantijn.

Verhasselt, B.(2017). Koeltechnologie: koelsystemen en wetgeving, deel 1. (pp. 342)
Antwerpen: Artesis Plantijn.

Verhasselt, B.(2017). Koeltechnologie: koelsystemen en wetgeving, deel 1. (pp. 72-76)
Antwerpen: Artesis Plantijn.

Warmtepomp-weetjes (2020). Kringloop Koudetechniek Warmtepomp. Geraadpleegd 20
oktober 2020., via <https://warmtepomp-weetjes.nl/uitleg/kringloop-koudetechniek-warmtepomp/>.

Wikipedia (2013, 15 maart). Ozonafbrekend vermogen. Geraadpleegd 19 oktober 2020, via
https://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=Ozonafbrekend_vermogen&oldid=36077413.

Wikipedia (2017). Chloordifluormethaan Geraadpleegd 5 januari 2021, via <https://nl.wikipedia.org/w/index.php?title=R22&oldid=36496891>.

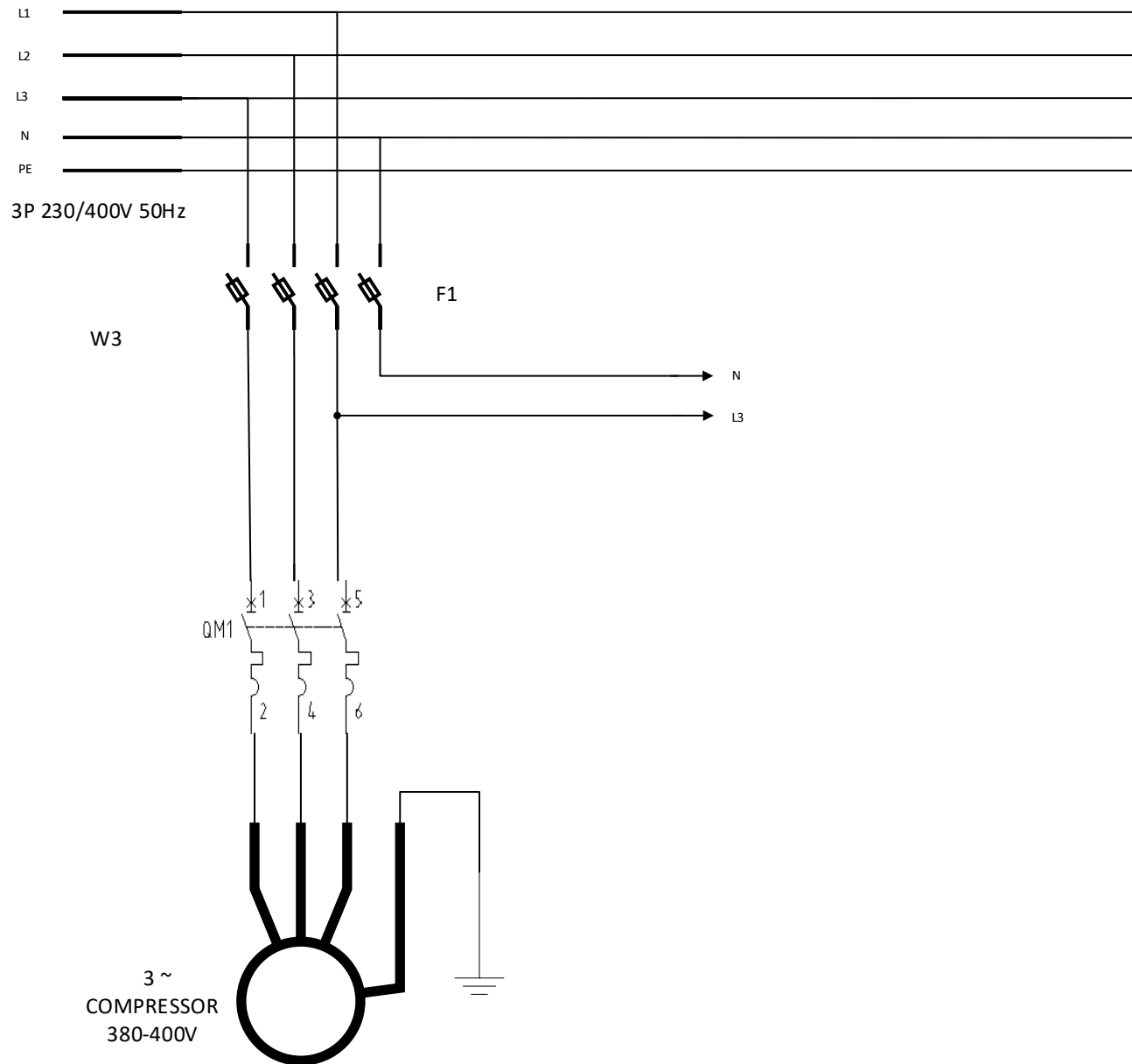
Bijlage

Elektrisch schema

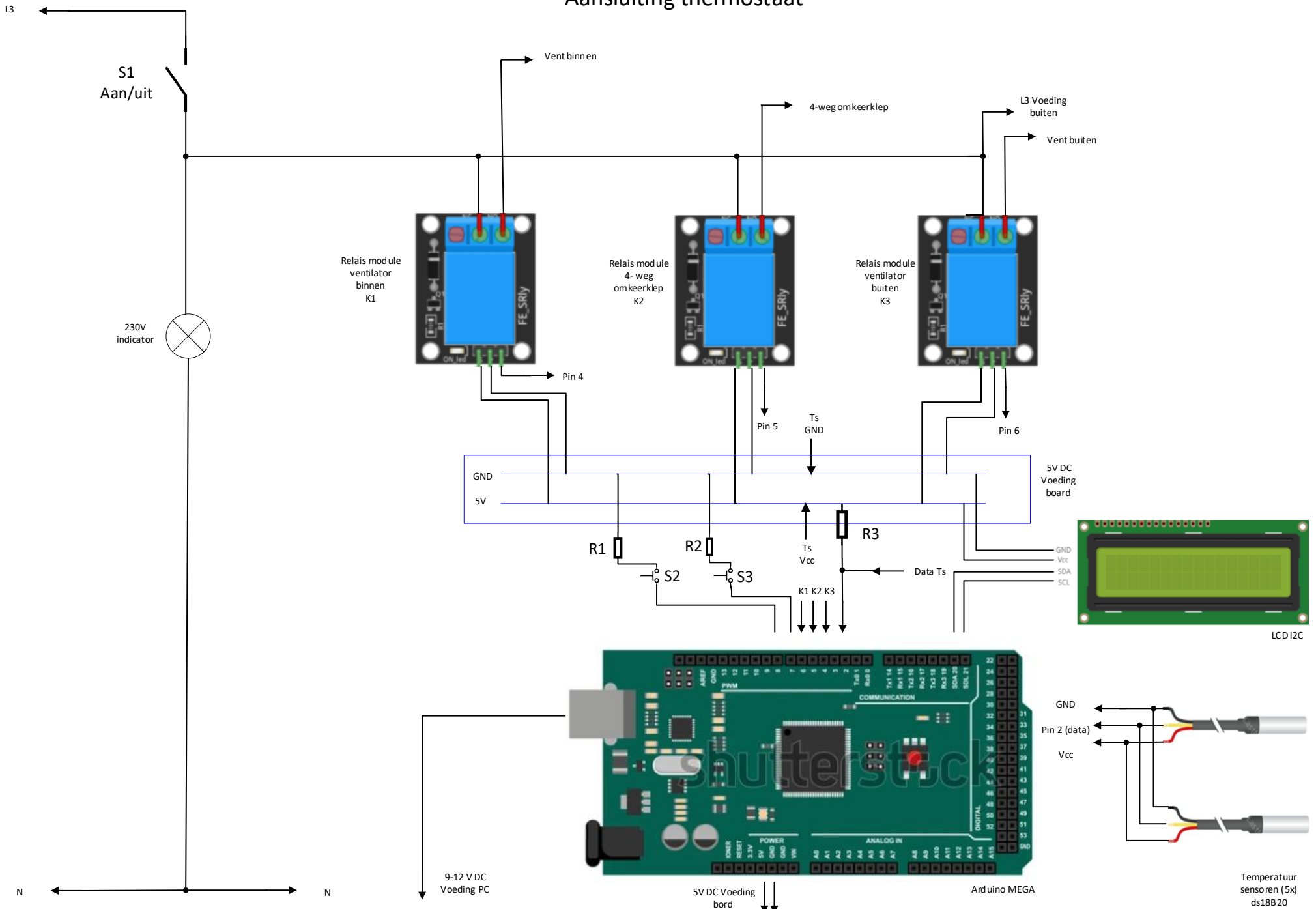
Expansieventiel sturing

Thermostaat

voeding compressor en kring

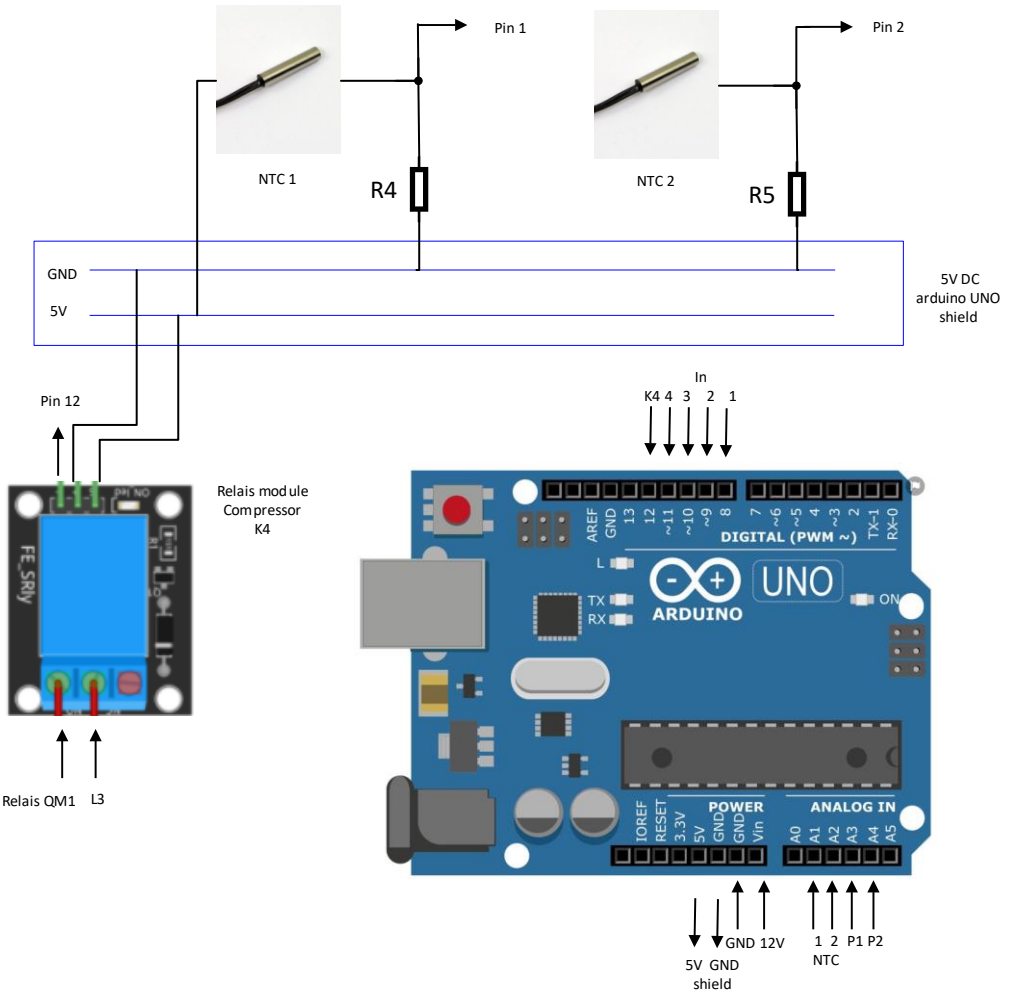
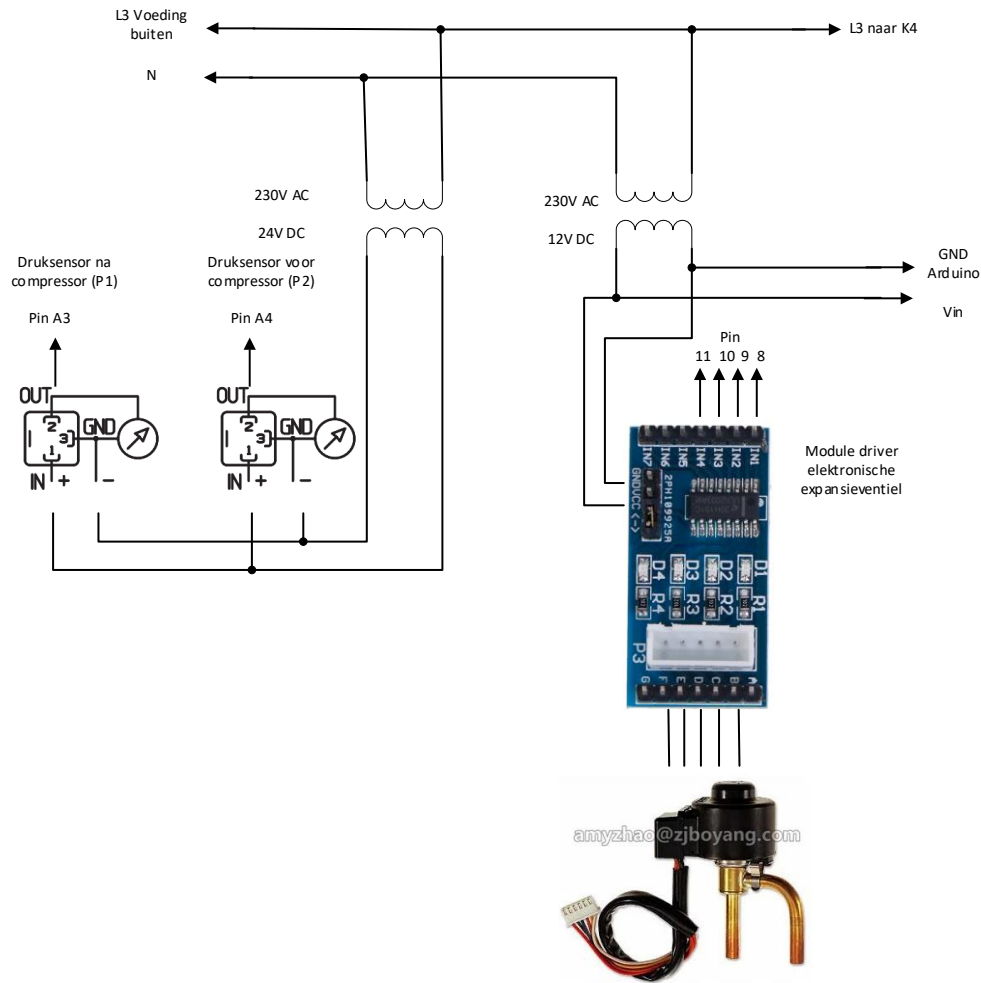


Aansluiting thermostaat



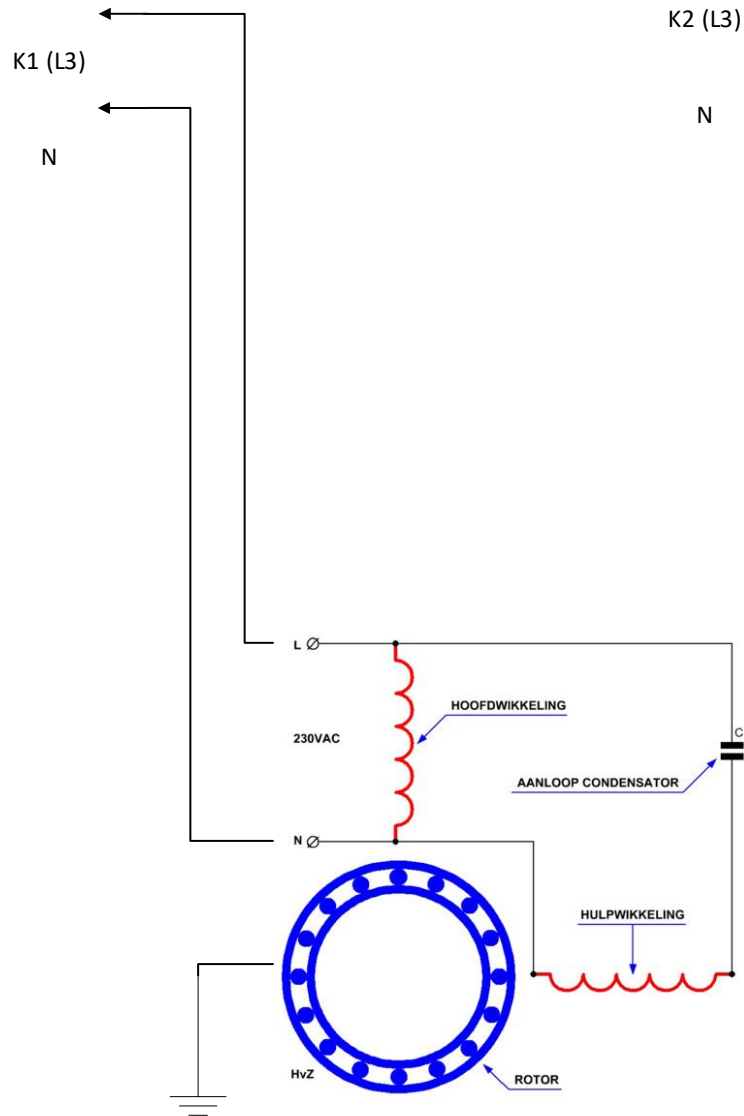
Temperatuur sensoren (5x) ds18B20

Aansluiting sturing expansieventiel

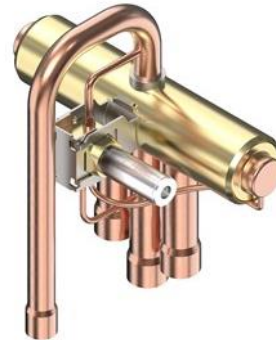


amyzhao@zjboyang.com

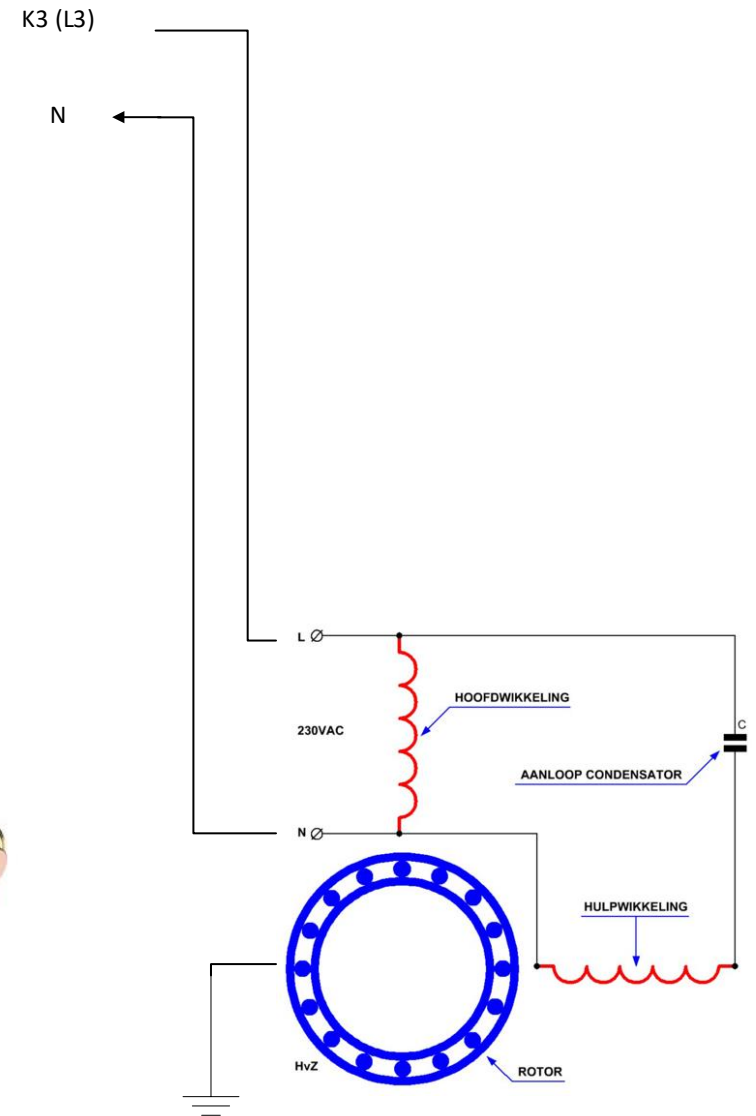
Eenfasige motoren en 4-weg omkeerlep



Ventilator binnenunit
1F 230V AC 50 Hz
Condensator= 2.5 μ F
45W



4-weg omkeerlep
1F 230V AC 50Hz



Ventilator buitenunit
1F 230V AC 50Hz
Condensator = 6 μ F
65W

```

#include <Stepper.h> // Include the header file

// change this to the number of steps on your motor
#define STEPS 32

// create an instance of the stepper class using the steps and pins
Stepper stepper(STEPS, 8, 10, 9, 11);

int pressureIn = A4; //eens naar 0 veranderen anders?
int ThermistorPin1 = 1;
int ThermistorPin2= 2;
int PressureValue= 4;
int Pressurevalue2= 3;
int pressureOut= 3;
int Vo;
int V1;
int relaycompressor= 12;
float R1 = 24000;
float logR2, R2, T, T1, Tc1, Tc2, Tf;
float c1 = 1.009249522e-03, c2 = 2.378405444e-04, c3 = 2.019202697e-07;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
  stepper.setSpeed(50);

  pinMode(relaycompressor, OUTPUT);
  digitalWrite(relaycompressor, HIGH);
}
void loop() {

Pressurevalue2= analogRead(pressureOut);
int uitgangsdruk = (Pressurevalue2*24.5+1000);
Serial.print("druk uitgang:");
Serial.print(uitgangsdruk);
Serial.println("mbar");
}

```

```

//druk met temperatuur in tabel (array)
int PressureValue = analogRead(pressureIn);
PressureValue = map(PressureValue, 0, 1009, 0, 63); // omvormen van 1023 naar 63

int MyPressureValue[64]= {-38,-37,-28,-25,-21,-16,-12,-7,-5,-4,0,2,3,5,8,10,13,14,15,
17,19,21,22,23,25,26,27,28,29,31,32,33,34,35,37,38,38,39,40,42,43,44,44,45,46,47,47,
48,48,51,52,52,53,53,54,55,55,56,57,58,58,59,60,61};
int Saturatietemperatuur = MyPressureValue[PressureValue]; //de saturatietemperatuur

Serial.print("saturatietemperatuur: ");
Serial.print(Saturatietemperatuur);
Serial.println("°C");// weergeven

delay(500);

//lage en hoge drukregeling compressor
if (uitgangsdruk<= 9000) // te lage druk dus aan gaan (9bar= 9000mbar)
{digitalWrite (relaycompressor,HIGH);}
else if ((uitgangsdruk< 20000) and (uitgangsdruk> 9000) and not (relaycompressor==LOW)
and (relaycompressor== HIGH))
{digitalWrite (relaycompressor,HIGH);}
else // te hoge druk dus uit gaan (20bar = 20000mbar)
{digitalWrite (relaycompressor,LOW);}

//temperatuursensoren weergave

Vo = analogRead(ThermistorPin);
R2 = R1 * (1023.0 / (float)Vo - 1);
logR2 = log(R2);
T = (1.0 / (c1 + c2*logR2 + c3*logR2*logR2*logR2));
Tc1 = T - 273.15+ 21,15;

Serial.print("Temperatuur1: ");
Serial.print(Tc1);
Serial.println(" °C");

```



```

V1 = analogRead(ThermistorPin2);
R2 = R1 * (1023.0 / (float)V1 - 1);
logR2 = log(R2);
T1 = (1.0 / (c1 + c2*logR2 + c3*logR2*logR2*logR2));
Tc2 = T1 - 273.15 +21;

Serial.print("Temperatuur2: ");
Serial.print(Tc2);
Serial.println(" °C");
delay(500);

//verschil temperatuursensor en average saturatietemperatuur
Serial.print("verschil temperatuur: ");
Serial.print(Tc1 - Saturatietemperatuur);
Serial.println("°C");

//stappenmotor instellen (580 stappen vooraleer dicht)
int fout= (Tc1 - Saturatietemperatuur);

if (fout <=6)
{stepper.step(50);} //dichter (te koud)
else (fout > 8); //openen (goed)
{stepper.step(-10);}

delay(5000);
}

```

```

//dT=setvariable-Tk
float dT;
int Tk;

//setup LCD scherm
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4);
//DS18B20S sensoren
#include <Wire.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#define ONE_WIRE_BUS 2
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

static unsigned int state;
enum State_enum {standby, koelen, verwarmen};

const int numRows = 2;
const int numCols = 16;
//setup knoppen en relay
int Setvariable = 17
;
int Upbutton = 8;
int Downbutton = 7;
int relayventbuiten =4;
int relayventbinnen= 6;
int relayvalve =5;
int Potentiometer = 3;

String readString; //string

const unsigned long Interval = 500;
unsigned long previousTime = 0;

const unsigned long Interval2 = 1000;
unsigned long previousTime2 = 0;

uint8_t sensor1[8] = {0x28, 0x00, 0x61, 0x83, 0x3B, 0x47, 0x06, 0xA4};
uint8_t sensor2[8]= {0x28, 0x00, 0x2D, 0x66, 0x3B, 0x47, 0x04, 0x18};
uint8_t sensor3[8]={0x28, 0xD6, 0x3B, 0x94, 0x97, 0x08, 0x03, 0xB5};
uint8_t sensor4[8]= {0x28, 0x0E, 0x11, 0x79, 0xA2, 0x19, 0x03, 0x82};
uint8_t sensor5[8]={0x28, 0x59, 0x7F, 0x79, 0x97, 0x20, 0x03, 0xEE};

```

```

void setup() {
  lcd.begin(numCols, numRows);
  Serial.begin(9600);
  pinMode(relayventbuiten, OUTPUT);
  digitalWrite(relayventbuiten,HIGH) ;

  pinMode(relayventbinnen, OUTPUT);
  digitalWrite(relayventbinnen,HIGH) ;

  pinMode(relayvalve, OUTPUT);
  digitalWrite(relayvalve,HIGH) ;

  lcd.clear();
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  pinMode(Upbutton, INPUT_PULLUP);
  pinMode(Downbutton, INPUT_PULLUP);

  sensors.begin();
}

void loop(void) {

//knoppen
  unsigned long currentTime = millis();
  unsigned long currentTime2 = millis();
  if (currentTime2 - previousTime2 >= Interval2){

previousTime2 = currentTime2;}
  delay(500);
  Serial.print("setpunt: ");
  Serial.println(Setvariable);

  digitalWrite(Upbutton);
  digitalWrite(Downbutton);
  lcd.setCursor(9,0);
  lcd.print("Set:");
  lcd.print(Setvariable);
  lcd.print((char)223);
}

```

```

if (currentTime - previousTime >= Interval) {
if (digitalRead(Uppbutton) == 0) Setvariable = Setvariable+1;
    if (digitalRead(Downbutton) == 0) Setvariable = Setvariable-1;
}

// temp sensoren

sensors.requestTemperatures();

Serial.print("TK: ");
printTemperatureTK(sensor1);

Serial.print("temp voor verdamper: ");
printTemperature(sensor2);

Serial.print("temp na verdamper: ");
printTemperature(sensor3);

Serial.print("temp voor condensor: ");
printTemperature(sensor4);

Serial.print("temp na condensor: ");
printTemperature(sensor5);
Serial.println();
delay(500);
}

void printTemperature(DeviceAddress deviceAddress)
{
float tempC = sensors.getTempC(deviceAddress);
Serial.print(tempC);
Serial.println("°C");
}

void printTemperatureTK(DeviceAddress deviceAddress)
{
float tempTK = sensors.getTempC(deviceAddress);
Serial.print(tempTK);
Serial.println("°C");
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("TK:");
lcd.print(tempTK);
lcd.print((char)223);
}

```

```

int dT;
dT= tempTK-Setvariable;

Serial.print("verschil temp: ");
Serial.println(dT);

//Flowchart

switch (state)
{
case standby: //initiele toestand

dT= tempTK-Setvariable;
digitalWrite(relayvalve, HIGH);
digitalWrite(relayventbuiten, LOW);
digitalWrite(relayventbinnen, LOW);
Serial.println("vent OFF");
Serial.print("valve: ");
Serial.println("STANDBY");
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("TK:");
  lcd.print(tempTK);
  lcd.print((char)223);
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("vent:OFF");
  lcd.setCursor(9,1);
  lcd.print("STANDBY");

if (dT<=-2) {
state=verwarmen;}
if (dT>=2) {
state=koelen;
}
break;

```

```

case verwarmen: //

dT= tempTK-Setvariable;
digitalWrite(relayventbuiten,HIGH);
digitalWrite(relayventbinnen,HIGH);
digitalWrite(relayvalve,HIGH);
Serial.println("vent ON");
Serial.print("valve: ");
Serial.println("heating");

    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("vent:ON");
    lcd.setCursor(9,1);
    lcd.print("HEATING");
if (dT>=1){
state= standby;
}
break;

case koelen: //koelen
dT= tempTK-Setvariable;
digitalWrite(relayvalve,LOW);
digitalWrite(relayventbuiten,HIGH);
digitalWrite(relayventbinnen,HIGH);

Serial.println("vent:ON ");
Serial.print("valve: ");
Serial.println("cooling");

    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("vent:ON ");
    lcd.setCursor(9,1);
    lcd.print("COOLING");
if (dT<=-1){
state= standby;
}
break;

delay(100);
}
}

```