

## Klimaatregeling EPB

→ Technische inhoud bestemd voor de opleidingsinstellingen

## Technische module

### HOOFDSTUK 2 HET KOELCIRCUIT

**Voor professionals inzake klimaatregeling: controleurs,  
technicus klimaatregeling EPB**



Ontwerp oktober 2013

Meer info: [www.bruxellesenvironnement.be](http://www.bruxellesenvironnement.be)

→ Professionals

→ Energieprestatie en Binnenklimaat

→ Technische installaties

Leefmilieu Brussel - BIM  
Departement verwarming en klimaatregeling EPB  
E-mail: [climPEB@environnement.irisnet.be](mailto:climPEB@environnement.irisnet.be)

ÉNERGIE



**BRUXELLES ENVIRONNEMENT**  
IBGE - INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT



# INHOUDSOPGAVE

HOOFDSTUK 2.	Het koelcircuit .....	3
2.1	Warmte, energie, arbeid.....	3
2.2	Warmteoverdracht.....	5
2.3	Toestanden van de materie .....	7
2.4	Werking van de compressiekoelmachine .....	9
2.5	Werking .....	10
2.6	De verschillende onderdelen in een koelcyclus .....	15
2.7.	De theoretische koelcyclus vanuit het standpunt van de energie .....	86
2.8.	Reële koelcyclus .....	96
2.9.	De koelmiddelen .....	105
2.10.	De oliën voor koelsystemen .....	120
2.11.	Bijkomende onderdelen van de koelcircuits.....	126

# HET KOELCIRCUIT

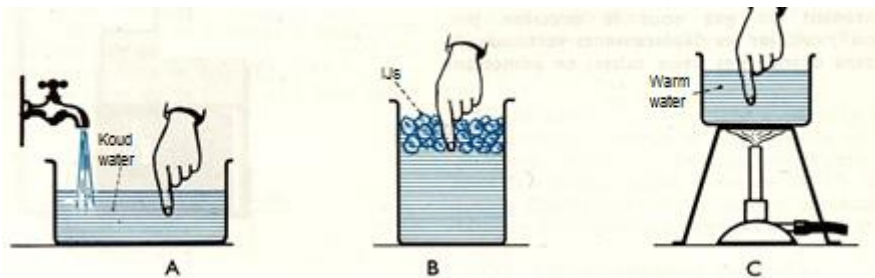
## 2.1 WARMTE, ENERGIE, ARBEID

Warmte is een uiting van energie. Ze kan zich opstapelen en doorstromen onder de invloed van een temperatuurverschil.

Het is het gevoel dat onze organen hebben wanneer we bijvoorbeeld voor een gloeiend voorwerp gaan staan.

Koude is het gevoel dat we krijgen in afwezigheid van, bij daling of bij verlies van warmte. Koude staat tegenover warmte zoals duister staat tot licht.

Een lichaam, een omgeving, een fluïdum afkoelen bestaat dus in het onttrekken van warmte aan dat lichaam, die omgeving of dat fluïdum.



Figuur 2.1

Een lichaam (of een stof) kan warmte ontvangen of leveren in twee verschillende vormen:

1. In waarneembare vorm: De absorptie (of levering) van warmte in waarneembare vorm uit zich in een stijging (daling) van de temperatuur van het ontvangende lichaam. De absorptie of levering van warmte veroorzaakt geen wijziging van de fysische toestand van het lichaam.
2. In latente vorm: de absorptie of levering van warmte in latente vorm door een lichaam wordt gekenmerkt door een constante temperatuur van het lichaam en door een gewijzigde fysische toestand.

Als een stof warmte absorbeert, wijzigt de temperatuur van die stof. Het verband tussen de geabsorbeerde warmte en de temperatuurvariatie wordt soortelijke warmte genoemd. Dit is de hoeveelheid warmte die nodig is om de temperatuur van de stof met 1 °C of 1 K te doen stijgen.

Voorbeeld: Water:  $c = 4180 \text{ J/kg K}$   
IJzer  $c = 0,47 \text{ kJ/kg K}$   
Koper:  $c = 0,39 \text{ kJ/kg K}$   
Olie bij 50 °C:  $c = 2,01 \text{ kJ/kg K}$  (compressor)

Vergelijking van de warmteoverdracht:

$$Q = C \cdot m \cdot \Delta T$$

Waarbij Q = uitgewisselde warmte in joule

m = massa uitgedrukt in kg

$\Delta T$  = temperatuurverschil in K

C = latente warmte in  $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

#### Latente stollingswarmte:

Dit is de hoeveelheid warmte die aan 1 kg van een lichaam onttrokken moet worden om het te laten overgaan van de vloeibare toestand naar de vaste toestand, zonder zijn temperatuur te doen dalen.

#### Latente smeltwarmte:

Dit is de hoeveelheid warmte die aan 1 kg van een lichaam geleverd moet worden om het te laten overgaan van de vaste toestand naar de vloeibare toestand, zonder zijn temperatuur te doen stijgen.

#### Latente verdampingswarmte:

Dit is de hoeveelheid warmte die aan 1 kg van een lichaam geleverd moet worden om het te laten overgaan van de vloeibare toestand naar de gasvormige toestand, zonder zijn temperatuur te doen stijgen.

#### Latente condensatiewarmte:

Dit is de hoeveelheid warmte die aan 1 kg van een lichaam onttrokken moet worden om het te laten overgaan van de gasvormige toestand naar de vloeibare toestand, zonder zijn temperatuur te doen dalen.

#### Inwendige energie en enthalpie:

De inwendige energie U is de energie waarover een stof beschikt dankzij zijn moleculaire activiteit. De energie stapelt zich op in de vorm van kinetische en potentiële energie van de moleculen. De enthalpie H is de som van de inwendige energie U en het thermische equivalent van de arbeid die noodzakelijk is om het volume V in te nemen bij een constante druk P. Dit wordt de volumearbeid PV genoemd en we krijgen:

$$H = U + PV$$

#### Entropie:

In compressoren hangt de compressiearbeid af van vier belangrijke variabelen: de druk, het volume, de temperatuur en de entropie.

Een adiabatise (zonder warmteoverdracht) en omkeerbare transformatie is isentropisch en wordt gebruikt als referentie voor de studie van de compressoren. Een isentropische compressie of expansie staat model voor perfectie. Men vermoedt immers dat, tijdens de compressie of expansie, alle verliezen door warmteoverdracht en door andere effecten, nihil zijn.

#### Energievergelijking:

In overeenstemming met de eerste wet van de thermodynamica, is de warmte geabsorbeerd door een systeem gelijk aan de toename van zijn inwendige energie plus de arbeid verricht door het systeem.

## 2.2 WARMTEOVERDRACHT

Wanneer twee lichamen aanwezig zijn, stroomt de warmte steeds van het warme lichaam naar het koude.

De warmte-uitwisseling zal pas stoppen wanneer beide lichamen dezelfde temperatuur hebben.

Omgekeerd kan de warmte niet spontaan van een koud lichaam naar een warm lichaam overgaan (Clausius).

### **De mechanismen van warmteoverdracht zijn de volgende:**

- Geleiding: Door direct contact tussen twee lichamen  
Vb.: IJzerstaaf in een vlam.
- Convectie: Door beweging van fluïdummassa's  
Vb.: Verwarming met convector
- Straling:  
Vb.: Zonnestraling of effect van een bepaalde elektromagnetische golflengte (infrarood)

### **Meeteenheden:**

- Eenheid van temperatuur: Kelvin (K)
- Massa: Hoeveelheid materie in een lichaam. De massa is onveranderlijk.  
Eenheid: Kilogram (kg)
- Kracht: Oorzaak die de toestand van een lichaam kan vervormen of dit lichaam in beweging kan zetten. Eenheid: Newton (N)

### **Algemene vergelijking van de dynamica:**

$$F = m \cdot a$$

Waarbij:

F = kracht

m = massa van het lichaam

a = versnelling

eenheden: 1 Newton (N) = 1 kg x 1 m/(1 s)<sup>2</sup>

- Mechanische energie of arbeid verricht door een kracht.

Elke kracht van 1 N die haar plaats van uitoefening 1 m verplaatst, ontwikkelt een arbeid of energie van 1 Joule (1 J)

Eenheid: 1 Joule (J) = 1 Newton (N) x 1 meter (m)

- Warmte-equivalent

1 cal = 4,1865 joule

1 Kcal = 4186 joule

- Andere eenheden:

1 bar = 10<sup>5</sup> Pa = 100.000 Pa

1 atmosfeer = 1 atm = 101.325 Pa = 760 mm Hg = 10,33 m waterkolom

In de meteorologie:

1 bar = 100.000 Pa = 1000 mbar dus 100 Pa = 1 mbar

1 hPa = 1 mbar

We onderscheiden verschillende soorten druk:

- ❖ De absolute druk: Dit is de druk die verwijst naar het absolute nulpunt. Ten opzichte van deze druk geeft de atmosferische druk het gewicht van de lucht weer die zich op het aardoppervlak bevindt. Op zeeniveau bedraagt deze 76 cm kwikdruk of 10,33 m water of 101.325 Pa. Deze druk daalt naarmate men hoger gaat.
- ❖ De manometrische of effectieve of relatieve druk is in de praktijk het verschil tussen de druk die heerst in een leiding min de atmosferische druk.

**Relatieve druk** (manometrische druk) = Absolute druk – Atmosferische druk

**Absolute druk** = Relatieve druk (manometrische druk) + Atmosferische druk

- ❖ De differentiële druk tussen twee drukmetingen is het (relatieve of absolute) drukverschil tussen de twee metingen.

We onderscheiden ook andere fysische grootheden:

- De dichtheid of soortelijke massa:  $\rho$  (rô)

De dichtheid komt overeen met de relatie tussen de massa en het volume van een lichaam.

Vb.:            Voor water             $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  of  $1 \text{ kg/dm}^3$   
                  Voor kwik                 $\rho = 13,6 \text{ kg/dm}^3$

- Het volumedebiet:  $Q_v$

Het volumedebiet komt overeen met het fluïdumvolume dat circuleert in een tijdseenheid.

Het wordt dus uitgedrukt in  $\text{m}^3/\text{sec}$ .

- Het massadebiet:  $Q_m$

Het massadebiet komt overeen met de fluïdummassa en bijgevolg met de hoeveelheid materie die circuleert in een tijdseenheid.

Het wordt uitgedrukt in  $\text{kg}/\text{sec}$ .

Men kan ook het volgende zeggen:             $Q_m = Q_v \times \rho$

Naast de gebruikelijke eenheden van het SI-systeem (internationaal systeem) gebruikt men inzake klimaatregeling vaak bijzondere eenheden, waarvan sommige van Angelsaksische oorsprong zijn.

#### **Voorbeeld:**

1 fg/h (frigorie per uur) is gelijk aan een negatieve kcal

1 (US) Ton = 3.517 watt

1 BTU (British Thermal Unit) is gelijk aan 1.056 joule

1 CFM (Cubic Feet per Minute) is gelijk aan 1,7  $\text{m}^3/\text{h}$

1 GPM (Gallon per Minute) is gelijk aan 0,227  $\text{m}^3/\text{h}$

1 psi (pound square inch) is gelijk aan 0,069 bar

1 inch waterkolom = 25,4 mm H<sub>2</sub>O = 249 Pa

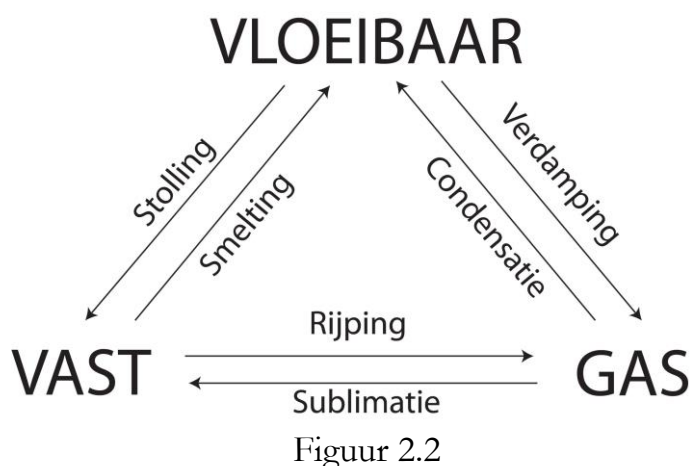
1 kW s (Kilowatt seconde) = 1 kJ

1 kWh = 3.600 kJ = 860 Kcal

## 2.3 TOESTANDEN VAN DE MATERIE

- In de natuur kan materie drie verschillende toestanden aannemen: vast, vloeibaar, gasvormig.
- Het is mogelijk van de ene toestand naar de andere over te gaan door het toevoegen of wegnemen van energie, onder een welbepaalde druk en temperatuur.
- Elke overgang van een toestand naar een andere noemt men een toestandsverandering.

Voorbeeld: Water bestaat in de drie toestanden (vast, vloeibaar, gasvormig). De aard van de H<sub>2</sub>O-moleculen wijzigt niet. De toestand van water hangt af van de druk en de temperatuur.



Toestanden van de materie

Fase	Vast	Vloeibaar	Gas
Volume	+/- constant	+/- constant	variabel
Vorm	+/- constant	variabel	variabel

Figuur 2.3

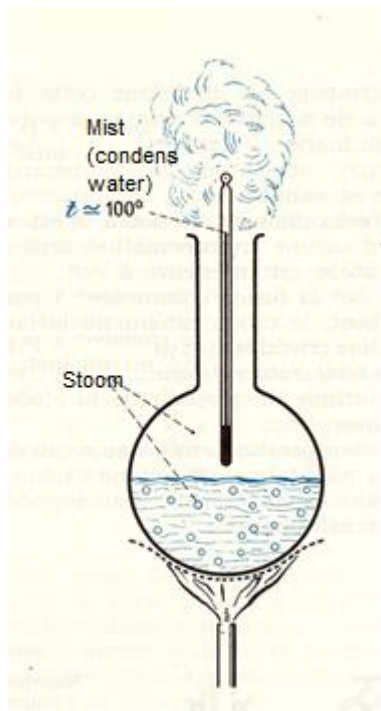
- Smelting is de overgang van een lichaam van de vaste toestand naar de vloeibare toestand onder invloed (toevoeging) van warmte.
- Stolling is de omgekeerde transformatie, door afkoeling (wegname of extractie van warmte)
- Verdamping is de overgang van de vloeibare toestand naar de gasvormige toestand door toevoeging van warmte. Dit kan gebeuren door evaporatie of koken.
- Evaporatie is de vorming van damp op het oppervlak van een vloeistof. Evaporatie gebeurt sneller naarmate de temperatuur hoger is, het vrije vloeistofoppervlak groter is, de druk lager is en de verzadigingsdampdruk van de vloeistof hoger is.
- Koken is een snelle verdamping met vorming van stoombellen in de vloeistof.

## Kookwetten

1. Bij eenzelfde druk begint een vloeistof steeds op dezelfde temperatuur te koken.
2. Tijdens de kooktijd blijft de temperatuur constant, als de druk niet verandert.
3. De verzadigingsdampdruk van de uitgestoten damp is gelijk aan de druk op de vloeistof.
4. Condensatie is de overgang van de gasvormige toestand naar de vloeibare toestand door afkoeling (extractie van warmte).
5. Sublimatie is de directe overgang van de vaste toestand naar de gasvormige toestand (geen vloeibare toestand). Deze eigenschap heeft plaats in welbepaalde omstandigheden inzake druk en temperatuur.

### Voorbeeld:

Bij normale atmosferische druk (1013 h Pa op 0 m hoogte) kookt water bij 100 °C, het koelmiddel R134a kookt bij – 30 °C en R22 bij – 42,8 °C.



Kooktemperatuur bij 1 atm (in °C)	
Helium	-269
Waterstof	-253
Stikstof	-196
Zuurstof	-183
Ammoniak	-33
Ether	35
Alcohol	78
Benzeen	80
Water	100
Kwik	357
Vloeibare zwavel	445

Figuur 2.4

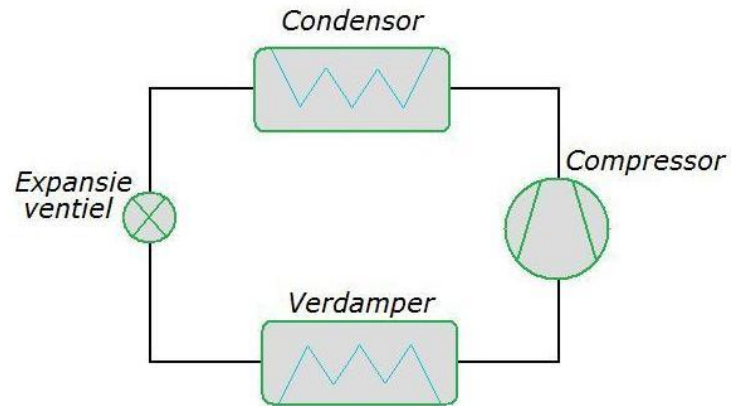


## 2.4 WERKING VAN DE COMPRESSIEKOELMACHINE

In dit type installatie wordt gebruik gemaakt van de volgende twee fenomenen:

- De evaporatie van een koelmiddel dat energie absorbeert.
- De condensatie van het fluïdum dat energie afgeeft. We kunnen stellen dat deze toestandsveranderingen van het fluïdum en zijn stroming via een compressor tussen twee wisselaars van deze machine een machine voor transfer of transport van energie maken.

De compressiemachine bestaat uit de volgende basisonderdelen:



Figuur 2.5

De compressiemachine bestaat uit de volgende vier onderdelen:

1. De verdamer-wisselaar
2. De condensor-wisselaar
3. De reduceerklep of het expansieventiel
4. De compressor

In het koelcircuit onderscheiden we twee verschillende drukzones:

- De lagedrukzone
- De hogedrukzone

Het fluïdum stroomt in hermetisch afgesloten leidingen in verschillende toestanden.

## 2.5 WERKING

De evaporatietemperatuur is een belangrijk kenmerk voor de werking van de installatie. Wanneer de evaporatietemperatuur te hoog is, kan de temperatuur van het af te koelen medium niet verminderd worden.

De reële werkingscyclus van een koelmachine stabiliseert volgens de temperaturen van het af te koelen milieu, de buitenlucht waarin de warmte uitgestoten wordt en de afmetingen van de machine.

Zo zal de evaporatietemperatuur stabiliseren op enkele graden onder de temperatuur van het door de verdamper afgekoelde fluïdum. Op dezelfde manier stabiliseert de condensatietemperatuur op enkele graden boven de temperatuur van het koelmiddel van de condensor.

Toepassing	af te koelen medium	gemiddelde temperatuur van het af te koelen medium (°C)	verdampings temperatuur	koelmiddelen
klimaatregeling	Lucht	24	5	R22 R407C R410A
een vloeistof afkoelen	Water	6	0	R22 R134A R407C R717
	Glycolwater	-10	-15	
koeling	Lucht	0 → 10	-10 → 0	R134A R404A R717
bevriezing	Lucht	-20	-30 → -25	R404A R507

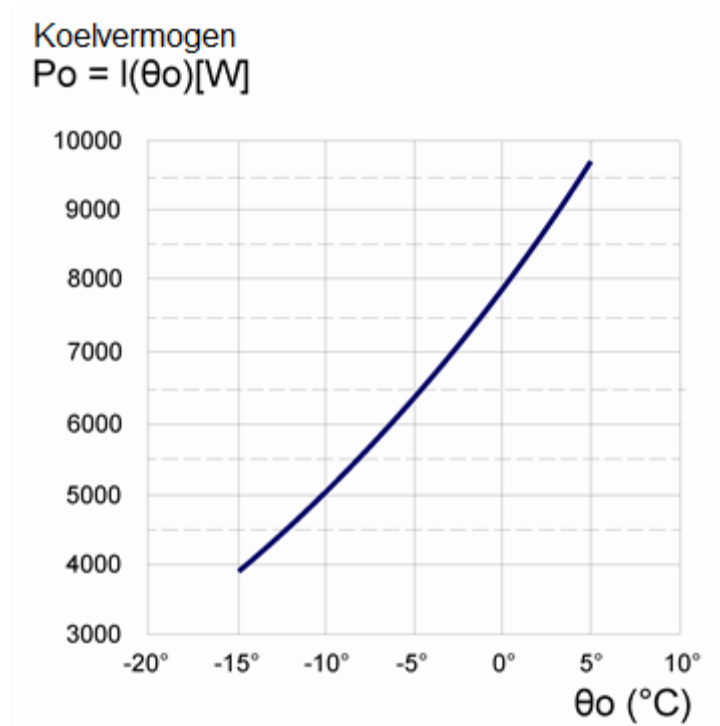
Figuur 2.6

Welnu, de koudebehoefte kennen een voortdurende evolutie en de buitentemperatuur schommelt het hele jaar door!

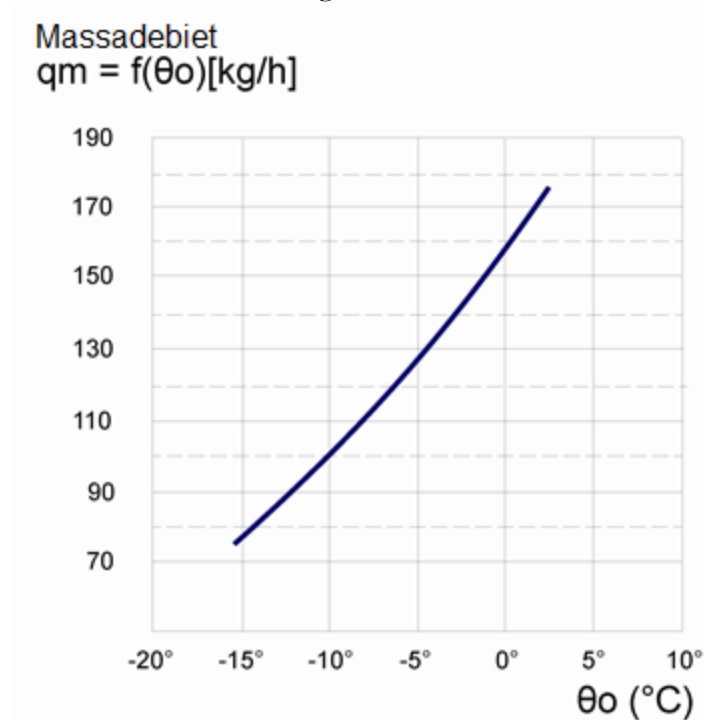
De evaporatietemperatuur is een waarde die op het ogenblik van het ontwerp van de installatie bepaald wordt door de toepassing, door de keuze van het koppel: warmtebelasting - compressor. De warmtebelasting vertegenwoordigt het warmtevermogen van de verdamper.

Het koelvermogen dat een compressor kan opwekken, is niet constant, maar hangt af van de aanzuigdruk LD, de persdruk HD en de temperatuur van de aangezogen dampen.

Onderstaande grafieken tonen de evolutie van de parameters van de compressor volgens de evaporatietemperatuur  $\theta_0$  (of LD) bij een constante condensatietemperatuur van 40 °C. De evolutie blijft dezelfde, ongeacht het type compressor, het type koelmiddel of het type wisselaar.



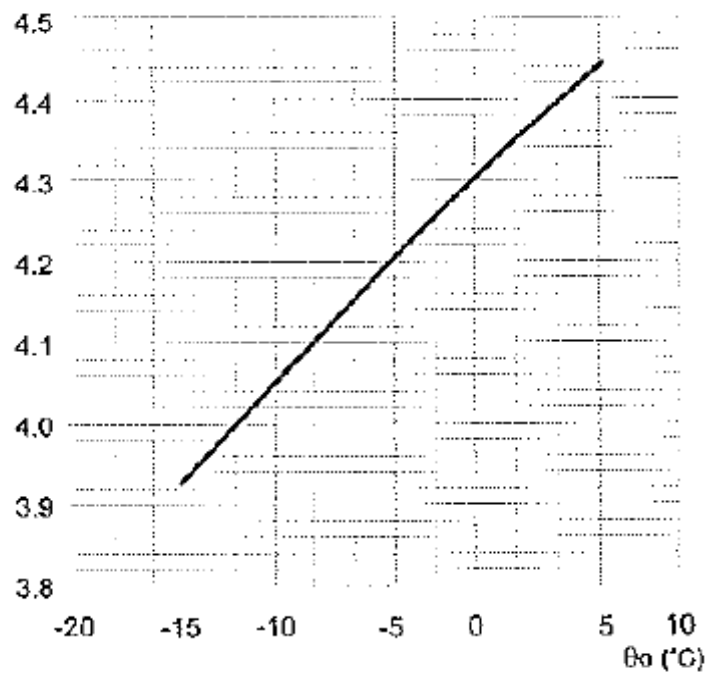
Figuur 2.7



Figuur 2.8

Geabsorbeerde stroom

$$I_{abs} = g'(\theta_o) \text{ [A]}$$

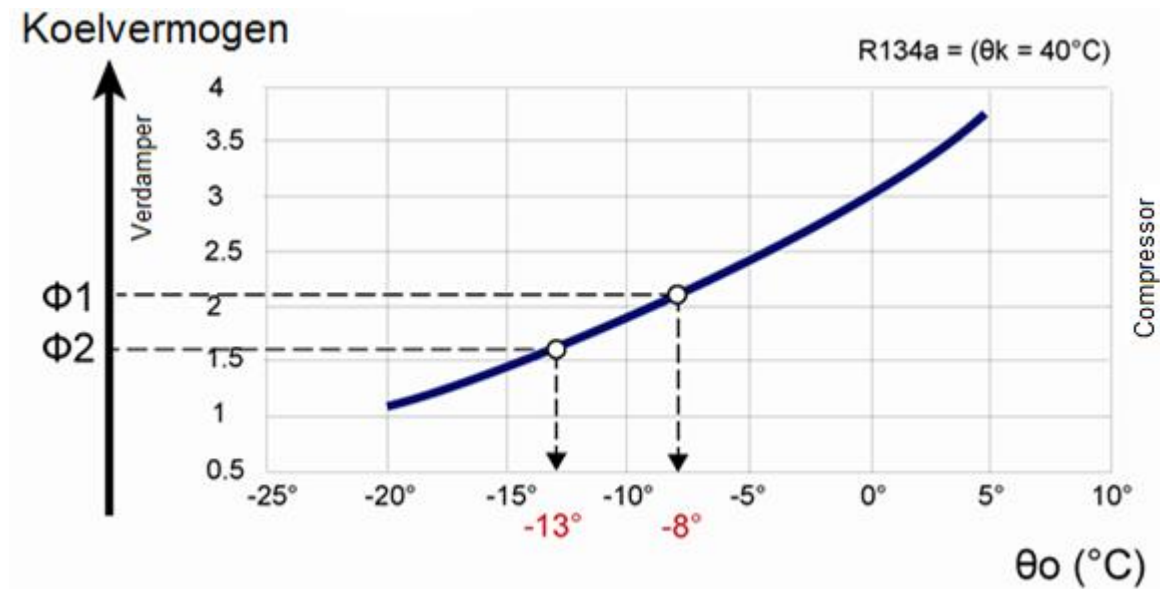


Figuur 2.9

Dit brengt vanzelfsprekend een wijziging van het compressieniveau en een variatie van het geabsorbeerde vermogen met zich. Naargelang van het evaporatie- en condensatieregime zal de compressor een al dan niet groot massadebiet koelmiddel aanzuigen en zo het koelvermogen van de verdamper en het warmtevermogen van de condensor bepalen.

Het begrip koelvermogen van een compressor is gekoppeld aan zijn capaciteit om een bepaald fluïdummassadebiet  $q_m$  te doen circuleren in een gegeven regime.

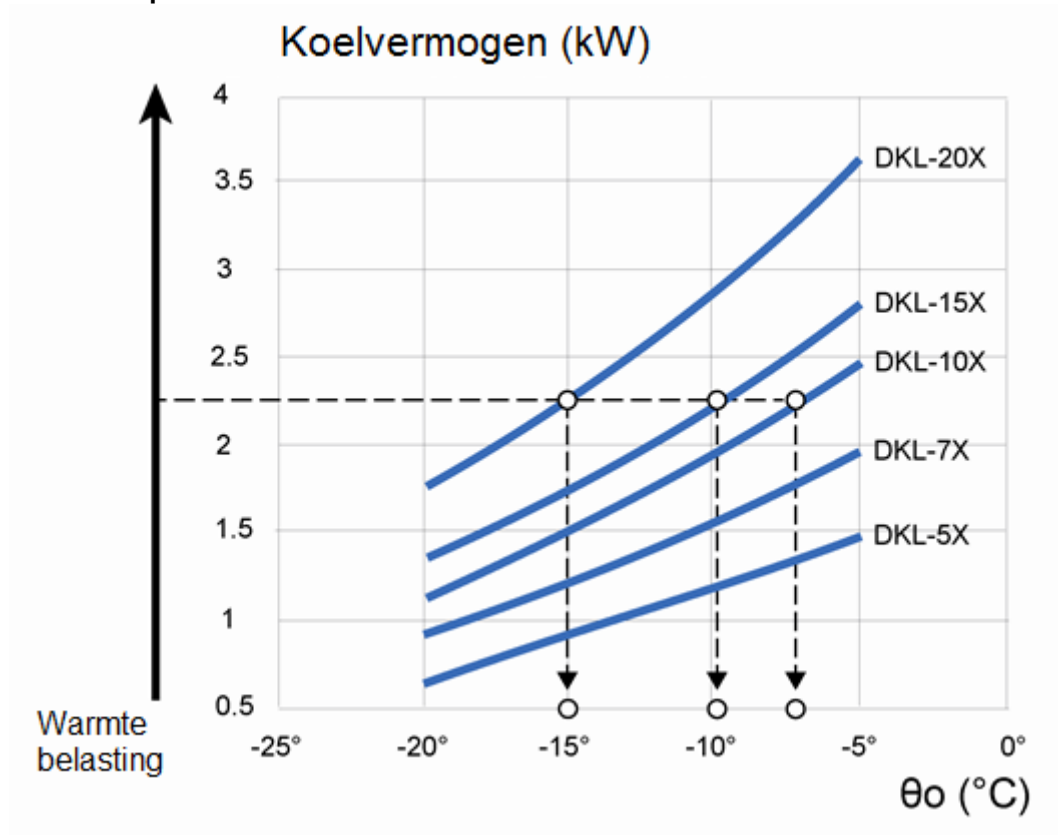
In een eenvoudige koelinstallatie hangt de evaporatietemperatuur, die gekoppeld is aan de LD, af van de warmtebelasting die de verdamper aanvoert naar het koelmiddel.



Figuur 2.10

## Welke factoren beïnvloeden de LD?

### 1. de compressor



Figuur 2:11

Figuur 2.12 toont de evolutie van de LD volgens het koelvermogen voor meerdere compressoren van hetzelfde type, maar met een verschillend vermogen. Het vermogen van een compressor hangt af van zijn slagvolume.

Bij een constante warmtebelasting zal een lager slagvolumedebiet de LD doen stijgen, terwijl een hoger slagvolume de LD zal doen dalen.

### 2. de warmtebelasting

De warmtebelasting aangevoerd naar het fluïdum hangt af van:

- de prestaties van de verdamper
- de warmteaanvoeren van het medium naar de verdamper (warmtebalans)
- de voorwaarden voor uitwisseling tussen het medium en de verdamper

De verstopping van de verdamper of de daling van het debiet van het medium doet de LD dalen.

### 3. de stroming van het fluïdum naar de verdamper

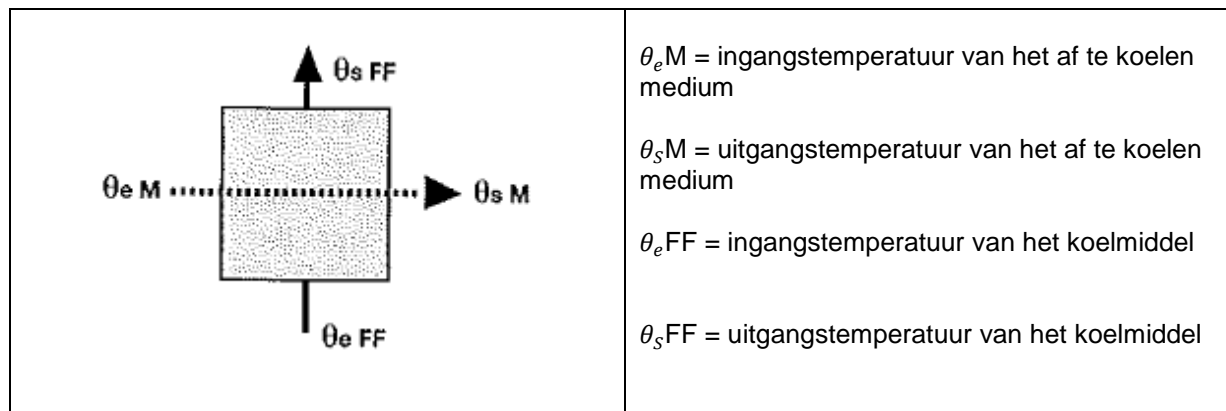
Een tekort aan fluïdum of een verstopping in de vloeistofleiding doet de LD dalen.

## 2.6 DE VERSCHILLENDE ONDERDELEN IN EEN KOELCYCLUS

### 2.6.1. VERDAMPER-WISSELAAR

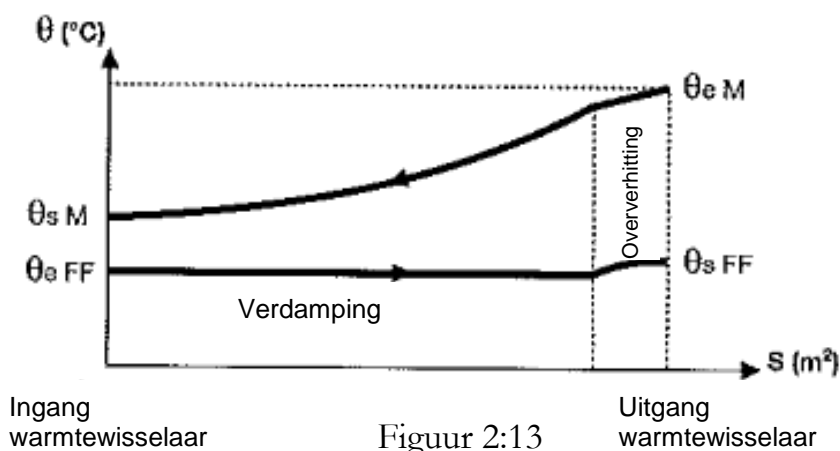
De verdamper is een warmtewisselaar waarin een koelmiddel verdampt door de warmte van het af te koelen milieu te absorberen. In zekere zin "produceert de evaporatie koude, maar in werkelijkheid neemt ze warmte weg".

De uitwisseling gebeurt tegen de stroom in voor een grotere doeltreffendheid.



Figuur 2:12

Evolutie van de temperaturen van de twee middelen in de verdamper:



Figuur 2:13

In de evaporatiezone is de temperatuur constant (als het ladingverlies niet verwaarloosbaar is en als het fluïdum geen zeetroop mengsel is)

De overgang van de thermische flux van het koelmiddel naar het externe milieu wordt geregeld door dezelfde natuurkundige wetten, ongeacht het betreffende type apparaat - condensor of verdamper -, en hangt af:

1. van de globale warmtetransmissiecoëfficiënt van de verdamper
2. van het oppervlak van de verdamper
3. van het temperatuurverschil tussen de temperatuur van de verdamper en de temperatuur van het af te koelen medium

$$P[\text{W}] = K [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}] \cdot S[\text{m}^2] \cdot \Delta t^\circ [\text{K}]$$

De types verdamper kunnen op verschillende manieren ingedeeld worden: naargelang van de af te koelen middelen (lucht, water, ...), naargelang van hun technologie (met platen, ...)

1. huishoudelijke verdamper
2. verdamper luchtkoelers
3. verdamper vloeistofkoelers
4. verdamper diepvriezers
  - a. ijsmachine
  - b. speciale verdamper
  - c. ijsopslag

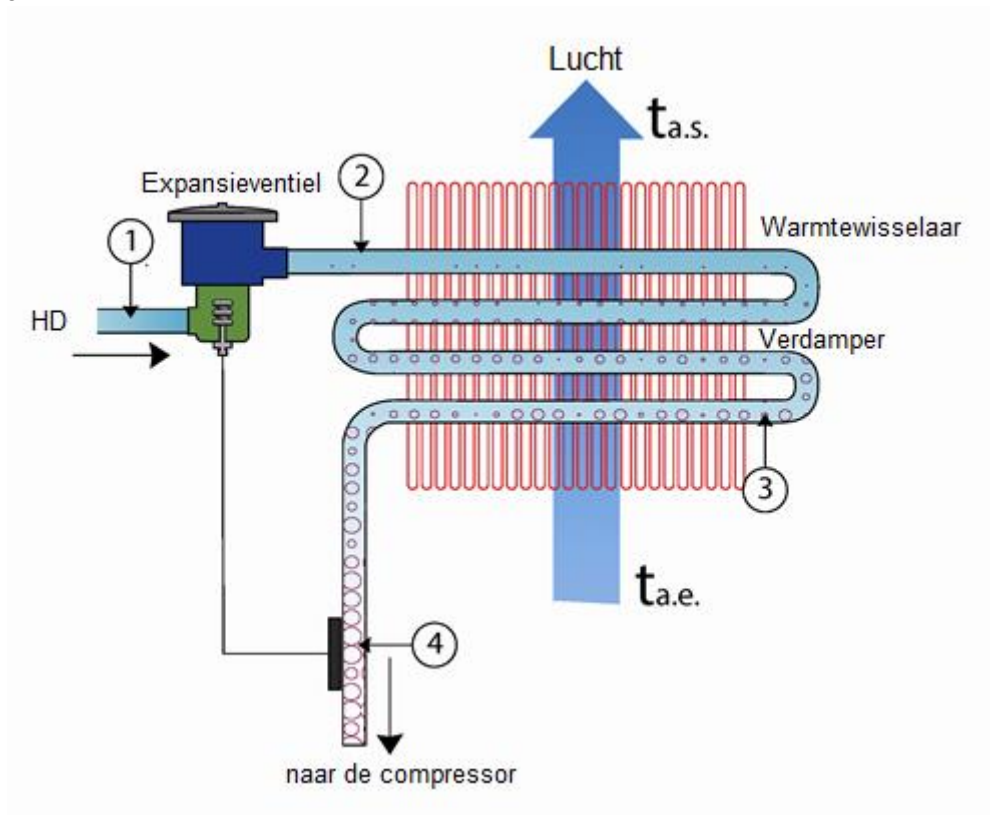
Het grootste verschil tussen de types verdamper is de uitwisselingscoëfficiënt K:

<b>Verdamper</b>	<b>W/m<sup>2</sup>.K</b>
Luchtkoeler	20 tot 25
Coaxiale vloeistofkoeler	500 tot 800
Vloeistofkoeler met meerdere buizen	800 tot 1200
Vloeistofkoeler met platen	> 5000



## WERKING VAN DE VERDAMPER

We nemen een reduceerklep gevoed met de vloeistof R404A bij 14 bar, aangesloten op een verdamper.



Figuur 2:14

$t_{a.e.}$ : temperatuur van de lucht aan de ingang van de verdamper.

$t_{a.s.}$ : temperatuur van de lucht aan de uitgang van de verdamper.

Punt 1: De vloeistof R404a bij 14 bar en 34 °C komt bij de thermostatische reduceerklep.

Punt 2: Bij de uitgang van de reduceerklep is de vloeistof ontspannen (bijvoorbeeld 5 bar). Een deel van de vloeistof is verdampt en in de verdamper komt een mengsel vloeistof/dampen binnen. De temperatuur van dit mengsel bedraagt 0 °C (relatieve druk temperatuur)

Tussen 2 en 3: Het mengsel vloeistof/dampen stroomt voort in de verdamper en neemt de energie van de warmtebelasting op, en de toestandsverandering (evaporatie) gaat verder bij een constante druk van 5 bar en bij een constante  $t^\circ$  van 0 °C (latente warmte)

Punt 3: Er is geen vloeistof meer, alles is verdampt. Op punt 3 is er 100 % damp.

Tussen 3 en 4: De dampen warmen op door de werking van de energie van de warmtebelasting (waarneembare warmte). De druk bedraagt 5 bar.

Punt 4: De dampen verlaten de verdamper; ze zijn enkele graden warmer dan de evaporatietemperatuur. (bijvoorbeeld 6 °C)

**Oververhitting** = Temperatuur bij de uitgang van de verdamper –  
evaporatietemperatuur (5 °C tot 8 °C)

Voor wat betreft de lucht kunnen we het volgende zeggen:

$$\Delta t \text{ lucht} = ta.e - ta.s$$

$$\Delta t \text{ globaal} = ta.e - t^{\circ} \text{ evaporatie}$$

ta.e = Omgevingstemperatuur in de af te koelen ruimte (de zogenaamde t° van de opgenomen lucht)

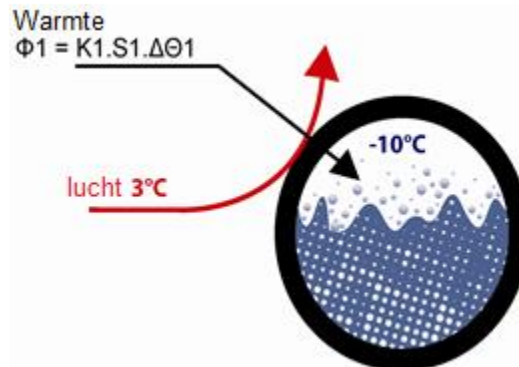
ta.s = Temperatuur van de lucht aan de uitgang van de verdamper.



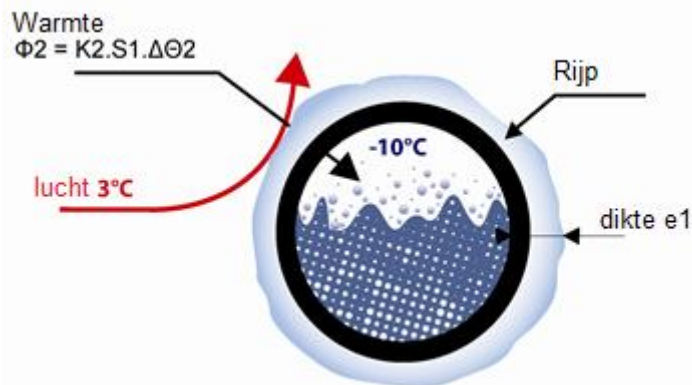
Figuur 2:15

## IJsvorming en automatische ontthooing

Een evaporatietemperatuur van minder dan 0 °C geeft systematisch aanleiding tot ijsvorming op de verdampers. De opstapeling van rijp doet de globale warmtetransmissiecoëfficiënt K, de LD en de COP van de installatie dalen.



Figuur 2:16



Figuur 2:17

Het ontthooien bestaat in het doen smelten van de rijp door warmte aan te voeren. Deze warmte kan vervoerd worden door lucht of water in de installaties met positieve temperatuur en door elektrische weerstanden of de warme gassen van de perszijde in de installaties met negatieve temperatuur.

De ijslaag kan vergeleken worden met een deken op een radiator. Om hetzelfde vermogen te krijgen, dient men de temperatuur van het water te verhogen en het rendement van de verwarmingsketel te verminderen.

Bij verdampers op water of "chillers" moet het circulatiewater op een minimale temperatuur van 5 °C gehouden worden. Dat is de rol van de antivriesthermostaat. Men kan zich voorstellen wat de gevolgen zijn van ijsvorming op de verdampers en welke schade veroorzaakt wordt door het springen van leidingen.

Bij een klimaatregeling duidt een evaporatietemperatuur van minder dan 0 °C op een slechte werking.

Aangezien de thermische uitwisseling ter hoogte van de verdampers minder goed is, daalt de productie van de fluïdumdampen en bijgevolg de LD. De evaporatietemperatuur is lager, wat het fenomeen van ijsvorming in de hand werkt. Dit heeft dus een cumulatief effect.

Tot besluit doet de ijsvorming op de verdampers het koelvermogen dalen.

## Welke ontdooimethoden bestaan er?

### 1. Ontdooiing van de kamers met positieve temperatuur.

In de installaties gebeurt de ontdooiing doorgaans met omgevingslucht uit het lokaal (klimaatregeling) of de koude kamer.

Tijdens het ontdooien wordt de koelgroep stilgelegd. De bediening gebeurt met behulp van een programmeerbare timer of programmaregelaar.

De evaporatieventilator(en) mag (mogen) ingeschakeld worden om het proces te versnellen.

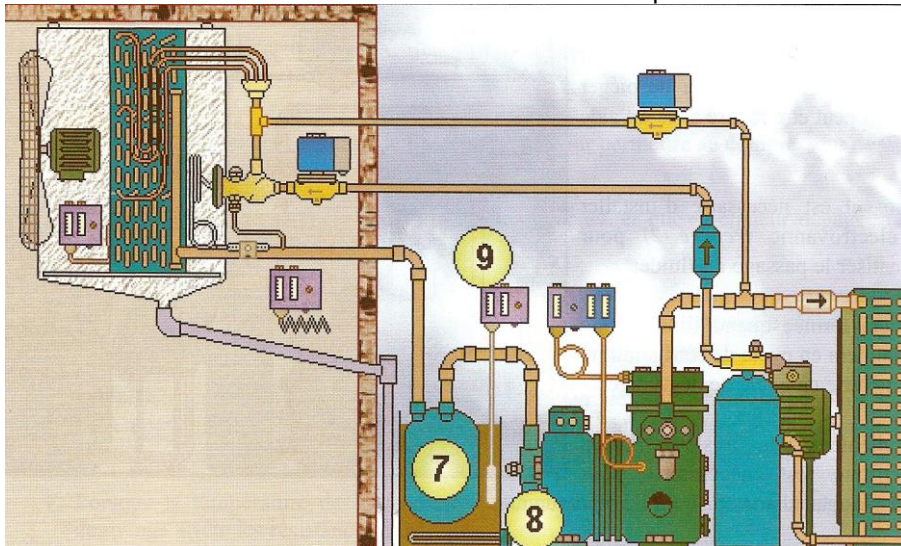
### 2. Ontdooiing van de kamers met negatieve temperatuur.

#### a. Ontdooiing door het blazen van warme lucht

Door circulatie van lucht verwarmd met elektrische weerstanden.

#### b. Ontdooiing door verwarming van de verdamper

Door een elektrische weerstand in de ribben van de verdamper



Figuur 2.18 Bron Kotzaoglanian

#### c. Ontdooiing door warme gassen

Bij deze methode worden in de verdamper warme gassen geïnjecteerd die ontnomen worden aan de perszijde van de compressor via een elektromagnetische ontdooiingsklep.

Als in een koude kamer drie verdampers worden gebruikt, is het mogelijk een verdamper tegelijkertijd te ontdooien en de andere te doen werken met ontdooiing door injectie van warme gassen.

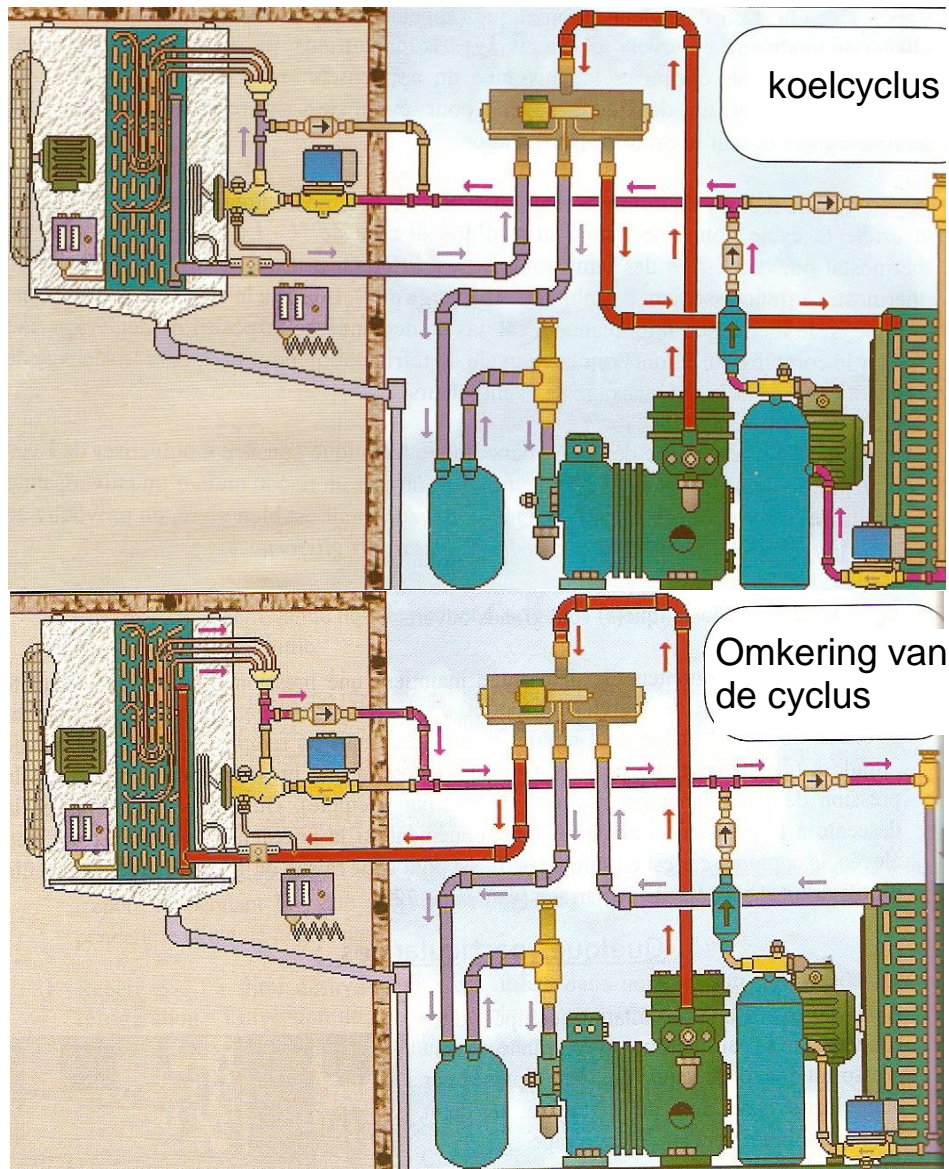
De elektrische weerstand is voordeliger voor een enkele koudepost.



#### d. Ontdooing door cyclusinversie

Bijzondere toepassing van het principe van de warmtepomp. De condensor kan hierbij gebruikt worden als warmtebron voor de ontdooingscyclus. In de installaties met een enkele verdamper en in de omkeerbare installaties (vb. omkeerbare klimaatregelingen warm/koud) gebruikt men een vierwegklep voor cyclusinversie.

De verdamper wordt dan condensor gedurende de ontdooiing. De warmte veroorzaakt door de condensatie zorgt voor een snelle en voordelige ontdooiing.

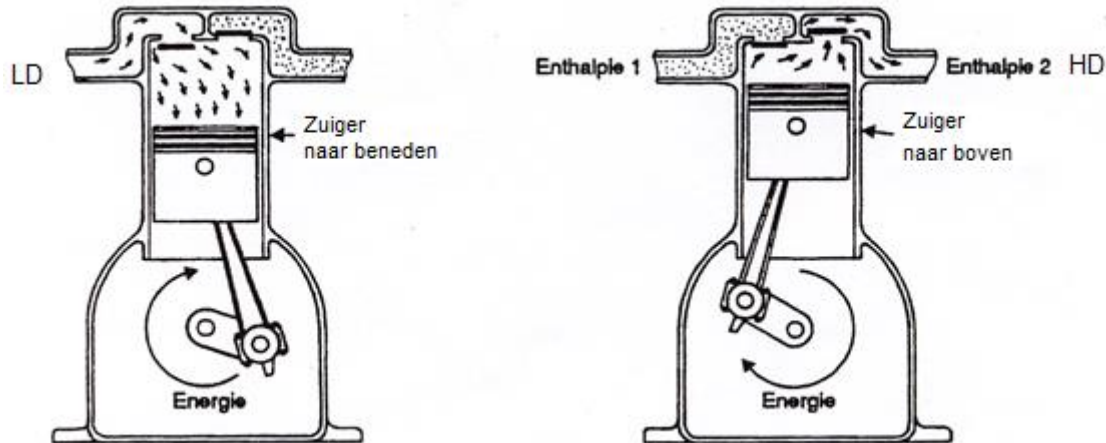


Figuur 2.19 Bron Kotza

Tijdens de koelcyclus wordt de spoel van de vierwegklep niet gevoed.  
Tijdens de ontdooingscyclus wordt de buitenunit verdamper.

## 2.6.2.COMPRESSOR

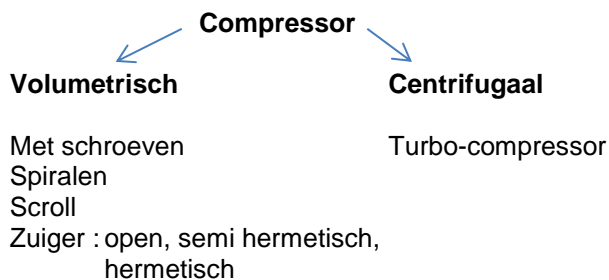
De compressor moet de dampen aanzuigen die geproduceerd worden door het verdampen van het koelmiddel in de verdamper bij een lage druk die overeenkomt met de werkingsvoorwaarden, en bij hoge druk de in de condensor gecomprimeerde dampen wegpersen, opdat ze zouden condenseren door afkoeling.



Figuur 2:20

Ze kunnen ingedeeld worden in **twee grote groepen**:

- **Volumetrische** compressor die de druk vergroot door vermindering van een gasvolume
- **Centrifugaalcompressor** waarin compressie verkregen wordt met behulp van de middelpuntvliedende kracht geleverd aan het fluïdum door een vleugelwiel

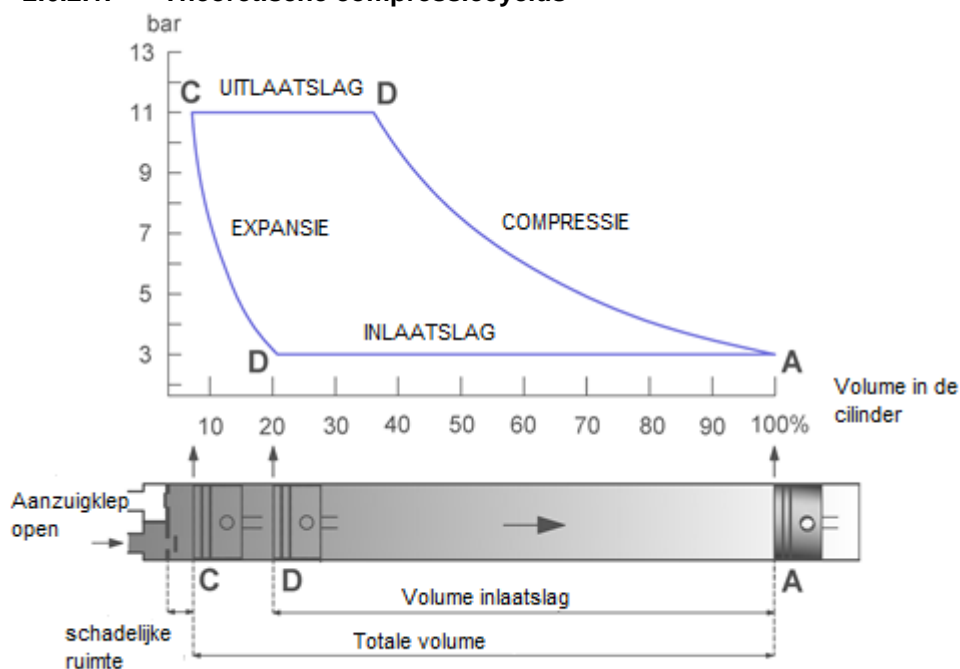


Figuur 2:21

**Bij de volumetrische compressoren** onderscheiden we:

- Afwisselende mechanische beweging: type met zuigers
- Draaiende mechanische beweging: type met schotten, spiralen, scroll, met schroeven

### 2.6.2.1. Theoretische compressiecyclus



Figuur 2.22

De zuiger bevindt zich bij het onderste dode punt ODP. Het volledige volume wordt gevuld met damp met een druk van 3 bar. (2 bar op de manometer). De zuiger stijgt. De compressiefase vangt aan (segment A-B): de daling van het volume ingenomen door de damp leidt tot een stijging van de druk.

Vanaf B is de druk in de cilinder aanzienlijk hoger dan de druk in de perskamer. De klep HD gaat open.

De zuiger gaat verder naar punt C en duwt de gecomprimeerde dampen uit de cilinder: dat is de perszijde.

Wanneer de zuiger het bovenste dode punt BDP (punt C) bereikt, blijft een beetje damp gecomprimeerd bij 11 bar achter in een restruimte. Deze ruimte wordt schadelijke ruimte genoemd, maar is noodzakelijk om te verhinderen dat de zuiger tegen de bovenkant van de cilinder botst. Dit zou zeer grote mechanische schade veroorzaken.

De zuiger daalt terug naar het onderste dode punt ODP.

De druk van de damp in de schadelijke ruimte vermindert naarmate het beschikbare volume toeneemt. Wanneer de zuiger op punt D is, is de druk in de cilinder identiek aan de druk in de aanzuigkamer. De slag tussen C en D diende enkel om de damp in de schadelijke ruimte aan het einde van de compressie te ontspannen.

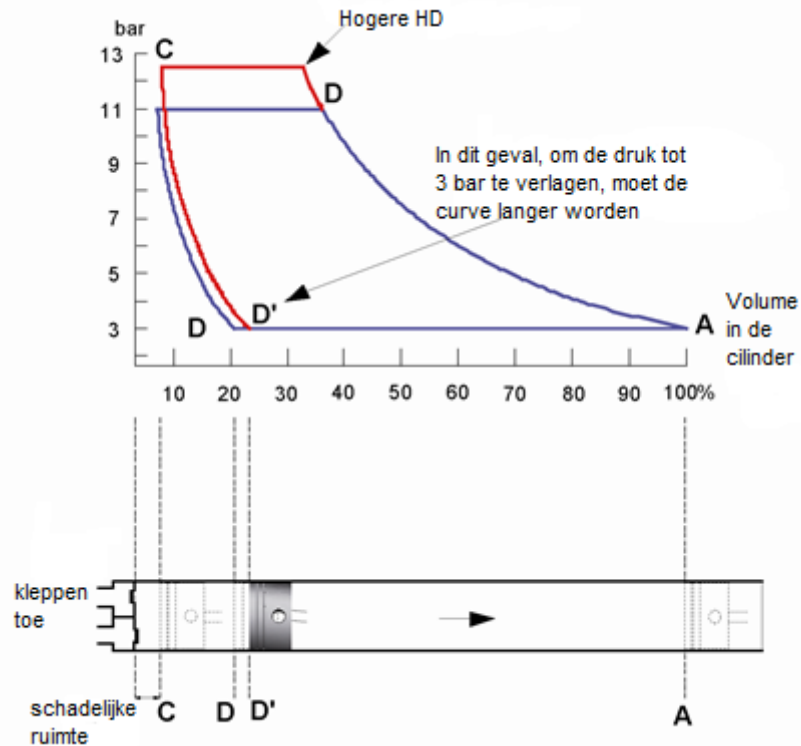
De zuiger daalt verder. Vanaf punt D volstaat de druk in de cilinder niet meer om de aanzuigklep gesloten te houden. De klep gaat open door het duwen van de dampen in de aanzuigkamer: dat is de aanzuiging.

De afstand DA stemt overeen met de reële aanzuigslag. Dit wil zeggen dat, bij elke omwenteling van de krukas, de compressor een reëel dampvolume gaat aanzuigen dat overeenstemt met het volume tussen D en A.

Dientengevolge zijn de volgende transformaties uitgevoerd:

- Van D tot A, toename van het volume bij constante druk,
- Van A tot B, toename van de druk door vermindering van het volume,
- Van B tot C, afname van het volume bij constante druk,
- Van C tot D, afname van de druk bij constant volume.

We merken op dat, indien de HD stijgt, het koelvermogen daalt. Het aangezogen volume D'A is kleiner en de cilinder zuigt minder damp aan dan in het vorige geval.

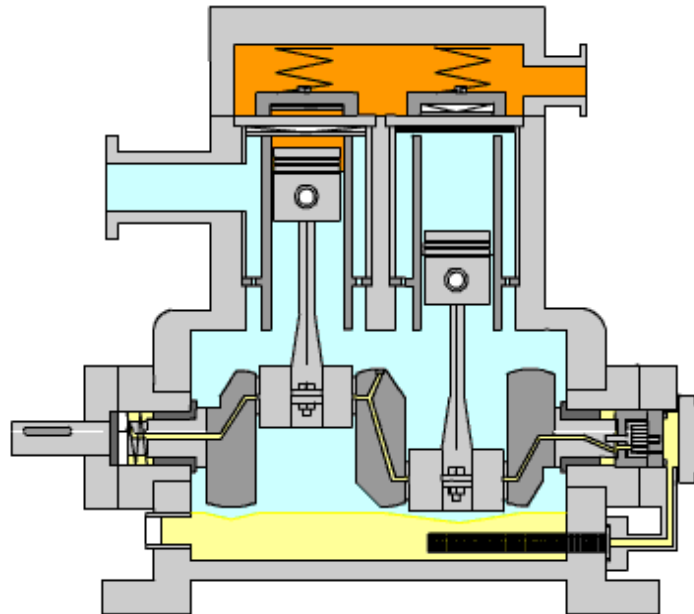


Figuur 2:23

Hetzelfde probleem stelt zich wanneer de LD daalt: de slag van de zuiger is groter, het slagvolume van de zuiger is kleiner en het fluïdummassadebiet daalt.



### 2.6.2.2. Zuigercompressor



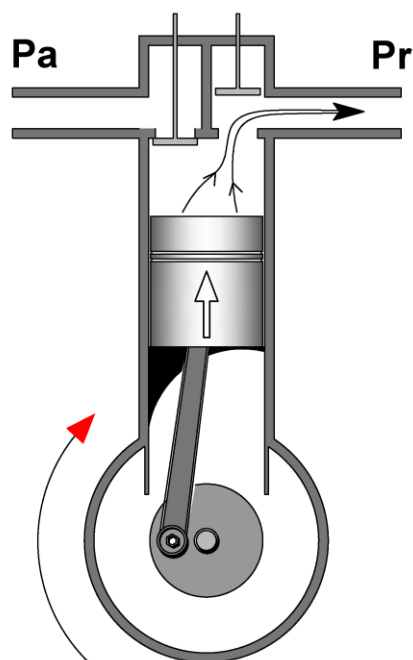
Figuur 2:24

Wanneer de zuiger aan het einde van zijn aanzuigslag is (onderste dode punt ODP), is de cilinder helemaal gevuld met dampen aan de aanzuigdruk.

De zuiger start zijn compressieslag, de aanzuig- en perskleppen zijn gesloten.

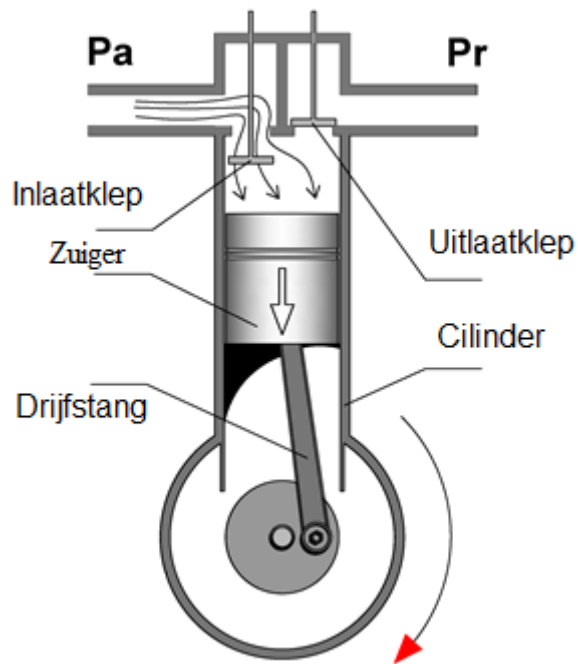
Het gasvolume daalt naarmate de zuiger in de cilinder stijgt en de druk ervan stijgt permanent.

Wanneer de druk het niveau bereikt waarop de druk in de cilinder ietwat hoger is dan de persdruk (overdruk noodzakelijk om de inertie van de klep te overwinnen), gaat de persklep open en de gecompriëerde dampen ontsnappen.



Figuur 2:25

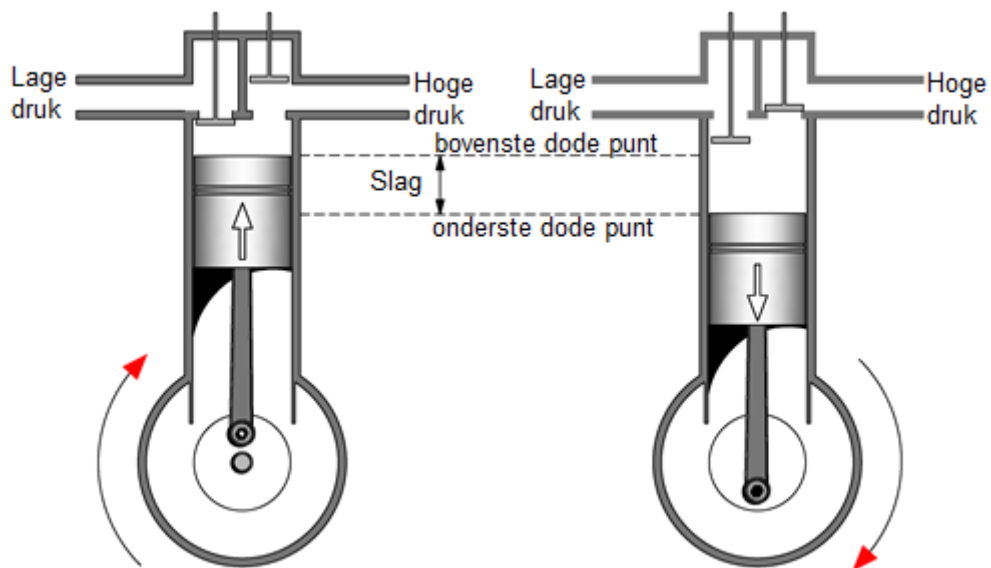
De dampen ontsnappen tot de zuiger het bovenste dode punt BDP bereikt heeft. Op dit ogenblik blijft onder de bovenkant van de zuiger en de onderkant van de cilinder een ruimte over die gevuld is met dampen bij druk  $P_r$  en die nooit door de zuiger afgetast wordt. Deze ruimte wordt de dode ruimte genoemd en is een mechanische noodzaak, om te voorkomen dat de zuiger aan het einde van zijn slag tegen de onderkant van de cilinder stoot door de uitzetting van de bewegende onderdelen. De zuiger zet zijn dalende slag in, de persklep valt terug op haar zitting, maar de aanzuigklep blijft gesloten. Ze wordt pas geopend wanneer de druk van de dampen in de ruimte tussen de zuiger en de klepplaat ietwat kleiner is dan de aanzuigdruk  $P_a$ .



Figuur 2:26

De mechanische noodzaak om deze neutrale ruimte te voorzien, veroorzaakt een vertraagde afzuiging, een vertraging veroorzaakt door de ontspanning van het dampvolume in deze ruimte aan het einde van de compressie.

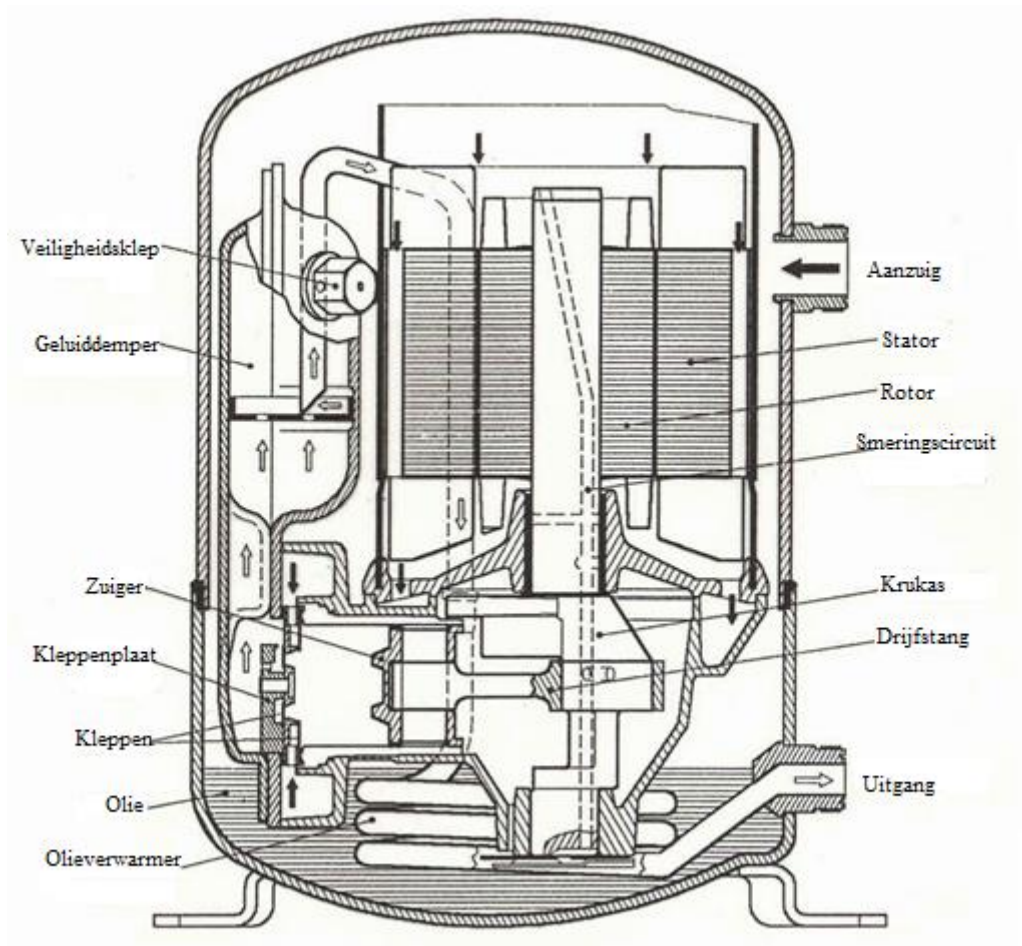
Een andere definitie is de slag van de zuiger: dit is de afstand die de zuiger aflegt tussen het bovenste dode punt en het onderste dode punt.



Figuur 2:27

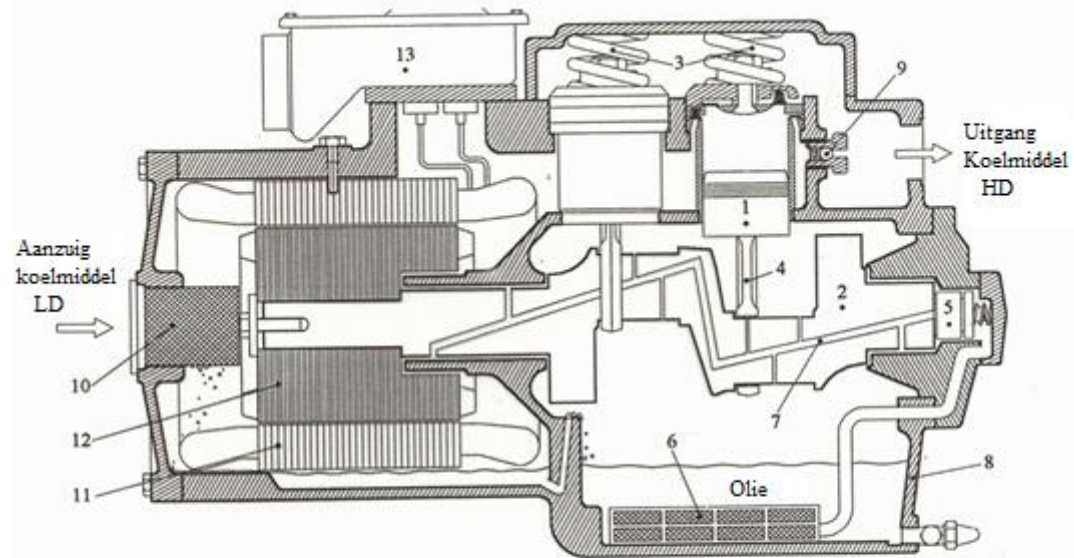
Dit type compressoren vinden we in drie vormen: hermetisch, halfhermetisch en open. Ze worden het vaakst gebruikt voor koeling.

### 1. Hermetische zuigercompressor



Figuur 2:28

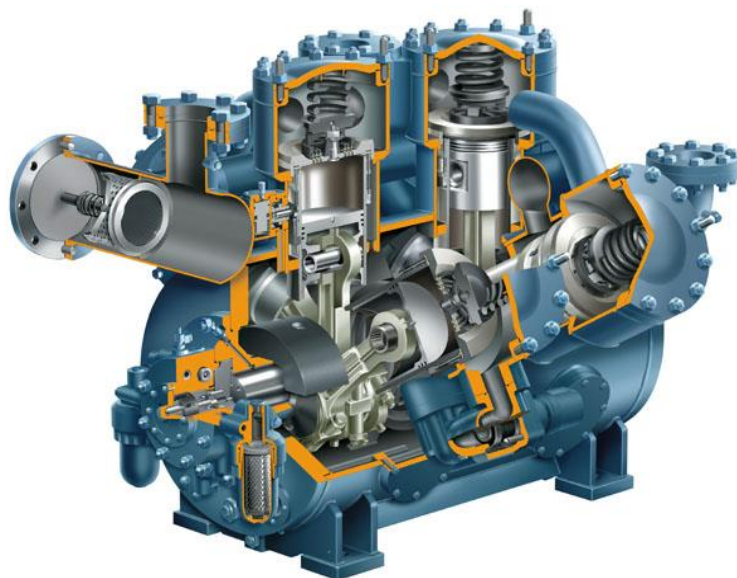
## 2. Halfhermetische zuigercompressor



- |                             |                         |
|-----------------------------|-------------------------|
| 1. Zuiger                   | 8. Carter               |
| 2. Krukas                   | 9. Veiligheidsklep      |
| 3. Veer tegen vloeistofslag | 10. Aanzuigfilter       |
| 4. Drijfstang               | 11. Stator van de motor |
| 5. Oliepomp                 | 12. Rotor van de motor  |
| 6. Oliefilter               | 13. Aansluitingsdoos    |

Figuur 2:29

## 3. Open zuigercompressor



Figuur 2:30

**SAMENVATTING:**

	<b>Voordelen</b>	<b>Nadelen</b>
<b>hermetisch</b>	geen lekken	verontreinigd circuit bij defecte compressor
<b>open</b>	gemakkelijk onderhoud (toegang tot de mechanismen) wijzigingen rotatiesnelheid.	bepaalde afdichting
<b>halfopen</b>	combinatie van de 2 andere types	prijs

<b>Type compressor</b>	<b>Bereik koelvermogen kW</b>	<b>Gebruikte regeling</b>
scroll-compressor	van 3 tot 40 kW	snelheidsregelaar trapsgewijs
zuigercompressor open	van 10 tot 1000 kW	snelheidsregelaar trapsgewijs
halfhermetisch	van 10 tot 100 kW	AON
hermetisch	van enkele kW tot meerdere tientallen	
schroefcompressor	van 20 tot 1200 kW	schuiven (van 100 tot 10 % van het vermogen)
centrifugaalcompressor	van 600 tot 4000 kW	voorrotatievleugel

### 2.6.2.3. Roterende compressoren

Dit zijn volumetrische compressoren van het roterende type.

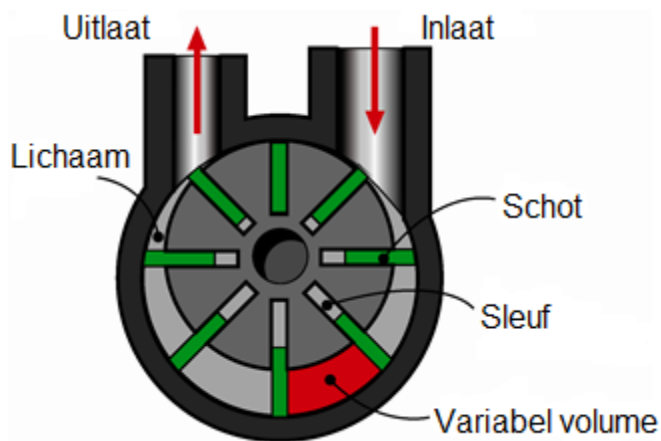
We onderscheiden:

- de roterende schottencompressoren
- de roterende rolzuigercompressoren

#### a. Schottencompressoren

De rotor heeft over zijn hele lengte een bepaald aantal gleuven waarin de schuivende schotten zitten; deze schuiven op een oliefilm wanneer ze van staal zijn (ze kunnen ook gemaakt zijn van koolstof of teflon). De rotor draait in een cilindervormige stator. Tijdens de rotatie haalt de middelpuntvliedende kracht de schotten uit hun gleuven: ze vormen dan individuele compressiecellen. De rotatie vermindert het volume van de cel en doet de druk van het koelmiddel stijgen.

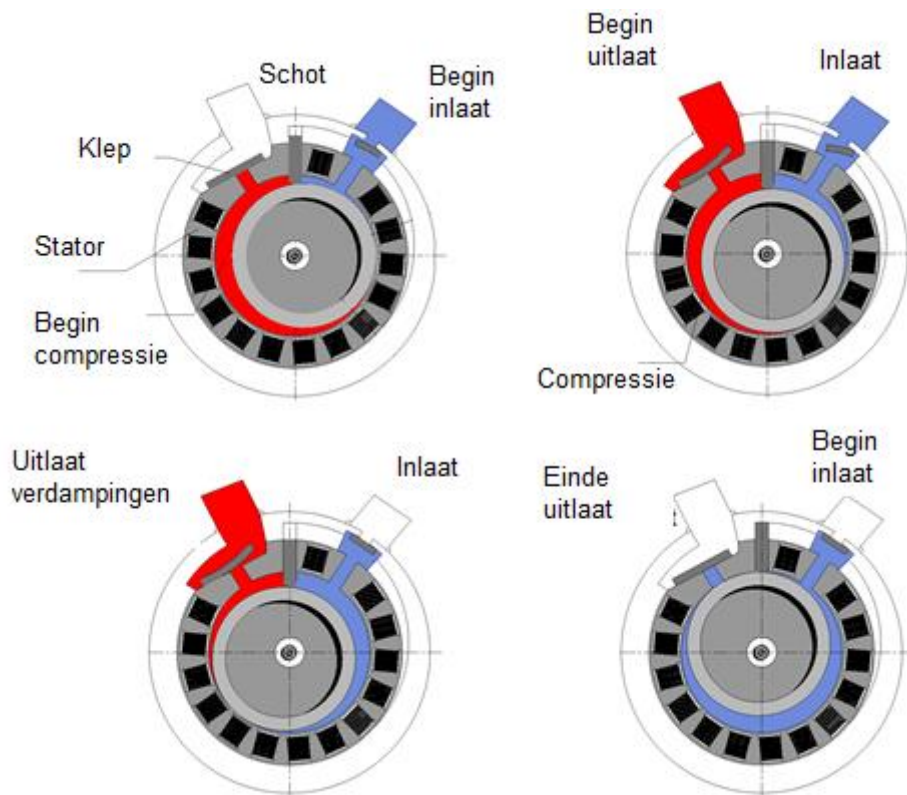
De compressor beschikt doorgaans over een persklep, maar niet over een aanzuigklep. De aanzuig-, compressie- en persfasen gebeuren tegelijkertijd.



Figuur 2:31

## b. Rolzuigercompressoren

Hij bestaat uit een stator waarin een excentrische rotor geplaatst is. Op de stator wordt een schot gemonteerd. De compressie wordt verkregen door beperking van het volume.



Figuur 2:32



Figuur 2:33



### c. Spiraalcompressoren

Ze worden ook spiro-orbitale of "scroll"-compressoren genoemd. Dit zijn volumetrische compressoren van het roterende type.

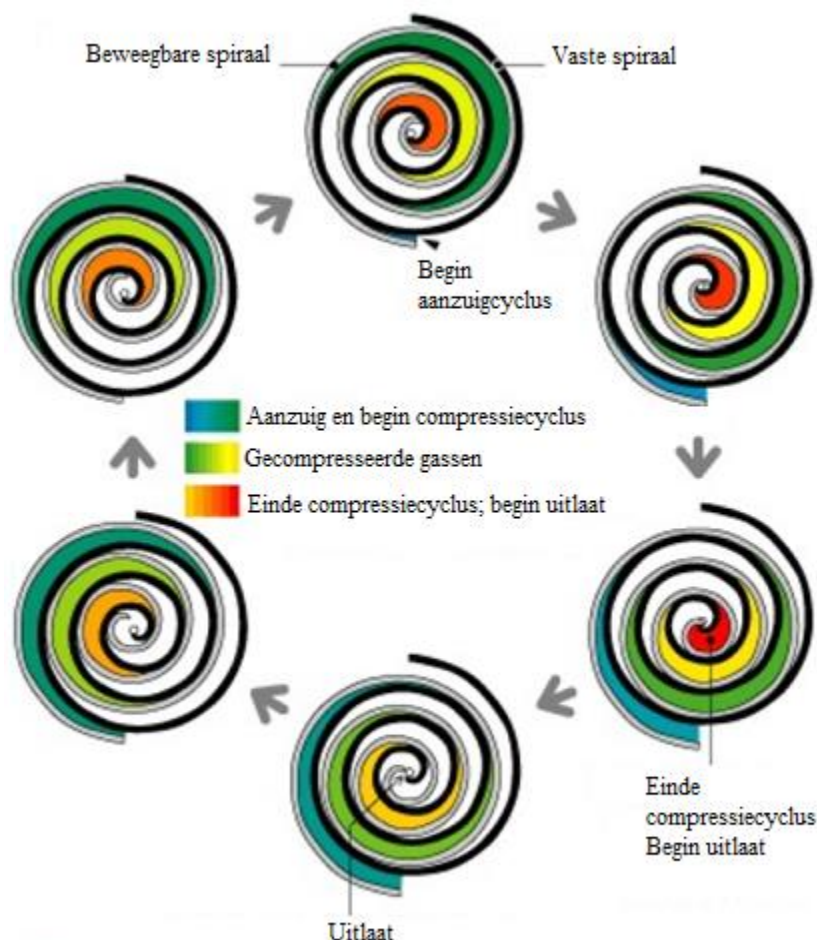
Ze bestaan uit twee archimedesspiralen die in elkaar passen, een vaste spiraal en een mobiele spiraal. De spiralen moeten vervaardigd worden met extreem kleine toleranties. In elkaar geschoven vormen de spiralen meerdere halfvemaanvormige holten van verschillende grootte.

De bovenste spiraal is vast en in het midden doorboord voor de stuwring.

De onderste spiraal is mobiel en wordt aangedreven door de elektrische motor. De bovenste spiraal is vast. De aanzuiging van het fluidum gebeurt in de periferie van de vaste spiraal.

In de holten die geleidelijk aan verkleinen, worden de gassen gecompriemd bij een druk die constant stijgt; de gassen stromen naar het midden van de spiraal. Bij elke omwenteling worden meerdere gasholten gelijktijdig gecompriemd. Op die manier krijgen we een vrijwel continue compressiecyclus die weinig trillingen genereert.

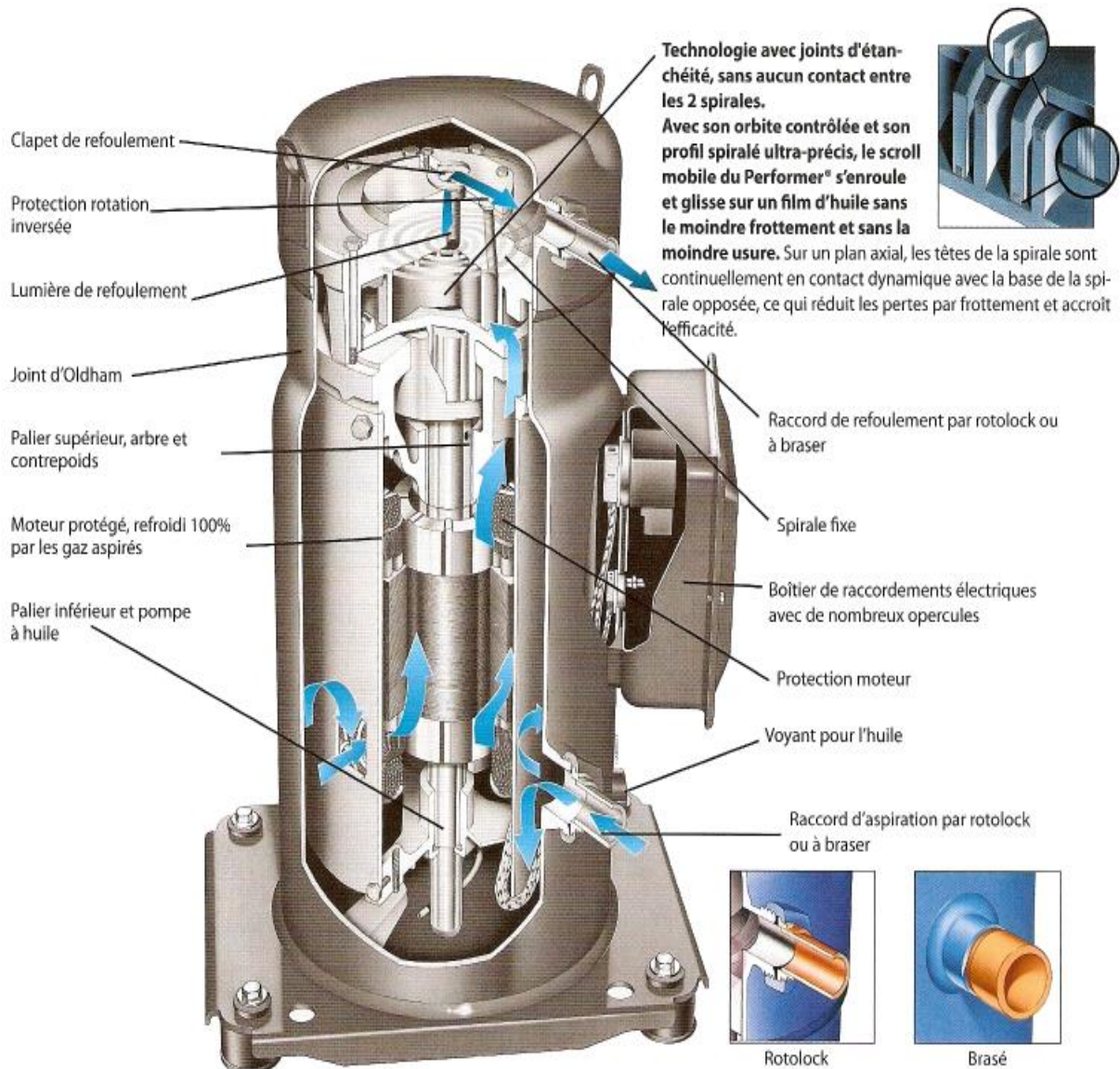
Het volume verkleint tijdens de rotaties en garandeert zo de compressie van het fluidum naar het midden van de vaste spiraal, waar uiteindelijk de stuwring plaatsvindt (3 rotaties zijn noodzakelijk voor de overdracht van het fluidum)



Figuur 2:34



## Scroll-compressor - bron Danfoss



Figuur 2.35

De draaisnelheid van de motor kan oplopen tot 10.000 toeren/min.  
Er zijn geen aanzuigkleppen, maar er is wel een terugslagklep aan de perszijde.

Bij gelijk vermogen maken de scroll-compressoren doorgaans minder lawaai dan de meeste hermetische zuigercompressoren.

Opgelet: De motor kan slechts in een richting draaien.

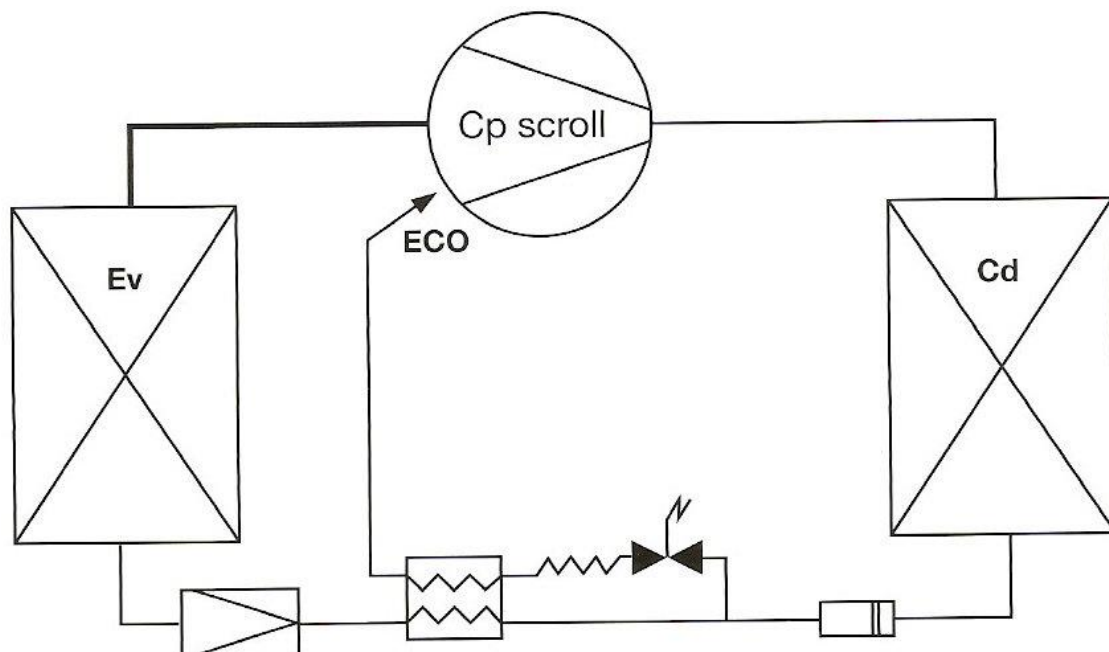
De scroll heeft slechts zeer weinig bewegende onderdelen en geen onderdelen die aan slijtage onderhevig zijn zoals de zuigercompressoren. Het startkoppel is klein, aangezien hij altijd onbelast start, dankzij een terugslagklep in de perskoppeling van de compressor. De klep sluit wanneer de compressor stopt en de samengedrukte gassen van de ruimte onder druk keren terug in het carter via de spiraal. Op die manier garanderen ze een interne nivellering van de druk. Bij het herstarten gaat de terugslagklep pas open wanneer de spiralen een toereikende toename van de druk gegenereerd hebben.

Bijgevolg hoeft de compressor niet te starten door tegen de condensatiedruk in te werken en de motor hoeft slechts weinig koppel te leveren. Hij wordt minder belast bij het starten en heeft een langere levensduur.

Dit type compressor heeft een zeer hoog volumetrisch rendement, ongeacht het compressieniveau. Hij heeft een interne beveiliging tegen hoge compressieniveaus en een interne beveiliging die de motor thermisch beschermt.

De scroll-compressor verdraagt kortstondige vloeistofslagen (na ontdooiing), waardoor hij geen vloeistofafscheider nodig heeft.

De scroll-compressoren van het merk COPELAND beschikken over een bijkomende koppeling met spaarfunctie die bij lage temperaturen gebruikt wordt voor de afkoeling van de compressor.



Figuur 2:36

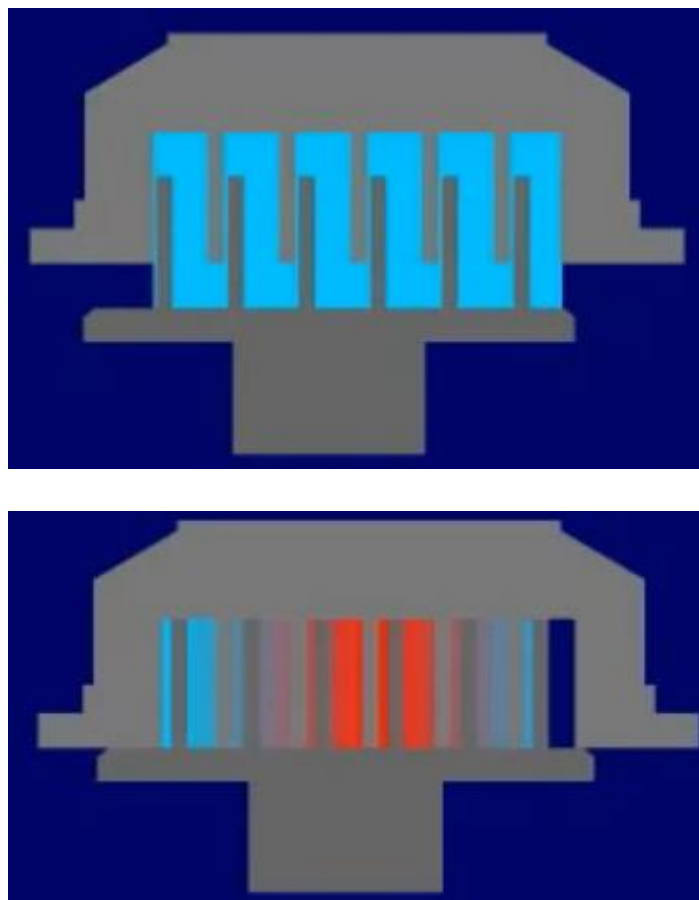
De afkoeling wordt verkregen door injectie van koelmiddel tussen de spiralen, met behulp van een injectieklep die gecontroleerd wordt door de perstemperatuur. Deze aanvullende afkoeling kan

gecombineerd worden met een nakoeling van de vloeistof dankzij een plaatwisselaar die gevoed wordt door een capillaire reduceerklep. De ECO-functie verbetert het rendement van de installatie.

De Digital Scroll-compressor is een eenvoudige en doeltreffende oplossing om het vermogen van een compressor te regelen.

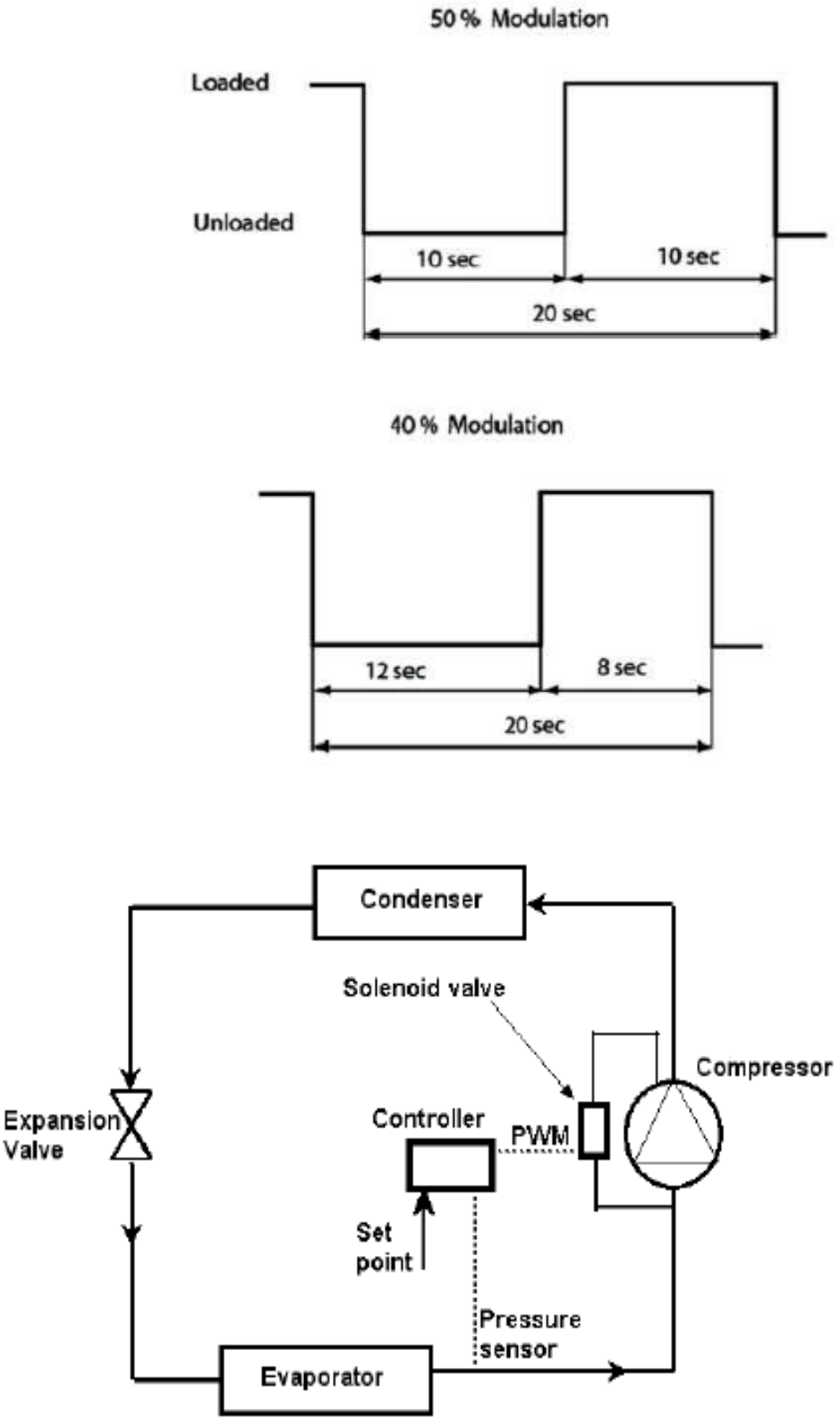
Voor een continue wijziging van de koelcapaciteit verhoogt het systeem de vaste spiraal als reactie op de daling van de vraag. Dit is mogelijk dankzij een solenoïdeklep die de HD en de LD met elkaar in verbinding stelt. Bij werking met volle belasting blijft de klep gesloten en functioneert de compressor normaal.

Wanneer de warmtebelasting daalt, gaat de klep langzaam open en gebruikt ze de persdruk om de vaste spiraal op te tillen.



Figuur 2:37

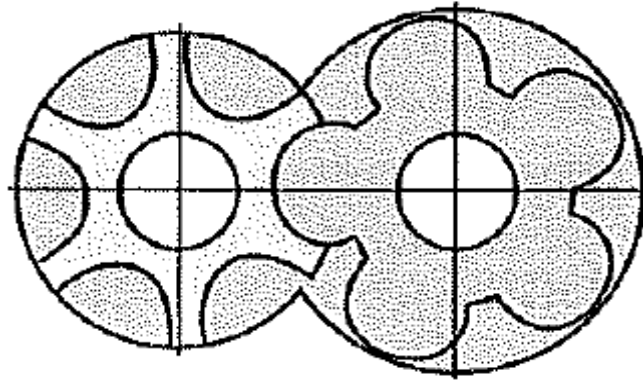
De klep wordt geregeld door impulsen:



Figuur 2:38

#### d. Schroefcompressoren

Het compressieprincipe wordt verwezenlijkt door 2 schroeven die met de grootste nauwkeurigheid bewerkt zijn. De mannelijke rotor telt 5 lobben en de vrouwelijke rotor zes groeven. De radiale en axiale plaatsing van deze rotors wordt aan de uiteinden gegarandeerd door lagerblokken. Het compressieproces gebeurt in een continue stroom.



Figuur 2:39

Ze zijn van het type met roterende zuiger: het zuigereffect wordt verkregen door het ineengrijpen van twee rotors in een carter. Door hun helicoïdale vorm worden ze schroefcompressoren genoemd. De rotatie van de twee rotors sluit in het carter een volume gas op dat op continue wijze en zonder stoten van de ene kant van de schroeven naar de andere vervoerd wordt. De compressie wordt verkregen zonder afsluitvoorziening. De afgesloten ruimte waarin het fluïdum stroomt, wordt tandkuil genoemd. Om de terugloop van het fluïdum bij het stoppen te voorkomen, worden de schroefcompressoren uitgerust met terugslagkleppen. De aandrijving gebeurt door een driefasige asynchrone motor die in het carter ingebouwd is. De motor wordt afgekoeld door de aangezogen koude gassen die door boorgaten in de rotor van de motor stromen. Er zijn geen kleppen, geen dode ruimte en weinig bewegende delen.

Het gamma schroefcompressoren gaat van 75 tot 1000 m<sup>3</sup>/h.





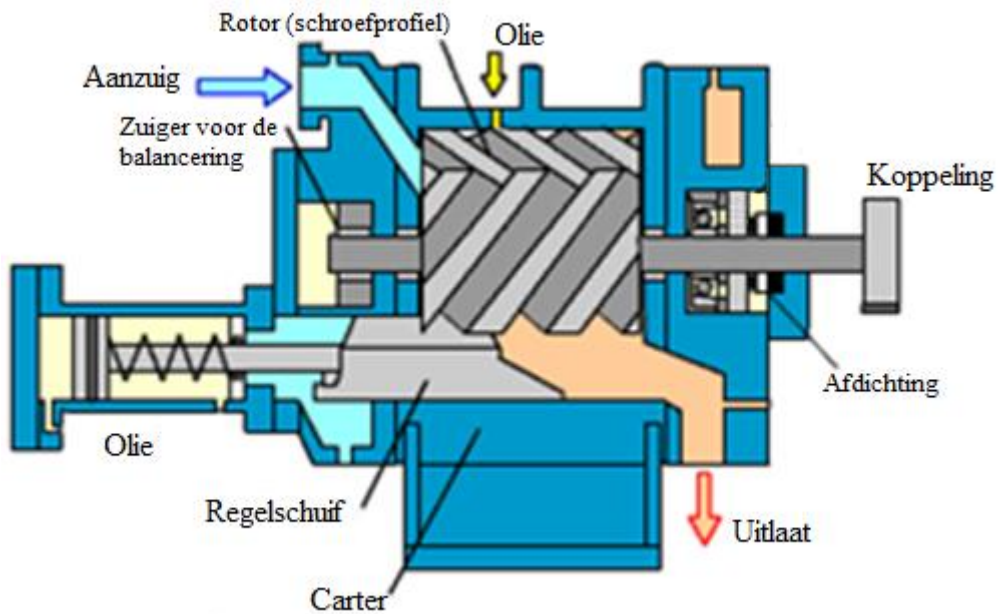
Figuur 2:40

Dankzij de asymmetrische profielen kan men de lekruimte tussen het carter en de rotors beperken; dit biedt:

- een beter volumetrisch rendement
- een groter beschikbaar volume voor de aanzuiging
- een kleiner contactoppervlak tussen de rotors

De smering is van groot belang voor de goede werking van een schroefcompressor. Ze zorgt immers mee voor de smering van de bewegende delen, de afdichting van de tandkuil en de afkoeling van de gassen. De hoeveelheid geïnjecteerde olie is veel groter dan noodzakelijk voor een gewone smering. De rotatiebeweging ontwikkelt een grote wrijving tussen de lob van de mannelijke rotor en de groef van de vrouwelijke rotor. De viscositeit moet absoluut boven een bepaalde grenswaarde liggen. In het andere geval zou de olie te vloeibaar zijn en zou er geen voldoende dikke film gelegd worden.

De circulerende olie moet afgekoeld worden in een oliekoeler en in bepaalde omstandigheden kan men een directe injectie van koelmiddel overwegen.



Figuur 2:41

De werkingscyclus is als volgt: aanzuiging, compressie en stuwning.

Aanzuiging:



Figuur 2.42

Het gas wordt aangezogen door de ruimten tussen de lobben. Nadat de ruimten gevuld zijn, wordt de toevoer gesloten; de toevoerfase eindigt met een hoeveelheid gas die opgesloten is in de compressor.

Compressie:



Figuur 2:43

De rotatie gaat verder, de ruimten tussen de lobben worden kleiner en het opgesloten gasvolume vermindert. Hierdoor vergroot de druk.



## Stuwing:



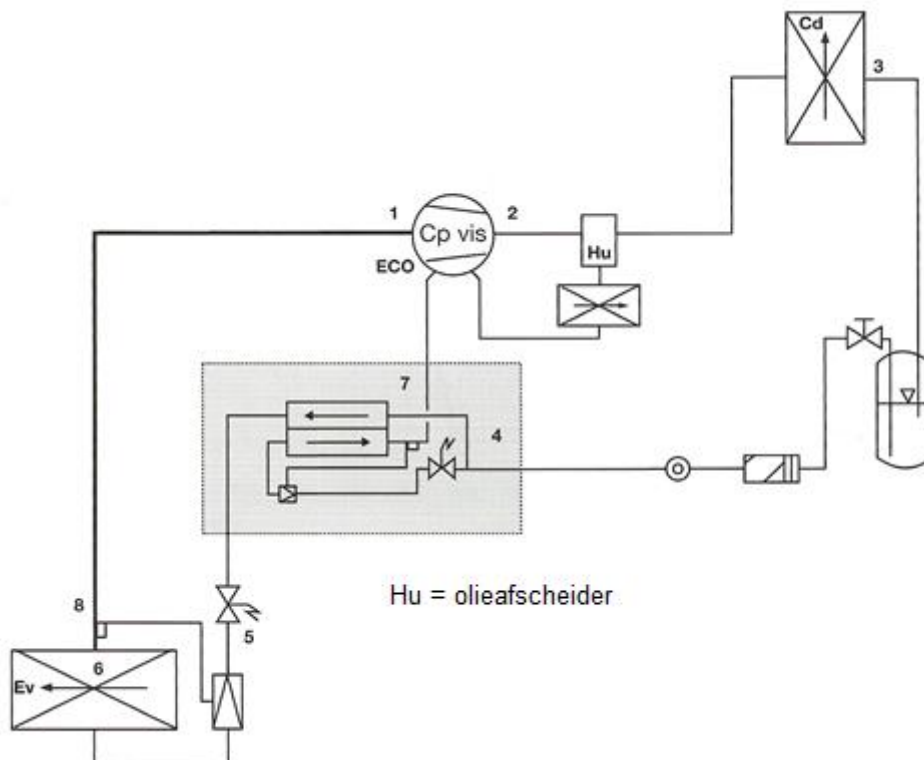
Figuur 2:44

Op een bepaalde positie van de rotors bereikt het gecompriëerde gas de uitlaatopening en de persfase begint. Ze gaat verder tot de gassen volledig afgevoerd zijn.

De schroefcompressoren zijn uitgerust met een bijkomende aanzuigkoppeling voor de werking met spaarfunctie. Deze spaarfunctie wordt gebruikt in de installaties met lage temperatuur, om

- de COP en het beschikbare koelvermogen te bevorderen
- bij te dragen tot de afkoeling van de compressor en een zwakkere oliekoeler te kunnen gebruiken

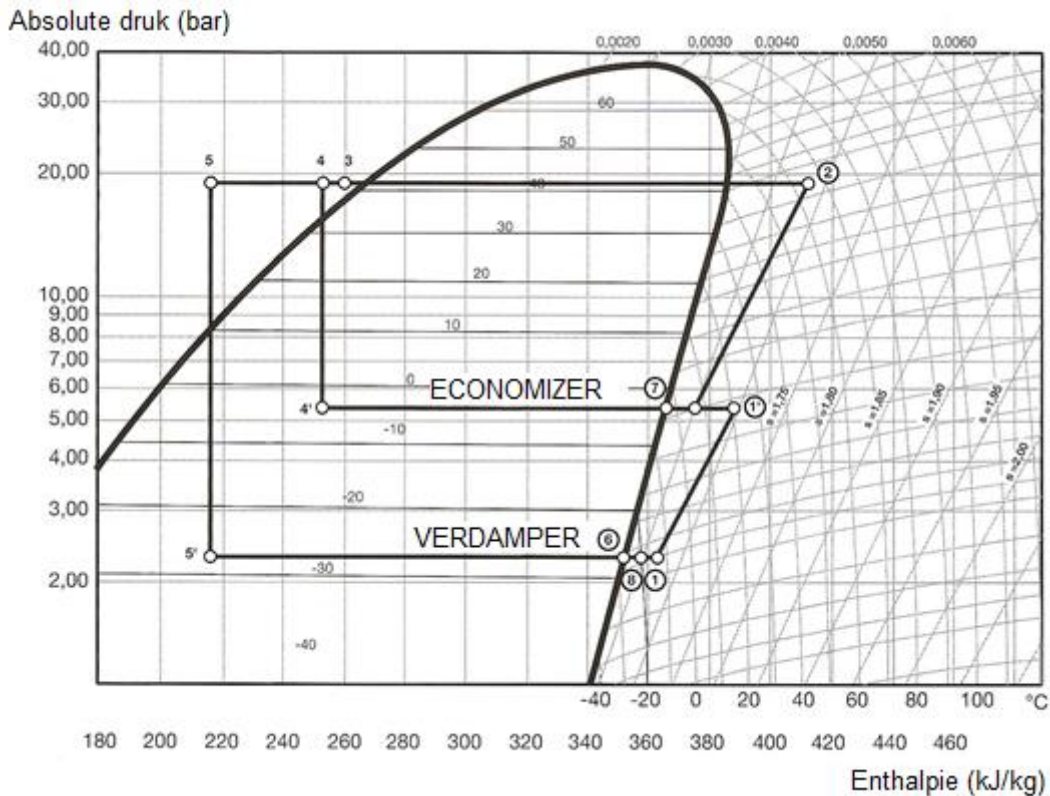
Dankzij een overtoevoeropening op een bepaalde plaats in de compressiezone is een tussentijdse injectie mogelijk en kan men een bijkomende hoeveelheid gas verwerken. Het debiet opgestuwde massa neemt toe, evenals het koelvermogen.



Figuur 2:45

De vloeistofleiding 4-5 wordt nagekoeld door de plaatwisselaar. Het fluidum dat door de wisselaar stroomt, keert terug naar de compressor bij gemiddelde druk  $p_7$  door de ECO-koppeling ( $p_1 < p_7 < p_2$ ). De leiding 4-5 en de plaatwisselaar moeten geïsoleerd worden.

De verkregen nakoeling doet de enthalpie  $h_5$  van de vloeistof die de verdamper binnenkomt, dalen. Hierdoor kan hij gevoed worden met een kleiner massadebiet en kan men opteren voor buizen met een kleinere doorsnede.



Figuur 2:46

- **Voordelen**

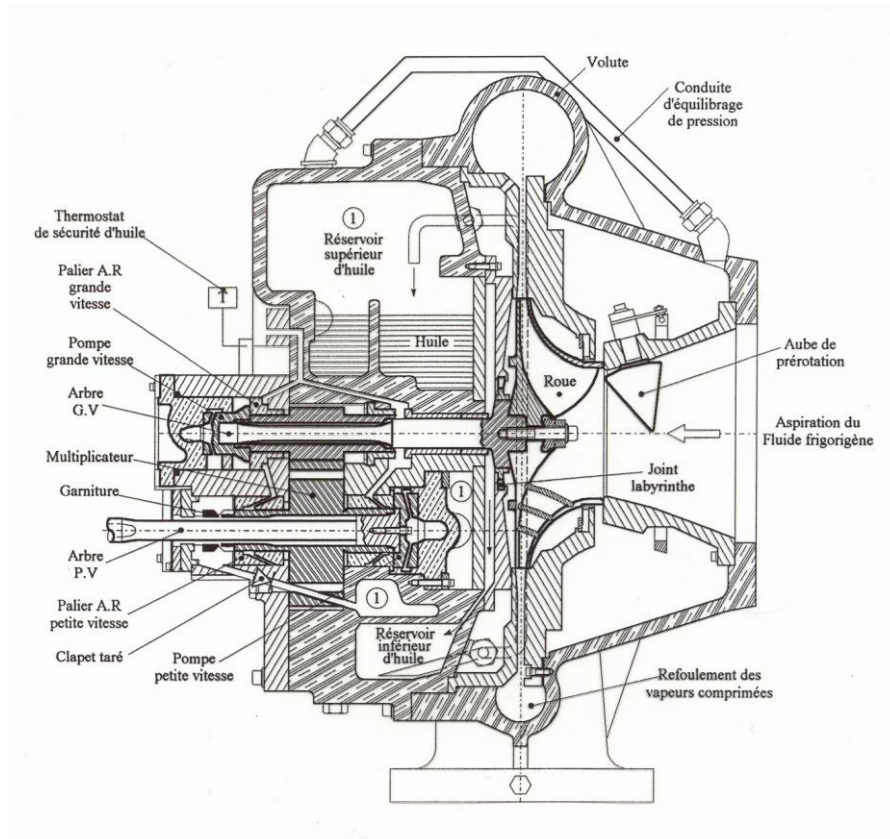
- Langere bedrijfsperiode voor onderhoud
- Weinig trillingen
- Groot compressieniveau
- Weinig bewegende delen
- Groter volumetrisch rendement dan met de zuigers
- Verdraagt vloeistofslag

- **Nadelen**

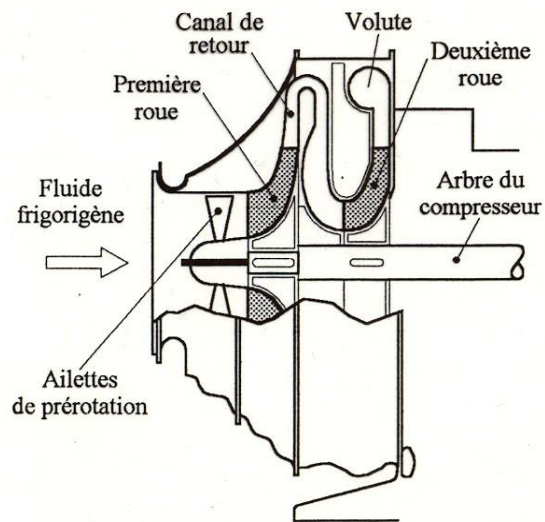
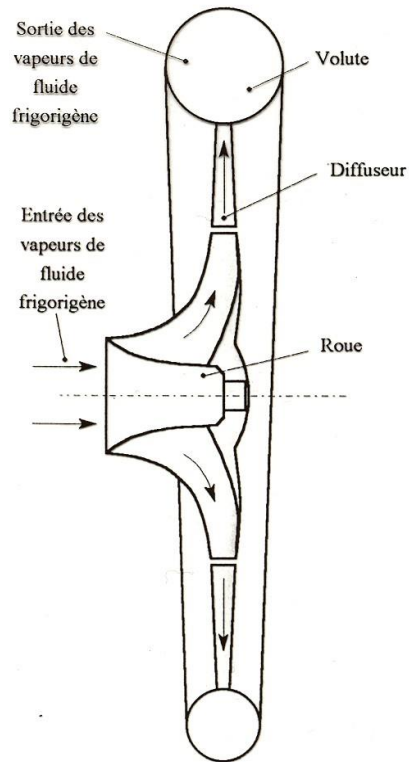
- Hoge kostprijs gelet op de hulptoestellen voor afkoeling en smering
- Hoog geluidsniveau
- Onderhoud door gespecialiseerd personeel
- Smering zeer belangrijk

#### 2.6.2.4. Centrifugaalcompressoren

- De centrifugaalcompressoren maken deel uit van de turbo-machines.
- De aangezogen koelmiddeldampen worden in beweging gezet door een of meerdere vleugelwielen.
- De kinetische energie die resulteert uit de middelpuntvliedende kracht wordt omgezet in statische druk in een buis met variabele doorsnede, slakkenhuis genoemd.
- De drukstijging die gegenereerd wordt door een centrifugaalcompressor met een wiel is klein. Daarom vindt men doorgaans een meertrapscompressie. De verkregen drukwaarden hangen af van de omloopsnelheden van de wielen en zijn gekoppeld aan:
  - de rotatiesnelheid (tussen 3.000 en 30.000 toeren/min.)
  - de diameter van de vleugelwielen (tussen 0,30 m en 2 m)
  - het aantal wielen
  - de dichtheid van het fluïdum



Figuur 2:47



Figuur 2:48

- De vermogensvariatie wordt hoofdzakelijk verkregen door draaiende ribben die in de aanzuigslang geplaatst zijn (voorrotatievleugels)
- Deze ribben worden hydraulisch, pneumatisch of elektrisch gestuurd.
- Het debiet van gecomprimeerde dampen kan zeer groot zijn (50.000 m<sup>3</sup>/h)

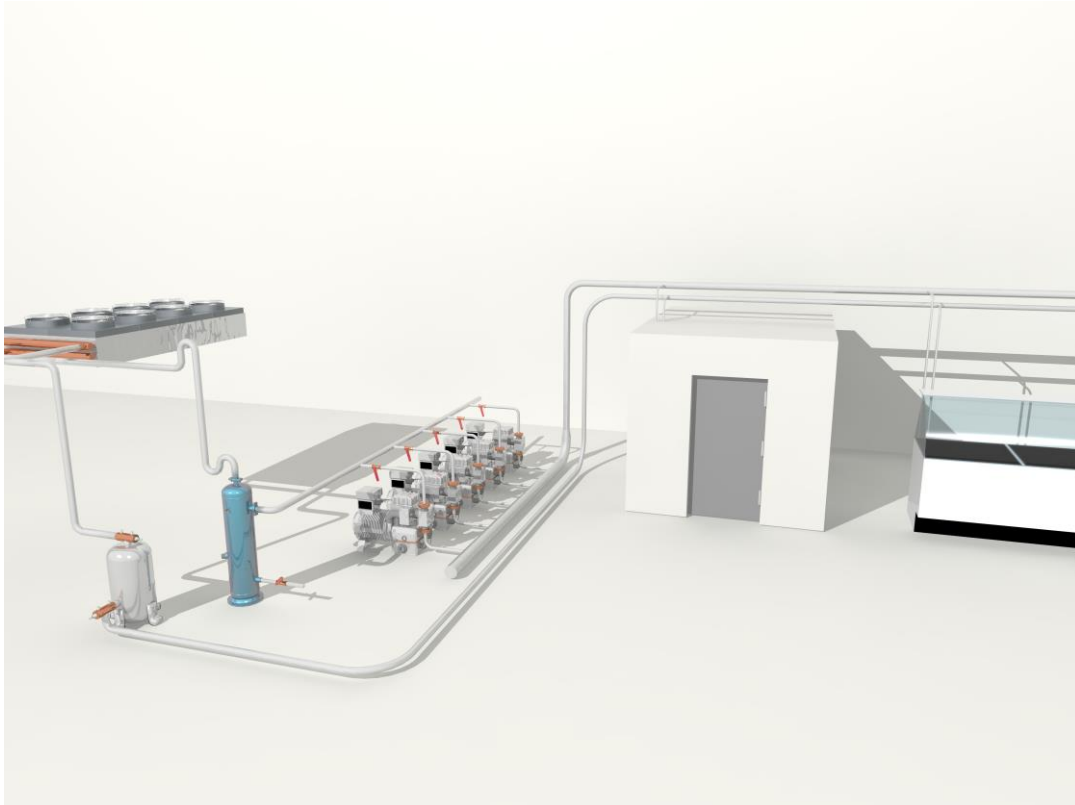
### 2.6.2.5. Parallele montage van de compressoren

Wanneer de koelinstallatie verschillende koudeposten omvat, kan het interessant zijn om de condensatiegroep te centraliseren, om de globale prestatiecoëfficiënt van de installatie te verbeteren, de benodigde ruimte en de investeringskost te beperken. Voor dit type installatie worden meerdere compressoren in een machinezaal gegroepeerd en aangesloten op een gemeenschappelijke aanzuigcollector en een gemeenschappelijke perscollector. Dit is het concept van gecentraliseerde koudeproductie.



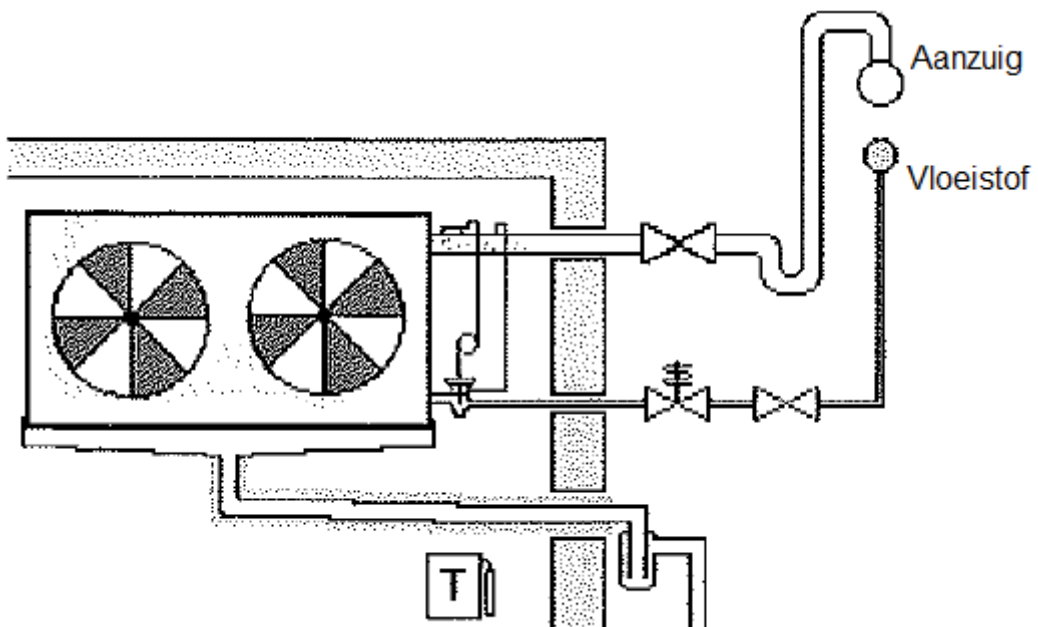
Figuur 2:49

De uitgang van de verdamper wordt aangesloten op een gemeenschappelijke aanzuigslang die uitkomt in de aanzuigcollector van de koelcentrale.



Figuur 2:50

Elke koudepost is autonoom, alsof hij uitgerust is met zijn eigen koelgroep. De omgevingsthermostaat stuurt de opening of de sluiting van de vloeistoftoevoerlelep.

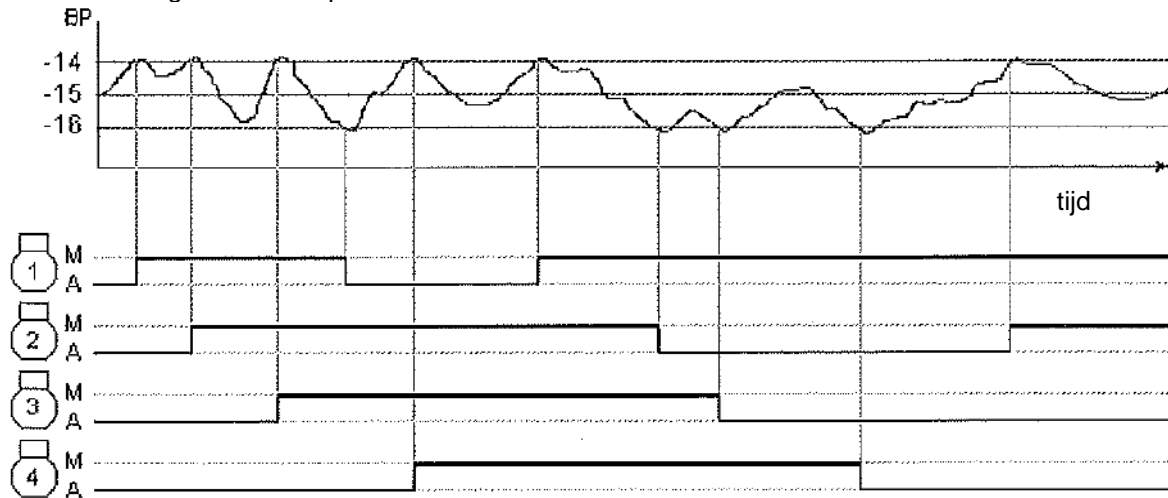


Figuur 2:51



De vloeistoftoevoer naar de verdamper geeft aanleiding tot de productie van damp die zich opstapelt in de aanzuigslang en de LD doet stijgen.

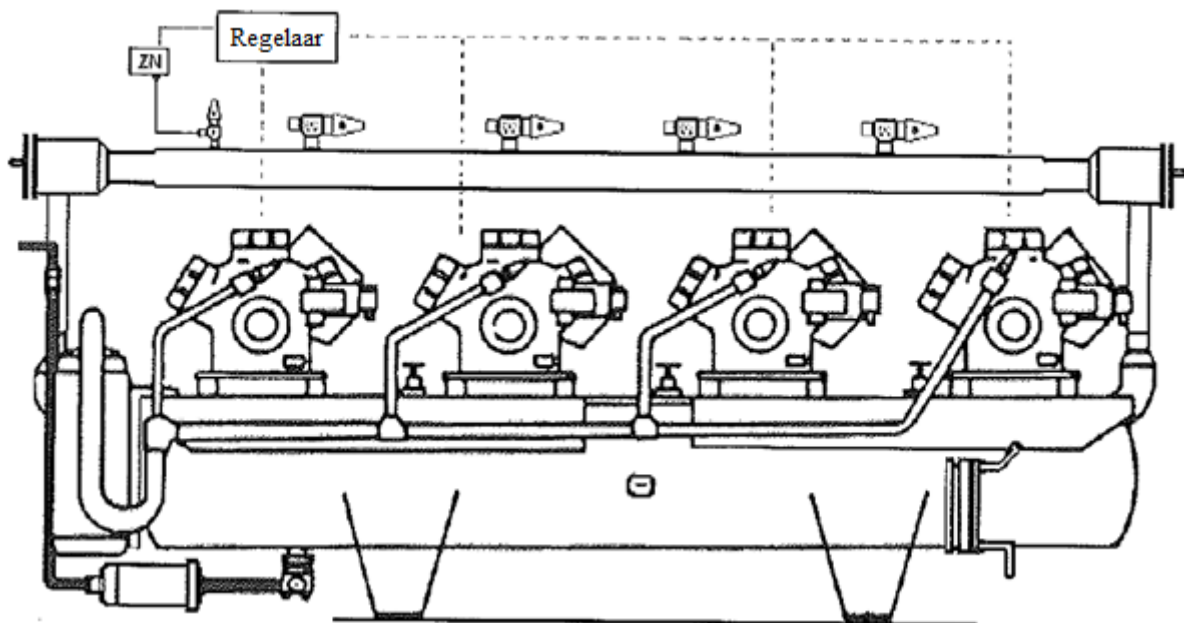
Deze drukstijging wordt opgevangen door het besturingssysteem van de compressoren en zorgt voor de inschakeling van de compressoren in cascade.



Figuur 2:52

Als er te veel compressoren in werking zijn ten opzichte van het aantal verdamper in werking, wordt de massa aangezogen dampen groter dan de massa dampen geproduceerd door de verdamper. De LD daalt.

De detectie van de daling van de LD leidt tot de uitschakeling van een compressor, wat het aangezogen debiet doet dalen en de LD zal doen stabiliseren.



Figuur 2:53

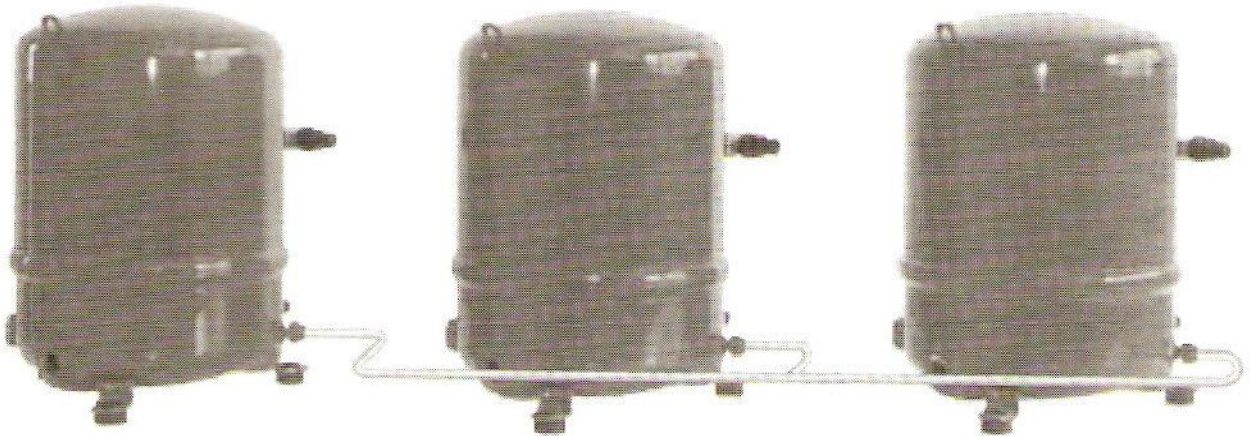
De automaat zal de compressoren dus inschakelen of stopzetten volgens het aantal verdamper in werking, d.w.z. volgens de vraag naar koude.

Het belang van deze montage:

- de mogelijkheid om het gecombineerde slagvolume aan te passen aan de warmtebelasting, om een lage druk met weinig schommelingen te handhaven
- een energiebesparing door uitschakeling van de compressoren
- een beperkte intensiteitspiek bij het starten van de compressoren in cascade

de handhaving van een correct oliepeil in elke compressor

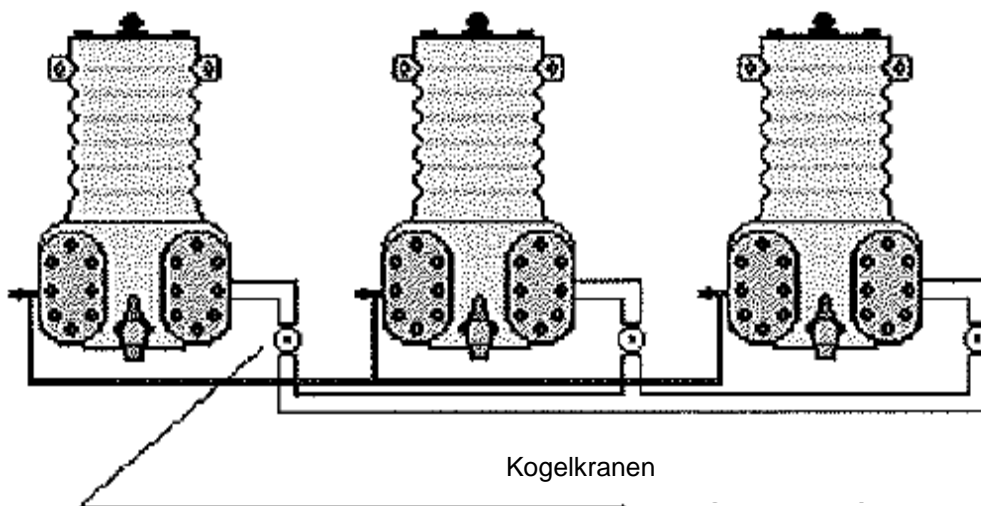
- **door nivellering van de olie van de carters.**



Figuur 2:54

Als een compressor meer olie krijgt dan de andere, blijft dit zonder gevolgen; de olie wordt immers verdeeld over alle compressoren.

De voorziening voor de nivellering van de olie wordt uitgebreid met een dun buisje dat de carters bovenaan verbindt. Als de druk in alle carters dezelfde is, is het oliepeil dat ook, zelfs als het nivelleringsbuisje met olie gevuld is.

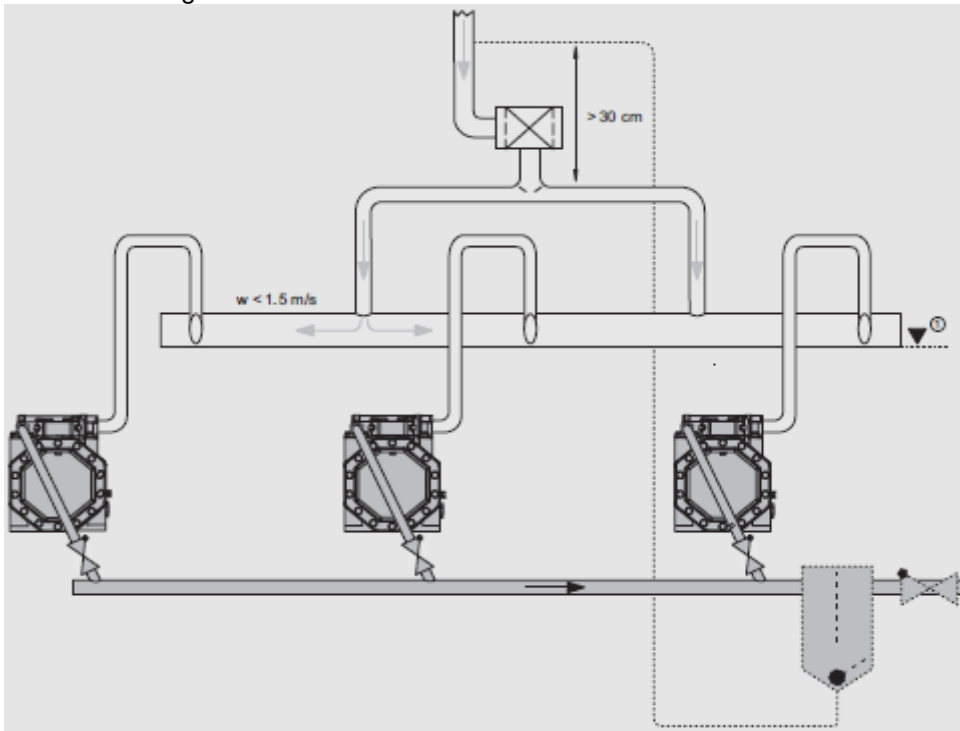


Figuur 2:55

Het nivelleringsbuisje is ontworpen om geen laag punt te veroorzaken. Er zijn afsluitkleppen voorzien om de continuïteit te garanderen tijdens een interventie aan een compressor.

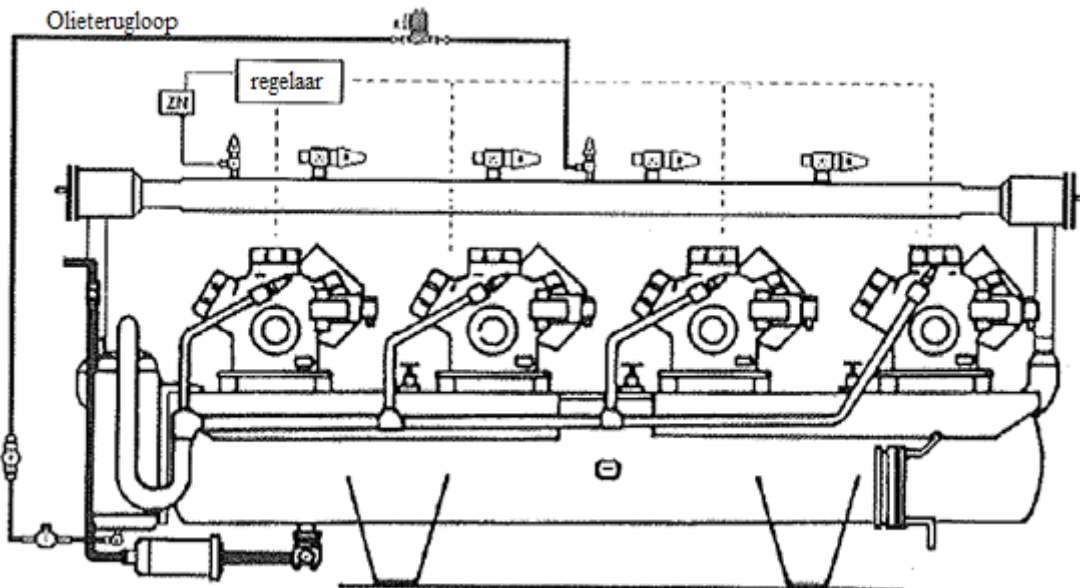


Er kan een gemeenschappelijke oliescheider gebruikt worden. In dat geval wordt de olie teruggevoerd naar de aanzuigcollector.

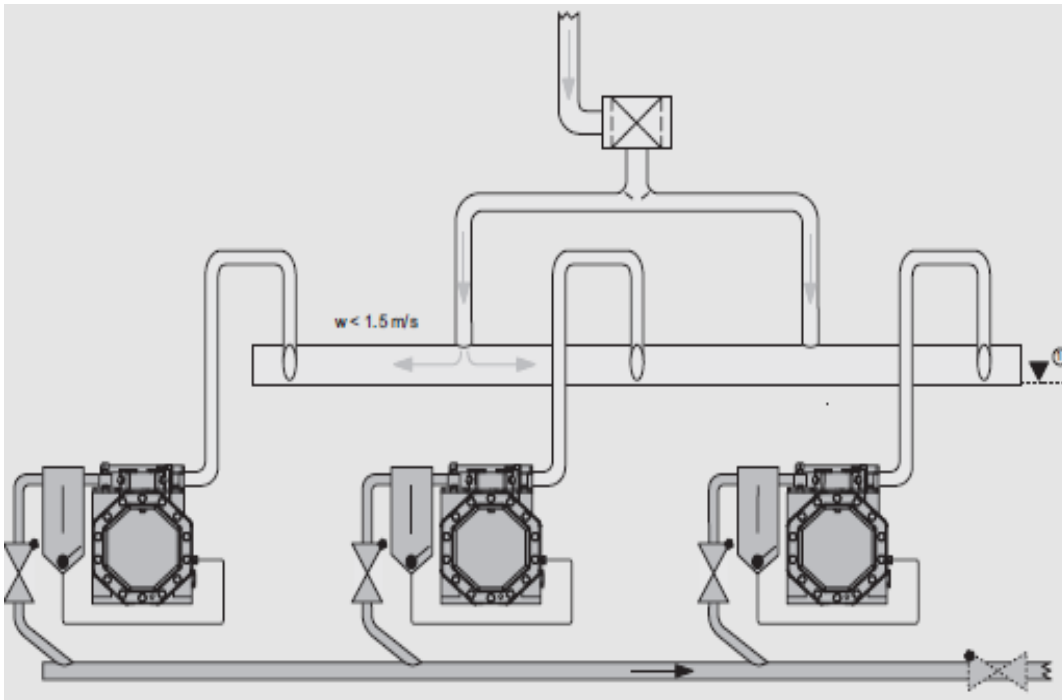


Figuur 2:56

De olieterugloop naar de aanzuiging van de compressoren gebeurt via een elektromagnetische klep die opengaat als een van de compressoren in werking is en als de achtergrondtemperatuur van de scheider hoger is dan  $35 \text{ }^\circ\text{C}$ . Het aanvoeren van fluïdum dat toevallig gecondenseerd is in de scheider tijdens de stilstanden, moet vermeden worden.



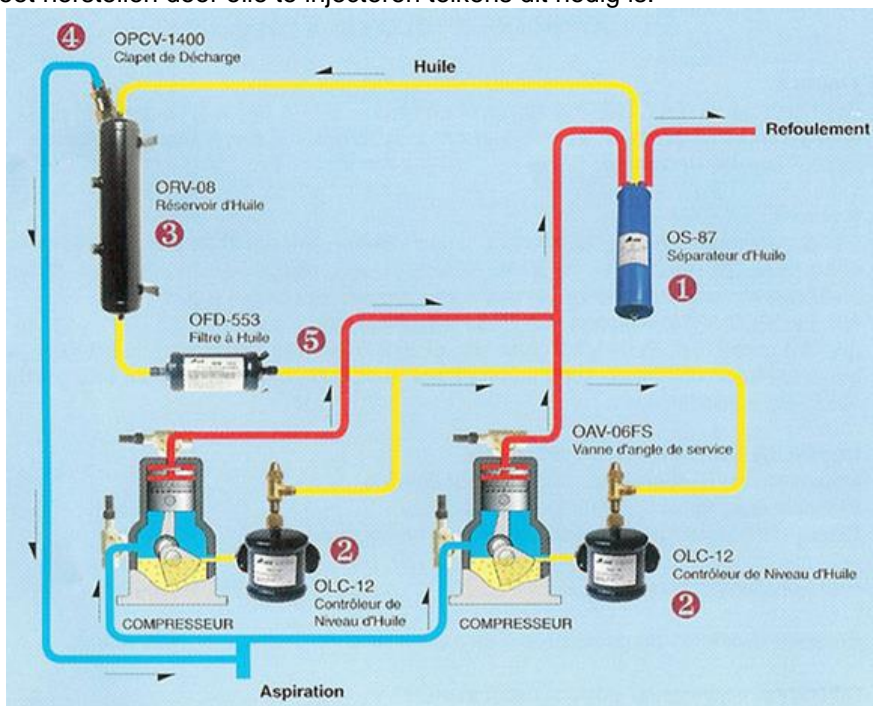
Figuur 2:57



Figuur 2:58

- Met behulp van een **oliepeilregeling in elke compressor**

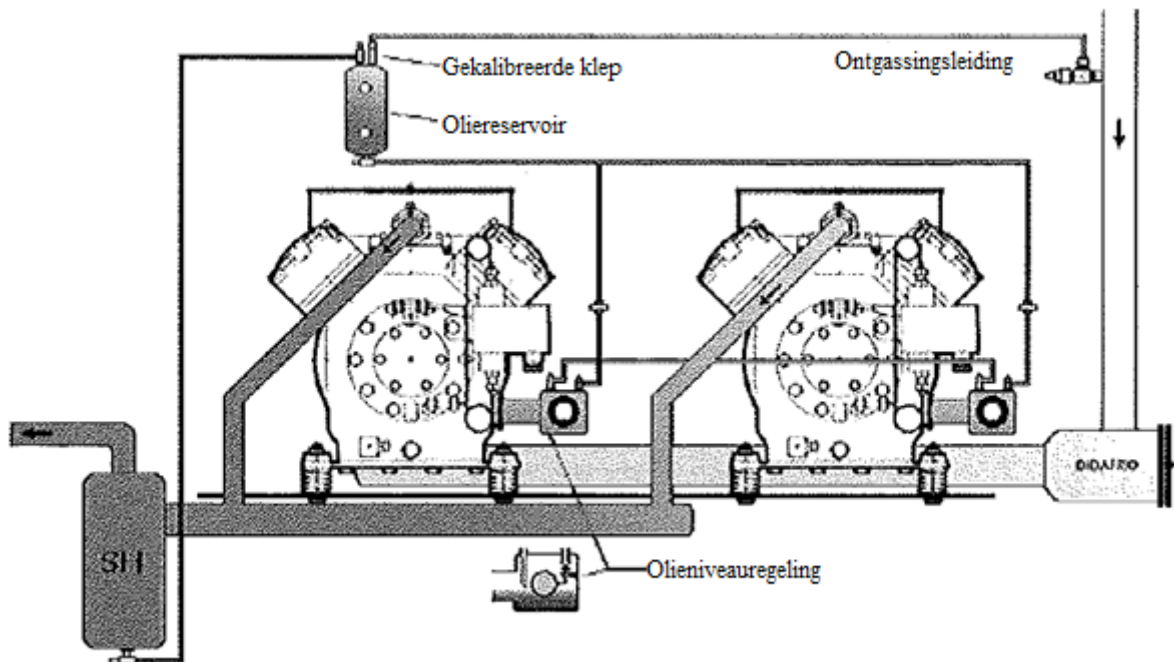
De moderne koelcentrales zijn steeds vaker uitgerust met een automatische regeling van het oliepeil, die het peil moet herstellen door olie te injecteren telkens dit nodig is.



Figuur 2.59 Bron: US RECO

De regelaars worden van olie voorzien via een filter en vanuit een gemeenschappelijk reservoir op een hoger niveau dat de olie krijgt van de scheider. Het gemeenschappelijke reservoir wordt ontgast naar de aanzuigslang. Dankzij een uitlaatklep afgesteld op 1,4 bar wordt in het reservoir een druk  $p = LD + 1,4$  bar gehandhaafd, zodat de

peilregelaars gevoed worden bij een hogere druk dan die van het carter. De ontgassing van het reservoir laat toe, de olie te zuiveren en de temperatuur te verlagen; de viscositeit van de olie wordt teruggebracht op de voorwaarden die vereist zijn voor de correcte smering van de compressoren.



Figuur 2.60

Het systeem is ontworpen voor compressoren van verschillende grootte op verschillende hoogte.

### 2.6.2.6. Regeling van de compressoren

Het vermogen van de koelmachine is berekend om te beantwoorden aan extreme werkingsvoorwaarden (periode van grote hitte), zonder rekening te houden met de vergrotingsfactoren.

De bedrijfstijd van de compressor is beperkt, het aantal aanlopen is groot. Men spreekt van een kortsluiting van de compressor. Dit probleem komt vooral voor bij installaties die in de modus alles-of-niets werken.

Wat zijn de risico's?

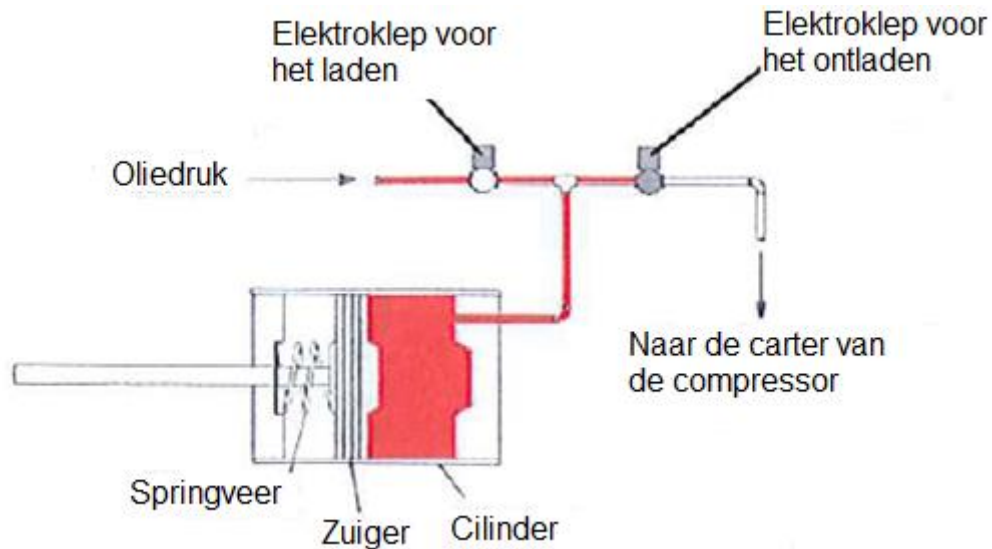
- Ongewenst vertrek van olie: door de mengbaarheid van de olie en het koelmiddel wordt de olie door het circuit gevoerd. Als de werkingstijd niet volstaat, wordt de terugkeer van de olie naar de compressor niet gegarandeerd en bestaat de kans dat de compressor defect raakt door een tekort aan smering.
- Hogere geabsorbeerde intensiteit bij het starten (invloed op de kwartierpiek)
- Daling van de LD met hygrometrieschommelingen tot gevolg

Men dient een regeling te kiezen waarmee hij kan beantwoorden aan veel lagere behoeften dan de nominale waarde, die schommelen in de tijd. Deze regeling is gebaseerd op de aanzuigdruk die de vragen van de verdamper naar koude weergeeft.

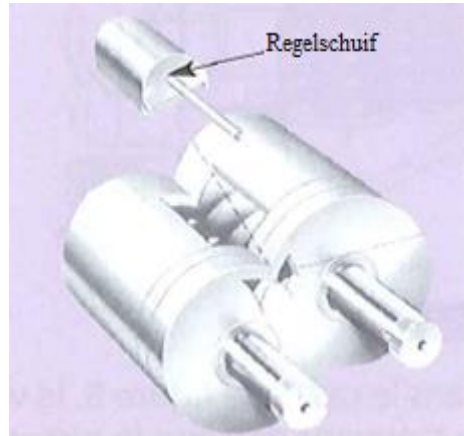
- de regeling met "alles of niets" (aan/uit of pump-down),
- de geleidelijke regeling van de evaporatiedruk,
- de regeling per "verdiepingen",
- de regeling in cascades (of "centrales"),
- de buitengebruikstelling van de cilinders,
- de bypass van de dampen stuwingsaanzuiging,
- de afsluiting van de aanzuigopening,
- de regeling door injectie van warme gassen
- de voorrotatie van het koelmiddel in de turbocompressoren.
- Regeling door snelheidsvariatie of Inverter
- de regeling "met schuif" van de schroefcompressoren,

- **Regeling met schuif**

Regeling van het vermogen van 10 tot 100 % met behulp van een regelschuif die zich onder de rotors bevindt. Wanneer de schuif gesloten is, functioneert de compressor op volle kracht. Naarmate de schuif geopend wordt, dalen de werkelijke werk lengte van de rotors en het koelvermogen. Het gasoverschot keert terug naar de aanzuiging. De schuif wordt hydraulisch gestuurd met behulp van een olie circuit van de compressor. Bij uitschakeling van de machine wordt de schuif geopend door een terugstelveer, waardoor ze leeg herstart in alle omstandigheden.



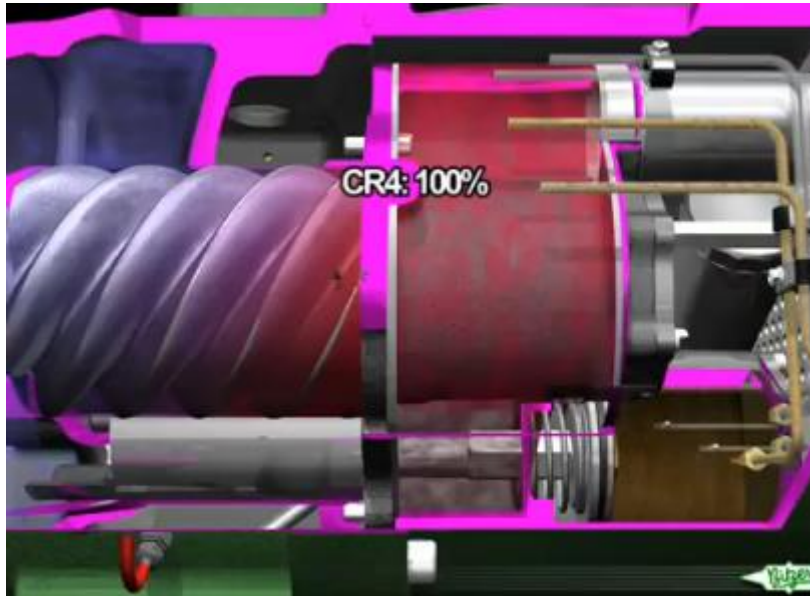
Figuur 2.61



Figuur 2.62

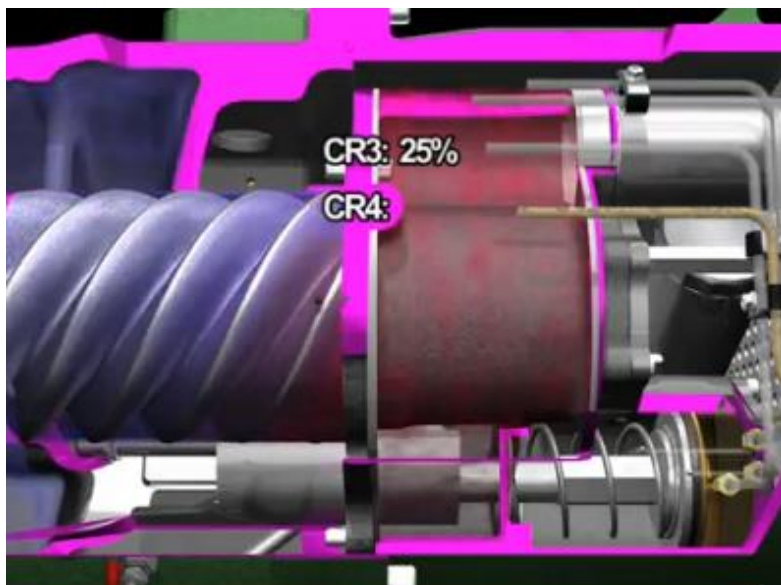
De regelschuif bestaat uit een geheel zuiger/cilinder. De plaats van de schuif hangt af van de hoeveelheid olie onder druk die in de cilinder aankomt. Voor een verplaatsing van de zuiger naar links worden impulsen naar de elektromagnetische inlaatklep gestuurd en de uitlaatklep wordt gesloten; zo kan de zuiger op een bepaalde waarde geplaatst worden. Voor een verplaatsing van de zuiger naar rechts worden impulsen naar de elektromagnetische uitlaatklep gestuurd en de elektromagnetische inlaatklep wordt gesloten.

De stuurstang is verbonden met de regelschuif die zich doorgaans onder de schroeven bevindt. Wanneer de schuif de hele opening bedekt, is er geen beperking van het vermogen en comprimeert de compressor een maximaal volume gas.



Figuur 2.63

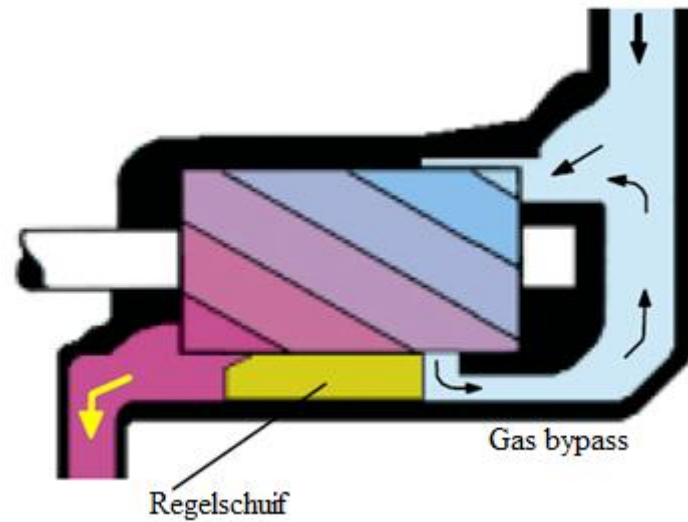
Zodra de schuif zich begint te verplaatsen, komt de compressor in een vermogensbeperkingsfase terecht. Een deel van de gecomprimeerde gassen wordt teruggevoerd naar de aanzuiging van de compressor, waardoor men het slagvolume en dus het nuttige koelvermogen kan beperken.



Figuur 2.64

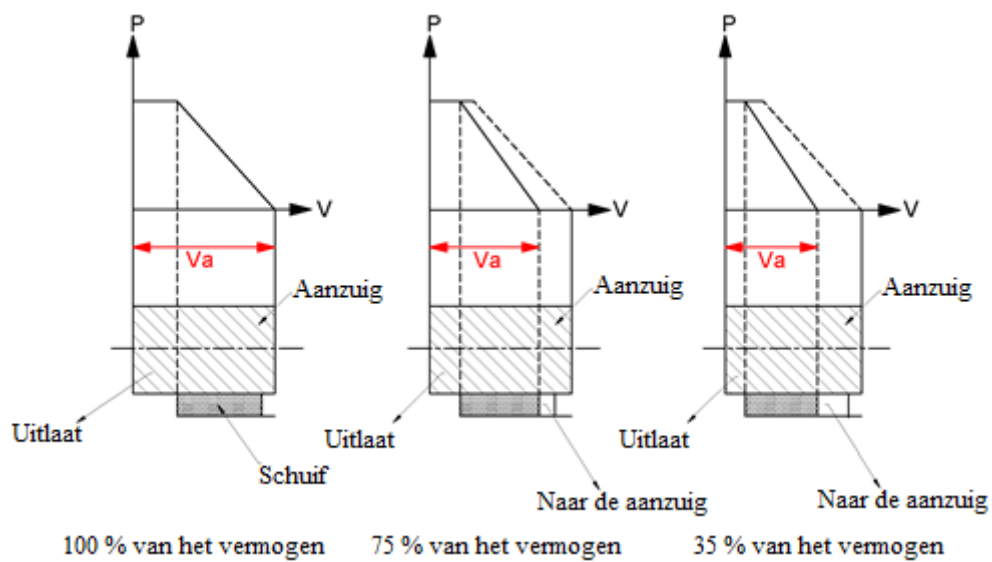
De vermogensregeling wordt gestuurd door een automaat die permanent de waarde van de aanzuigdruk meet. Een hoge LD wijst op te weinig massadebiet. De schuif wordt verplaatst om de aanzuigdruk te doen dalen.





Figuur 2.65 Bron: Didafrio

Onderstaande figuur toont de variatie van het aangezogen volume naargelang van de vermogensbeperking.

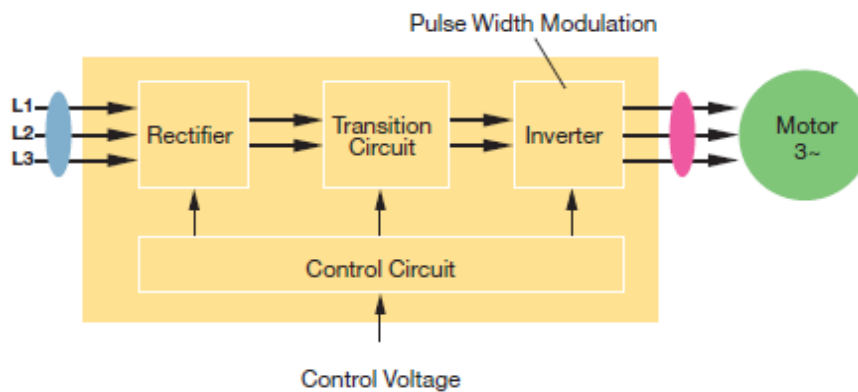


Figuur 2.66

Een andere configuratie is mogelijk, door de schuif op vooraf gedefinieerde waarden te zetten, waardoor men een meertrapsregeling krijgt (25, 50, 75 en 100 %)

- **Regeling door snelheidsvariatie of Inverter**

De initiële kost is een hindernis voor de installatie van systemen met variabele snelheid. Bovendien veroorzaken de oude systemen harmonische stromen in de elektrische circuits. In een zeer nabije toekomst zouden deze nadelen moeten verdwijnen (gebruik van gelijkstroommotoren voor de kleinste vermogens, "CE"-markering, ...) en zou het "INVERTER"-systeem de markt moeten dekken.



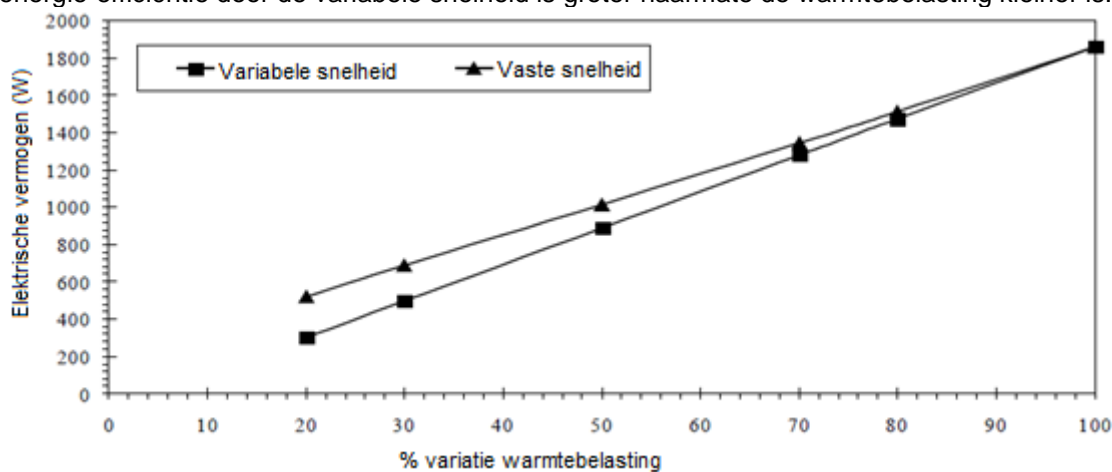
Figuur 2.67

De snelheidsvariatie van de compressor komt voor als een vermogensvariatiesysteem; er is immers een evenredige verhouding tussen de rotatiesnelheid en het massadebiet koelmiddel. Er is dus een evenredigheid tussen het verbruik en het te leveren vermogen. Het systeem botst evenwel op de technologische beperkingen van de compressoren: de smering.

De optimalisering van de energiewinst gebeurt door te kiezen voor een compressortechnologie die geschikt is voor variabele snelheden. De snelheidsvariatie kan gekoppeld worden aan gelijk welke compressortechnologie, maar de omvang van de winst of het verlies zal verschillen. De scroll- en schroefcompressoren onderscheiden zich door hun klein aantal bewegende onderdelen en door hun hoog rendement.

Hierbij vindt u een vergelijking tussen de compressoren met vaste snelheid en de compressoren met variabele snelheid:

De afwijking in verbruik is groter naarmate de warmtebelasting kleiner is. De winst op het vlak van energie-efficiëntie door de variabele snelheid is groter naarmate de warmtebelasting kleiner is.



Figuur 2.68



### 2.6.2.7. Verstoord evenwicht van de fases

Een verstoord elektrisch evenwicht kan ontstaan op verschillende manieren:

- probleem met de energieverdeling
- lage spanning op een vertakking of doorslaan van de isolatieweerstand in de motorwikkelingen.

De kleinste onbalans in spanning kan de aansluitingen beschadigen en bijgevolg de geleverde spanning verminderen, terwijl de motoren en andere belastingen te veel stroom absorberen, een kleiner koppel produceren (door mechanische beperkingen) en uiteindelijk defect raken. Een grote onbalans kan een zekering doen springen en een eenfasige werking met zich brengen. De onevenwichtige stroom keert terug in de nulgeleider en veroorzaakt een maximaal energieverbruik in de installatie.

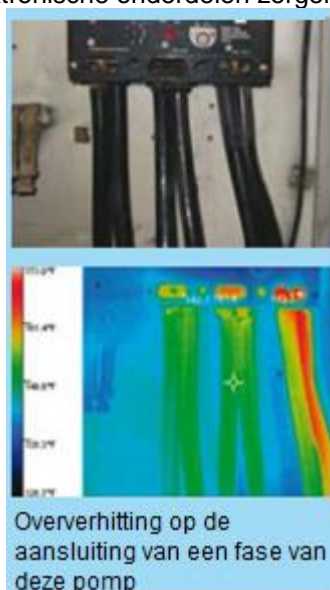
De controle gebeurt met behulp van een ampèreklem (figuur 2.36). Men controleert of de geabsorbeerde intensiteit in elke fase gelijk is aan de intensiteit vermeld op het constructeurplaatje.



Figuur 2.69

Aan de hand van thermografie kan men snel de warme punten in een elektrische installatie bepalen.

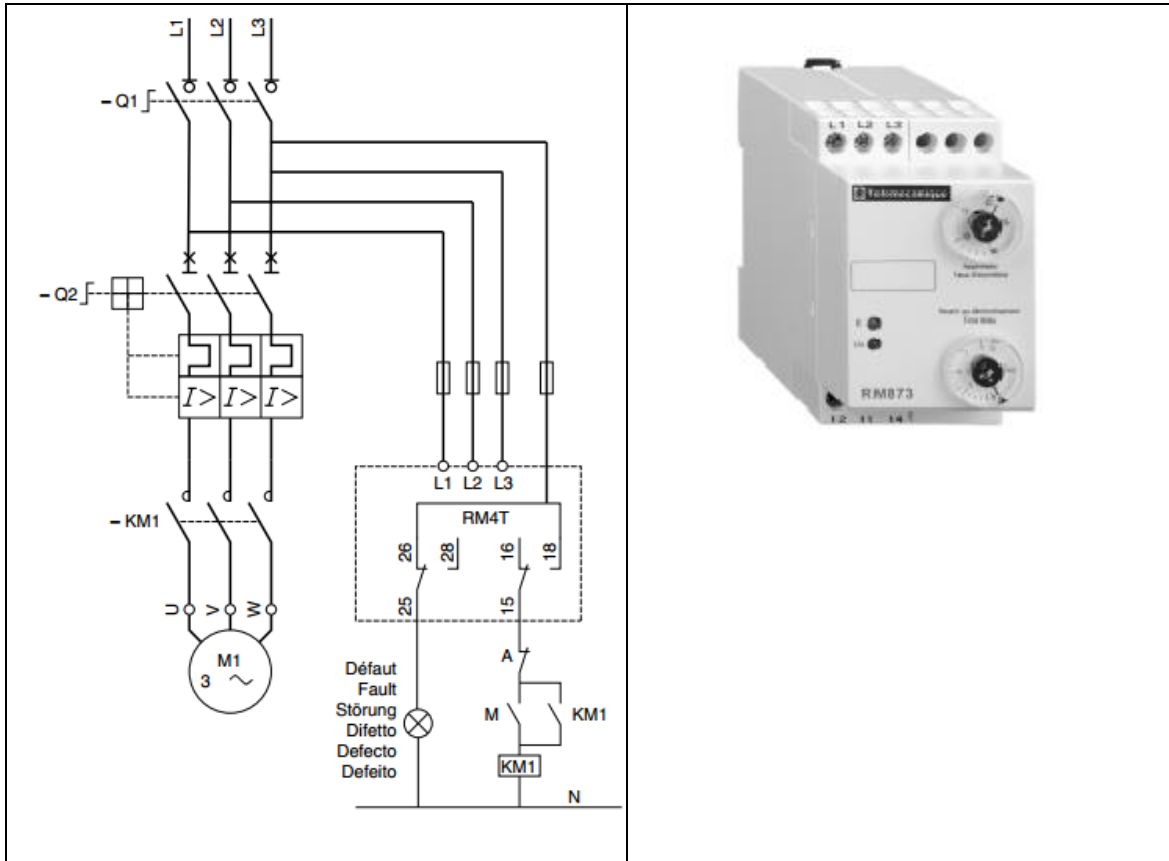
Onmiddellijke reparatie of een buitengebruikstelling zijn noodzakelijk wanneer het temperatuurverschil ( $\Delta T$ ) tussen gelijkaardige elektrische onderdelen in gelijkaardige belastingsvoorwaarden groter is dan 15 °C. Men interpreteert de temperatuur naargelang van het type toepassing en het metaal. Doorgaans begint men zich over elektronische onderdelen zorgen te maken vanaf 45 °C.



Figuur 2.70

Men kan zich tegen het verstoorde evenwicht beveiligen door een controletoeistel te plaatsen: het fasecontroleerelais. Wat zijn de functies van het relais?

- de volgorde van de fases L1 L2 L3 (draairichting)
- de volledige afwezigheid van fases
- de daling van de spanning van een of meerdere fases



Figuur 2.71

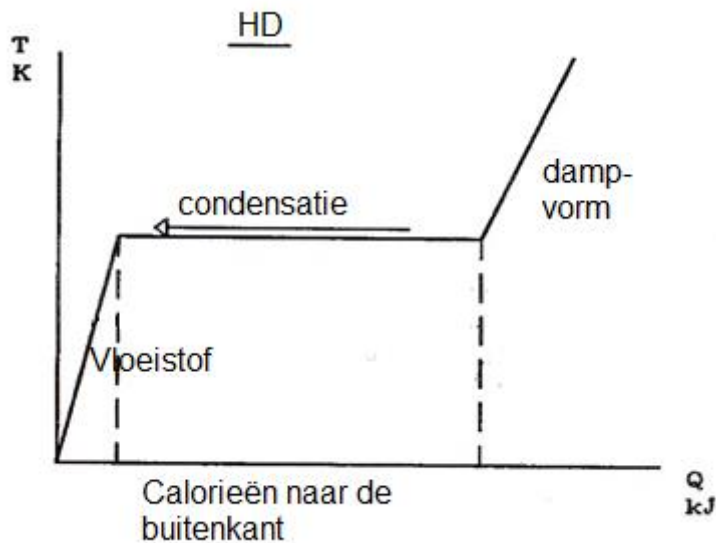
Ook met andere uitrustingen kan men de fases van een motor controleren: de frequentieregelaars en sommige progressieve starters. Dan verschijnt een fout die door een bediener verholpen moet worden.

### 2.6.3.DE CONDENSOR

De overgang van de dampvormige toestand naar de vloeibare toestand noemt men condensatie. Tijdens dit fenomeen geeft het koelmiddel energie af aan een ander fluïdum (lucht of water) bij een constante temperatuur (de zogenaamde condensatietemperatuur), zolang het mengsel vloeistof - damp in het fluïdum aanwezig is.

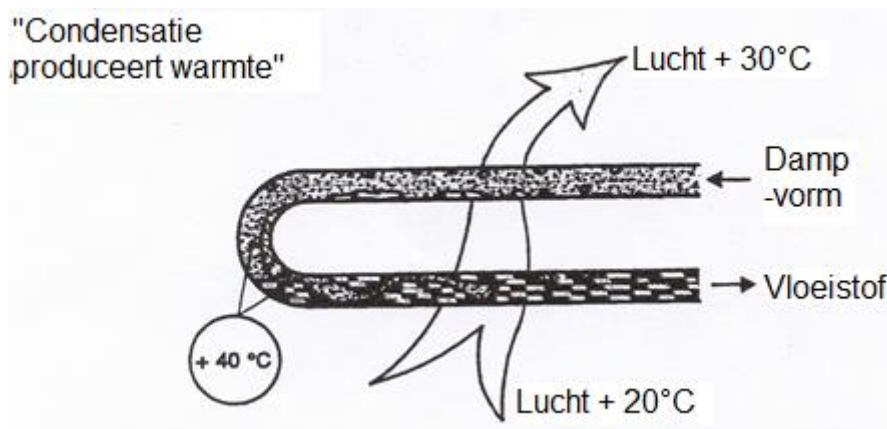
De oververhitte dampen van het koelmiddel tijdens de compressie worden bij hoge druk en hoge temperatuur naar de condensor gevoerd. Onder invloed van het gekozen koelmedium (lucht of water) geven de dampen van het koelmiddel hun latente condensatiewarmte aan dit medium af en worden ze vloeibaar.

Het koelmiddel bevindt zich op haar condensatielimiet en heeft een temperatuur die hoger is dan de temperatuur van het externe milieu. Er is dus een energie-uitwisseling van het fluïdum naar het externe milieu. Het fluïdum condenseert en komt vloeibaar uit de condensor.



Figuur 2.72

Voorbeeld: in de condensor-wisselaar (lucht/fluïdum) neemt de omgevingslucht bij + 20 °C warmte van het fluïdum op dat condenseert bij bijvoorbeeld 40 °C. Bij deze uitwisseling wordt de lucht opgewarmd. Men kan zeggen dat condensatie "warmte produceert".



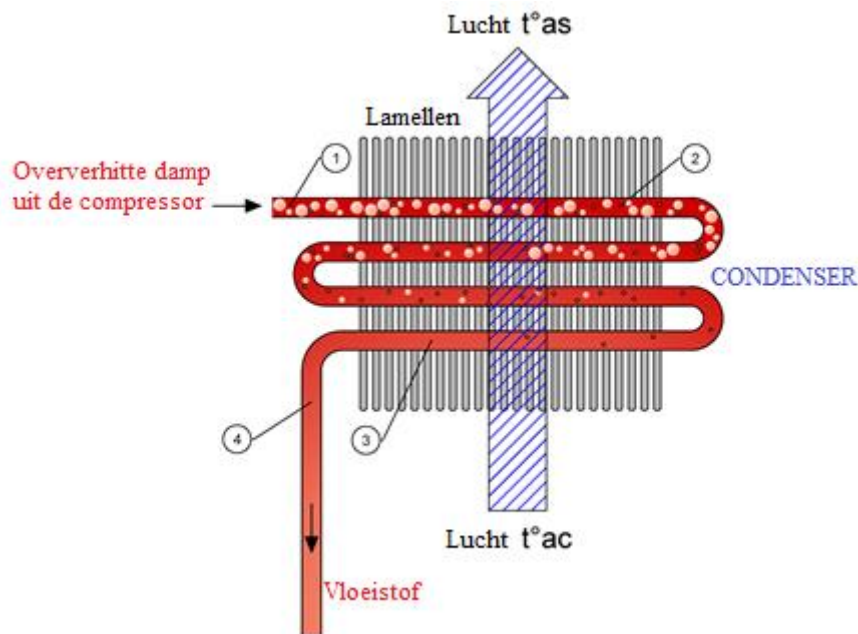
Figuur 2.73

## Wat men moet onthouden:

- De toestandsveranderingen van het koelmiddel (evaporatie en condensatie) gebeuren bij constante temperatuur en dus bij constante druk.
- Evaporatie gebeurt bij een evaporatiedruk die veel lager ligt dan de condensatiedruk voor een gegeven fluidum.

## WERKING VAN DE CONDENSOR.

Hetzij een condensor met geventileerde lucht, gemonteerd op een installatie die functioneert met R404A.



Figuur 2.74

tac: temperatuur van de lucht aan de ingang van de condensor. (31 °C)

tas: temperatuur van de lucht aan de uitgang van de condensor. (25°C)

Punt 1: De oververhitte dampen van R404a komen van de compressor in de condensor. De druk bedraagt 17 bar en de dampen hebben een hoge temperatuur ( $\pm 70$  °C)

Tussen 1 en 2: De dampen koelen af door waarneembaar warmteverlies aan de omgevingslucht, om de condensatietemperatuur te bereiken.

Punt 2: De eerste vloeibare molecule R404a verschijnt. De temperatuur van R404a bedraagt 39 °C. Dit is het begin van de condensatie (tcd = 39 °C)

Tussen 2 en 3: Condensatiefase bij constante druk van 17 bar en constante condensatie-t° van 39 °C. In de condensor zijn er steeds minder verzadigde dampen en is er steeds meer vloeistof.

Punt 3: De condensatie is voltooid en alle R404a is vloeibaar en op 39 °C.

Tussen 3 en 4: De vloeistof koelt enkele graden af, dankzij het luchtdebiet in de condensor (waarneembaar warmteverlies)

Punt 4: Bij de uitgang van de condensor blijft er vloeibare R404a over nagekoeld met enkele graden (34 °C). De druk bedraagt nog steeds 17 bar.

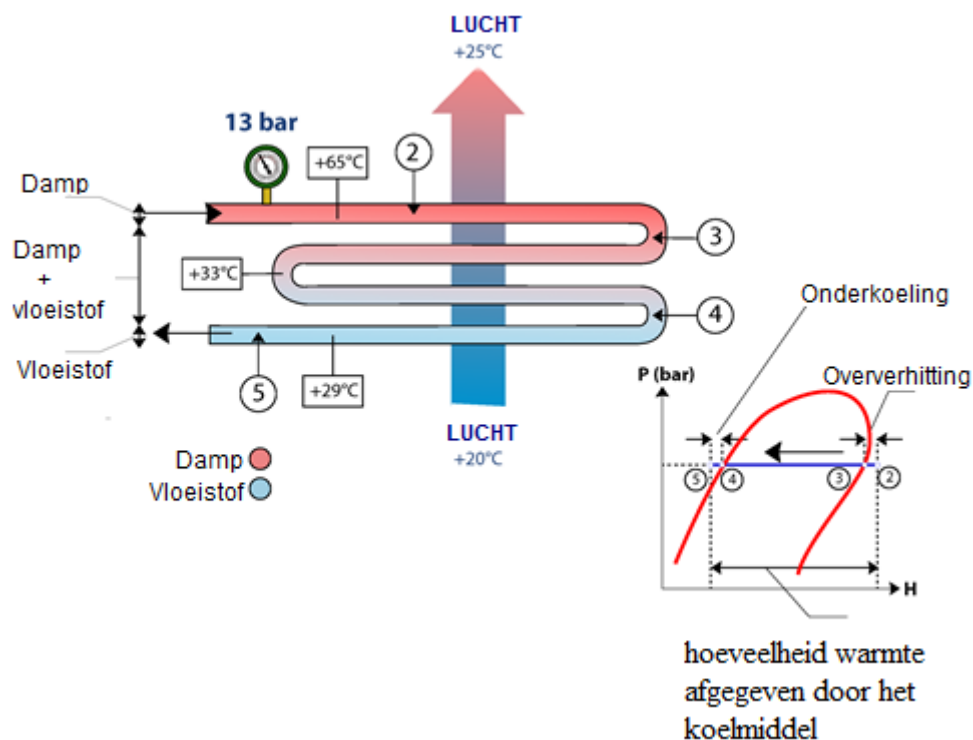
Een nakoeling van de vloeistof levert de zekerheid dat de condensatie 100 % voltooid is en de reduceerklep met vloeistof gevuld wordt.

tas: De lucht aan de uitgang van de condensor wordt opgewarmd door opname van

- de waarneembare warmte van de afkoeling van de oververhitte dampen
- de latente condensatiewarmte van R404a
- de waarneembare warmte van de nakoeling

De condensor dient om de warmte in de door de compressor samengeperste dampen over te dragen aan het koelmedium (lucht of water). De hoeveelheid af te voeren warmte omvat:

- de waarneembare warmte van de oververhitte dampen
- de latente condensatiewarmte
- de waarneembare warmte van de vloeistof tot een temperatuur die zo veel mogelijk de temperatuur van het koelmedium benadert.



Figuur 2.75

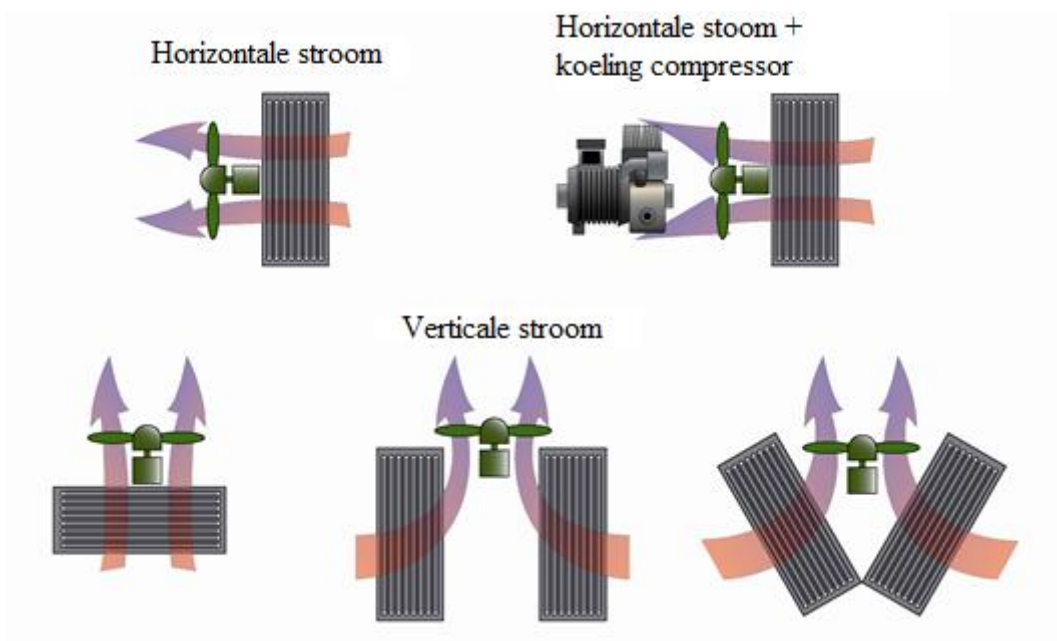
Er zijn twee grote groepen van condensoren: lucht- en watercondensoren

### 2.6.3.1. Luchtcondensors

De doeltreffendheid van de condensor hangt af van:

1. de constructie van het apparaat (vorm, afmetingen, aantal schillen, diameter van de buis, aantal, vorm en spreiding van de ribben, contact met de buis, en de metalen gebruikt voor de fabricage)
2. de omgevingstemperatuur
3. de ventilatie (schoepprofiel, spoed, diameter, snelheid en centreringen op het te ventileren oppervlak)
4. de netheid van het apparaat
5. de werkingsvoorwaarden van de groep

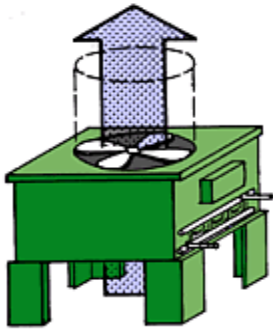
De warmte wordt afgevoerd door luchtcirculatie door de condensor.



Figuur 2.76

Aangezien de soortelijke warmte en de soortelijke massa van lucht veel kleiner zijn dan die van water, hebben de luchtcondensors een groot uitwisselingsoppervlak nodig en zijn ze dus zwaar en omvangrijk.

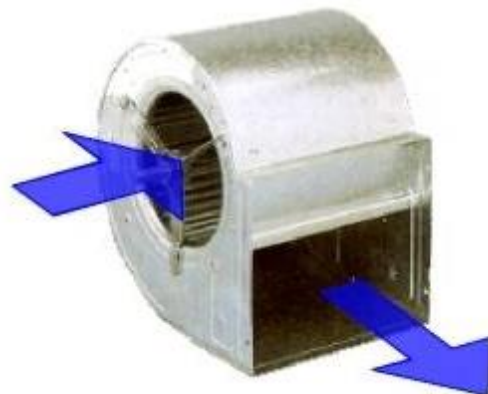
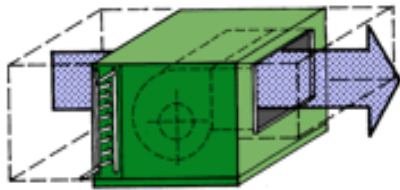
Er worden twee types ventilatoren gebruikt:



Figuur 2.77

De **schroefventilator** (of axiale ventilator) wordt gekozen voor toestellen in de open lucht, waar het lawaai geen hinder veroorzaakt voor de omgeving. Het geluidsniveau hangt af van de draaisnelheid van de ventilator.

Als bestaande ventilatoren te veel lawaai maken, kan men ze uitrusten met cilindervormige geluidsdempers (rekening houden met het ladingverlies).



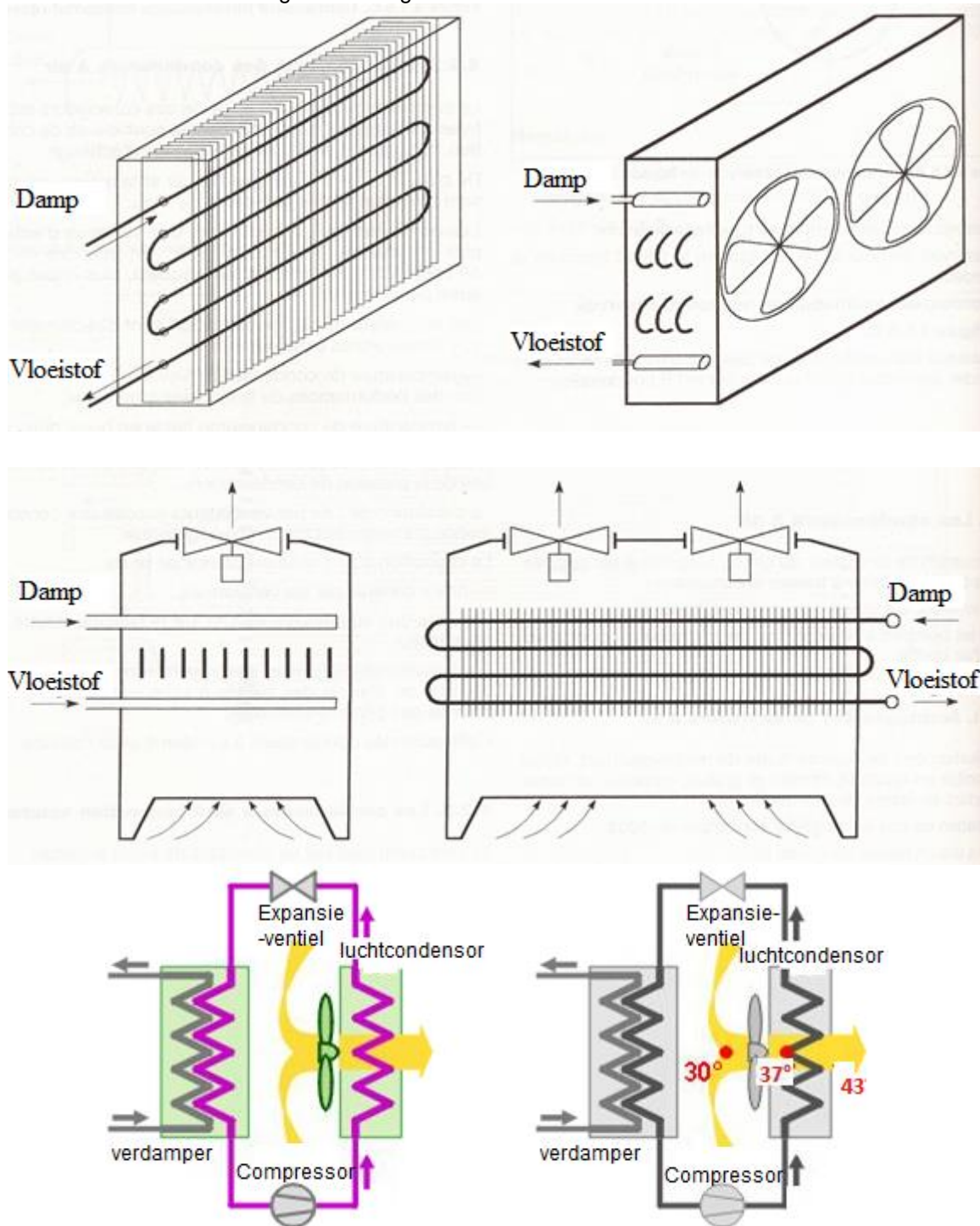
Figuur 2.78

De centrifugaalventilator wordt vaak gebruikt voor toestellen in een gebouw, met de buitenlucht in verbinding via kokers (de centrifugaalventilator kan grotere ladingverliezen overwinnen).

De doorstroomsnelheid van de lucht schommelt doorgaans tussen 2 en 4 m/s. Deze informatie in de catalogus van de constructeur is een indicatie van kwaliteit. Als ze immers 2 m/s benadert, wordt gegarandeerd dat het toestel minder lawaai maakt en dat het verbruik van de ventilator kleiner is (de constructeur heeft eigenlijk de ribben nog meer moeten spreiden om de luchtdoorstroming te bevorderen, het toestel vraagt dus meer materiaal, zal groter zijn en ... duurder: men betaalt voor kwaliteit!).



In de luchtcondensers met geforceerde convectie schommelt de coëfficiënt K tussen 20 en 30 W/m<sup>2</sup> K. De bundel van de geribde batterij kan verticaal zijn voor de kleine en middelgrote vermogens. De bundel is horizontaal voor de grote vermogens.



Figuur 2.79

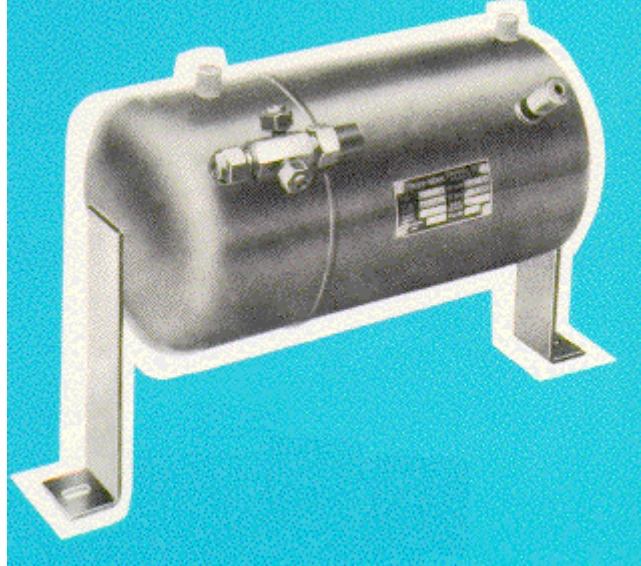
Soms is het vermogen voor de koeling van de lucht te klein. Men kan ze vergroten door een bijkomende waterhoeveelheid te verdampen. Dit is het principe van de adiabatische condensers.

### 2.6.3.2. Watercondensors

Er worden meerdere types watercondensors gebruikt in koelmachines. Ze gebruiken water als warmtegeleidend fluïdum. Hun coëfficiënt K schommelt tussen 700 en 1100 W/m<sup>2</sup>.K

#### 2.6.3.2.1. Dompelcondensors

Dit zijn gehelen van condensor-reservoir verenigd in een enkel toestel. Ze worden gebruikt voor machines van 1200 tot 3500 W.



Figuur 2.80

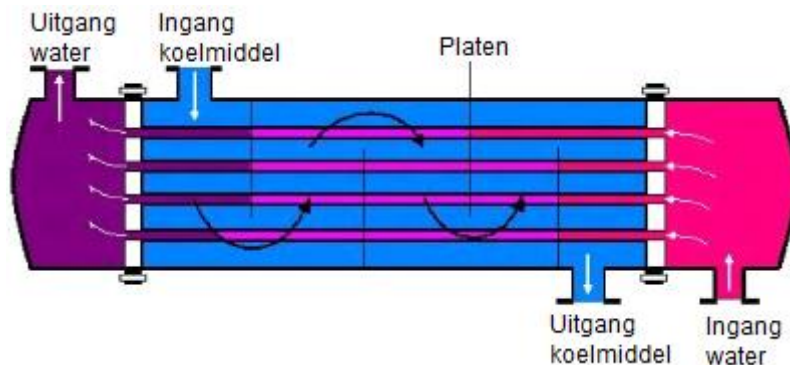
#### 2.6.3.2.2. De condensors met dubbele buis

Ze bestaan uit twee concentrische buizen waarin het koelmiddel en het water voor de condensatie ervan tegen de stroom in stromen.

### 2.6.3.2.3. De condensors met meerdere buizen

Ze bestaan uit een stalen beslag dat aan de uiteinden afgesloten is met twee buisvormige platen waarop een bundel buizen vastgeklemd is die het oppervlak voor warmte-uitwisseling vormt. De condensatie gebeurt in de vrije ruimte tussen het beslag en de buizenbundel; het volume tussen de condensatiebundel en het onderste deel van het beslag dient als reservoir voor de gecondenseerde vloeistof.

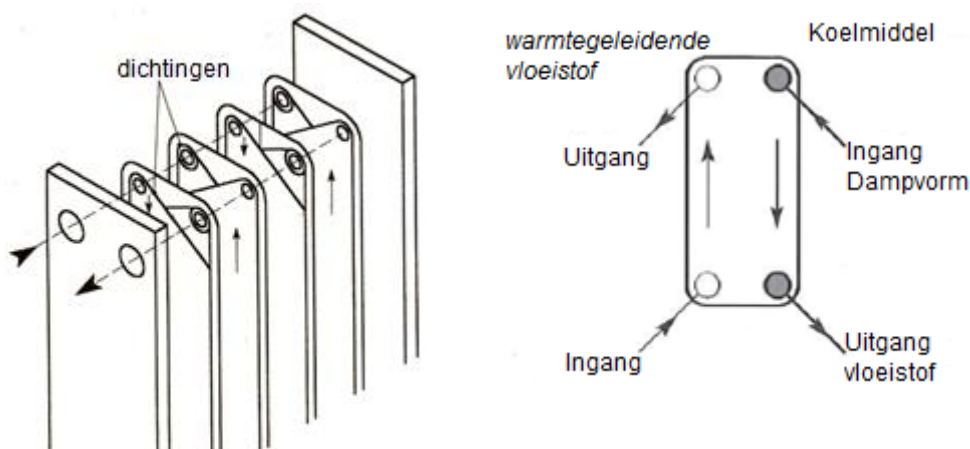
Gelet op hun kostprijs worden ze gebruikt voor vermogens van meer dan 15000 W; ze zijn volledig demonteerbaar voor onderhoud.



Figuur 2.81

### 2.6.3.2.4. De plaatcondensors

Ze bestaan uit een geheel van naast elkaar geplaatste platen waarin het koelmiddel en het water voor de condensatie ervan tegen de stroom in stromen.



Figuur 2.82

De condensors met gerecycleerd water maken gebruik van water dat door een pomp in een gesloten circuit stroomt.

Het water wordt buiten de condensor afgekoeld door

- gebruik van een dry cooler
- gebruik van een open, gesloten koeltoren
- gebruik van een evaporatiecondensor

Meer informatie : zie hoofdstuk 4. De onderdelen van de klimaatregelingsystemen

### 2.6.3.3. Waarom de HD regelen?

De condensatietemperaturen zijn gekoppeld aan de buitentemperaturen:

- hoog in de zomer dus beperking van de prestaties
- laag in de winter dus onvoldoende voeding voor de verdampers

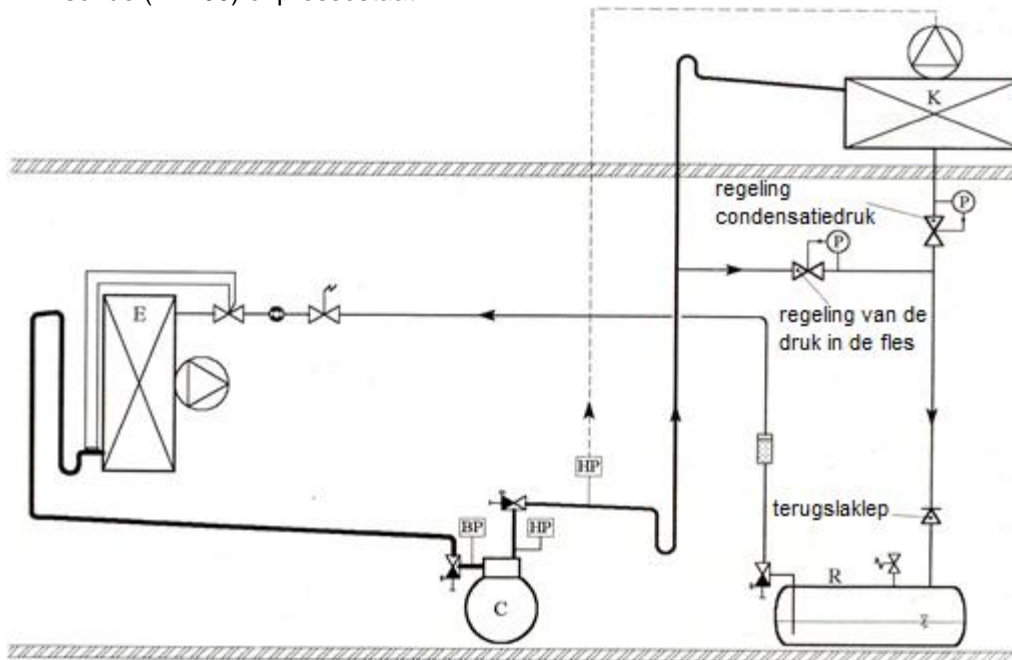
Er worden meerdere procedés in de condensors gebruikt om een constante condensatiedruk te krijgen naargelang van de koudeproductie.

Men kan werken met een verkleining van het werkelijke oppervlak van de condensor of met de hoeveelheid gecondenseerd fluïdum naargelang van de energieaanvoer naar de condensor.

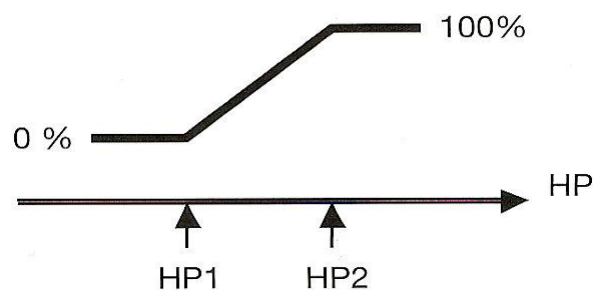
Indien men de condensor gedeeltelijk van fluïdum wil voorzien, kan men gebruik maken van een condensatiedrukregelaar die als aftakking op de condensor wordt geplaatst. In de winter daalt de condensatiedruk; regelaar 1 gaat toe en regelaar 2 gaat open. In de zomer gaat regelaar 1 volledig open en 2 gaat toe.

De regeling kan gebeuren op de lucht die door de condensor stroomt, door in te werken:

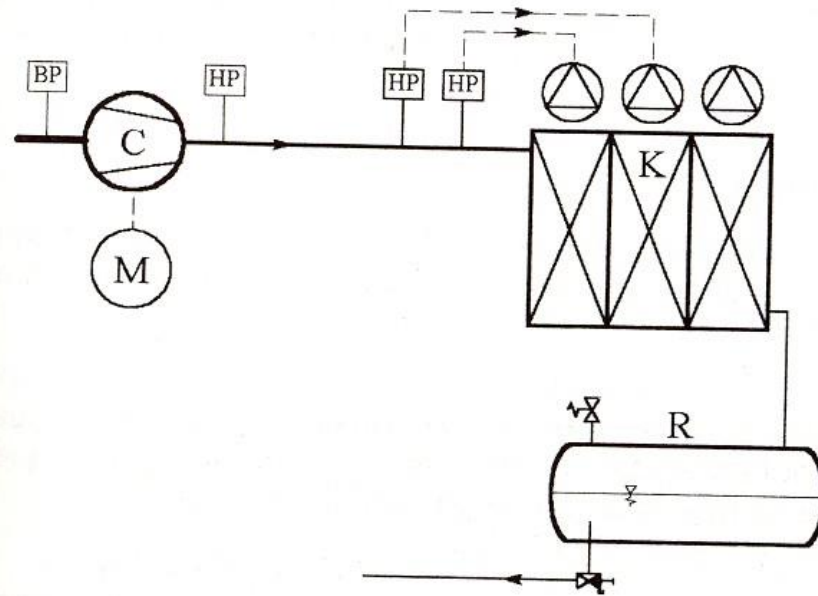
- op de snelheid van de ventilator(en) met behulp van een elektronische regelaar met thermische sonde (PT100) of pressostaat.



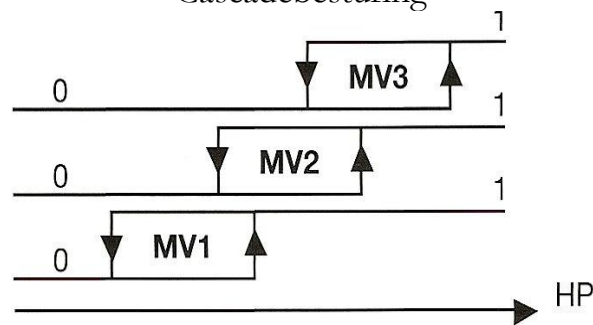
Figuur 2.83



- op het aantal ventilatoren met behulp van meertrapspressostaten of meerdere pressostaten.



Figuur 2.84  
Cascadebesturing



Als de condensatietemperatuur met 1 °C stijgt, daalt het koelvermogen met ongeveer 1 % en stijgt de door de compressor geabsorbeerde intensiteit met 3 %. Als de evaporatietemperatuur met 1 °C daalt, daalt het koelvermogen met 3 tot 5 %. Een langere werking (groter stroomverbruik) is dan noodzakelijk om de initiële productiehoeveelheid te verkrijgen.

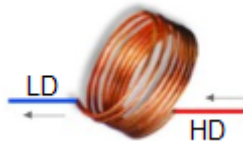
## 2.6.4. REDUCEERKLEP

Het koelmiddel verlaat de condensor in vloeibare toestand en bij hoge druk. Het moet naar de verdamper terugkeren met een druk die zijn evaporatie aan een gegeven temperatuur (de evaporatietemperatuur) mogelijk maakt. De verhouding druk/temperatuur van het betreffende fluïdum zorgt ervoor dat de overeenstemmende evaporatiedruk lager is. Het gebruik van een reduceerorgaan is noodzakelijk, om de druk van het fluïdum te doen dalen.

Een tweede rol van de reduceerklep is het regelen van het fluïdumdebiet naar de verdamper, om een goed koeleffect te verkrijgen.

### 2.6.4.1. Capillaire reduceerkleppen

**Rol:** De capillaire reduceerklep verbindt de condensor met de verdamper en moet de aanvoer van ontspannen fluïdum garanderen.



Figuur 2.85

De capillaire reduceerklep wordt gebruikt in installaties met een klein of middelgroot vermogen waarvan de warmtebelasting weinig verandert (klimaatregelingen, winkelkasten, ...).

De ontspanning wordt verkregen door een daling van de druk van het fluïdum in een dunne koperen buis waarvan de lengte en de binnendiameter geïkt zijn om een bepaald vrijwel vast debiet naar de verdamper te garanderen.

Een installatie met een capillair mag dus geen plotse verandering van de warmtebelasting ondergaan. Bovendien is, gelet op het vaste debiet, een vloeistofreservoir voor het capillair onnodig; het kan de compressor zelfs beschadigen.

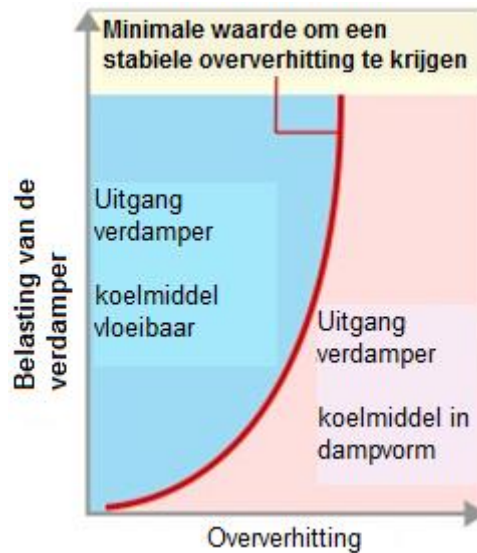
Bij uitschakeling van de machine bevordert het capillair immers de nivellering van de druk HD/LD.

De compressor kan dan starten met een kleiner weerstandskoppel en zijn werking is dus beter. Bij uitschakeling zal de verdamper daarentegen vollopen met vloeistof; bij het herstarten bestaat dan het risico van een vloeistofslag.



## Samenvatting

- De lengte en de binnendiameter van de capillaire buis bepalen het debiet en het gerealiseerde ladingverlies.
- Met een te korte capillaire reduceerklep, en dus een te klein ladingverlies, is er overtoevoer naar de verdamper.
- Met een te lange buis, en dus een groot ladingverlies, loopt de condensor vol en daalt zijn doeltreffendheid. Bovendien is er te weinig toevoer naar de verdamper.
- Deze reduceerklep is eenvoudig te realiseren en goedkoop.
- Met een capillair nooit een vloeistofreservoir gebruiken; dit kan een vloeistofslag op de compressor veroorzaken.
- Er bestaat een **minimale waarde voor stabiele oververhitting** naargelang van de koelbelasting van de verdamper, die de optimalisatie van de koelcapaciteit van de verdamper garandeert en daarbij de compressiearbeid van de compressor verlicht. Onderstaande figuur toont de wet die de oververhitting koppelt aan de operationele belasting van de verdamper:



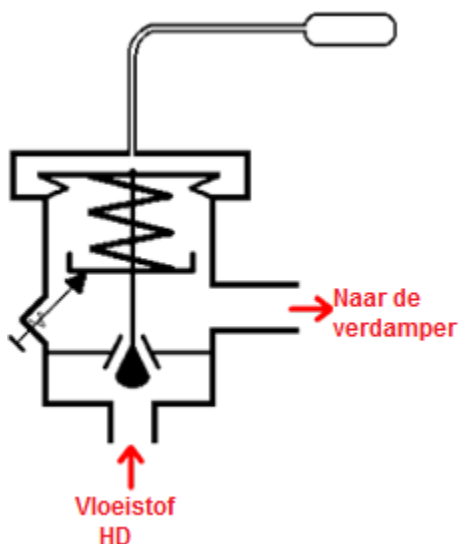
Figuur 2.86

## 2.6.4.2. Thermostatische reduceerkleppen

**Rol:** De toevoer van koelmiddel naar de verdamper garanderen naargelang van de externe warmteaanvoeren. Het debiet van het middel moet geregeld worden, om een optimale vulling van de verdamper te verkrijgen en een correcte oververhitting te handhaven.

### 2.6.4.2.1. Thermostatische reduceerkleppen met interne druknivellering

Deze worden gebruikt in installaties met een klein vermogen met verdampers met een enkele buizenbundel en kleine ladingverliezen.



Figuur 2.87

#### Werking

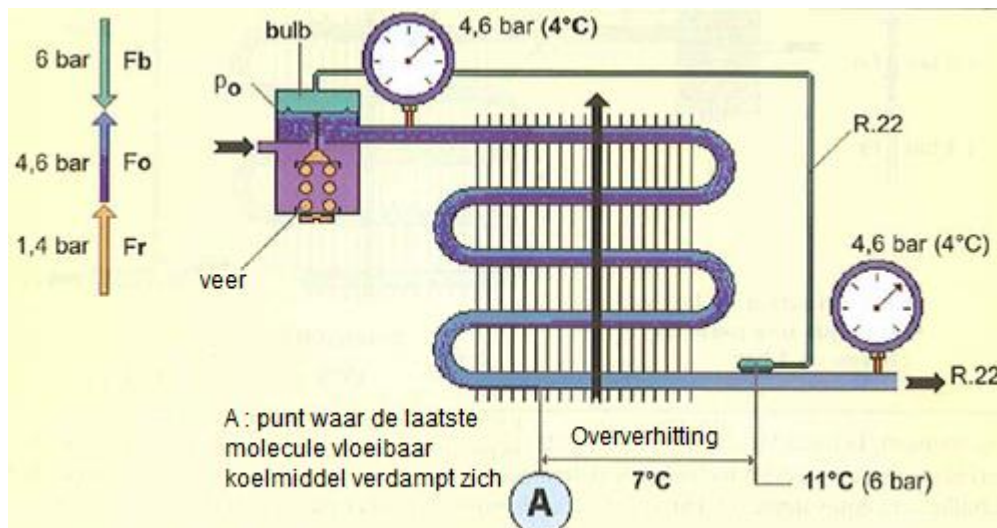
- Sluitkrachten op de balg of het membraan:

$F_r$  = duwkracht van de veer (met schroeven regelbaar)  
 $F_o$  = kracht als gevolg van de evaporatiedruk  $P_o$  (LD)

- Krachten bij opening

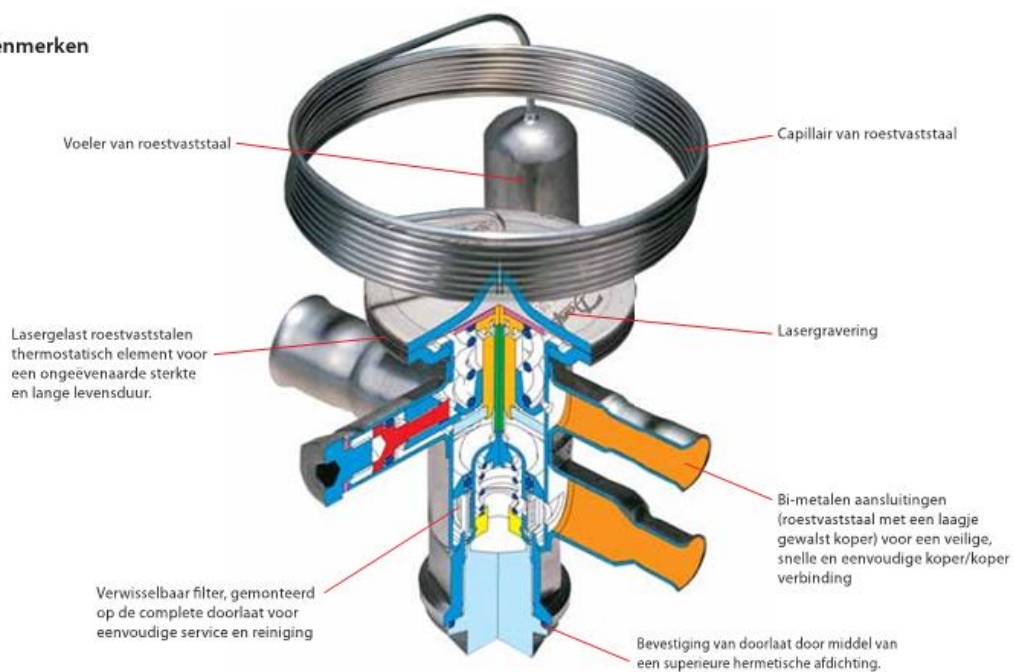
$F_b$  = kracht als gevolg van de druk in de bol of de sonde van de reduceerklep =  $P_b \times S$

- als  $F_b = F_r + F_o$  is er evenwicht van de druk
- als  $F_b < F_r + F_o$  sluiting van de reduceerklep
- als  $F_b > F_r + F_o$  opening van de reduceerklep



Bron: Kotza

### Kenmerken

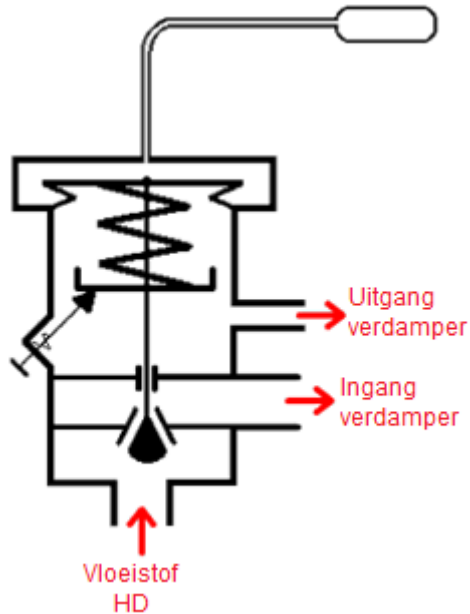


Document Danfoss

Figuur 2.88

### 2.6.4.2.2. Thermostatische reduceerkleppen met externe druknivellering

Deze worden gebruikt in installaties met een groot vermogen met verdamper die grote ladingverliezen vertonen of meerdere schillen met vloeistofverdeler hebben.



Figuur 2.89

#### Werking

- Aangezien de druk aan de uitlaat van de verdamper, als gevolg van de ladingverliezen, kleiner is dan aan de inlaat, zal de uitlaatdruk onder de balg van de reduceerklep opnieuw geïnjecteerd worden, en niet de LD.
- Dit gebeurt door een aftakking of drukstekker bij de uitlaat van de verdamper.
- Sluitkrachten

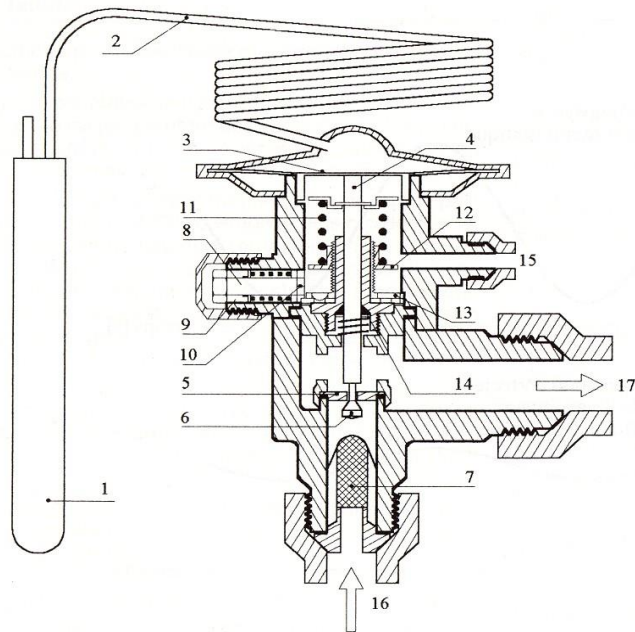
$F_r$  = duwkracht van de veer

$F_s$  = kracht als gevolg van de LD - de ladingverliezen  $\Delta p$  = kracht onder de balg

- Openingskrachten

Kracht uitgeoefend door de druk  $P_b$  in de bol boven de balg of het membraan van de reduceerklep.

- Evenwicht als de openings- en sluitkrachten gelijk zijn.



- 1 - Bulbe
- 2 - Capillaire
- 3 - Membrane
- 4 - Axe de liaison
- 5 - Siège
- 6 - Clapet
- 7 - Filtre
- 8 - Vis de réglage
- 9 - Presse-étoupe
- 10 - Roue dentée
- 11 - Ressort
- 12 - Butée filetée
- 13 - Vis avec roue dentée
- 14 - Joint d'étanchéité
- 15 - Raccord de l'égalisation de pression externe
- 16 - Entrée du fluide frigorigène
- 17 - Sortie du fluide frigorigène

**Kenmerken**

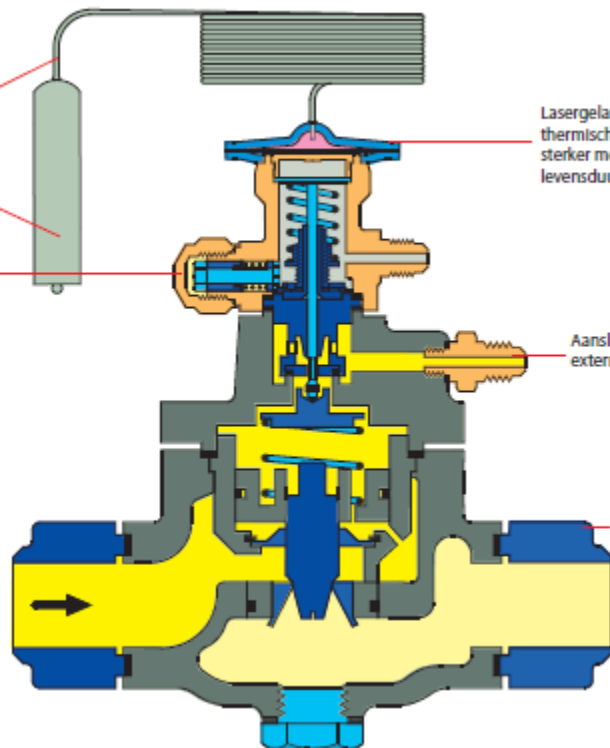
Capillaire leiding en voeler in roestvrijstaal. Trillingbestendig door de sterke capillaire leiding.

Eenvoudige instelling van oververhitting

Lasergelast roestvrijstaal thermisch element. Betrouwbaar, sterker membraan en langere levensduur

Aansluiting voor extern stuurventiel

Las- of soldeerflenzen  
 Las: 1 tot 2 inch  
 Soldeer: 1 1/8 inch (28 mm) tot 1 3/8 inch (35 mm)



Document Danfoss

Figuur 2.90

### 2.6.4.2.3. Thermostatische reduceerkleppen met MOP-belasting

Belasting MOP of Motor Overload Protection

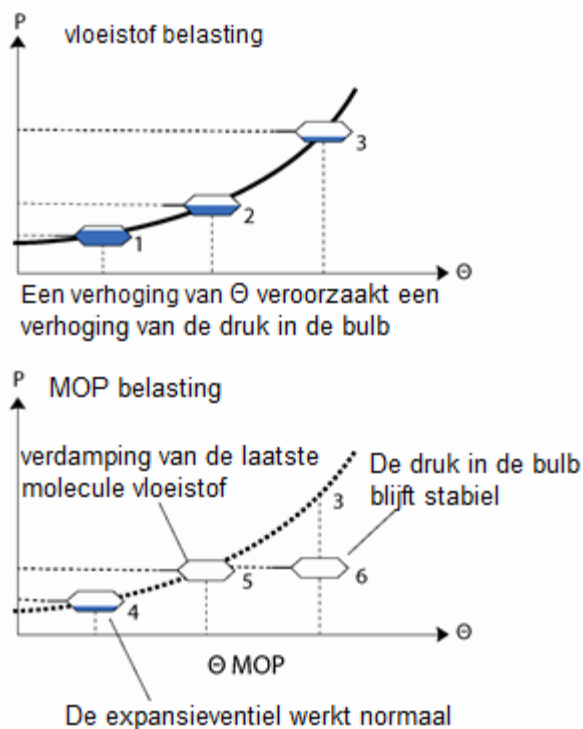
In een klassieke thermostatische reduceerklep wordt de bol geladen met koelmiddel; dit is hetzelfde middel als in de installatie.

Hoe hoger de temperatuur van de bol, hoe hoger de druk op de balg (verhouding druk temperatuur in het fluïdum) en hoe verder de reduceerklep opengaat.

Een thermostatische reeks MOP bevat een beperkte lading verzadigd fluïdum vloeistof – damp. Bij een bepaalde temperatuur is al de vloeistof in de sonde verdampt en heeft een bijkomende verwarming geen invloed op de balg.

Bij uitschakeling van een installatie is de bol warm, net zoals na ontdooiing.

De klassieke reduceerklep is helemaal geopend en de verdamer krijgt te veel vloeibaar fluïdum; dit leidt tot een overbelasting bij het starten van de compressor en een groot risico van vloeistofslag. Met een MOP-reduceerklep beperkt men de opening van de reduceerklep, en de compressor kan starten **zonder overbelasting**. (figuur 2.52)



Figuur 2.91

Soms gebruikt men een MOP-reduceerklep, ballast genoemd, waarvan de sonde een sponsachtig element van actieve kool bevat. Dit element moet een langzame opening van de reduceerklep garanderen bij een stijging van de temperatuur en een snelle sluiting bij een dalende temperatuur.

#### 2.6.4.2.4. Elektronische reduceerklappen

Men wil de prestaties van de installatie steeds verbeteren. De thermostatische reduceerklappen controleren de optimale vulling van de verdamper op het ogenblik dat het verschil HD-LD groot is.

Het debiet van een reduceerklap wordt bepaald door de verhouding.

$$q_m = K \cdot \sqrt{HP - BP}$$

Met K = debietcoëfficiënt die afhangt van de opening en de aard van het fluïdum

Bij een constante LD hangt het debiet af van de HD. Als het verschil HD-LD niet groot genoeg is, kan de reduceerklap de verdamper niet correct voeden, zelfs niet als ze volledig geopend is.

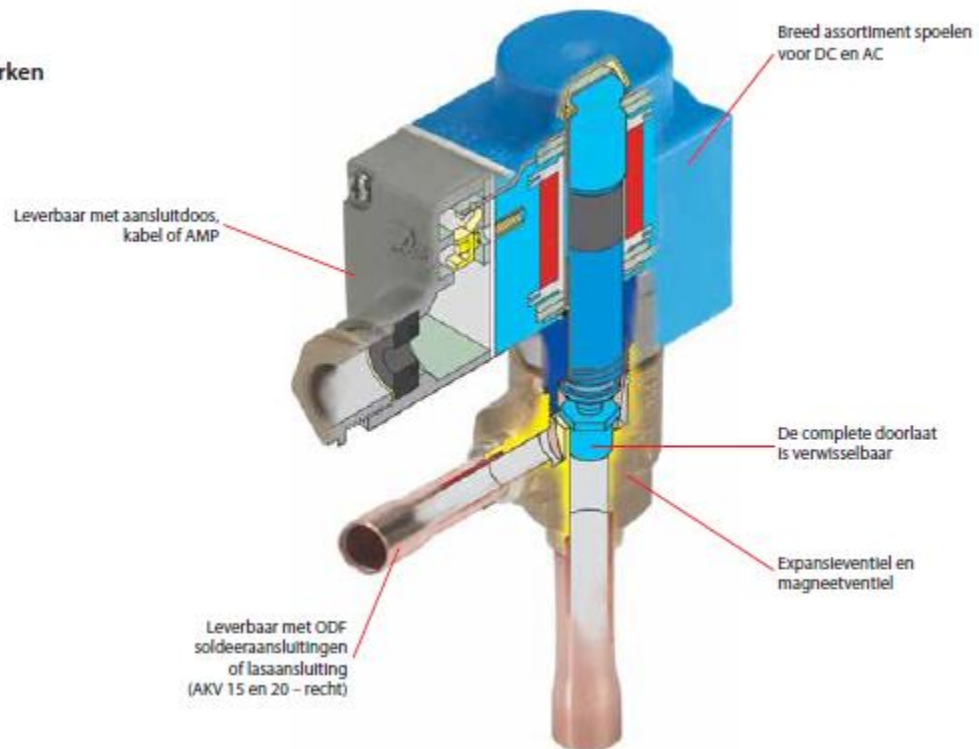
Welnu, de HD is het hele jaar door relatief laag.

De elektronische reduceerklap kan zich aanpassen aan extreme omstandigheden: wanneer de HD laag is en de warmtebelasting maximaal, en vice versa, dan wordt de nominale oververhitting gegarandeerd. Deze reduceerklappen kunnen een mechanische evaporatiedrukregelaar, een elektromagnetische afsluitklap op de aanzuiglijn en een regelthermostaat vervangen.

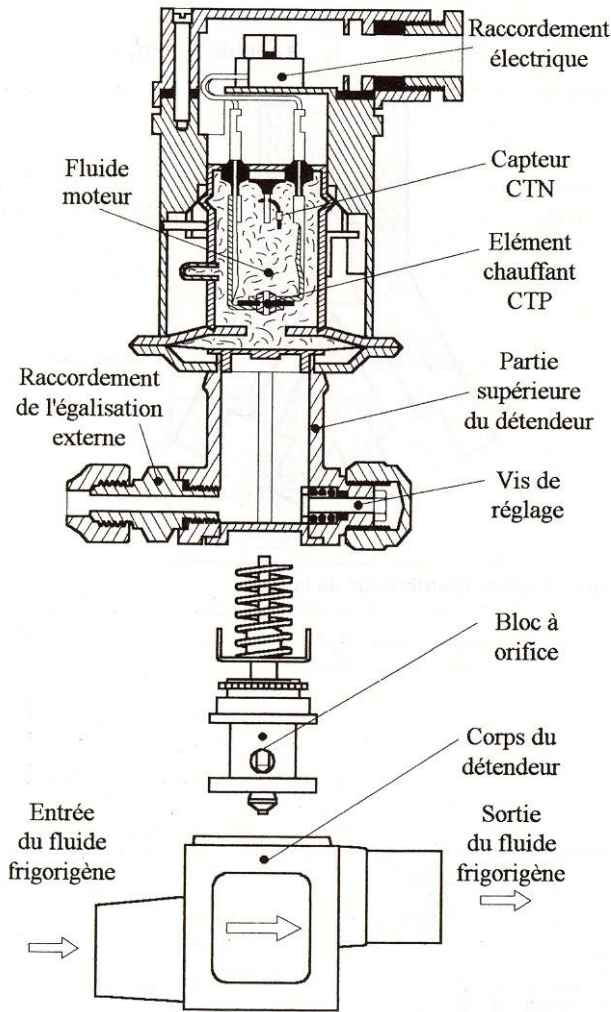
- De reduceerklappen bestaan uit een deel reduceerklap en een deel debietregelaar van het type proportioneel integrerend (P.I). De regelaar kan de richtwaarde handhaven, zelfs bij gedeeltelijke belasting, waardoor een optimaal gebruik van de verdamper mogelijk is.
- Er bevindt zich een temperatuursonde op de opgenomen lucht, een sensor voor de temperatuur van het fluïdum aan de ingang van de reduceerklap en een sensor voor de temperatuur van het fluïdum aan de uitgang van de reduceerklap
- De reduceerklap en bijhorende automaat regelen het koelmiddeldebiet in de verdamper naargelang van de temperatuur aan de ingang en de uitgang ervan.
- Deze reduceerklappen bestaan dus uit een reduceerklap, een regelaar en sensoren. Ze bieden de volgende voordelen:
  - Optimalisatie van het energieverbruik door constante regeling van het optimumdebiet in de verdamper en door een minimale oververhitting.
  - Autodiagnose voor onderhoud.
  - Functie van de elektromagnetische klap.
  - Integratie van de thermostaatfunctie.
  - Weinig invloed van de condensatiedruk.



## Kenmerken

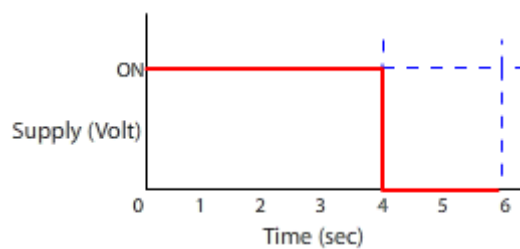


Figuur 2.92 Document Danfoss



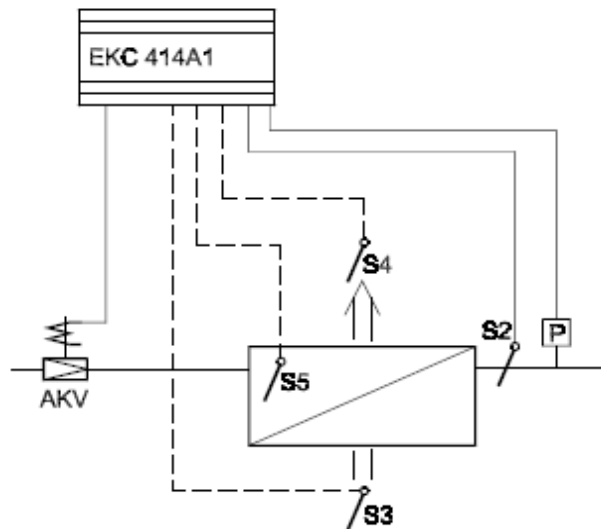
Figuur 2.93

Het magnetische deel (spoel en anker) wordt zeer zorgvuldig vervaardigd. Het werkingsprincipe is immers gebaseerd op het gebruik van een impulsgenerator die in staat is om de reduceerklep gedurende een fractie van een seconde te openen, en dit om de 6 seconden. Deze impulsen bepalen de openingstijd en bijgevolg het fluïdumdebiet in de verdamper.



Figuur 2.94

Indien er een grote koudebehoefte bestaat, blijft de reduceerklep vrijwel de hele duur van de zes seconden open. Bij een gematigde koudebehoefte blijft de reduceerklep slechts een fractie van een seconde open. De capaciteit wordt bepaald door de controller. Als er koude gevraagd wordt, blijft de reduceerklep gesloten en doet ze dienst als elektromagnetische klep.



Figuur 2.95 Document Danfoss

De drukoverbrenger brengt de meting van de evaporatiedruk over, afbeelding van de evaporatietemperatuur  $t_0$ .



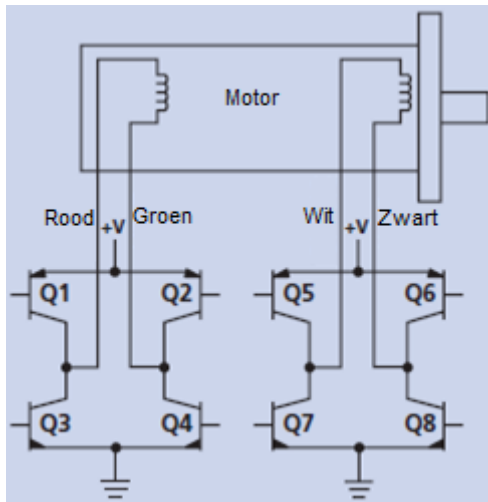
Figuur 2.96

De temperatuursonde meet de temperatuur aan de uitgang van de verdamper. Het verschil tussen deze twee metingen geeft de oververhitting. De temperatuurmetingen van de lucht voor en na de verdamper corrigeren de draaisnelheid van de ventilator van de verdamper ten opzichte van de richtwaarde.

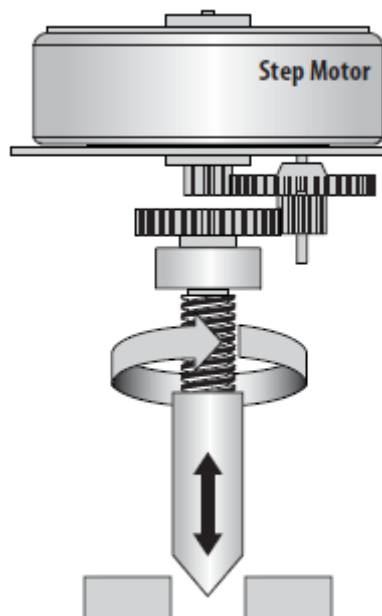
Er bestaat een ander type elektronische reduceerklep van het type stappenmotor. Het ontwerp is eenvoudig, type patroon, en laat toe alle onderdelen te vervangen zonder demontage van de klep.

De stappenmotor stuurt de tandwielen en de geleideschroef om de zuiger op zijn plaats te brengen en om het koelmiddeldebiet dat door de opening van de klep stroomt, aan te passen.

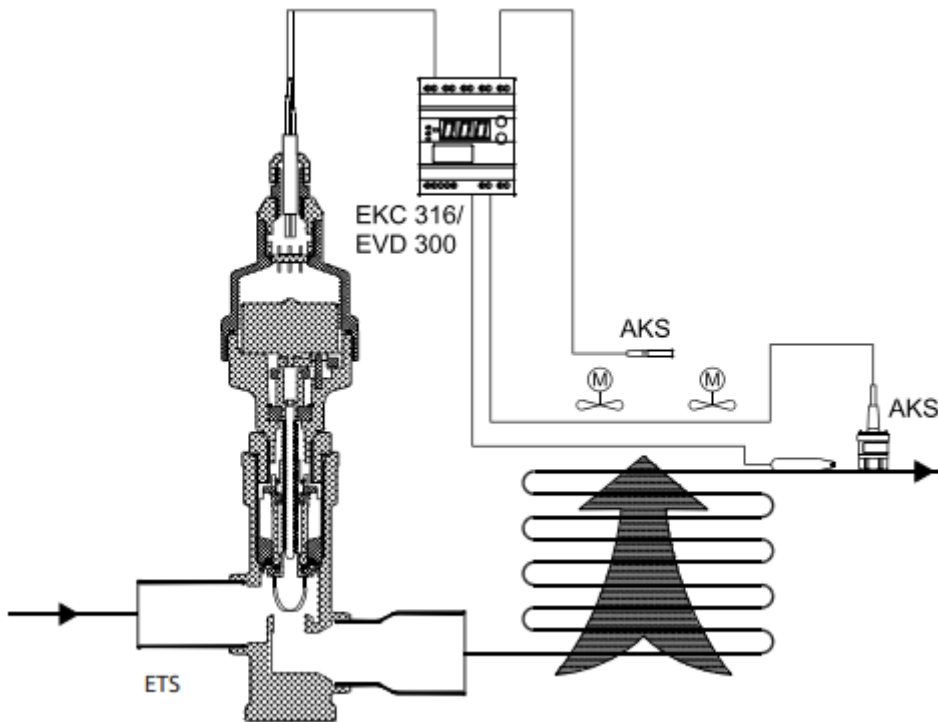
Twee groepen wikkelingen van de stator worden na elkaar onder spanning gezet, om de rotor 3,6 graden per stap te doen draaien. De opeenvolging wordt gegarandeerd door het volgende circuit:



MOTORSTAPPEN					
	STAP	Q1-Q4	Q2-Q3	Q5-Q8	Q6-Q7
TOEDOEN ↓	1	ON	OFF	ON	OFF
	2	ON	OFF	OFF	ON
	3	OFF	ON	OFF	ON
	4	OFF	ON	ON	OFF
	1	ON	OFF	ON	OFF
					↑ OPENEN



Figuur 2.97



Gedrag belasting van de verdamper/oververhitting

Thermostatische reduceerklep	Elektronische reduceerklep
<p data-bbox="236 1144 488 1205">Gedrag belasting van de verdamper</p> <p data-bbox="261 1491 520 1525">Oververhitting = <math>t_s - t_o</math></p>	<p data-bbox="683 1144 967 1205">Gedrag belasting van de verdamper</p> <p data-bbox="724 1491 983 1525">Oververhitting = <math>t_s - t_o</math></p> <p data-bbox="762 1615 1198 1704"> <span style="color: blue;">—</span> Werkelijke oververhitting  <span style="color: red;">—</span> Minimum stabile oververhitting         </p>

Figuur 2.98

### 2.6.4.3. Reduceerklep met meerdere openingen



Figuur 2.99

Met dit type reduceerklep kan men gebruik maken van de gunstige buitentemperaturen en tegelijkertijd zorgen voor een optimale werking van de koelinstallatie.

Verbruik (kWh/jaar)	Positieve koeling	Negatieve koeling
« Klassieke oplossing » constante HD	185 135	123 040
Afwijking van de HD en expansieventiel met meerdere openingen	107 717 (-42 %)	78 426 (-36 %)

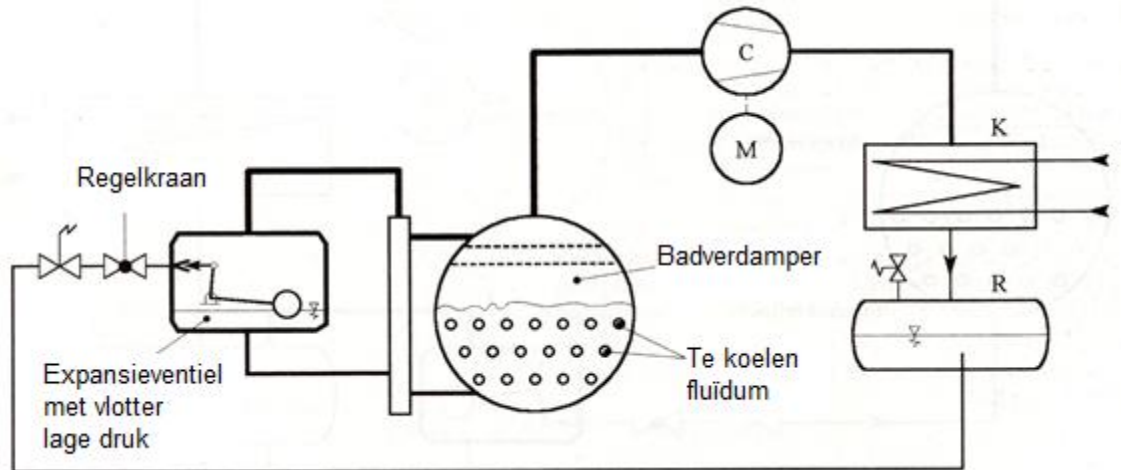
De reduceerklep met meerdere openingen opent zijn drie openingen in cascade naargelang van de vraag; de toevoer naar de verdamper wordt niet verstoord, ondanks de afwijkingen van de HD. Bovendien laat hij snelle temperatuurdalingen toe bij de instelling van het toerental of na een ontdooiing.

De reduceerklep wordt gemonteerd en afgesteld zoals een standaard thermostatische reduceerklep. Een modulerende klep en een externe sonde volstaan; dit levert tijdwinst bij de installatie en beperkte kosten voor gebruik en onderhoud.

#### 2.6.4.4. Reduceerklep met vlotter

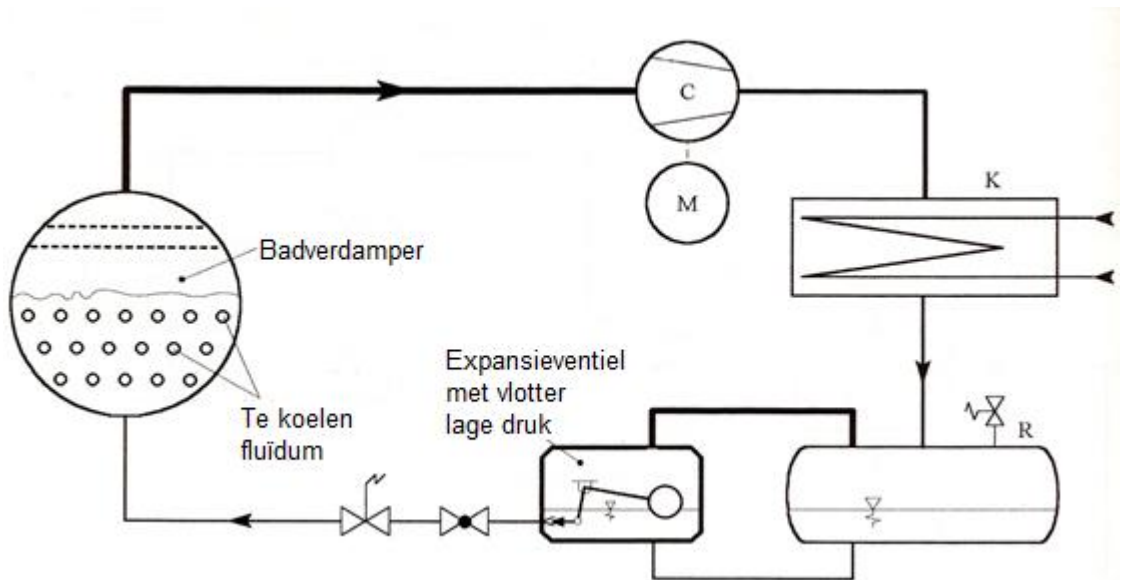
De aanvoer van koelmiddel naar verzonken verdampers gebeurt middels controle van het vloeistofniveau.

- Hetzij in het lichaam van de verdamper zelf met behulp van een reduceerklep met lagedrukvlotter of een elektronische niveauregelaar. De ontspanning vindt plaats ter hoogte van de naald.



Figuur 2.100

- Hetzij in het vloeistofreservoir met behulp van een reduceerklep met hogedrukvlotter of een elektronische niveauregelaar.



Figuur 2.101



## 2.7. DE THEORETISCHE KOELCYCLUS VANUIT HET STANDPUNT VAN DE ENERGIE

### 2.7.1. HET MOLLIER-DIAGRAM VAN DE ENTHALPIE

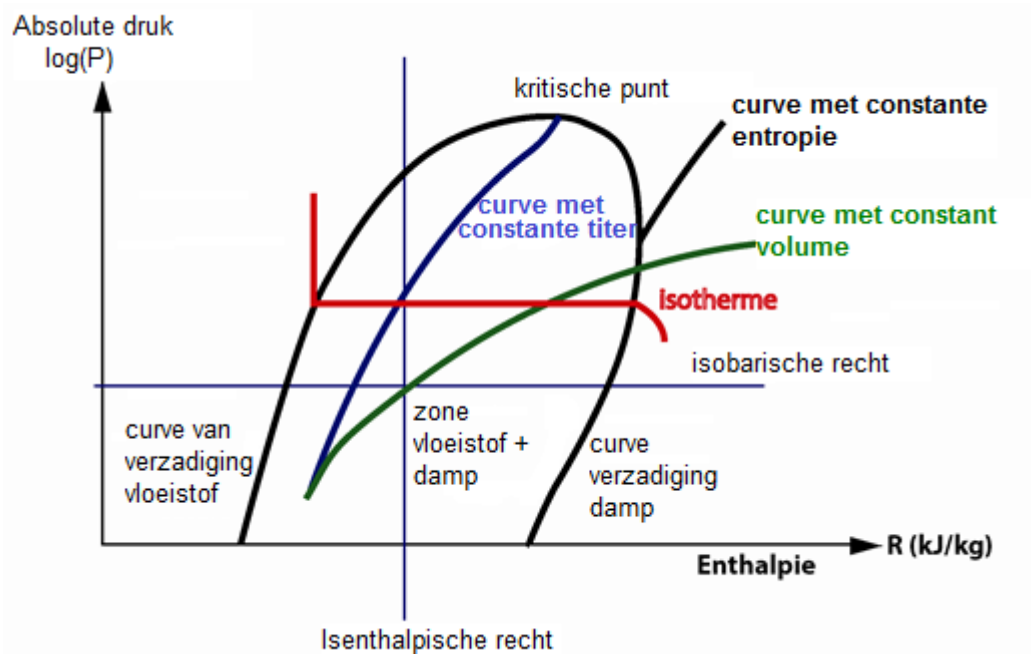
Het Mollier-diagram geeft een volledige beschrijving van de toestand van het koelmiddel naargelang van de druk en de enthalpie. Het is afgeleid van de verhouding druk - temperatuur die bestaat in de verdichtbare gassen.

In het diagram staat op de x-as de enthalpie  $h$  in kJ/kg (in de energie van het fluïdum) en op de y-as de absolute druk  $P$  op een logaritmische schaal in bar ( $10^3$  Pa).

Elk koelmiddel heeft dus een eigen diagram ( $\log P/h$ ).

Globaal genomen toont het enthalpische diagram een klokvormige zone of toestandsveranderingszone waarin het fluïdum zich in de tweefasentoestand bevindt. (Mengsel vloeistof + damp)

Deze "klok" wordt links afgebakend door een curve van verzadiging vloeistof, waarbij elk punt overeenkomt met een 100 % vloeibare toestand en dus 0 % damp. Rechts wordt de klok gevormd door een curve verzadiging damp (100 % damp en 0 % vloeistof). Deze twee curven snijden elkaar in een toppunt, het kritische punt genoemd; boven dit punt is een toestandsverandering niet meer mogelijk. De zone in de buitenband van de klok is de heterogene zone van het mengsel vloeistof - damp tijdens bijvoorbeeld een toestandsverandering.



Figuur 2.102

Het diagram toont ook:

- De curven met een constante titer of percentage damp in de vloeistof (van 0 tot 1 of van 0 tot 100 %) in de buitenband of onder de "klok".
- De curven:
  - met specifiek volume  $V$  in  $\text{m}^3/\text{Kg}$  (isochoren)
  - met constante entropie in  $\text{kJ}/\text{kg}\cdot^\circ\text{K}$  (isentropen)
  - isothermen of met constante temperatuur.

De parallellen met de assen

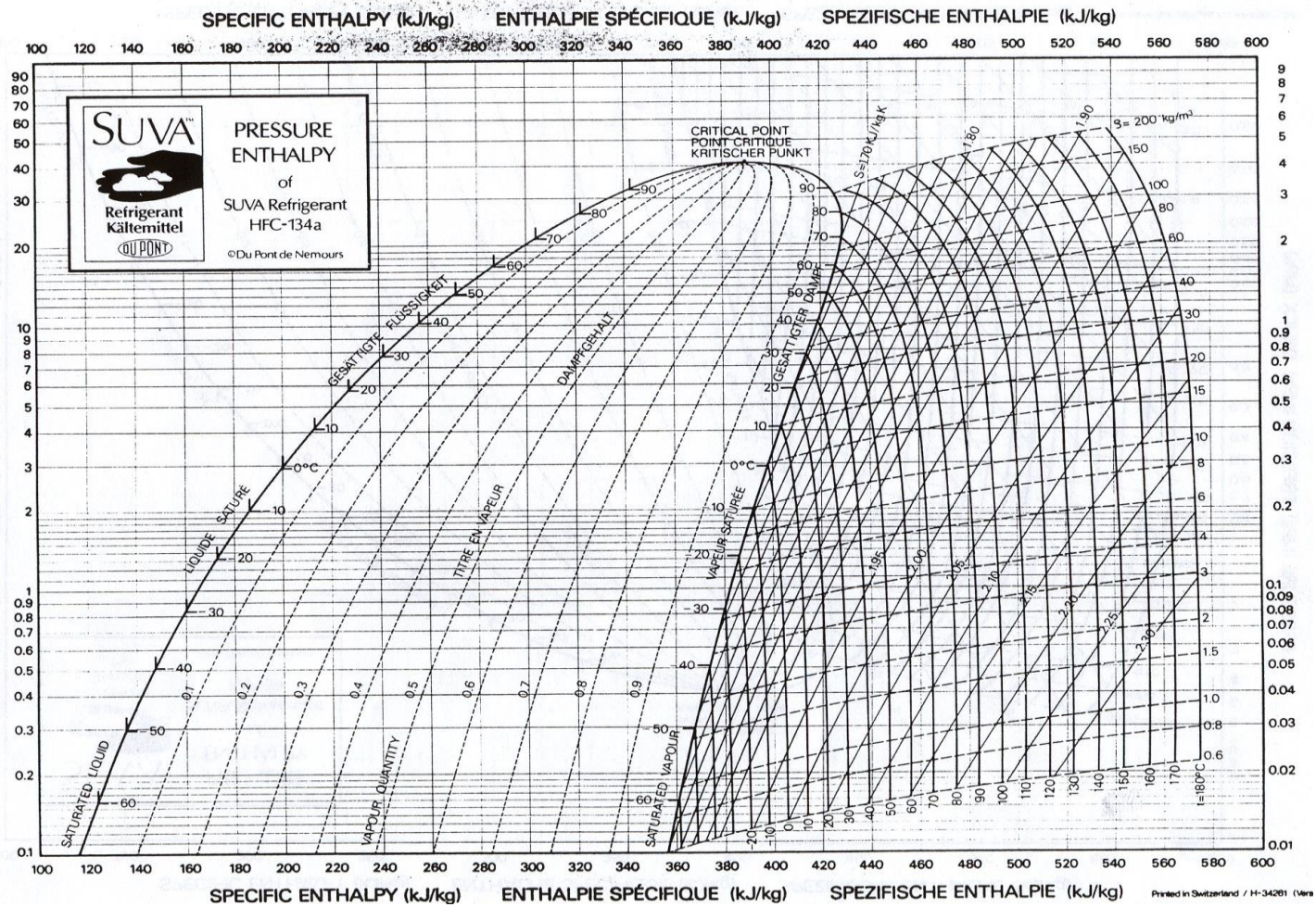
- x zijn de isobarische rechten, waarbij elk punt dezelfde druk heeft.
- y zijn de isenthalpische rechten, waarbij elk punt dezelfde enthalpie heeft.

We merken op dat onder de "klok" de isothermen (lijn van punten met dezelfde temperatuur) samenvallen met de isobaren (lijn van punten met dezelfde druk).

Dit is normaal want de verdamping of de condensatie vindt plaats bij constante druk zonder temperatuurwijziging, waarbij een mengsel vloeistof/damp wordt gevormd dat van fysische toestand verandert.

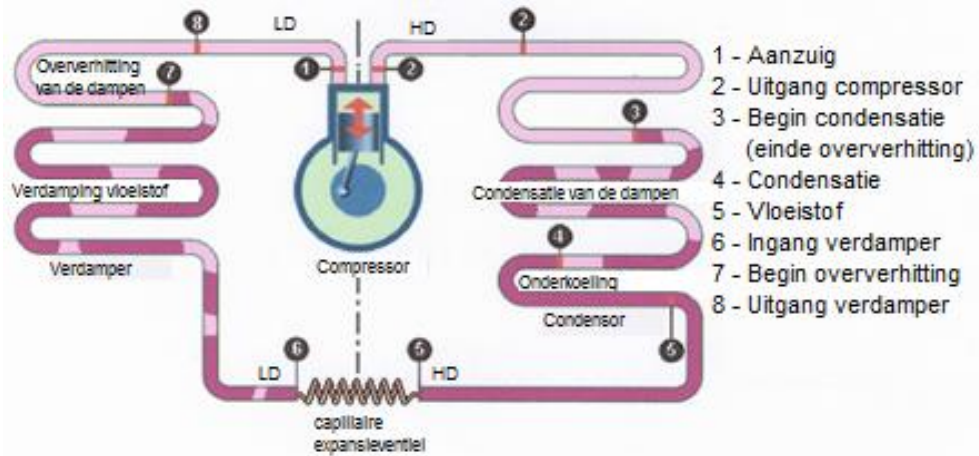
Het enthalpische diagram laat dus toe, zonder berekening:

- de natuurkundige parameters te bepalen van een fluïdum in een gegeven fysische toestand.
- de werkingscyclus van een koelinstallatie voor een bepaald fluïdum te tekenen volgens de evaporatie- en condensatietemperaturen (of drukken).



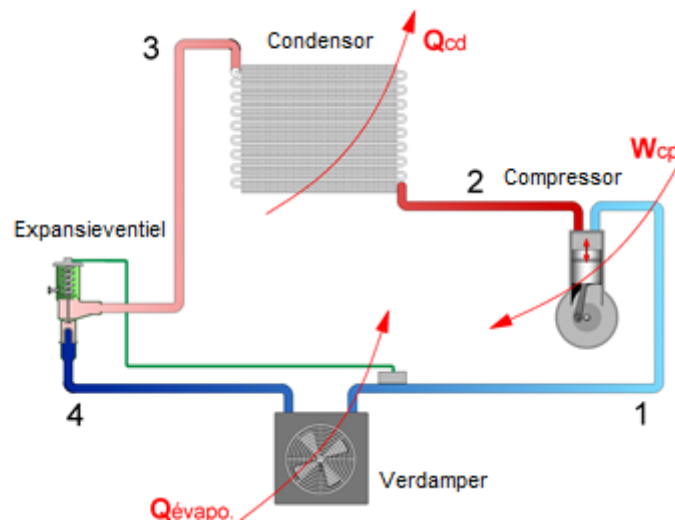
Figuur 2.103 Voorbeeld: het enthalpische diagram van R134

## 2.7.2. TOEPASSING VAN HET ENTHALPISCHE DIAGRAM OP DE KOELCYCLUS

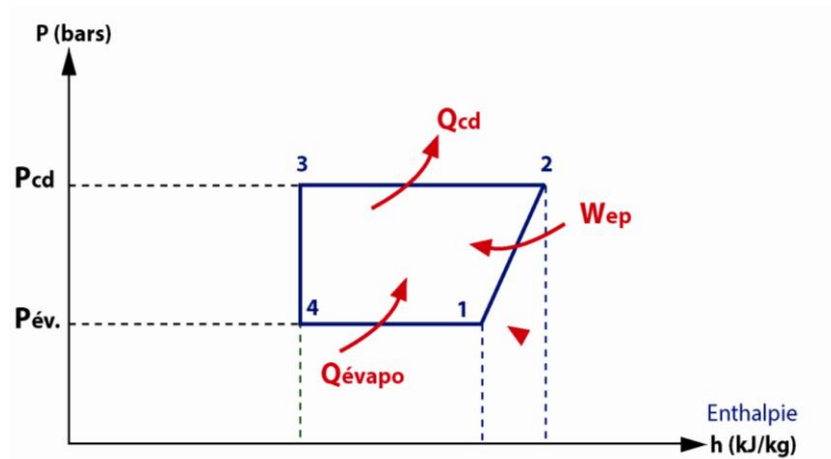


Figuur 2.104: herinnering aan het principe van de koelmachine

### Voorstelling in het enthalpische diagram



Figuur 2.105



Figuur 2.106

Het koelmiddel zal in de machine een cyclus afleggen en de volgende transformaties ondergaan:

- 1 De compressie leidt tot een toename van de druk en de temperatuur. De fluïdum krijgt energie die samenhangt met de elektrische energie geabsorbeerd door de compressor ( $W_{cp}$ )
- 2 De condensatie: Bij constante druk en constante  $t^\circ$  wisselt het fluïdum met de externe omgeving een energie  $Q_{cd}$  uit die gelijk is aan de latente condensatiewarmte.
- 3 De ontspanning: Het fluïdum gaat van hoge druk naar lage druk zonder uitwisseling met de externe omgeving (adiabatische transformatie)
- 4 De verdamping: Bij constante druk en constante  $t^\circ$  absorbeert het fluïdum een hoeveelheid energie  $Q_{évapo}$  die gelijk is aan de latente evaporatiewarmte. Deze energie wordt geleverd door de af te koelen warmtebelasting.

Van 1 tot 2:  $W_{cp}$  = energie overgedragen aan het koelmiddel tijdens zijn compressie.

Van 2 tot 3:  $Q_{cd}$  = hoeveelheid warmte vrijgemaakt door het koelmiddel in de condensor.

Van 3 tot 4: Ontspanning van het koelmiddel zonder afgifte noch absorptie van energie.

Van 4 tot 1:  $Q_{évapo}$  = hoeveelheid geabsorbeerde warmte in de omgeving van de ruimte die door het koelmiddel in de verdamper afgekoeld moet worden. Dit is het koeleffect van de verdamper

We kunnen de volgende definities opstellen:

$Q_{évapo}/W_{cp}$  = **EER** = energie-rendementsverhouding of **Energy Efficiency Ratio**

De eenheden worden gegeven in  $\left[ \frac{Btu/h}{kW_{électrique}} \right]$ .

Hoe hoger de EER-waarde, hoe groter het energierendement.

We kunnen de **COP<sub>koude</sub>** berekenen:  $COP_{froid} = EER/3,413 = Q_{cd}/W_{cp} = \text{Optimale}$

### **Prestatiecoëfficiënt**

Een ander belangrijk gegeven is de **ESEER** (European Seasonal Energy Efficiency Ratio), dit is de verhouding tussen de koelcapaciteit **geleverd tijdens een seizoen** in Btu en de totale hoeveelheid energie verbruikt door het systeem in watt.

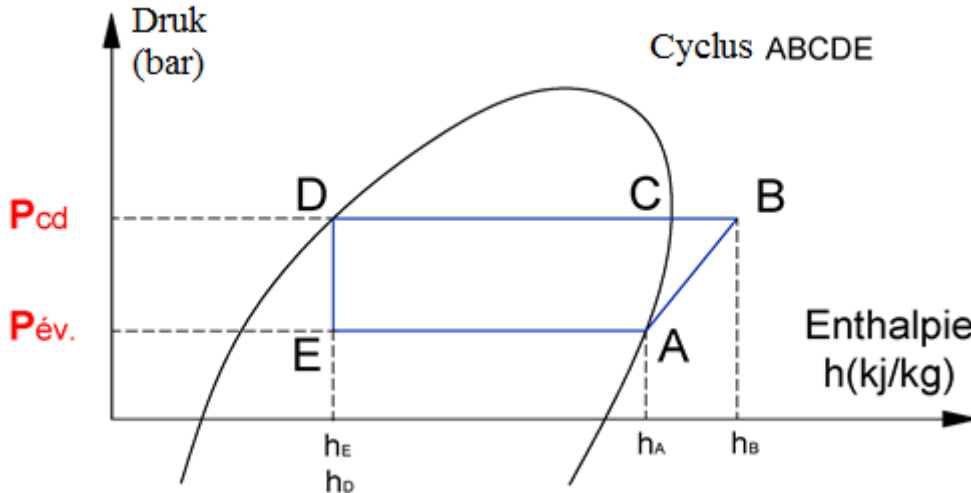
De volgende formule is zeer belangrijk voor de dimensionering van de wisselaars in een koelcyclus. De hoeveelheid energie afgevoerd in de condensor is de hoeveelheid energie geabsorbeerd in de verdamper en tijdens de compressiearbeid:

$$Q_{cd} = Q_{évapo} + W_{cp}$$



### 2.7.3. THEORETISCHE CYCLUS VAN CARNOT

Het volgende diagram toont de cyclus van de koelmachine in een diagram Druk/Enthalpie. In deze cyclus beschouwt men een ideale machine en gaat men ervan uit dat de compressie isentropisch is en de ontspanning omkeerbaar adiabatisch. We voeren het diagram in een Mollier-diagram in en nemen dezelfde grootheden druk – enthalpie.



Figuur 2.107

A → B → C → D → E: Koelcyclus.

Punt A: Aanzuiging door de compressor / A moet zich bevinden in de zone verzadigde damp om vloeistof in de compressor te vermijden.

Punt B: Stuwing door de compressor / B bevindt zich in de zone oververhitte dampen.

Punt C: In de condensor / verzadigde damp

Punt D: Uitlaat condensor / verzadigde vloeistof

Punt E: Inlaat verdamper / tweefasentoestand: mengsel van vloeistof + dampen

Van A tot B: Compressiefase

- Verhoging van de temperatuur
  - Verhoging van de druk
  - Toename van de entropie
- (In theorie beschouwt men de isentropische compressie)

Van B tot C: Inlaat van de condensor. Zone van de afkoeling van de oververhitte dampen die de compressor verlaten.

Van C tot D: Eigenlijke condensatie. Constante condensatie- $t^\circ$  en constante druk.

Van B tot D: De totale energiewerk in de condensor.

Van D tot E: Fase van isenthalpische ontspanning. Het fluïdum gaat van HD naar LD.

Op punt D komt het fluïdum vloeibaar uit de condensor. Op E bevindt het fluïdum zich aan het einde van de ontspanning in de toestand V + D. Een deel van het fluïdum is verdampt door energie aan zichzelf te onttrekken, want het fluïdum krijgt geen externe aanvoer.



Van E tot A: Evaporatiefase - Nuttige fase van de cyclus. Onder invloed van de energie van de af te koelen warmtebelasting zal het fluïdum beginnen te koken en verdampen bij een constante druk en dus een constante evaporatie- $t^{\circ}$ .

Het af te koelen milieu ziet zijn temperatuur dalen; het fluïdum heeft immers een deel van de energie in het milieu opgenomen.

### Kenmerken:

In A: Evaporatiedruk of LD  
Temperatuur  $t_A$ /enthalpie  $h_A$

In B: Condensatiedruk of HD  
Temperatuur  $t_B$ /enthalpie  $h_B$

In D: Condensatiedruk of HD  
Temperatuur  $t_D$ /enthalpie  $h_D$

In E: Evaporatiedruk of LD  
Temperatuur  $t_E$ /enthalpie  $h_E$

Met  $t_D$  = Condensatietemperatuur.

$t_E = t_A$  = Evaporatietemperatuur.

$h_B - h_A = W_{cp}$  = energie geleverd aan het fluïdum door de compressor.

$h_B - h_D = Q_{cd}$  = energie uitgestoten door de condensor

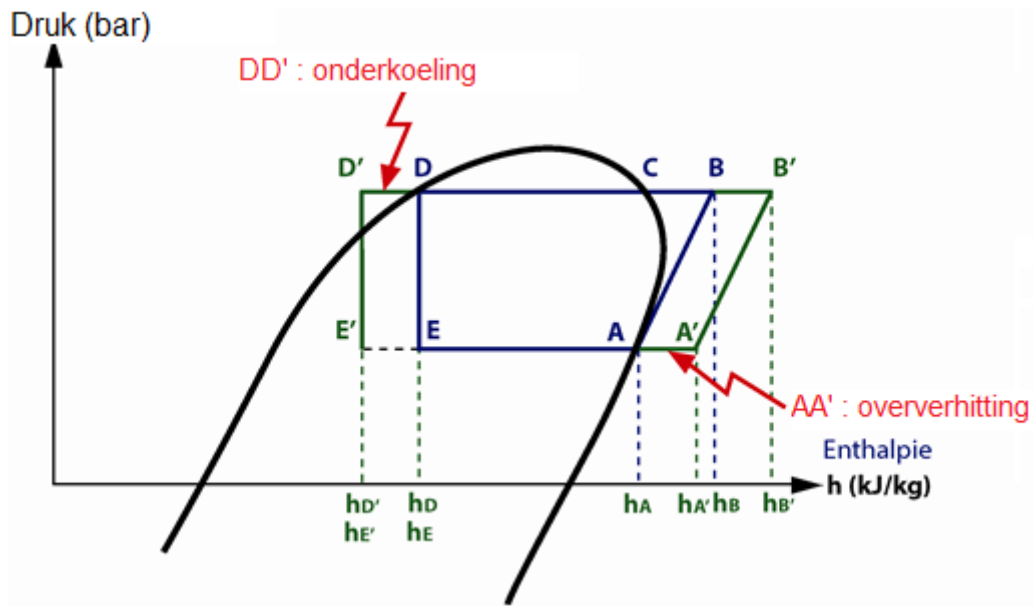
$h_D = h_E$  = adiabatische ontspanning

$h_A - h_E = Q_{évapo}$  = koeffect of energie geabsorbeerd aan verdamper. Dit segment is het belangrijkste voor de ontwerpers, en om een machine te optimaliseren, moet men trachten het grootste koeffect te verkrijgen, dus  $(h_A - h_E)$  neemt toe

Om het koeffect  $h_A - h_E$  te doen stijgen, dient men punt E naar rechts op de isobaar LD naar E' terug te schuiven en dus  $h_E$  te verminderen naar  $h_{E'}$ .

Om er te geraken moet men D naar D' terugschuiven en het segment D-D' creëren. In de praktijk zal het segment bestaan als men de vloeistof nakoelt voor ze de condensor verlaat, zodra de condensatie in D beëindigd is. In de praktijk gebeurt de nakoeling S/R tussen 4 en 7 °C.

We krijgen dus  $Q_{évapo} = h_A - h_{E'} > h_A - h_E$



Figuur 2.108

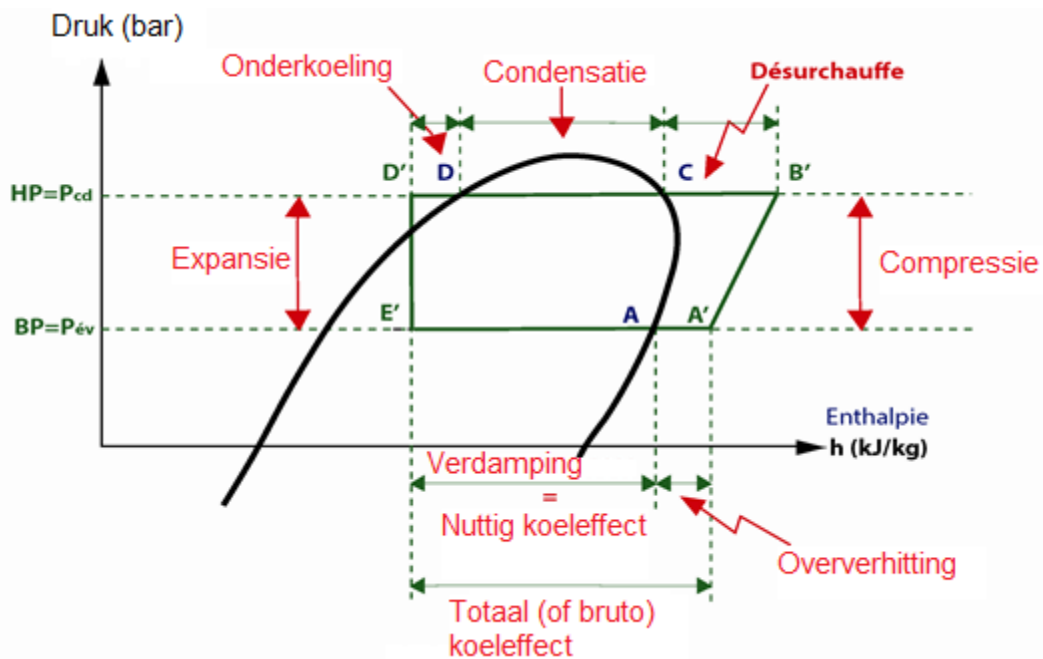
We kunnen ook punt A naar punt A' terugschuiven. Vanuit het standpunt van het koeleffect wint men niets. Door evenwel een zone A - A' te creëren aan de uitlaat van de verdamper, vermijdt men het risico van vloeistofslag op de compressor.

Het segment A – A' noemt men oververhittingszone. Punt A' mag niet op de dampverzadigingscurve staan, om zich in de duidelijk oververhitte dampzone te bevinden.

De afmetingen van de verdamper worden afgestemd op een vergroot koeleffect  $h_A - h_{E'}$  van de oververhittingszone A – A'.

Deze oververhitting is evenwel niet te groot (+/- 5 tot 8 °C), want als A' naar rechts schuift, doet B' dat ook. De temperatuur van de dampen aan de uitlaat van de compressor is hoger, wat slecht is voor de compressor, voor de condensatie en dus voor het nuttige koeleffect.

Tot besluit ziet **de ideale cyclus** er als volgt uit:



Figuur 2.109

A' – B': Isentropische compressie (constante entropie)

B' – D': Condensatie bestaande uit:

B' – C: afkoeling van de oververhitte dampen bij HD.  
De temperatuur daalt (waarneembare warmte)

C – D: Condensatie van het koelmiddel  
Constante druk (HD)  
Constante condensatie-t° (latente warmte)

D – D': Nakoeling  
Constante druk (HD). De vloeistof koelt af (waarneembare warmte)

D' – E': Adiabatische ontspanning = constante enthalpie h

E' – A: Verdamping p = cst (LD)  
Constante evaporatietemperatuur (latente warmte) tijdens de evaporatie.

A – A': Oververhitting van de dampen p = cst (LD)  
De temperatuur stijgt (waarneembare warmte)

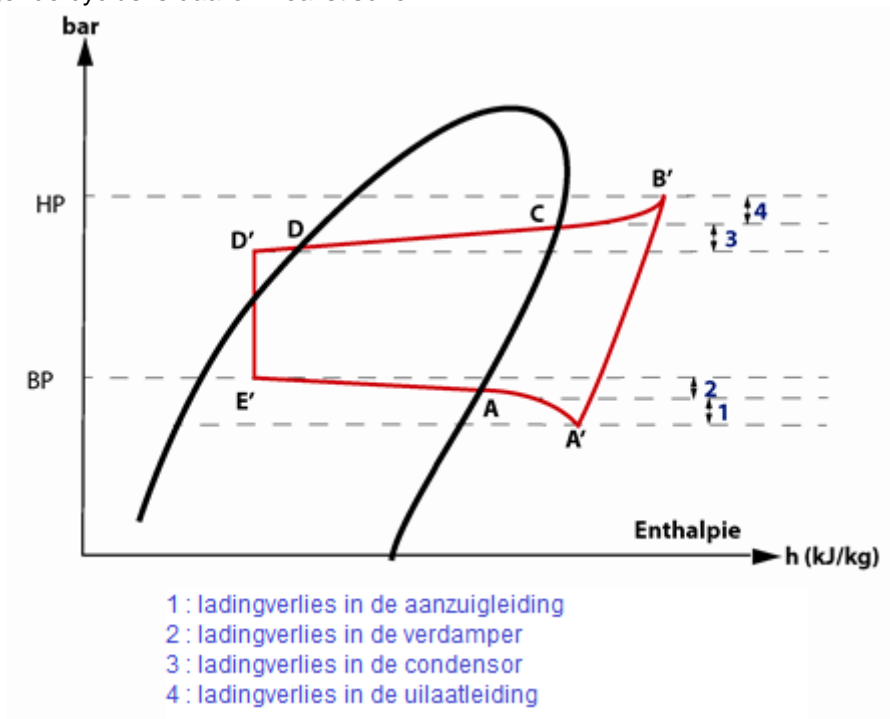
Brutokoeleffect Q <sub>évapo</sub>	=	h <sub>A'</sub> – h <sub>E'</sub>
Nuttig effect	=	h <sub>A</sub> – h <sub>E'</sub>
Uitgestoten energie	Q <sub>cd</sub>	= h <sub>B'</sub> – h <sub>D'</sub>
Verbruikte energie	W <sub>cp</sub>	= h <sub>B'</sub> – h <sub>A'</sub>
C.E.F = Q <sub>évapo</sub> /W <sub>cp</sub>	=	h <sub>A'</sub> – h <sub>E'</sub> /h <sub>B'</sub> – h <sub>A'</sub>
COP = Q <sub>cd</sub> /W <sub>cp</sub>	=	h <sub>B'</sub> – h <sub>D'</sub> /h <sub>B'</sub> – h <sub>A'</sub>

## 2.8. REËLE KOELCYCLUS

### 2.8.1. INVLOED VAN DE LADINGVERLIEZEN VAN DE LEIDINGEN

In de praktijk moet men ook rekening houden met de ladingverliezen in de aanzuiglijn (of leiding) en in de perslijn, en in de wisselaars.

Volgende cyclus is daarom realistischer:



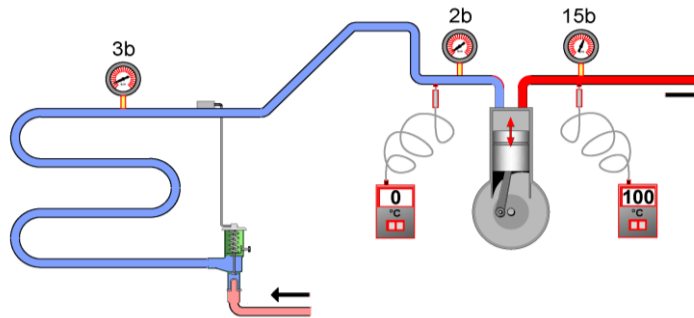
Figuur 2.110

De temperatuur aan het einde van de compressie B' kan beperkt worden door:

- een stijging van de aanzuigdruk
- een daling van de persdruk
- een daling van de aanzuigtemperatuur
- de afkoeling van de compressor

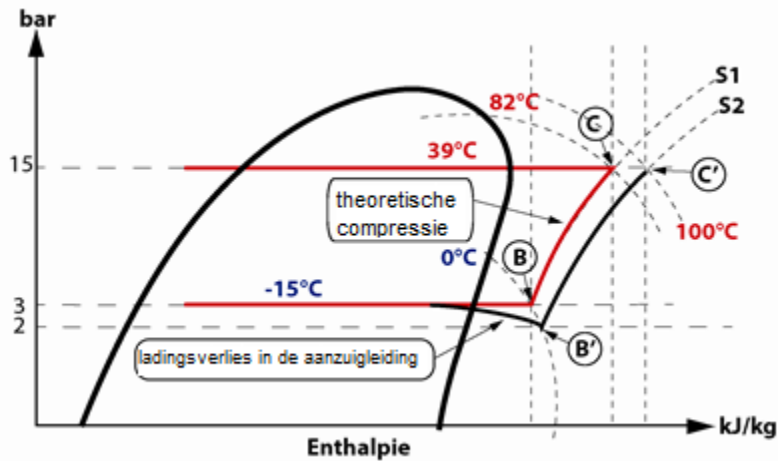
## 2.8.2. INVLOED VAN DE AANZUIGDRUK

Hetzij een installatie met een ladingverlies van 1 bar. De druk bij aanzuiging door de compressor is 1 bar minder dan de druk die in de verdamper heerst.



Figuur 2.111

Op het enthalpische diagram ziet men:



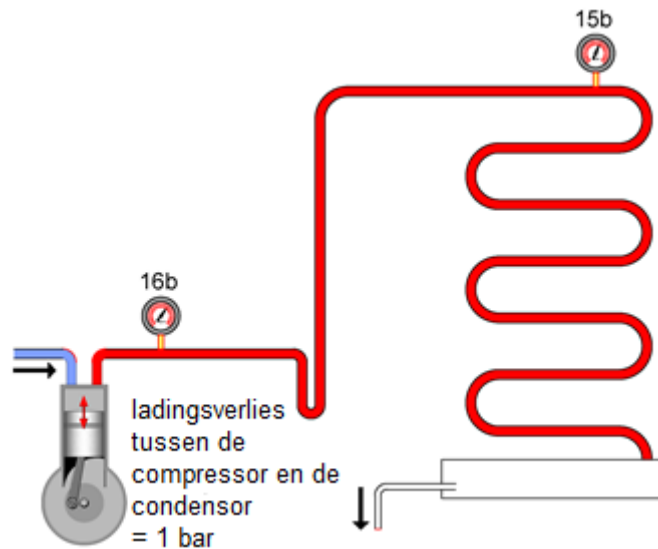
Figuur 2.112

Bij aanzuiging door de compressor verplaatst punt B zich naar B' en de perstemperatuur stijgt van 82 (zonder ladingverlies) naar 100 °C.

Dit leidt tot een daling van de koelprestatie:

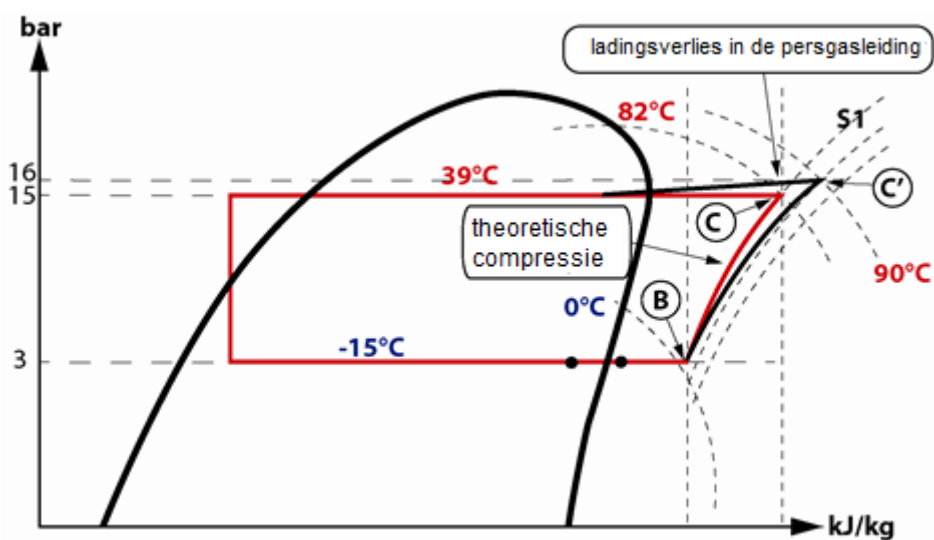
- Soortelijk volume  $v$  van de aangezogen dampen is gestegen:  $v_B'' < v_{B'}''$ 
  - ⇒ Massadebiet is gedaald
  - ⇒ Koelvermogen is nog verder gedaald
- Compressieniveau  $\tau$  is gestegen:
  - ⇒ Volumetrisch rendement  $\eta_v$  daalt
  - ⇒ Koelvermogen daalt
- Compressiearbeid is gestegen:  $h_C - h_B < h_{C'} - h_{B'}$

### 2.8.3. INVLOED VAN DE PERSDRUK



Figuur 2.113

Als de persleiding een ladingverlies vertoont, is de druk aan de drukzijde van de compressor groter dan de condensatiedruk.



Figuur 2.114

Het representatieve punt van de stuwning wordt C', wat een toename van de persdruk met zich brengt. Het ladingverlies moet beperkt worden tot een maximale druk gelijk aan 1 °C. (keuze correcte diameter en het aantal bochten beperken)

## 2.8.4. COËFFICIËNTEN EER EN ESEER

Tegenwoordig moet de energie-efficiëntie van de koelgroepen berekend worden volgens de norm EN 14511.

**De coëfficiënt EER** (Energy Efficiency Ratio) wordt gemeten bij volle belasting in standaardomstandigheden.

Voor de chillers met watercondensator:

**Table 8 — Water-to-water heat pumps and liquid chilling packages - Cooling mode**

		Outdoor heat exchanger		Indoor heat exchanger	
		Inlet temperature °C	Outlet temperature °C	Inlet temperature °C	Outlet temperature °C
Standard rating conditions	Water to water and brine to water	30	35	12	7
	Water to brine	30	35	0	- 5
	Water to water and brine to water (for floor cooling or similar application)	30	35	23	18
Application rating conditions	Water to water	15	<sup>a</sup>	<sup>a</sup>	7
	Water to brine	15	<sup>a</sup>	<sup>a</sup>	- 5

<sup>a</sup> The test is performed at the flow rate obtained during the test at the corresponding standard rating conditions.

Voor de chillers met luchtcondensator:

**Table 10 — Air-to-water heat pumps and liquid chilling packages - Cooling mode**

		Outdoor heat exchanger		Indoor heat exchanger	
		Inlet dry bulb temperature °C	Inlet wet bulb temperature °C	Inlet temperature °C	Outlet temperature °C
Standard rating conditions	water	35	-	12	7
	brine	35	-	0	5
	water (for floor cooling or similar application)	35	-	23	18
Application rating conditions	water	27	-	<sup>a</sup>	7
	water (for floor cooling or similar application)	27	-	<sup>a</sup>	18
	water	46	-	<sup>a</sup>	7
	brine	27	-	<sup>a</sup>	- 5

<sup>a</sup> The test is performed at the water flow rate obtained during the test at the corresponding standard rating conditions.



Sinds 2006 beoordeelt Eurovent Certification de prestatie van de chillers en omkeerbare chillers naargelang van de **ESEER: European Seasonal Energy Efficiency Ratio**.

Deze hecht groot belang aan de prestatie van de chillers bij gedeeltelijke belasting in plaats van bij nominaal vermogen. De afmetingen van een chiller worden afgestemd op piekbehoeften, maar hij werkt meer dan 95 % van de tijd bij gedeeltelijke belasting. De ESEER is enkel van toepassing op de prestatie in koudemodus van de chillers en omkeerbare chillers.

De ESEER is de som van vier waarden:

$$\text{ESEER} = \text{A.EERA} + \text{B.EERB} + \text{C.EERC} + \text{D.EERD}$$

Waarbij:	temperatuur bij de ingang van de condensor in °C		belastingsniveau %	factor
	lucht	water		
EERA	<b>35</b>	<b>30</b>	<b>100</b>	<b>0,03</b>
EERB	<b>30</b>	<b>26</b>	<b>75</b>	<b>0,33</b>
EERC	<b>25</b>	<b>22</b>	<b>50</b>	<b>0,41</b>
EERD	<b>20</b>	<b>18</b>	<b>25</b>	<b>0,23</b>

De fabrikanten die deelnemen aan het LCP-programma van Eurovent moeten al hun machines certificeren, tot 600 kW voor de LCP met luchtcondensator en tot 1500 kW voor de LCP met watercondensator.

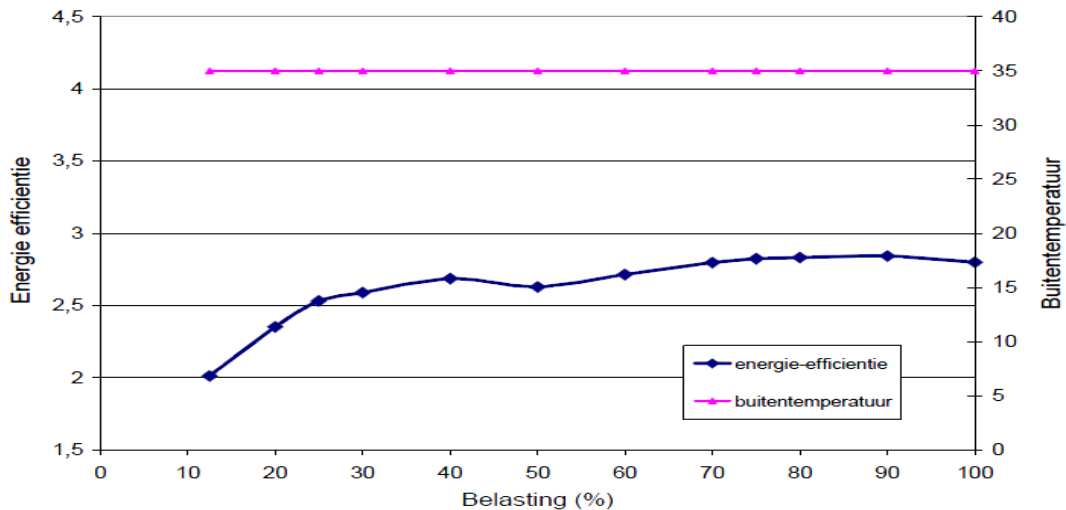
Op de website <http://www.eurovent-certification.com> staan 3863 LCP met luchtcondensatie en 1294 LCP met watercondensatie met een gecertificeerde ESEER-waarde. (LCP = liquid chilling package). De volgende units maken geen deel uit van het programma: groepen voor de productie van ijswater aangedreven door andere motoren dan elektrische, de free-coolingprestaties en warmterecuperators, de warmtepompen in warme toestand en de units voorzien voor werking bij 60 Hz.

Puissance Frigorifique [kW] <sup>1</sup>	Efficacité à pleine charge [EER] <sup>2</sup>	Efficacité à charge partielle [ESEER] <sup>3</sup>	Niveau de puissance sonore [dBA]	Longueur [mm]	Largeur [mm]	Hauteur [mm]	Poids en fonction. [kg]	Charge de réfrigérant [kg]
500	3.2	4.5	96	6280	2241	2401	5740	172
500 LN	2.9	4.2	92	5163	2241	2401	5989	160
600	3.2	4.5	96	7397	2241	2401	6554	164
600 LN	2.9	4.1	92	7397	2241	2401	6726	160
700	3.2	4.6	98	7397	2241	2401	7668	204
700 LN	2.9	4.2	93	7397	2241	2401	7805	204

De werking van een chiller bij gedeeltelijke belasting wijst niet meteen op een daling van het rendement.

Op de volgende grafiek kan men de impact tonen van een belastingvariatie op een chiller met luchtcondensator met twee schroefcompressoren. Als de buitentemperatuur constant blijft, ziet men dat het optimale rendement zich op 90 % van de belasting bevindt. De andere parameters die het rendement van een machine beïnvloeden:

- type compressor
- type koelmiddel
- uitwisselingsoppervlak wisselaar
- type reduceerklep
- aantal koelmiddelcircuits
- de frequentievariatie op de motor van de ventilator en die van de pomp



Figuur 2.115

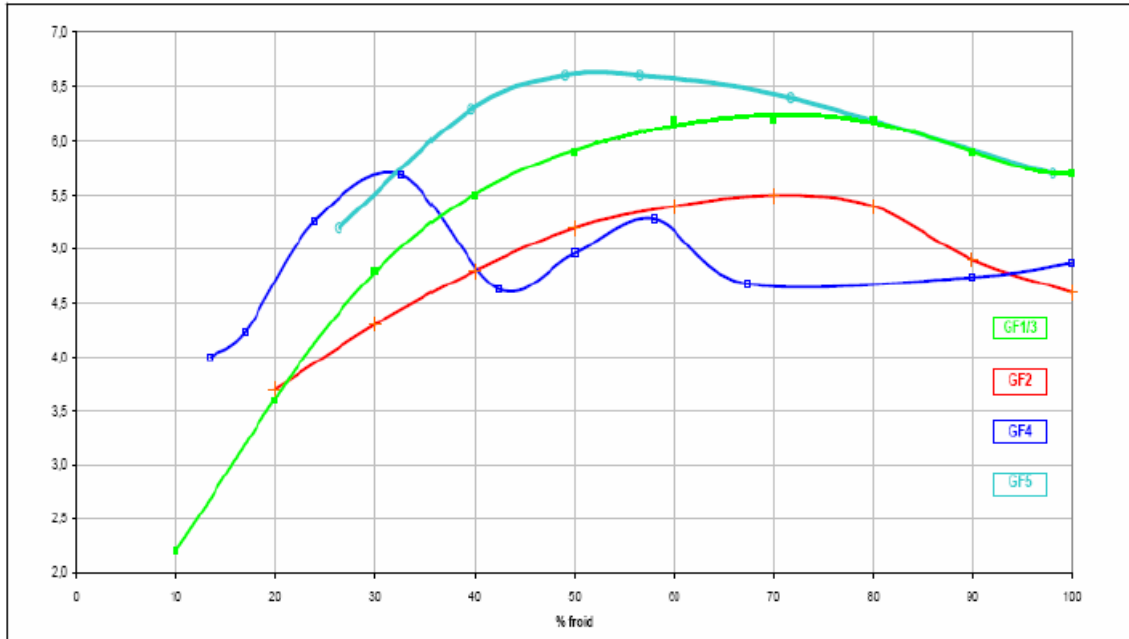
De koudebelasting en de buitentemperatuur hangen dus samen. Deze verhouding is gestandaardiseerd door de normen ARI (USA) en EECAC (Europa).

Het beheer van de cascade van de koelmachines op basis van de kenmerken bij gedeeltelijke belasting is een ideale manier om het verbruik van de koude-installaties te beheren en een betere prestatiecoëfficiënt te verkrijgen.

De volgende diagrammen tonen de maatregelen die genomen werden op een gebouw in het Brussels Gewest.

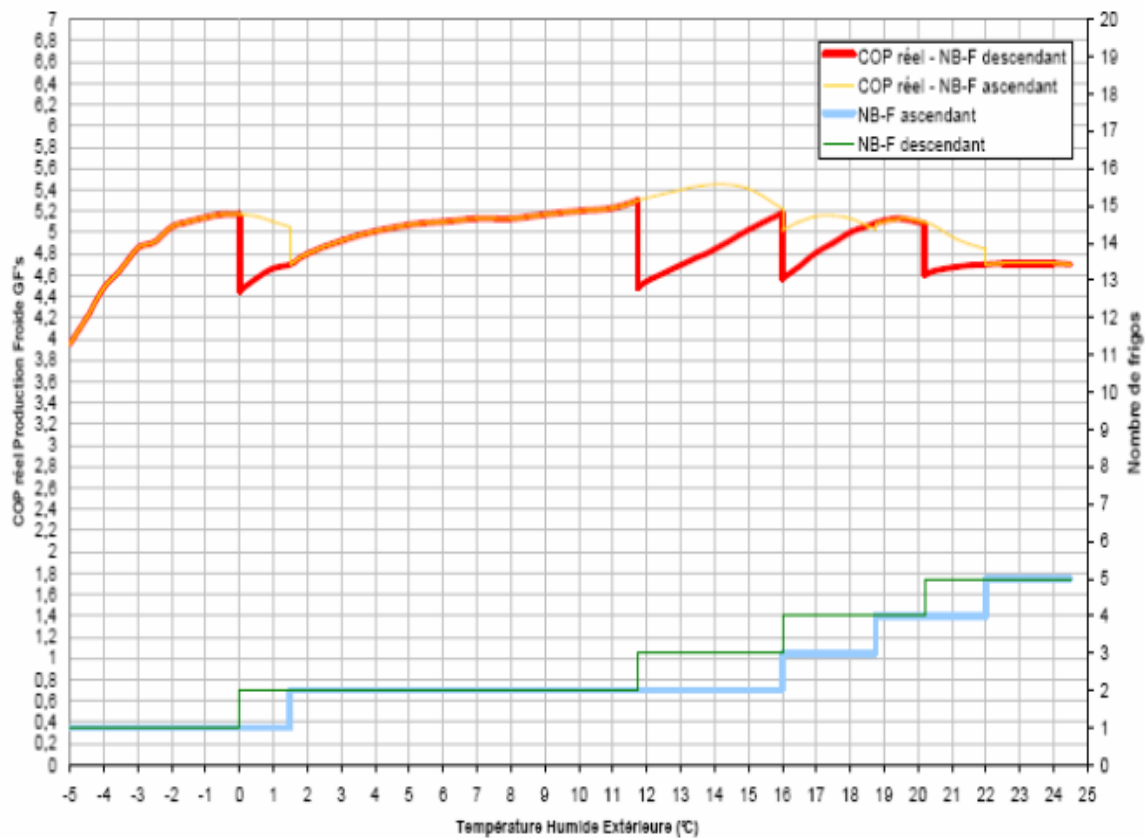
Het verbruiksrapport houdt rekening met de koeltorens, de circulatiepompen.

De onderzochte installatie omvat 5 machines voor de productie van ijswater. De kenmerken bij gedeeltelijke belasting tonen aan dat de machines 1, 3 en 5 een beter rendement leveren dan de machines 2 en 4. De machines 1, 3 en 5 worden eerst ingeschakeld, zodra de behoeften naar koude toenemen.



De cascade verloopt als volgt: 3,1,5,4,2 of 1,3,5,4,2.

Figuur 2.116



Figuur 2.117

De grafiek toont de toename van de EER-coëfficiënt tijdens de inschakeling van een machine en de afname van de EER-coëfficiënt bij de uitschakeling van een machine. De omschakelingsdrempel van een inschakeling of een uitschakeling bevindt zich tussen 40 en 70 % naargelang van de kenmerken bij gedeeltelijke belasting van de machine.

De classificatie van de chillers volgens EUROVENT (Europese Commissie van constructeurs van koel- en luchtbehandelingsuitrustingen) is de volgende:

Type Eurovent programma	Luchtgekoeld LCP/A/P/C/AC	Watergekoeld LCP/W/P/C/AC
<b>Klasse</b>	<i>EER</i>	<i>EER</i>
<b>A</b>	$> 3,1$	$> 5,05$
<b>B</b>	$3,1 > x > 2,9$	$5,05 > x > 4,65$
<b>C</b>	$2,9 > x > 2,7$	$4,65 > x > 4,25$
<b>D</b>	$2,7 > x > 2,5$	$4,25 > x > 3,85$
<b>E</b>	$2,5 > x > 2,3$	$3,85 > x > 3,45$
<b>F</b>	$2,3 > x > 2,1$	$3,45 > x > 3,05$
<b>G</b>	$< 2,1$	$< 3,05$

Sinds 2008 zijn de energieprestaties van 2700 chillers met luchtcondensor en 750 chillers met watercondensor geanalyseerd.

#### Synthese luchtgekoelde ijswatermachines (Eurovent - LCP/A/P/C/AC)

Klasse	A	B	C	D	E	F	G
Aantal toestellen	153	383	672	752	474	204	65
Min EER	3,1	2,9	2,7	2,5	2,3	2,1	1,6
Max EER	3,5	3,1	2,9	2,7	2,5	2,3	2,1
<b>Gemiddelde EER</b>	<b>3,2</b>	<b>3,0</b>	<b>2,8</b>	<b>2,6</b>	<b>2,4</b>	<b>2,2</b>	<b>1,9</b>
Min ESEER	3,2	3,1	2,8	2,6	2,4	2,3	1,8
Max ESEER	5,9	5,1	4,9	4,6	4,2	4,1	3,8
<b>Gemiddelde ESEER</b>	<b>4,0</b>	<b>3,9</b>	<b>3,8</b>	<b>3,5</b>	<b>3,1</b>	<b>2,9</b>	<b>2,4</b>
Min ESEER/EER	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Max ESEER/EER	1,7	1,7	1,7	1,8	1,7	1,8	1,8
<b>Gemiddelde ESEER/EER</b>	<b>1,28</b>	<b>1,30</b>	<b>1,37</b>	<b>1,37</b>	<b>1,29</b>	<b>1,28</b>	<b>1,22</b>

#### Synthese watergekoelde ijswatermachines (Eurovent)

Klasse	A	B	C	D	E	F	G
Aantal toestellen	123	136	194	204	84	44	2
min EER	5,1	4,7	4,3	3,9	3,5	3,1	2,9
max EER	6,4	5,0	4,6	4,2	3,8	3,4	3,0
<b>gemiddelde EER</b>	<b>5,5</b>	<b>4,8</b>	<b>4,4</b>	<b>4,0</b>	<b>3,6</b>	<b>3,3</b>	<b>3,0</b>
min ESEER	5,3	5,3	4,2	3,8	3,5	3,3	3,5
max ESEER	9,3	8,9	6,3	6,0	5,4	4,9	3,6
<b>gemiddelde ESEER</b>	<b>6,6</b>	<b>6,1</b>	<b>5,5</b>	<b>4,8</b>	<b>4,4</b>	<b>4,1</b>	<b>3,6</b>
Min ESEER/EER	0,9	1,1	1,0	0,9	1,0	1,1	1,2
Max ESEER/EER	1,8	1,9	1,4	1,4	1,5	1,4	1,2
<b>Gemiddelde ESEER/EER</b>	<b>1,21</b>	<b>1,26</b>	<b>1,23</b>	<b>1,20</b>	<b>1,21</b>	<b>1,23</b>	<b>1,22</b>

Voor de machines met luchtcondensor heeft de machine met de hoogste ESEER-coëfficiënt (5,9) de grootste EER-coëfficiënt (3,5). De verhouding tussen de twee coëfficiënten is 1,7: dit wil zeggen dat de prestaties per jaar van de machine leiden tot een winst van 70 % ten opzichte van de standaardvoorwaarden.

Voor de machines met watercondensor heeft de machine met de hoogste ESEER-coëfficiënt (9,9) niet de grootste EER-coëfficiënt (6,4).

## 2.9. DE KOELMIDDELEN

### 2.9.1. KEUZE VAN DE KOELMIDDELEN

- De koelmiddelen (KM) zorgen voor de thermische overbrenging tussen de verdamper en de condensor.
- De hoeveelheid fluïdum hangt af van de grootte van het circuit en moet nauwkeurig beoordeeld worden: niet te veel en niet te weinig.
- Het bestek van een goed KM is vrij bindend

#### 2.9.1.1. thermodynamische criteria

- De middelen kunnen gemakkelijk verdampen en condenseren aan de druk en de temperaturen die van toepassing zijn in de koude-industrie.
- Evaporatiedruk groter dan de atmosferische druk.
- Kritische druk groter dan de condensatie- $t^{\circ}$ .
- Grote latente evaporatiewarmte om het fluïdummassadebiet te beperken en de compressoren te ontlasten.
- Lage perstemperatuur.
- Kleine compressieverhouding tussen aanzuig- en persdruk.
- Stabiele chemische samenstelling in de gebruiksvoorwaarden.

#### 2.9.1.2. veiligheidscriteria

Het fluïdum moet aan de volgende eigenschappen voldoen:

- Niet-toxisch
- Onontvlambaar
- Niet-explosief op gebruikstemperaturen
- Geen invloed op de gezondheid van het personeel

#### 2.9.1.3. technische criteria

- Niet-bijtend voor metalen (koper, ijzer, alu, ...)
- Compatibel met elastomeren en plastics (dichtingen)
- Mengbaar met olie voor een goede terugkeer naar de compressor
- Gemakkelijk detecteerbaar bij lekken
- Gedrag ten aanzien van water te bewaken

#### 2.9.1.4. economische criteria

- Lage productieprijis
- Grote beschikbaarheid op de markt

### 2.9.1.5. ecologische criteria

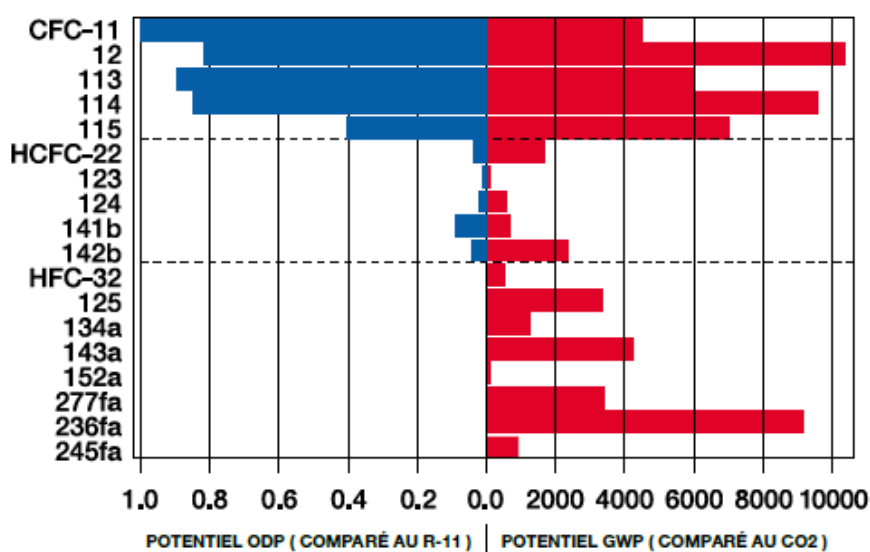
- Weinig invloed op de ozonlaag ODP (de referentie is R11 met ODP=1)  
Geen invloed als ODP=0
- Veroorzaakt geen broeikaseffect bij industriële productie van het product GWP
- Gemakkelijke terugwinning en recyclage mogelijk
- Neutraal ten aanzien van voedingsmiddelen
- Geen geur of niet-onaangename geur
- De index GWP100 levert hetzelfde effect maar over 100 jaar

Het aardopwarmingsvermogen (GWP) wordt gedefinieerd (zie Europese verordening nr. 842/2006) als het klimaatopwarmingsvermogen van een gefluoreerd broeikasgas ten opzichte van dat van koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>). De GWP100 wordt berekend volgens het opwarmingsvermogen over 100 jaar van een kilogram van een gegeven gas ten aanzien van een kg CO<sub>2</sub>. In bijlage I van de verordening staat de waarde van de GWP100 voor meerdere broeikasgassen (waarden gepubliceerd in 2001 door GIEC). De invloed is nihil als GWP=0

Volgende tabel toont de directe impact van sommige middelen op het broeikaseffect.

Type gas	GWP100 (GWP = Global Warming Potential)
CO <sub>2</sub>	1
CH <sub>4</sub> (Methaan)	23
R32 - (HFC-32)	550
R125 - (HFC-125)	3400
R134a - (HFC-134a)	1300
R143a - (HFC-143a)	4300
R410A - (50 % R32 + 50 % R125)	1975

R-134A	1300 kg CO <sub>2</sub>	per kg koelmiddel
R-407C	1600 kg CO <sub>2</sub>	per kg koelmiddel
R-404A	3800 kg CO <sub>2</sub>	per kg koelmiddel
R-410A	1900 kg CO <sub>2</sub>	per kg koelmiddel
R-290	3 kg CO <sub>2</sub>	per kg koelmiddel
CO <sub>2</sub>	1 kg CO <sub>2</sub>	per kg koelmiddel
NH <sub>3</sub>	0,1 kg CO <sub>2</sub>	per kg koelmiddel
R-22	1700 kg CO <sub>2</sub>	per kg koelmiddel



Figuur 2.118

Om het belang van de uitstoten te kunnen bepalen definieert de norm EN 378 (Koelsystemen en warmtepompen - Veiligheids- en milieu-eisen) de index "TEWI" (Total Equivalent Warming Impact). De TEWI wordt gedefinieerd als de som van het directe effect van de uitstoten van koelmiddelen en het indirecte effect van de CO<sub>2</sub>-uitstoten (als gevolg van de primaire energie gebruikt voor de werking van de koelcyclus).

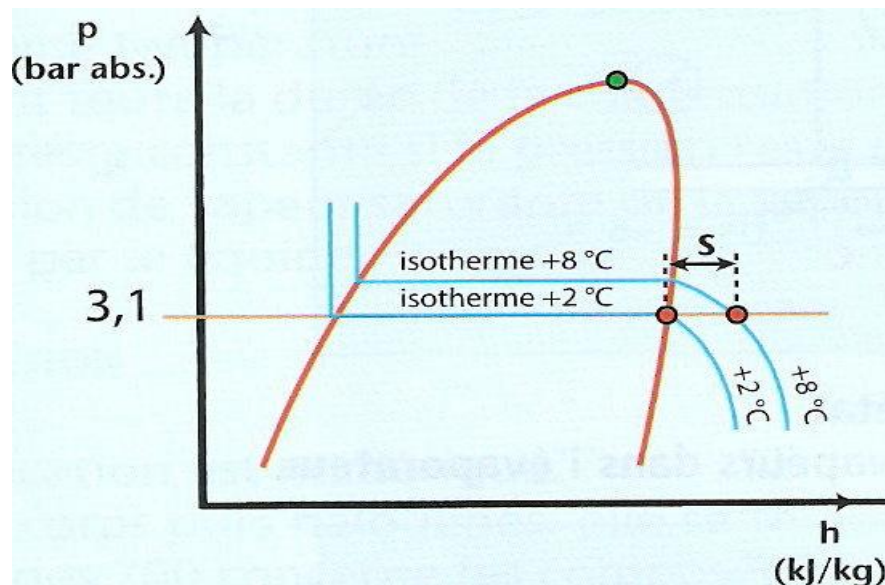
Als deze energie geproduceerd wordt met een bron van hernieuwbare energie (bijvoorbeeld zonnepanelen voor een elektrische warmtepomp), is het mogelijk de invloed van een koelcyclus op het milieu aanzienlijk te beperken.



## 2.9.2. GROEP VAN DE KOELMIDDELEN

De gebruikte middelen zijn:

- **Zuivere anorganische** verbindingen zoals ammoniak NH<sub>3</sub> of R717.
- Zuivere **organische** verbindingen zoals R134a (C<sub>2</sub> H<sub>2</sub> F<sub>4</sub>) tetrafluoroethaan.
- Zogenaamde **azeotropische** mengsels die samengesteld worden uit meerdere zuivere koelmiddelen en zich op thermodynamisch vlak gedragen als een fluïdum met een enkel bestanddeel, dit wil zeggen dat ze condenseren en verdampen bij een constante temperatuur voor een gegeven druk. (verhouding druk – temperatuur)



Figuur 2.119

Voorbeeld: R502 is een mengsel van R22 (48,8 %) en R115 (51,2 %)

- De zogenaamde **zeotropische** mengsels zijn samengesteld uit meerdere zuivere middelen die zich niet meer als een enkel fluïdum gedragen.

Voorbeeld: R404 A is een mengsel van R143a (52 %), R125 (44 %) en R134a (4 %)

In de zeotropische middelen verschilt de samenstelling van de verzadigde damp van die van de verzadigde vloeistof.

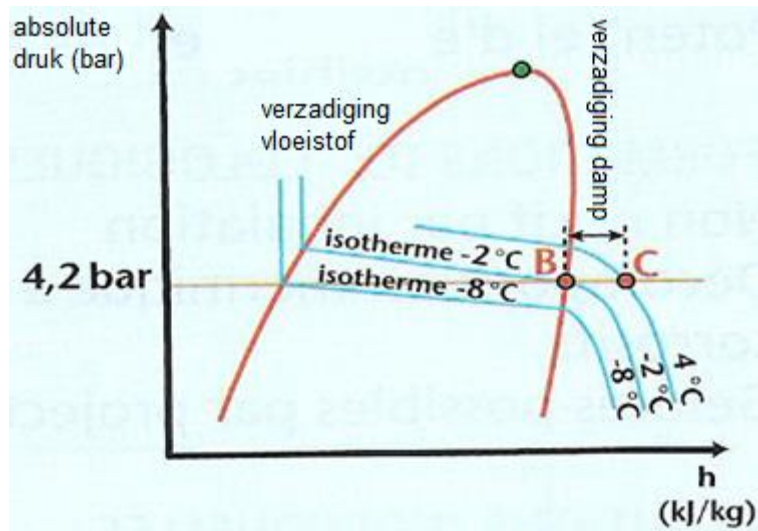
Tijdens de verdamping is er een verrijking van de damp en een verandering van de samenstelling van de vloeistof gekoppeld aan een stijging van het kookpunt.

Tijdens de hele verdampfingsfase, bij constante druk, is er een regelmatige toename van de  $t^\circ$  bij de verdamper, de zogenaamde verschuiving van de  $t^\circ$ .

Tijdens de condensatie zal daarentegen de kwaliteit van de damp dalen en de  $t^\circ$  aan de condensor stijgen.

De verschuiving van de  $t^\circ$  is anders voor elk koelmiddel en is ietwat groter aan de verdamper dan aan de condensor voor een gegeven fluïdum.

De niet-azeotropische middelen hebben twee verschillende verzadigingscurven druk/temperatuur, een voor de verzadigde vloeistof, "**borrelpunt**" of bulb point genoemd, en een andere voor de verzadigde damp, "**dauwpunt**" of dew point genoemd.



Figuur 2.120

Voor R404 is de glide klein: 0,5 K

Voor R401 A bereikt de glide 4,5 K

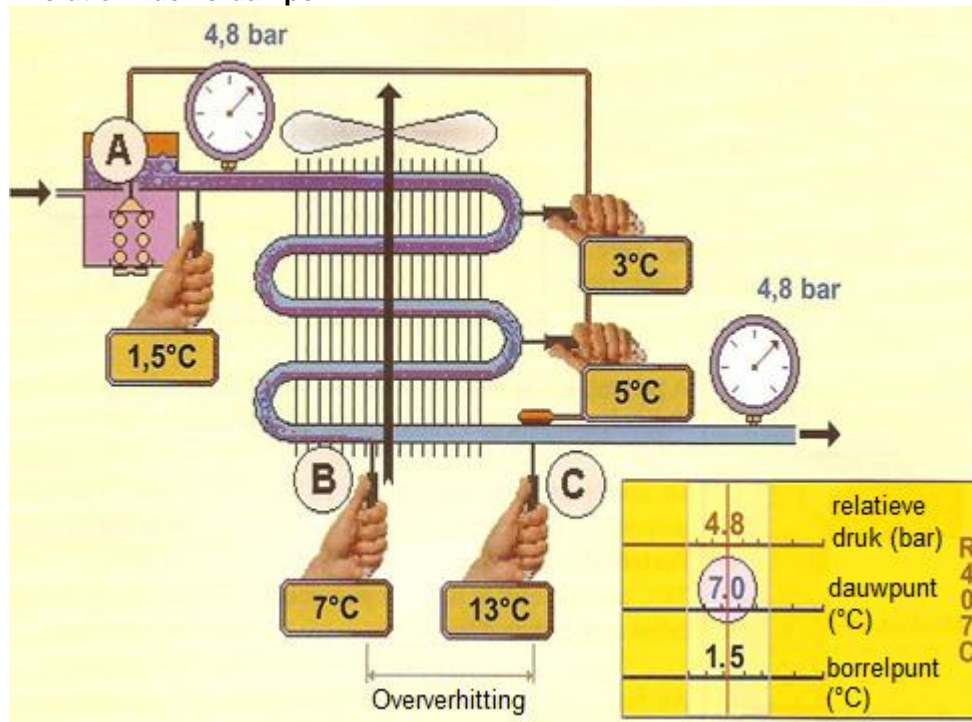
Wanneer de verschuiving groter wordt dan 1 K, moet men rekening houden met praktische gevolgen:

- voor de keuze van de thermostatische reduceerklep
- voor de regeling van de oververhitting
- Aangezien de samenstelling van de dampfase verschilt van de vloeistoffase, zal de lading van de installatie steeds en enkel in de vloeistoffase plaatsvinden.

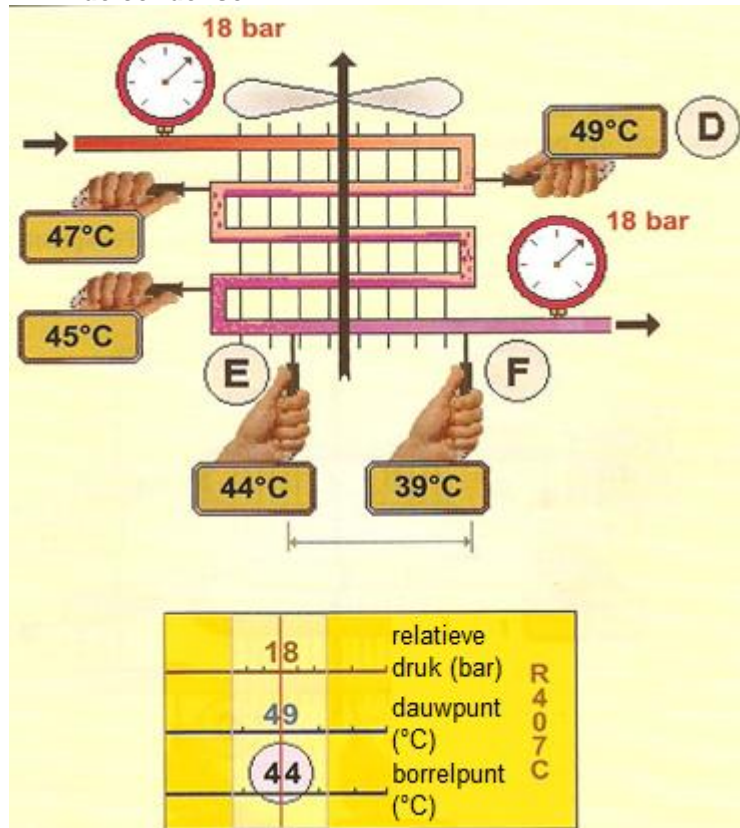
De tabellen van de verschillende koelmiddelen vermelden:

- De **ODP-coëfficiënt** (Ozone depletion potential)
- De **GWP-coëfficiënt** (global warming potential)
- De eventuele verschuiving of **glide**.
- Het type olie dat bij het betreffende fluïdum past.

**Evolutie in de verdamper**



**En in de condensor:**



Figuur 2.121

### 2.9.3. NIEUWE EUROPESE NORMEN

De wetgeving en de reglementering voor het gebruik van koelmiddelen evolueert. Ze zijn van toepassing op verschillende niveaus: op wereldniveau, binnen de Europese Gemeenschap of lokaal. Ze hebben betrekking op de productie, het verbruik en de opslag van de koelmiddelen.

Het belangrijkste doel sinds Wenen in 1958, Montréal in 1987 en Kyoto in 1997 is de optimale bescherming van het milieu door gebruik van "niet-vervuilende" koelmiddelen, dus met een minimale O.D.P en G.W.P.

Het ideale koelmiddel bestaat niet, aangezien er een verregaande tegenstrijdigheid is tussen het gebruik van moleculen met een zeer lage atmosferische verblijftijd en het feit dat deze moleculen niet toxisch noch ontvlambaar zijn. Hoe meer waterstof een molecule immers bevat, hoe sneller ze zich in de atmosfeer kan ontbinden (dit is in het bijzonder het gevolg van de affiniteit van het hydroxylradicaal (-OH) en de waterstof), en hoe groter het aantal waterstofatomen in een molecule, hoe beter ontvlambaar.

#### **Geval van de CFK's:**

- Productie verboden door de EEG sinds 01/95
- Verplichte terugwinning en vernietiging
- 01/2000: Verkoop verboden, zelfs voor onderhoud
- 01/2001: Gebruik totaal verboden, zelfs voor onderhoud

#### **Geval van de HCFK's:**

- Beperking van de productie tot in 2008
- Verkoop verboden in 01/2010
- Vanaf 01/2001 gebruik verboden in koeluitrustingen en vaste klimaatregelingen van meer dan 100 Kw
- 01/2003: Verbod om HCFK's te gebruiken voor de productie van alle vaste klimaatregelingssystemen.

Vanaf januari 2010 is het verboden HCFK's te gebruiken, zelfs voor onderhoud.

Op dit ogenblik lopen bepaalde landen al vooruit op deze richtlijnen. In Duitsland is R22 volledig verboden in nieuwe uitrustingen sinds 1/01/2000

De vervangingskoelmiddelen voor R22 zijn: R422D, R417A, R422A, R438

#### **Geval van de HFK's:**

- Deze koelmiddelen zullen in de toekomst het meest gebruikt worden met de zuivere koelmiddelen onder specifieke gebruiksvoorwaarden.

## **Geval van CO2**

- CO2 (R 744) onderneemt sinds kort hernieuwde pogingen als koelmiddel. Vroeger werd het vervangen door de CFK's, HCFK's, HFK's. Zijn terugkeer is te danken aan zijn kleine invloed op het milieu (ODP = 0, GWP = 1) ten opzichte van de andere koelmiddelen die tegenwoordig gebruikt worden (tot 3800 keer minder invloed op het milieu dan de HFK's).  
De voor- en nadelen van het gebruik van CO2 als koelmiddel zijn de volgende:

### **Voordelen:**

- geen invloed op de ozon (ODP = 0);
- weinig direct effect op het broeikas effect (GWP = 1), wetende bijvoorbeeld dat R404A een GWP heeft van 3800;
- natuurlijk en ruim beschikbaar fluïdum;
- onontvlambaar (gebruik als gas in brandblussers);
- niet-bijtend, compatibel met alle materialen;
- niet-toxisch;
- geschikt voor voedingsmiddelen (onze Nederlandse burens gebruiken het voor de bewaring van maaltijden in ziekenhuizen);
- hoge volumetrische koudeproductie die op dit ogenblik het gebruik van compressoren met kleine cilinderinhoud en circuits met weinig fluïdum mogelijk maken;
- mengbaar met de olie van de compressoren;
- kan afkoelen tot -54 °C;
- laag compressieniveau ten opzichte van de andere koelmiddelen (interessante COP);

### **Nadelen:**

- met water vormt het zuren, met ammoniak ammoniumcarbonaat (bijtend);
- de bedrijfsdruk is zeer groot (80, 100 bar en zelfs meer);
- de circuit- en veiligheidsuitrustingen moeten als gevolg van de druk zeer krachtig zijn (grote kosten);



## 2.9.4. NUTTIGE TABELLEN

De tabellen van alle koelmiddelen zijn te verkrijgen bij de fabrikanten, met het oog op nauwkeurige berekeningen van de cyclus van een machine.

Voorbeeld: Tabellen van R134a.

Aperçu des réfrigérants courants du moment (!) (Source Bitzer)		Overzicht van de voor het ogenblik (!) gangbare koelmiddelen. (Bron Bitzer)				
Réfrigérant Koelmiddel	Composition Samenstelling	Remplace Vervangt	ODP (R11 = 1,0)	GWP (CO2 = 1,0)	Glide (K)	GWP
<b>HCFC - HCFK</b>						
R 22	CHClF2	R 502 - R 12	0,05	1700	0	0,35
R 124	CHClFCF3	R 114 -R 12B1	0,02	480	0	0,11
R 142 b	CClF2CH3		0,06	2000	0	0,45
<b>HCFC - Blend (Alternatif de transition) - HCFK - Blend (Overgangsalternatief)</b>						
R 401 A	R 22/152a/ 124	R 12 - R 500	0,03	1080	6,4	0,22
R 401 B	R 22/152a/124	R 12 - R 500	0,035	1190	6,0	0,24
R 402 A	R 22/125/290	R 502	0,02	2570	2,0	0,64
R 402 B	R 22/125/290	R 502	0,03	2240	2,3	0,52
R 403 A	R 22/218/290	R 502	0,04	2670	2,4	0,037
R 403 B	R 22/218/290	R 502	0,03	3680	1,2	0,028
R 408 A	R 22/143a/125	R 502	0,026	3050	0,6	0,75
R 409 A	R 22/142b/124	R 12 - R 500	0,05	1440	8,1	0,31
R 409 B	R 22/142b/124	R 12	0,05	1425	7,2	0,31
R 413 A	R 134a/218/600a	R 12 - R 500	0	1770	6,9	0,44
<b>HCFC - Sans Cl - (Alternatif de longue durée) - HCFK - Zonder Chloor (Langdurig alternatief)</b>						
R 23	CHF3	R 13 - R 503	0	12100	0	6
R 32	CH2F2	R 12 - R 22	0	580	0	0,14
R 125	CF3CHF2	R 12 - R 22	0	3200	0	0,66
R 134 a	CF3CH2F	R 12 - R 22	0	1300	0	0,3

Figuur 2.122

Réfrigérant Koelmiddel	Composition Samenstelling	Remplace Vervangt	ODP (R11 = 1,0)	GWP (CO2 = 1,0)	Glide (K)	
<b>HCFC - Sans Cl - (Altern. de longue durée) - HCFK - Zonder Chloor (Langdurig alternatief)</b>						
R 143 a	CF3CH3	R 12 - R 22	0	4400	0	1
R 152 a	CHF2CH3	R 12 - R 22	0	140	0	0,03
R 227 ea	CF3-CHF-CF3	R12B1-R114	0	3300	0	0,6
R 236 fa	CF3-CH2-CF3	R 114	0	8000	0	
<b>HCFC - Sans Cl - Blend - (Altern. long. dur.) - HCFK - Zonder Chloor - Blend - (Langd. altern.)</b>						
R 404 A	R143a/125/134a	R 502	0	3750	0,7	0,9
R 407 A	R 32/125/134a	R 502	0	1920	6,6	0,43
R 407 B	R 32/125/134a	R 502	0	2560	4,4	0,7
R 407 C	R 32/125/134a	R 22	0	1610	7,4	0,37
R 410 A	R 32/125	R 22 -R 13B1	0	1890	<0,2	0,41
R 417 A	R 125/134a/600	R 22	0	1950	5,6	
R 507 A	R 143a/125	R 502	0	3800	0	0,98
R 508 A	R 23/116	R 503	0		0	
R 508 B	R 23/116	R 503	0	12300	0	
FX 80	R 32/125	R 13B1	0	2360	<0,2	
Isceon 89	R 125/218/290	R 13B1	0	3090	4,0	0,98
<b>Réfrigérant non halogéné (Altern. de long. durée) - Niet gehalogeneerd koelmiddel (Langd. altern.)</b>						
R 170	C2H6	R 13 - R 503	0	3	0	
R 290	C3H8	R 22 - R 502	0	3	0	0
R 600 a	C4H10	R114 -R12B1	0	3	0	0
R 717	NH3	R 22 - R 502	0	0	0	0
R 744	CO2	Plus.-Meerdere	0	1	0	
R 1270	C3H6	R 22 - R 502	0	3	0	0

Figuur 2.123

## Belangrijkste toepassing en substitutieoplossingen voor het koelmiddel

Toepassingen	Koelmiddelen	Overgangsmengsels	Substitutieoplossingen
Huishoudelijke apparaten	R12	R401A(MP39) R409A(FX56)	R134a R290(Propaan) R600a(Isobutaan)
IJswaterproductie	R11 R12 R114 R22 R717(NH <sub>3</sub> )	R123  R142b R22	R134a  R404a R717(NH <sub>3</sub> )
Commerciële koeling positieve temperaturen	R12	R401A(MP39) R409A(FX56) R22	R134a  R404A R507A R413A(Iscéon 49)
Commerciële koeling negatieve temperaturen	R502	R402A(HP80) R408A(FX10) R403B(Iscéon 69L) R22	R404A R125  AZ50–R407B (Klea61)
Industriële koeling	R717(NH <sub>3</sub> ) R22	R22	R717(NH <sub>3</sub> ) R404A
Koeling lage temperaturen	R13B1 R13 R503		ES20 R23 R32
Klimaatregeling	R22 R500	R409B(FX57) R401B(HP66)	R134a –R410A(AZ20) R407C(SUVA9000) KLEA66 – R417C
Airco in wagens	R12 R500	R401C(MP52) – DP40 R409B(FX57) R401B(HP66)	R134a

Figuur 2.124



## 2.9.5.OMZETTING VAN FLUÏDUM IN EEN MACHINE.

R22, koelmiddel van het type HCFC, is verboden in nieuwe installaties sinds 2010. In bestaande installaties voldoen gerecycleerde koelmiddelen niet aan de behoeften. De mogelijke vervangingen moeten strategisch gekozen worden.

Dit is complex, en wel om meerdere redenen. In de eerste plaats is de keuze aan zogenaamde "overgangsmengsels" beperkt. Ten tweede, in tegenstelling tot de substitutieoplossingen voor CFK's, zijn de alternatieven voor R-22 niet altijd even performant.

Bovendien kunnen de zeer courante R-134a en R-410A niet ingezet worden:

- R-134a omdat zijn volumetrische koudeproductie 40 % kleiner is dan die van R-22;
- R-410A, voor een tegengestelde reden - de koudeproductie is 35 % groter -, en ook omdat de druk die in de circuits toegepast moet worden 50 % groter is dan die voor R-22. Een onoverkomelijke handicap ten aanzien van de reglementering inzake uitrustingen onder druk.

Om hun keuzen voor reconversie van de systemen te bepalen - eenvoudige reconversie met facultatieve reiniging, of uitgebreide reconversie met vervanging van de olie en verplichte reiniging om een zeer laag oliestniveau te verkrijgen -, passen de operatoren criteria toe volgens een analyserooster die de prestatiecoëfficiënt van hun installatie naar de achtergrond verschuift.

Ze willen in de allereerste plaats:

- 1) de kosten van de operatie beperken, door het vervangen van de olie te vermijden, wat een spoeling vraagt, of de wijzigingen en de vervanging van de onderdelen;
- 2) de prestaties van de oorspronkelijke installatie behouden. Het vervangingsfluïdum moet zo een volumetrische koudeproductie bieden die diegene van het oorspronkelijke fluïdum benadert. Volgens dit analyserooster is een prestatieverlies bij individuele klimaatregeling aanvaardbaar, maar moet ze bij koeling anders beschouwd worden, om de koudeketen te respecteren.

Zo wil men koelmiddelen inzetten:

- met lage inwendige druk, wat bijdraagt tot het beperken van lekken;
- met de beste prestaties, om een hoge prestatiecoëfficiënt te behouden. Maar in alle gevallen ziet men een daling van de prestaties ten opzichte van R-22;
- met een zo laag mogelijke GWP (Global warming potential of aardopwarmingsvermogen);
- met kleine opwarming bij compressie, met het oog op een goede smering
- en met respect voor de veiligheid van personen, in het bijzonder op het vlak van toxiciteit en ontvlambaarheid.

	<b>Toepassingen</b>	<b>Eigenschappen</b>
<b>R422D</b>	Polyvalent substituuut voor R22 in installaties met directe verdamping (diepvriezen en afkoelen)	In de meeste systemen prestatie en doeltreffendheid gelijk aan die van R22
		Lage temperaturen van de gassen onder druk kunnen de levensduur van de compressor verlengen
<b>R417A</b>	Klimaatregelingsinstallaties < 15 KW	Lage temperaturen van de gassen onder druk kunnen de levensduur van de compressor verlengen
		energiebesparingen mogelijk
<b>R422A</b>	Aangepast als substituuut voor: de mengsels van koelmiddelen R502, R402, R403, R408 en als substituuut voor R22 in sommige diepvriestoeepassingen	Toegenomen koelvermogen ten opzichte van R22 in vele bedrijfsomstandigheden, met toenames van het diepvriesvermogen tot 15 %
		Koelvermogen te vergelijken met dat van R404A of R507
		Lage temperaturen van de gassen onder druk kunnen de levensduur van de compressor verlengen
<b>R438A</b>	Polyvalent substituuut voor R22	Prestatie identiek aan die van R22
		Lage temperaturen van de gassen onder druk kunnen de levensduur van de compressor verlengen

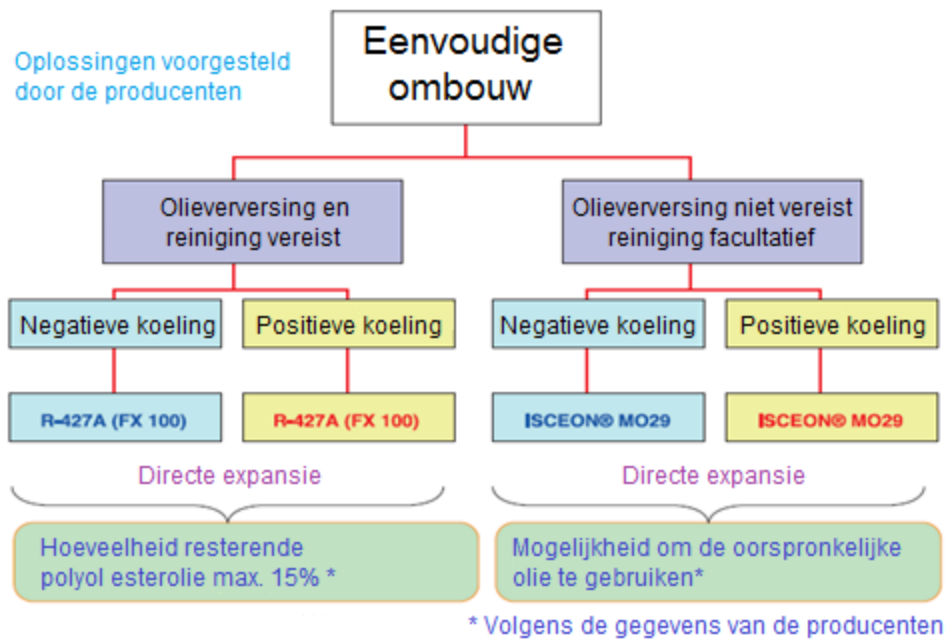
De vervanging van een fluïdum door een ander vraagt voorzorgsmaatregelen.

We onderscheiden:

A/ De eenvoudige conversie of DROP – IN

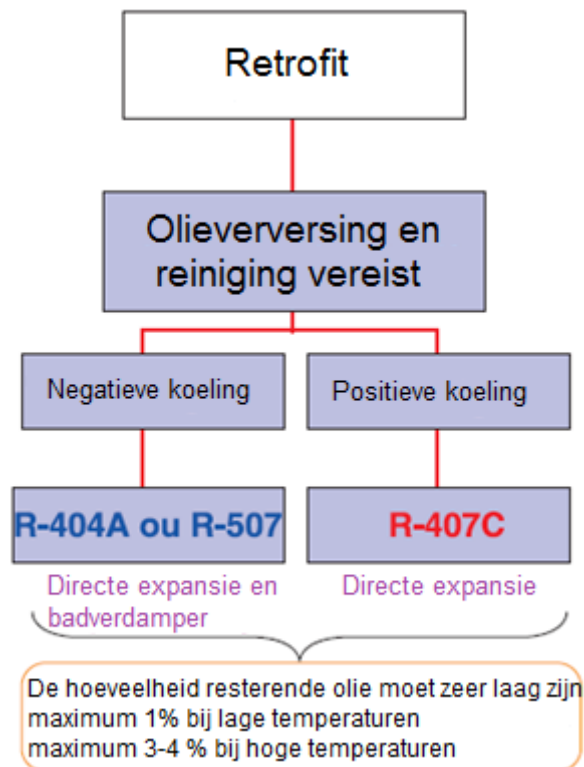
B/ De complexe conversie of RETROFIT

De **drop – in** bestaat in het vervangen van enkel het koelmiddel, zonder de olie, de reduceerklep of de filterdroger te vervangen.



De **retrofit** van een bestaande machine bestaat in het vervangen van:

- het koelmiddel (vb. R12 door R134a)
- het type olie (minerale olie door Ester)
- de drogers
- de verschillende dichtingen



## 2.9.6. CONTAMINANTEN VAN EEN KOELCIRCUIT

Ondanks alle voorzorgsmaatregelen van de fabrikanten en van de personen tijdens de montage en de inbedrijfstelling, is de verwezenlijking van een perfect schone installatie uitzonderlijk. De koelmiddelen en ester smeermiddelen zijn zeer doeltreffende detergents of oplosmiddelen, die de meest hardnekkige afzettingen van vuil kunnen oplossen.

Naargelang van hun herkomst kunnen de afzettingen in drie groepen verdeeld worden:

- Vreemd lichaam afkomstig van de fabricage
- Vreemd lichaam afkomstig van de montagewerkzaamheden
- Afzettingen van onzuiverheden tijdens de werking

In deze laatste categorie vinden we:

- Slib als gevolg van de vochtigheid:

Vorming van fluorwaterstofzuur als gevolg van de reactie van het water in aanwezigheid van koelmiddel.

Vorming van slib door gedeeltelijke ontbinding van de olie

- Slib als gevolg van de olie

Reactie van twee oliën met verschillende eigenschappen en gemengd tijdens het bijvullen

Ontbinding van het smeermiddel door de aanwezigheid van vochtigheid

De gevolgen:

- Cilinder en zuigers gekrast, kleppen en klepzittingen beschadigd door het kiezelhoudende stof
- Verstopping kleine openingen (reducerklep, oliescheider en olieterugloop) door slib

Men dient dus op het circuit doeltreffende filters te plaatsen die los staan van de bestaande die ingebouwd zijn in de mechanische organen.

## 2.10. DE OLIËN VOOR KOELSYSTEMEN

### 2.10.1. INLEIDING

De olie speelt een essentiële rol in een koelinstallatie, aangezien deze mee bijdraagt tot:

- De smering van de mobiele delen van de compressoren
- De afvoer van de warmte van de wrijvingen van bewegende delen
- De afdichting tussen de compressietrappen in de roterende compressoren.

Niet alle olie blijft in het carter van de compressor; een deel wordt meegevoerd in het koelcircuit:

- Tijdens het starten van de compressor na de plotse verdamping lost koelmiddel op in de olie
- Door de segmentering in de zuigercompressoren
- Door het nauwe contact met het koelmiddel in de roterende compressoren.

Het door de compressor uitgedreven olievolume stroomt rond met het koelmiddel en veroorzaakt de volgende effecten:

- Daling van het oliepeil in het carter, wat een mechanisch defect kan veroorzaken
- Wijziging van de kwaliteit, de fysische en thermodynamische eigenschappen van het koelmiddel
- Daling van de prestatie van de wisselaars (verdampers en condensors); het vermogensverlies kan tot 30 % bedragen met verdampers die uitgerust zijn met gegroefde buizen
- Retentie van olie in "de olievangers" en zones met zeer lage snelheid. Deze olie kan zeer plots terugkomen en een vloeistofslag veroorzaken
- De schade veroorzaakt in de zuigercompressoren zijn vaak onomkeerbaar.

Opdat de uit de compressor uitgestoten olie weer in het carter kan komen, is het noodzakelijk:

- de snelheden in de leidingen te respecteren, zodat de olie kan circuleren. Voornamelijk wanneer het koelmiddel in gasvormige toestand is; de mengbaarheid van het koelmiddel met de olie is immers beperkt.
- Een oliescheider te gebruiken, die een grote hoeveelheid olie moet recupereren en deze zo snel mogelijk weer naar het carter moet sturen.

Samenvattend wordt het beheer van de olie in een koelcircuit geoptimaliseerd, als men zich houdt aan de volgende 3 regels:

- Naleving van de regels der kunst op het gebied van dimensionering van leidingen, om de retour van de olie te garanderen dankzij voldoende snelheid
- Keuze van een kwaliteitsmerk van oliescheider, dat de verschillende technieken voor het scheiden van olie omvat in het ontwerp van zijn producten.
- Selectie van de juiste oliescheider.

## 2.10.2. KEUZE VAN DE OLIE

**De oliën die gebruikt worden voor de koelmachines moeten compatibel zijn met het koelmiddel, om de correcte smering van de compressoren te garanderen.**

De keuze van een smeermiddel is specifiek voor een compressor en een bepaalde toepassing, en bepaalt de prestaties en de lange levensduur van de installatie.

In de koelindustrie moet men een type olie kiezen volgens de gebruikte fluïdumgroep

Groepen	Herkomst	Subgroep	Type koelmiddelen
Mineralen	Natuurlijke, verkregen door distillatie van ruwe aardolie	- Naftenen - Paraffinen volgens de aard en de herkomst van de aardolie.	CFK, HCFK, NH3
Semi-synthetisch	Mengsels van minerale en synthetische oliën		CFK, HCFK, NH3
Synthetisch	Chemisch	Alkylbenzenen (AB)	CFK, HCFK, NH3
		Koolwaterstoffen: Polyalfaolefinen (PAO)	CFK, HCFK, NH3
		Polyglycolen: Polyalkaleenglycolen (PAG)	- R-134a in airconditioning van voertuigen  - NH3 in enkele gevallen voor sommige compressorbouwers
		Esters: Polyolesters (POE)	HFK

### 2.10.3. ANALYSE VAN DE OLIE

De oliën in een koelmachine kunnen verschillende degradaties ondergaan:

- Verzuring in aanwezigheid van vochtigheid met als gevolg chemische aantasting van het koper en de metalen, evenals vernieling van de isolatie van de elektrische organen (koperlaag en motorrooster)
- Afname van de smeerpresetaties in aanwezigheid van opgelost fluïdum (mengbaarheid)
- Aanwezigheid van metalen deeltjes als gevolg van de corrosie → risico van erosie, ...

Het is dus aanbevolen de kwaliteit van de olie van de koelmachines op te volgen.

In geval van kleine hoeveelheden olie moet men regelmatige vervangingen voorzien.

Bij een groot volume olie moet regelmatig een controle van de zuurgraad gebeuren (snelle test met proefbuisje). De zuurgraadcontroles ter plaatse zijn eenvoudig, snel, betrouwbaar, en laten een snelle diagnose toe met betrekking tot de aan- of afwezigheid van zuurte in de circuits.

Deze parameters moeten gecontroleerd worden met regelmatige zuurgraadcontroles (acitest in proefbuisjes).

Voor de grote machines wordt een regelmatige analyse van de olie aanbevolen. Parameters:

- **Aanwezigheid van vochtigheid:**  
Ze bevordert de vorming van zuur, het fenomeen van hydrolyse (koperlaag) en van schuimvorming
- **Viscositeit**  
Ze laat de detectie van oxidatie en eventuele contaminanten toe
- **Zuurgraad**  
Ze laat toe de evolutie van de kwaliteit van de smeermiddelen op te volgen. Deze zuurte is doorgaans het gevolg van oververhit en geoxideerd smeermiddel en van de ontbinding van koelmiddel
- **Doorslagvastheid**  
Dit is een belangrijk gegeven voor de hermetische compressoren
- **Concentraties van verschillende metalen (ijzer, koper, aluminium, zink, ...) die invloed hebben op de slijtage van de onderdelen en de aanwezigheid van contaminanten.**
- **De evolutie van concentraties additieven (molybdeen, fosfor, zink, barium, calcium, silicium ...) laat toe een eventueel verbruik ervan te ontdekken en eventuele problemen doelgericht aan te pakken**

De afname van het staal vereist ook bepaalde voorzorgsmaatregelen. Het wordt aanbevolen voor elke machine een bepaalde werkwijze te volgen.

### **Samenvattend:**

Geen oliën van verschillend type mengen, zelfs geen kleine hoeveelheden. Dit kan slibvorming veroorzaken die het circuit en de mechanische onderdelen kan vernielen. Op de grote installaties moet periodiek een controle van de zuurgraad uitgevoerd worden.

Een periodieke analyse van de olie laat toe de algemene staat van een installatie op te volgen en een preventief onderhoud te garanderen.

De koeloliën zijn zeer hygroscopisch. Het is dus noodzakelijk om voorzorgsmaatregelen te nemen bij de opslag van de olie, het vullen van de compressoren en het nemen van stalen.

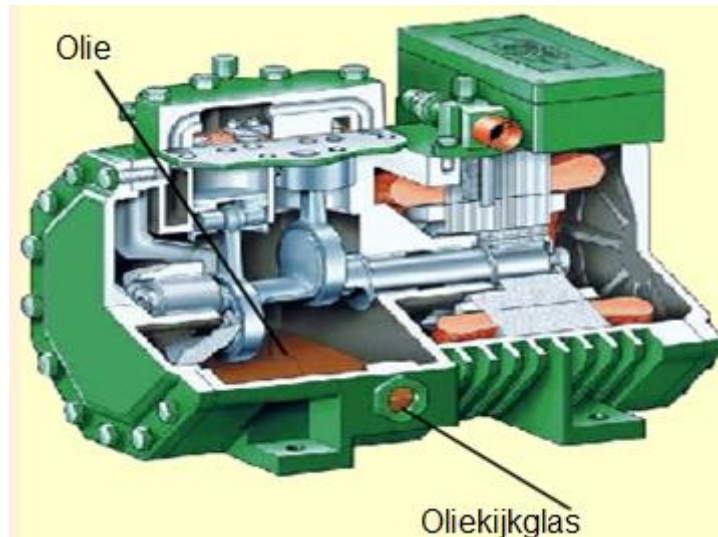


## 2.10.4. SMERING VAN DE COMPRESSOREN

Twee mechanische voorzieningen staan in voor de smering van de compressoren:

### 2.10.4.1. Oliespatsmering

De drijfstangkoppen bevinden zich in de olie in het carter en spatten olie rond in hun carter tijdens hun stijgende bewegingen. De oliespatten worden direct gerecupereerd of in de holtes. Deze voorziening is betrouwbaar en vereist geen controle van de smering. De hoeveelheid olie in het carter moet beperkt worden om het vermogen geabsorbeerd door de krukas niet te vergroten.

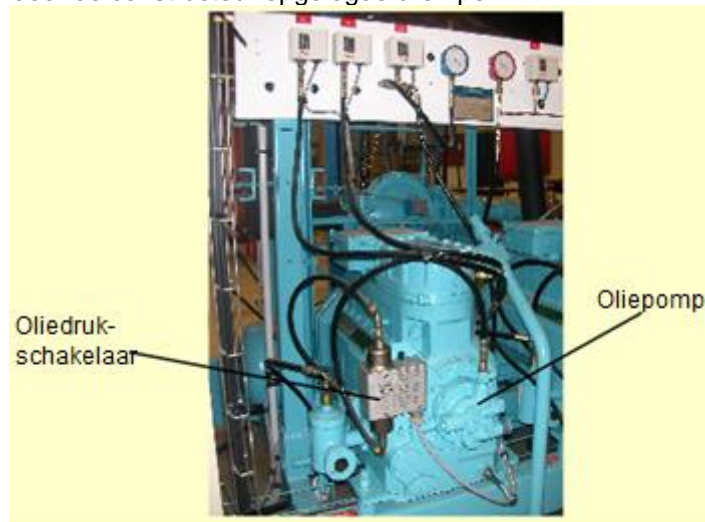


Figuur 2.125

### 2.10.4.2. Smering met oliepomp

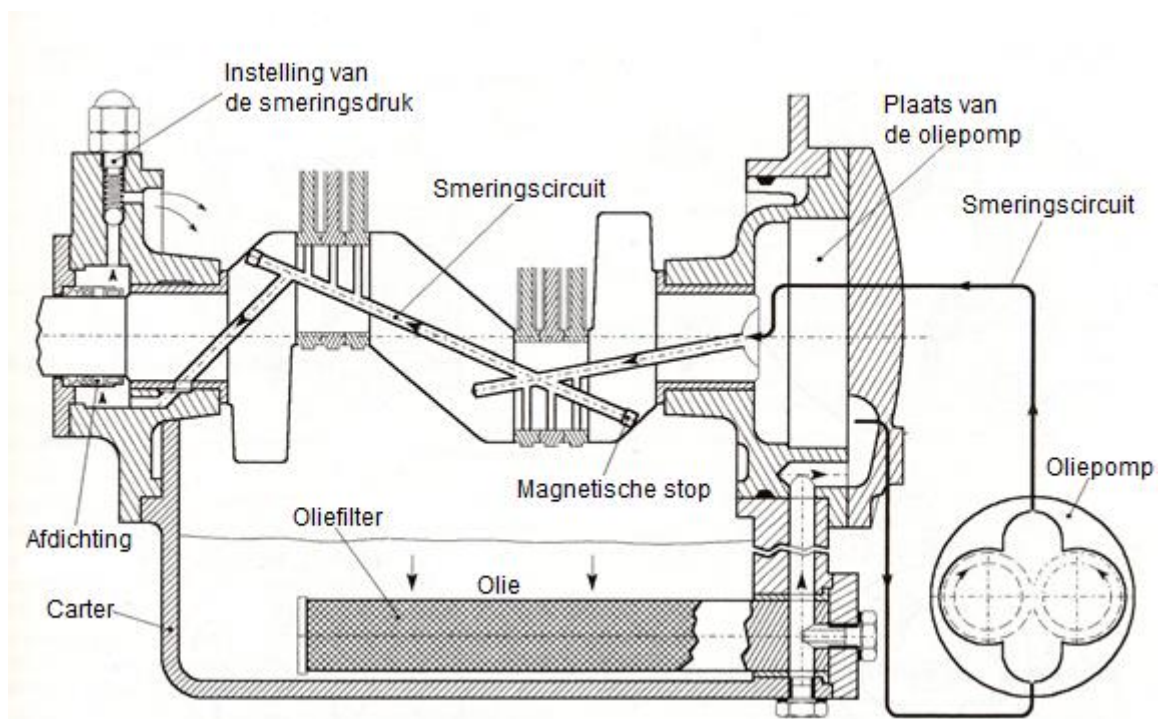
Een pomp aan het einde van de as staat in voor de smering van de belangrijkste punten van de compressor.

De oliepomp genereert een lichte overdruk ten opzichte van de druk van het carter (0,5 tot 4 bar). Om een goede smering te verkrijgen moet de compressor snel genoeg draaien; de snelheid moet hoger liggen dan een door de constructeur opgelegde drempel.



Figuur 2.126

Voorbeeld van smering in een halfhermetische compressor.



Figuur 2.127

## 2.11. BIJKOMENDE ONDERDELEN VAN DE KOELCIRCUITS

### 2.11.1. 4-WEGKLEPPEN

In het omkeerbare koelcircuit kunnen de wisselaars om beurten verdamper en condensor zijn.

De warmtewisselaar in de ruimte kan

- de aangeblazen lucht afkoelen en ontvochtigen, wanneer het koelmiddel verdampst; in dit geval is de wisselaar VERDAMPER.
- de aangeblazen lucht opwarmen door condensatie van het koelmiddel; de wisselaar vervult de rol van CONDENSOR

De inversie van de rol van de wisselaars kan overwogen worden, als men de stroomrichting van het koelmiddel in de compressiemachine omstelt. De compressor moet voor de koelmiddeldampen in dezelfde richting doorlopen worden in warme modus of in koude modus.

Deze inversie wordt verkregen door gebruik van een klep, **vierwegklep voor cyclusinversie** genoemd, en terugslagkleppen die in het circuit worden geplaatst.

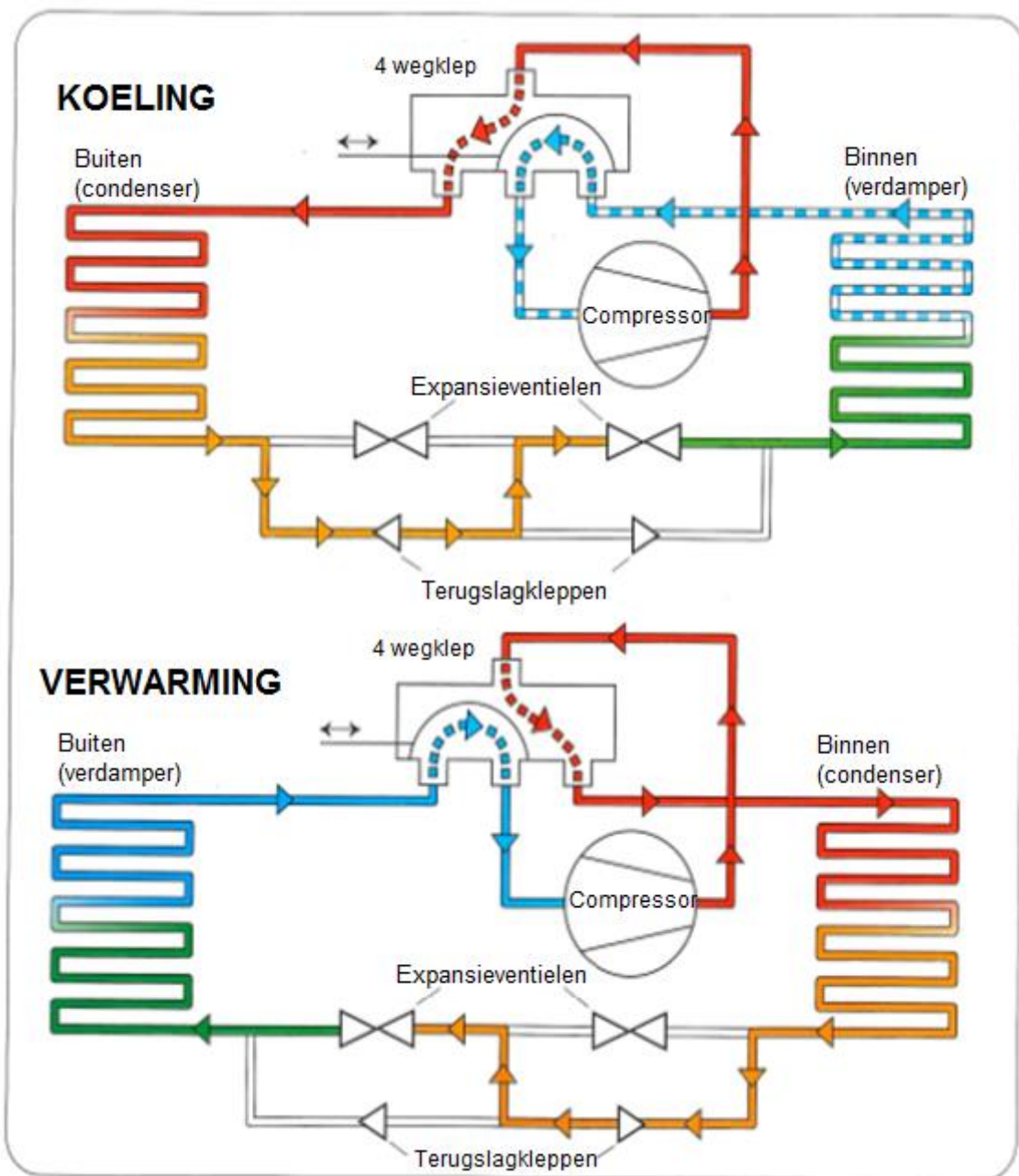
De elektromagnetische klep van de 4-wegklep wordt niet gevoed. De inwendige schuif zorgt voor communicatie van:

- De uitlaatleiding van de verdamper (inwendige wisselaar) en de aanzuiging van de compressor
- De persleiding van de compressor en de inlaat van de condensor-wisselaar.

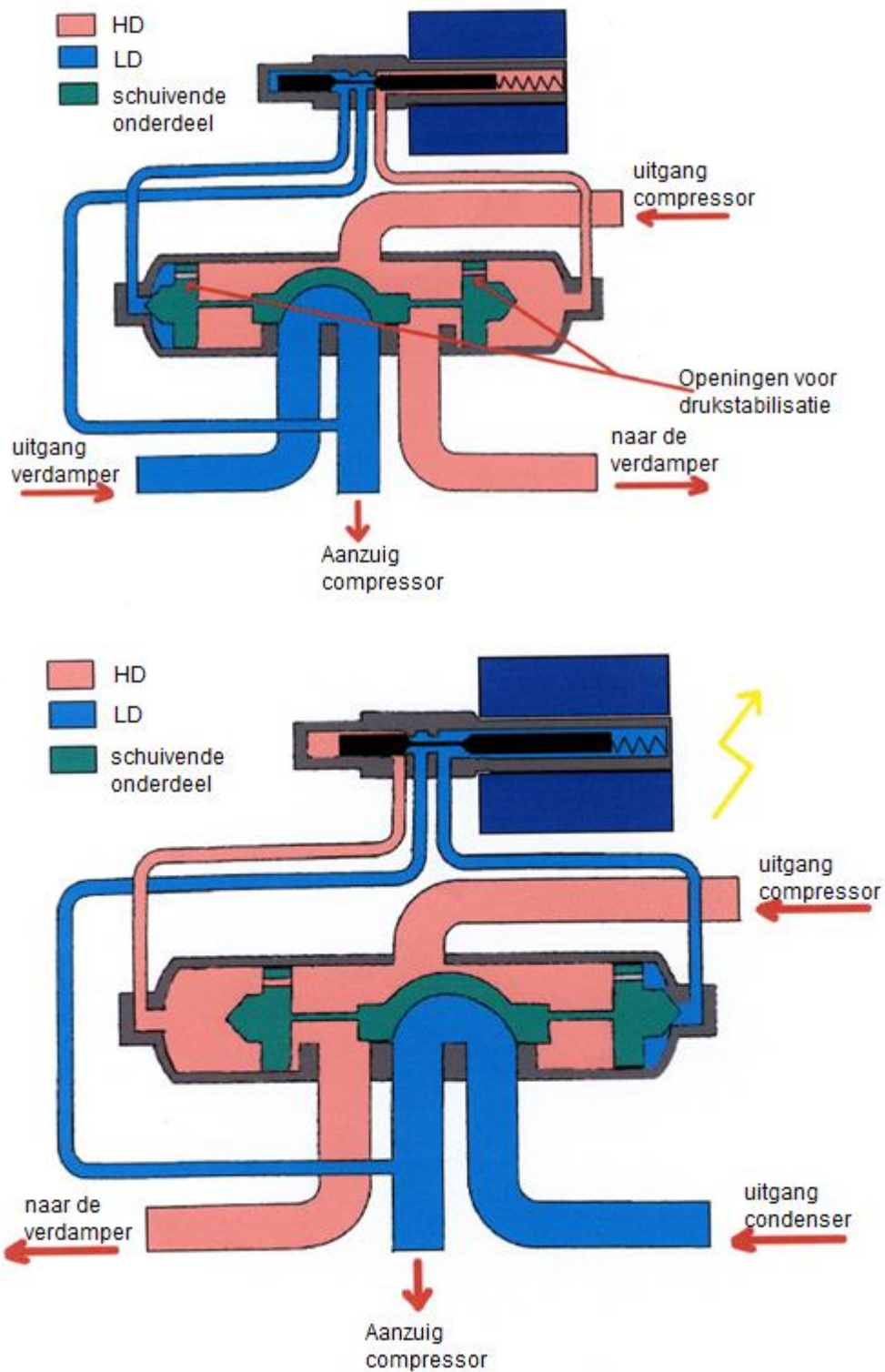
Een set terugslagkleppen forceert het KM om door de droger en de reduceerklep te passeren die voorzien zijn in de koelmodus.

De inwendige wisselaar wordt condensor en de uitwendige wisselaar wordt verdamper door de actie van de 4-wegklep. De inwendige schuif verbindt de uitlaat van de uitwendige verdamper met de aanzuiging van de compressor en de drukzijde van de compressor met de inlaat van de inwendige condensor van de ruimte.

De volgende twee schema's illustreren de werking van de klep in de koude modus en vervolgens in de warme modus.



Figuur 2.128

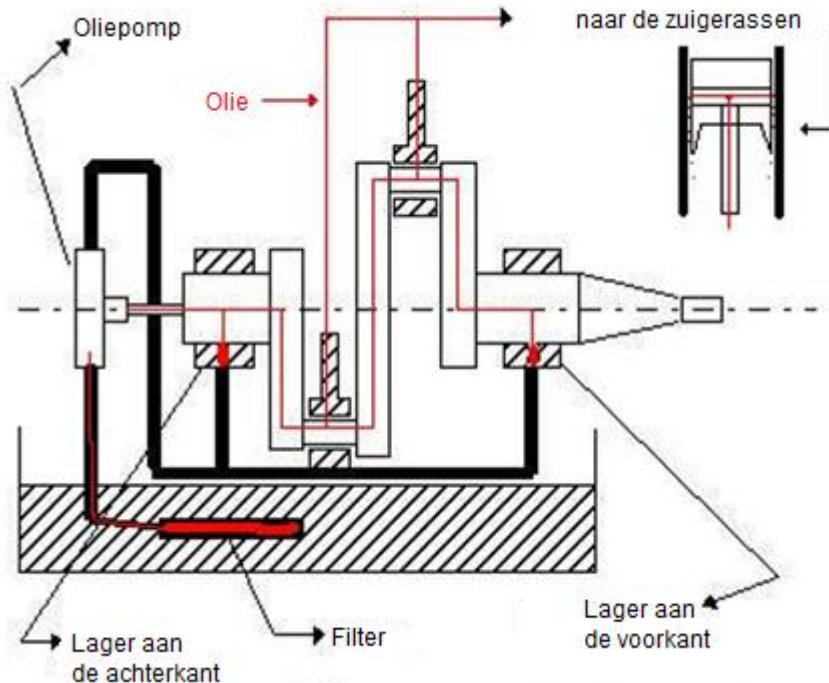


Figuur 2.129



### 2.11.2. OLIEPOMP

Ter herinnering: sommige compressoren worden gesmeerd door een mechanische oliepomp aan het einde van de motoras op de kruk of door een elektrische pomp buiten de compressor die zorgt voor de smeerdruk.



Figuur 2.130

- De mechanische organen (lagers, afdichtingskast, zuiger, drijfstang, schroeven, ...) worden op deze manier correct gesmeerd.
- De olie komt door zwaartekracht weer onderin het carter terecht, waar deze door een filter door de oliepomp met tandwielen of schotten aangezogen wordt.
- Opdat smering mogelijk zou zijn, moet de persdruk van de pomp hoger zijn dan de druk in het carter (aanzuigdruk).
- Dit kan gegarandeerd worden door een veiligheidsvoorziening (differentiële oliepressostaat).

## De weerstand van het oliecarter (CW)

Om de olie vloeibaarder te maken en de mengbaarheid te doorbreken, gaat men de olie tijdens de stilstandperiodes van de compressor verwarmen met een carterweerstand.

De olie in het carter zal immers, naargelang van zijn druk en zijn temperatuur, een al dan niet grote hoeveelheid fluïdum absorberen. Bij de uitschakeling van de compressor kan de absorptie van het koelmiddel in die mate toenemen dat het oliepeil in de compressor stijgt en de indruk geeft dat het oliepeil te hoog is. Tijdens het starten daalt de druk van het carter, en als gevolg van de verdamping van het koelmiddel ontstaat een olie-emulsie. Het olieschuim wordt aangezogen door de zuigers en veroorzaakt vloeistofslagen. Een grote hoeveelheid olie stroomt naar het koelcircuit.

De migratie van de vloeistof naar de compressor wordt bevorderd, wanneer deze uitgeschakeld is en zich in een milieu bevindt waar de omgevingstemperatuur lager is dan die van de andere delen van het lagedruk-circuit. Deze migratie wordt ook bevorderd als de pump-down regeling niet gebruikt wordt. De oplossing van het fluïdum (of mengbaarheid) in de olie moet vermeden worden. Bij het starten van de compressor kan dit immers een olie-emulsie vormen die uit de compressor meegevoerd kan worden en deze kan beschadigen.

De weerstand is niet doeltreffend tegen vloeistofslagen die ontstaan als gevolg van een opstapeling van KM en olie in een slecht geplaatste aanzuigleiding.



Figuur 2.131

### **Technologie**

- Weerstand van 50 tot 100 watt in het carter geschroefd en in direct contact met de olie (ledigen bij demontage)
- Weerstand in het carter geschroefd via een beschermende mantel (gemakkelijk toegankelijk en maximale afdichting)
- Weerstand onder het carter gekleefd met voetjes

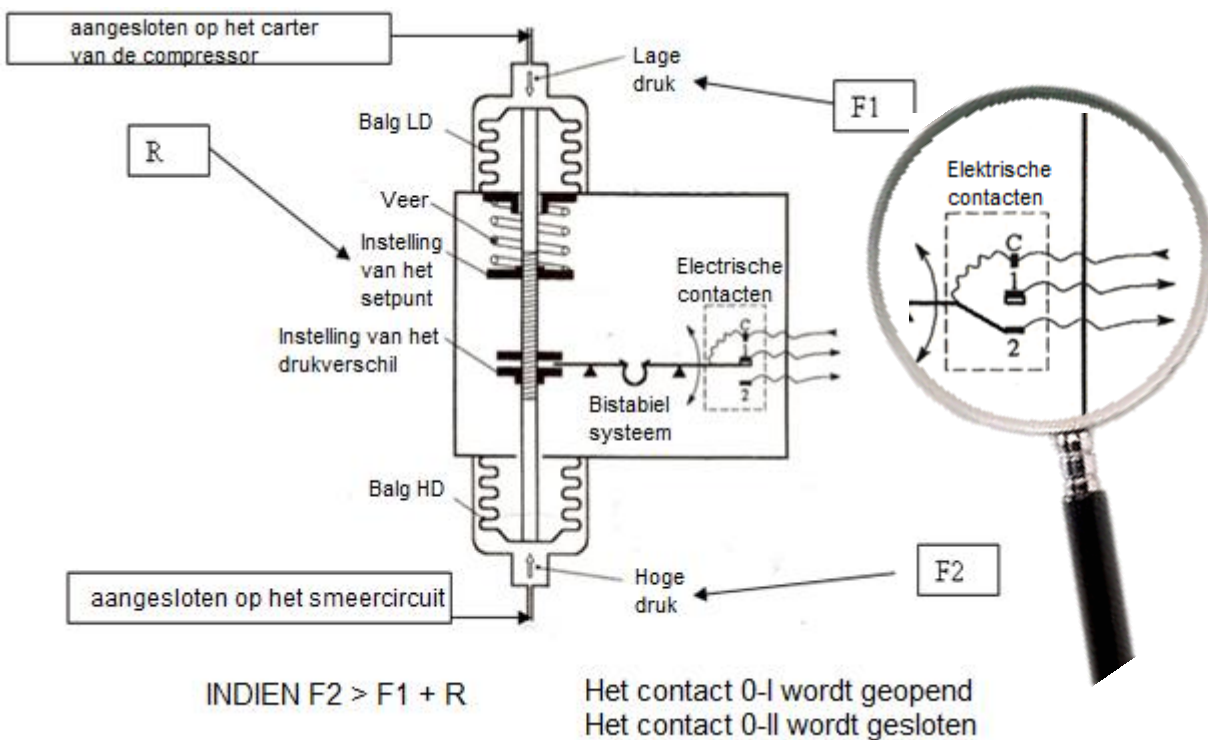
### 2.11.3. DE DIFFERENTIËLE OLIEPRESSOSTAAT (DOP)

#### Rol

- De DOP dient te zorgen voor de uitschakeling van de compressor in geval van onvoldoende smeerdruk.
- In de compressor zien we:
  - dat de oliedruk opgewekt door de oliepomp stijgt of daalt met de druk in het carter
  - dat de oliedruk nihil is bij uitschakeling van de compressor

#### Werking

De DOP analyseert het verschil tussen de oliedruk en de carterdruk. Als deze waarde groter is dan de waarde van de constructeur, gebeurt de smering correct en handhaaft de pressostaat de werking.

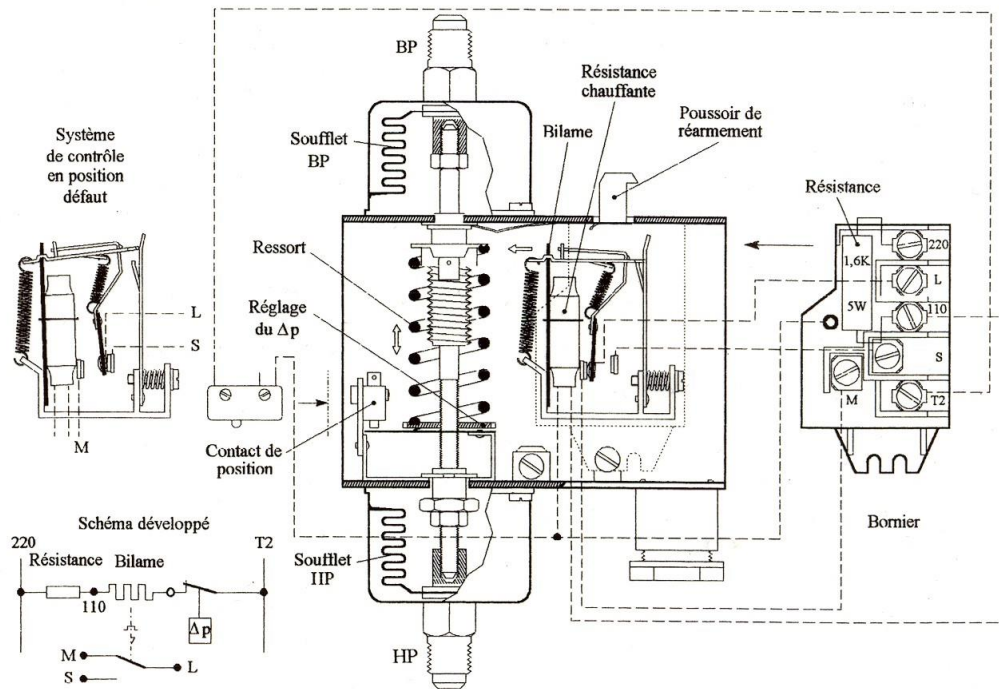


Figuur 2.132

Door de waarde van veer R te regelen, regelt men de waarde van het drukverschil (gegeven constructeur). Dit afstellingsbereik kan schommelen tussen 0,3 en 4,5 bar.



In een grote installatie is het niet wenselijk de compressor stop te zetten bij detectie van een licht tekort aan oliedruk. De olie kan immers in de volgende seconden naar het carter terugvloeiën. Daarom wordt de DOP vaak gecombineerd met een vertragingssysteem in dezelfde behuizing of apart, die de inschakeling van de compressor vertraagt als het drukverschil kleiner is dan de richtwaarde.



Figuur 2.133 Bron: Danfoss



Figuur 2.134

#### 2.11.4. DE OLIESCHEIDER (OS)

##### Rol

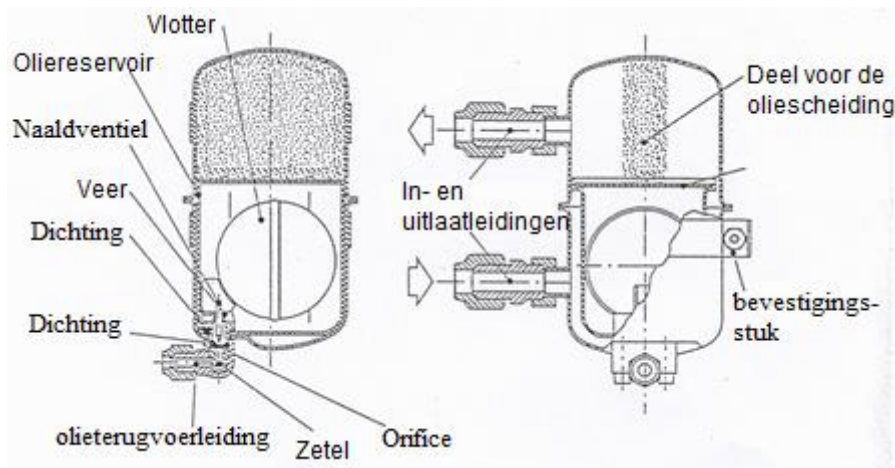
De OS wordt op de perslijn HD geplaatst, direct bij de uitlaat van de compressor. Deze moet de olie scheiden van het koelmiddel en die olie direct doen terugvloeien naar het carter van de compressor.

Door de mengbaarheid van de koeloliën en de gebruikte koelmiddelen, ontsnapt de olie met de dampen HD. Om dit fenomeen te vermijden, gaat men de olie verwarmen met een carterweerstand, maar deze methode volstaat niet. In grote installaties moet men rekening houden met een te langzame olieterugloop naar de compressor.

Om die reden plaatst men een oliescheider, die zeer nuttig is.

De olie opgevangen in de scheider wordt opnieuw in het carter (de carters) van de compressor(en) geïntegreerd via een van de onderstaande olieterugloopsystemen

##### Opbouw



Figuur 2.135

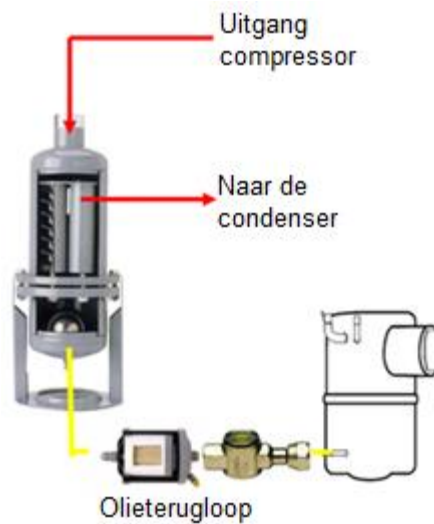
Bestaat uit twee delen:

- Een bovenste deel voor de scheiding
- Een onderste deel als oliereservoir voor de terugvloeï naar het carter van de compressor. Het is middels een inlaatleiding gekoppeld aan de drukzijde van de compressor en middels een uitlaatleiding aan de condensor. Een leiding (soms uitgerust met een olievertiklerlampje en een manuele klep voor lediging) stuurt de olie terug naar het carter van de compressor via een naaldventiel en een bedieningshendel met vlotter voor het interne oliepeil.

In een thermodynamisch systeem met een enkele compressor wordt de oliescheiding doorgaans genegeerd.

Nochtans is ze vaak nodig, in het bijzonder wanneer de afstanden tussen de onderdelen van het koelcircuit groot zijn.

De oliescheider moet dan op de persleiding van de compressor aangesloten worden en de gescheiden olie vloeit direct terug naar het oliecarter van de compressor.



Figuur 2.136

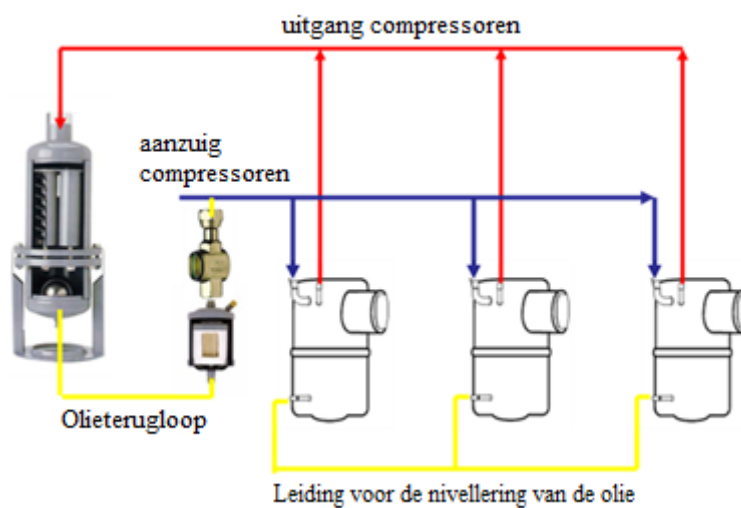
In een circuit met meerdere parallelle compressoren (montage in centrale) moet het oliebeheersysteem ontworpen worden naargelang van de toepassing.

Sommige principes voor het beheer van de olieterugloop worden hierna beschreven.

### Olieterugloop naar de aanzuiging

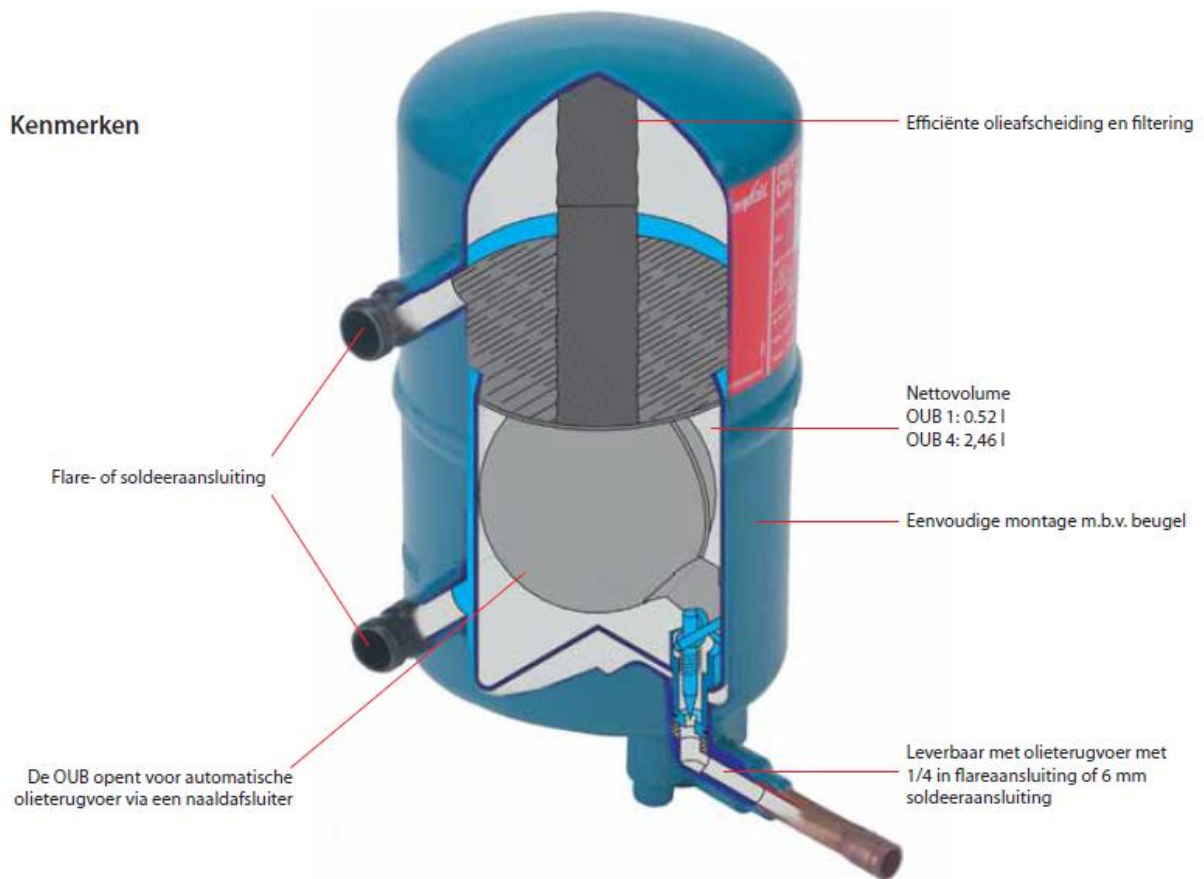
Een voor alle compressoren gemeenschappelijke oliescheider wordt aangesloten op de perscollector van de centrale.

De olieterugloop gebeurt in de aanzuigcollector.



Figuur 2.137

## Kenmerken



Figuur 2.138  
Bron : Danfoss

### 2.11.5. OLIEPEILREGELAAR

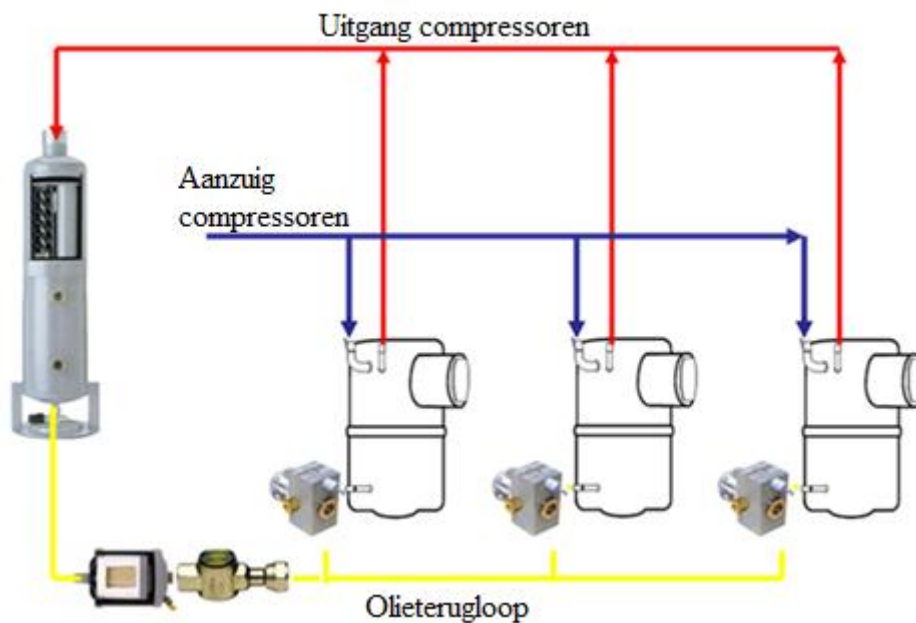
Met de oliepeilregelaar kan men het oliepeil in het carter van elke compressor bewaken en automatisch handhaven. Dankzij een oliepeilregelaar kan men compressoren op verschillende hoogte plaatsen. Men kan de compressoren horizontaal of verticaal boven elkaar plaatsen en compressoren met verschillende afmetingen of koelvermogens in eenzelfde installatie in parallel monteren. De regelaar zorgt voor de controle van het oliepeil in de compressoren met verschillende druk in het carter. Deze laat de onafhankelijke werking van elke compressor toe.



Figuur 2.139

De noodzakelijke criteria voor de selectie van een oliepeilregelaar zijn:

- aard van het koelmiddel
- drukverschil HD-LD
- type regelaar (met of zonder regeling)



Figuur 2.140

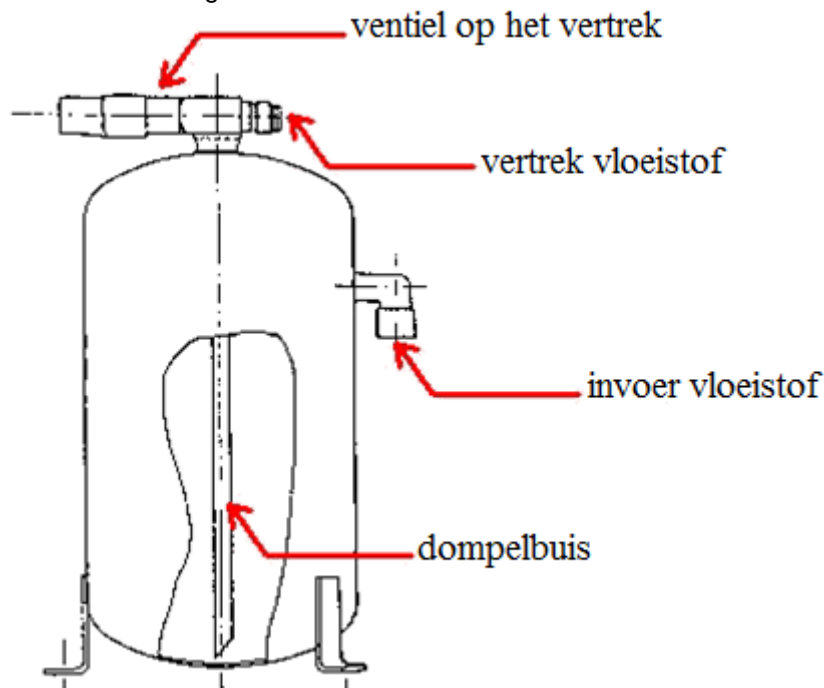
## 2.11.6. HET VLOEISTOFRESERVOIR OF "FLES"

### Rol

- De fles of het bufferreservoir voor opslag van vloeistof heeft de volgende functie:  
de nagekoelde koelvloeistof opvangen die afkomstig is van de condensor.  
de schommelende vraag naar de reduceerklep permanent verzorgen en comprimeren.  
de opslag van het koelmiddel bij regeling (pump down) van of interventie op het circuit dankzij de bedrijfsklep.
- De afmetingen van het reservoir worden zo bepaald dat dit het volledige fluïdum van de installatie kan opvangen; dit is 80 % van zijn totale capaciteit (**verplichte veiligheid!**)

### Bijkomende informatie

- De vloeistofflessen, verticaal of horizontaal, zijn uitgerust met een dompelbuis, om een afvoer van vloeibaar fluïdum te garanderen.



Figuur 2.141

- Ze zijn afwezig in installaties waarvan de reduceerklep een capillair is (vast debiet aan de reduceerklep)
- De schatting van het volume van de vloeistofflessen kan (x soortelijke massa) een goede waarde opleveren van de koelmiddelmasse aanwezig in de machine.
- Indien een condensatiedrukregelaar gebruikt wordt, kan de capaciteit van het reservoir bijna verdubbelen.



### 2.11.7. DE FILTERDROGER

#### Rol

De filterdroger heeft meerdere functies:

- de deeltjes of onzuiverheden die zich in het koelmiddel bevinden (vijsel, soldeerresten, afbraakproducten van de olie, ...) tegenhouden. De verwijdering van deze stoffen door zeven voorkomt defecten door verstopping van de kleppen, capillaire buizen, reduceeropeningen, ...
- de vochtigheid tegenhouden die eventueel in het koelmiddel aanwezig is. Deze vochtigheid kan leiden tot de vorming van ijs in de reduceerlep (opening verstopt) en van zuur slib.
- Sommige drogers hebben een zuurwerende functie. Ze vangen de schadelijke zuren op en vermijden zo corrosie (burn-out)

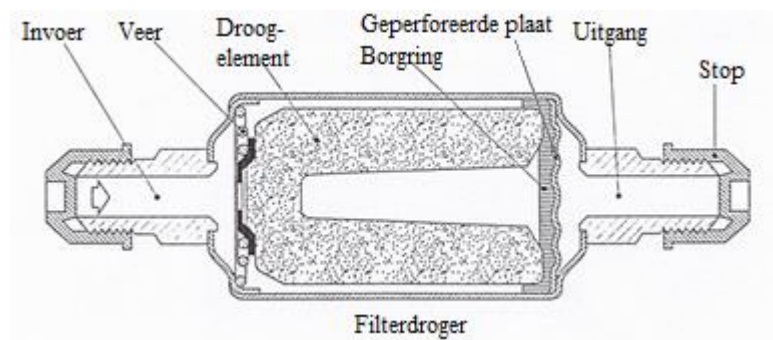
#### Samenstelling

Ze bestaan uit een siliciumgelmengsel, een moleculaire zeef en geactiveerd aluminiumoxide. Aan de uitgang van de filter is polyestervilt gemonteerd.

- De drogers worden vervaardigd in een brede waaier van afmetingen, zodat ze aan de installaties aangepast kunnen worden (zie catalogus fabrikanten)
- Hun aansluitingen kunnen verwezenlijkt worden door solderen of met schroeven.
- Sommige zijn demonteerbaar en uitgerust met een vervangbaar patroon

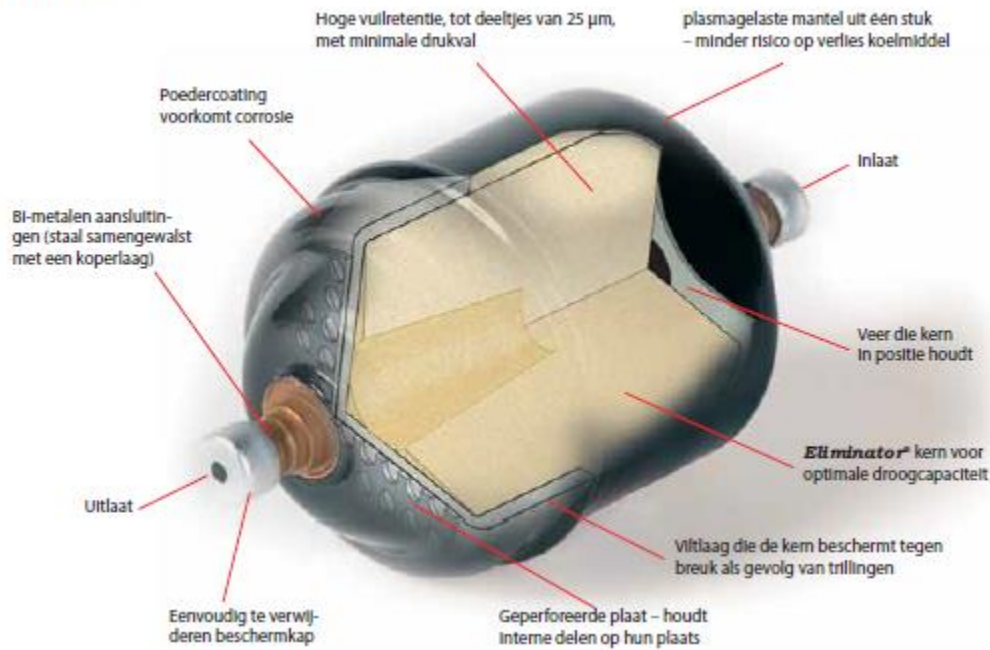


Figuur 2.142

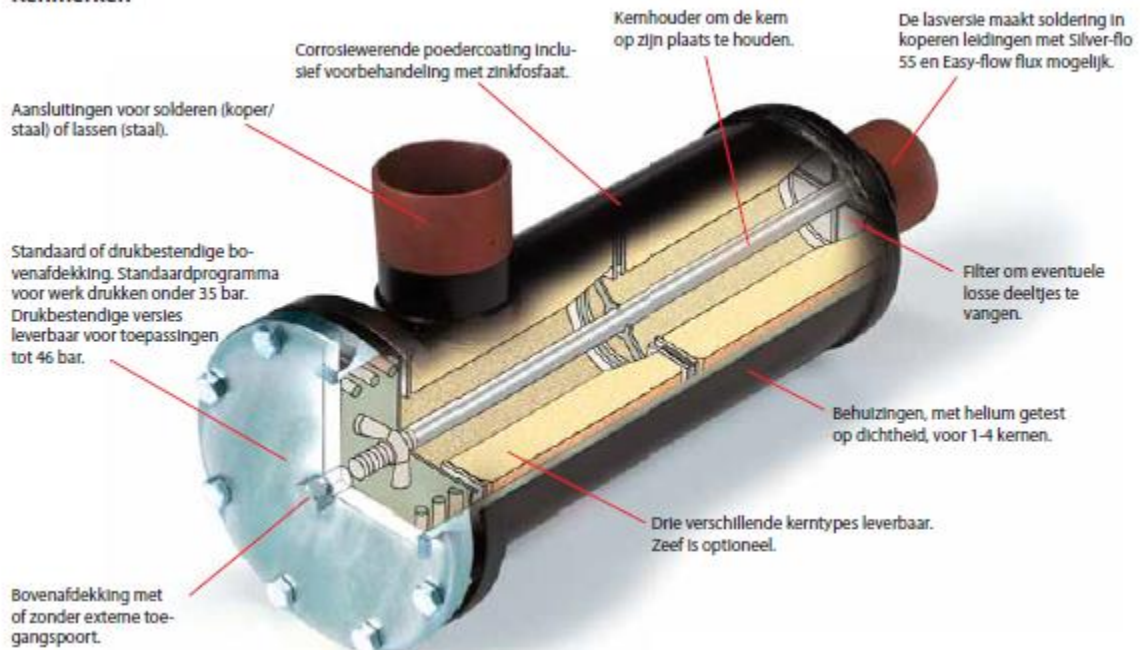


Figuur 2.143

## Kenmerken



## Kenmerken



Figuur 2.144 Documenten Danfoss



### 2.11.8. KOELMIDDELKIJKGLAS

#### Rol

Het geeft het volgende aan:

- de status van het koelmiddel in de vloeistofleiding van de installatie.
- de aanwezigheid van vochtigheid en het al dan niet grote gehalte vocht in het fluidum.

#### Samenstelling en gebruik



Figuur 2.145

De vochtigheidsindicator bestaat uit een band van scheikundig hygroscopisch zout waarvan de kleur verandert naargelang van het vochtigheidsgehalte in het fluidum.

Als de kleur groen is, is alles normaal. De hoeveelheid water in het koelmiddel is kleiner dan de maximaal toelaatbare hoeveelheid.

Als de kleur wijzigt naar lichtgroen... De installatie moet bewaakt worden, maar het gehalte is aanvaardbaar.

Als de kleur geel is, moet ingegrepen worden. Schadelijke effecten als gevolg van de vochtigheid zijn mogelijk.

De droger moet verplicht vervangen worden en er moet regelmatig een zuurgraadtest uitgevoerd worden.

Als geen enkele meting wordt uitgevoerd, bestaat het risico van:

- de vorming van een ijsblok in de reduceerklep
- de vorming van zuren in het circuit

Wat leidt tot:

- de corrosie van de leidingen
- de vernieling van de dichtingen
- een koperlaag in de compressor
- de vernieling van de wikkelingen van de compressor

Het kijkglas wordt net achter de filterdroger geplaatst; er mag enkel vloeibaar koelmiddel doorstromen. De aanwezigheid van bellen in de vloeistof wijst op een lichte onderkoeling aan de condensor of een wijziging van het vloeistofdebiet door:

- gedeeltelijke afdichting van de droger
- vernauwing van de leidingen
- gedeeltelijke sluiting van de klep waar de vloeistof vertrekt aan de vloeistoffles
- te weinig koelmiddel in de installatie.

### 2.11.9. DE ELEKTROMAGNETISCHE KLEPPEN

**Rol:** de passage van het koelmiddel garanderen of onderbreken.

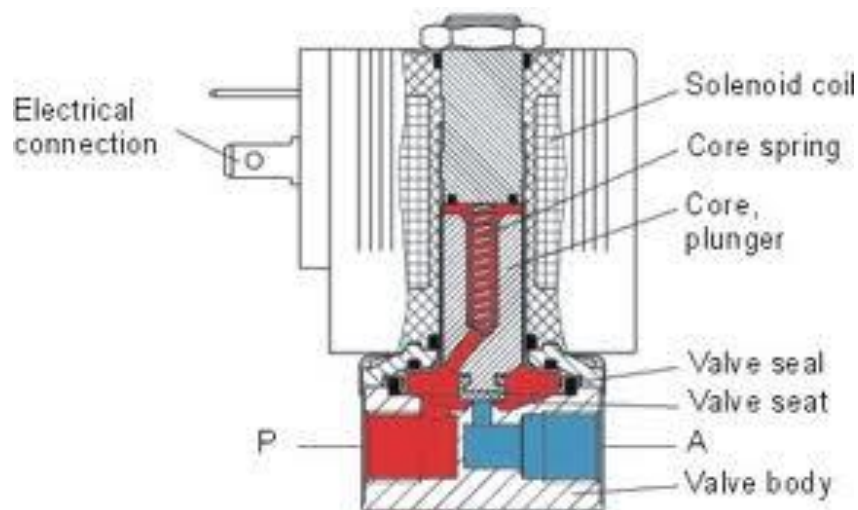
De elektromagnetische kleppen bestaan in verschillende vorm:

- directe werking of gestuurd
- normaal open NO of gesloten NF
- al dan niet op elektromagnetische manier vergrendeld
- voedingsspanning 24VAC, 24DC, 230VAC

De elektromagnetische kleppen bevinden zich op verschillende plaatsen in het koelcircuit.

- de vloeistoflijn (hoofd-EK)
- Voor de regeling van het vermogen van sommige compressoren
- Voor de selectieve ontdooiing (warme gassen)
- Als bypass voor sommige onderdelen (filter, compressor)

In rust staat de spoel NF niet onder spanning en de naaf in laagste positie doet de naald op haar zitting rusten. Wanneer de spanning wordt ingeschakeld, trekt de solenoïdespoel de naaf aan die de afsluitnaald vrijmaakt die dan weer het fluïdum doorlaat.



Figuur 2.146

## 2.11.10. DE VLOEISTOFAFSCHEIDER

### Rol

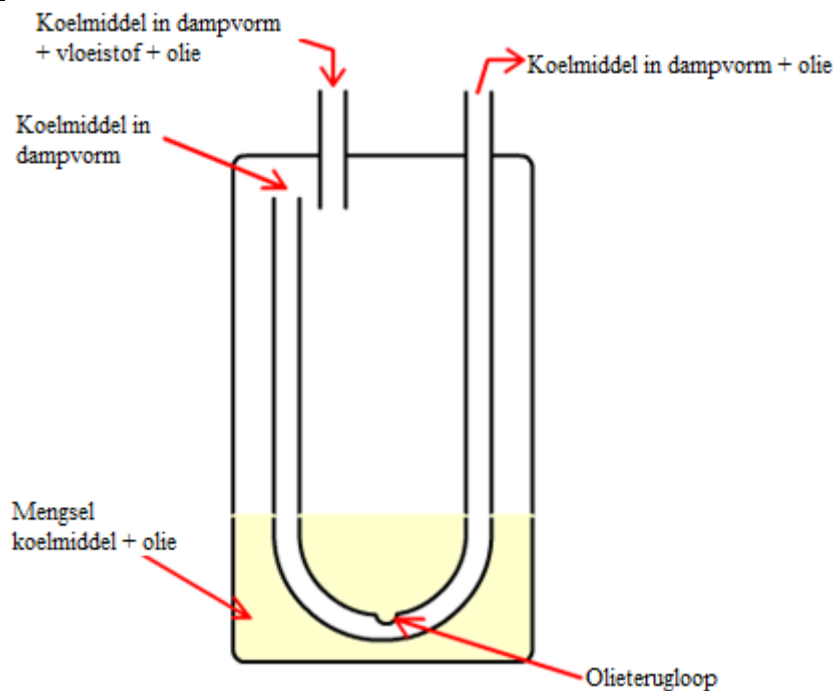
De compressor beschermen tegen toevallige aanzuiging van vloeibaar koelmiddel, door de vloeistof te verdampen die uit de verdamper in de fles komt.

De vloeistofslag kan leiden tot de permanente vervorming van de perskleppen, zodat ze niet meer afdichten.

Er zijn vele oorzaken voor het vollopen van de verdamper met vloeistof:

1. Bij normale werking
  - Reduceerklep te ver open of slecht geregeld
  - Slecht ontwerp van de verdamper
  - Reduceerklep sluit niet opnieuw (lek) of defecte elektromagnetische klep
2. Bij de herinschakeling van de machine
  - Defecte reduceerklep
  - Opening als gevolg van een abnormale opwarming bij uitschakeling (geleiding van de leidingen of luchtcirculatie in de koudekamer)
  - Defecte afdichting elektromagnetische klep
  - Migratie van koelmiddel
3. Bij de herinschakeling van de machine na ontthooing
4. Als gevolg van een ontthooing door cyclusinversie

### Samenstelling

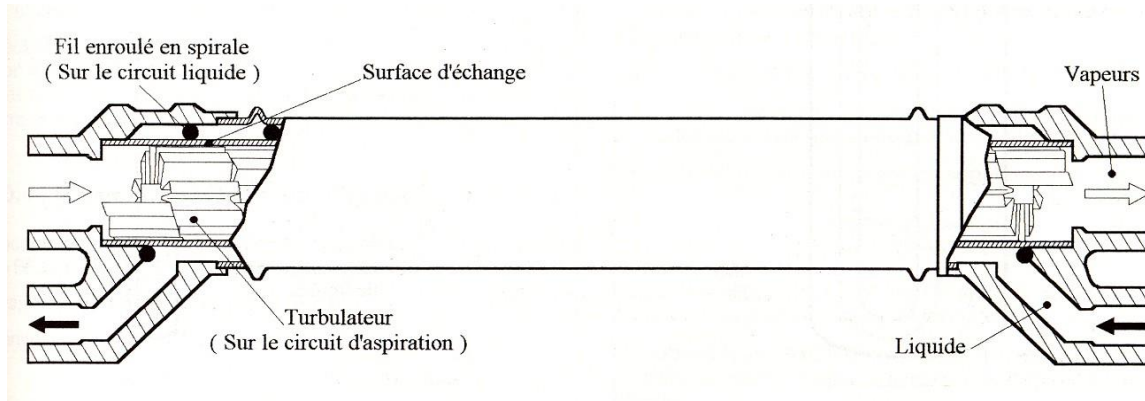


Figuur 2.147

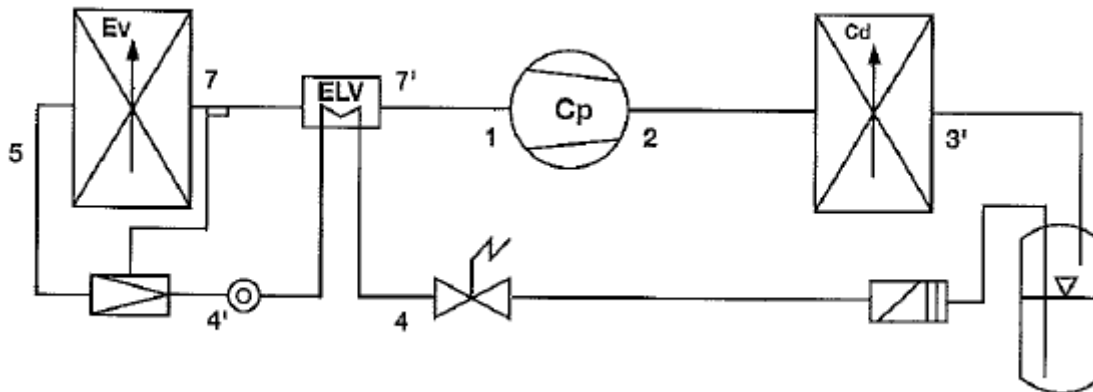
## 2.11.11. NAKOELER

### Rol

- Deze wisselaar zorgt voor een overdracht van warmte-energie tussen de vloeistof (voor reduceerklep) en de dampen die uit de verdamer komen. Deze functie laat toe de nakoeling van de binnenkomende vloeistof te benadrukken en soms een vloeistofslag in de aanzuiglijn te vermijden door toename van de oververhitting.
- Hij wordt in de buurt van de verdamer geplaatst.



Figuur 2.148



Figuur 2.149

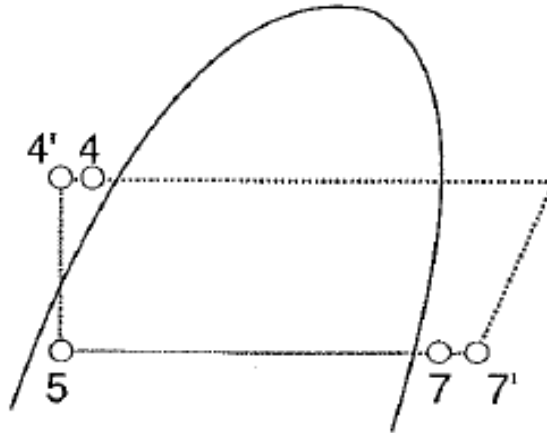
De wisselaar creëert een warmte-uitwisseling tussen de vloeistof en de damp.  
De vloeistof wordt nagekoeld van 4 tot 4'.  
De damp wordt oververhit van 7 tot 7'.

Als we een perfecte uitwisseling tussen vloeistof en damp beschouwd, hebben we het volgende:

- Vermogen verloren door de vloeistof:  $P_{ech} = \dot{q}_m \cdot (h_4 - h_{4'})$
- Vermogen ontvangen door de damp:  $P_{ech} = \dot{q}_m \cdot (h_{7'} - h_7)$

We kunnen dus schrijven  $h_4 - h_{4'} = h_{7'} - h_7$

Wanneer men de evolutie van het fluïdum uitzet, zijn de beide segmenten die de bijkomende oververhitting van het fluïdum en de nakoeling van de vloeistof vertegenwoordigen, gelijk.



Figuur 2.150

Voordelen	Nadelen
Toename van de spreiding $h_7 - h_5$	toename van het specifieke volume $v$
Verbeterd koeffect	beperking van het massadebiet $\dot{q}_m$
Aanzienlijke nakoeling die het volgende vermijdt:	te hoge perstemperatuur
gedeeltelijke verdamping van het fluïdum	toename ladingverlies

Het gebruik van een warmtewisselaar in een koelcircuit is gerechtvaardigd indien de vloeistofleiding onderhevig is aan:

- een grote opwarming
- een grote drukdaling
- een "flash-gas" (gedeeltelijke verdamping van de vloeistof).

Het massadebiet van de koelvloeistof is minder groot. Dit houdt in:

- een kleinere compressor (daling energieverbruik)
- kleinere diameter van de leidingen

MAAR aangezien het massadebiet kleiner is, is het koelvermogen kleiner.

## 2.11.12. DE PRESSOSTATEN

De pressostaten zijn organen voor de bewaking van de druk in een uitrusting, die gebruikt worden voor regeling of beveiliging.

Ze detecteren een drempel of het verschil tussen twee drukwaarden.

De richtwaarde kan hoog (inschakeling) of laag (onderbreking) zijn.

De pressostaten hebben:

- een manuele reset (beveiliging)
- een automatische reset (regeling)

De toestellen worden gekenmerkt door twee grootheden:

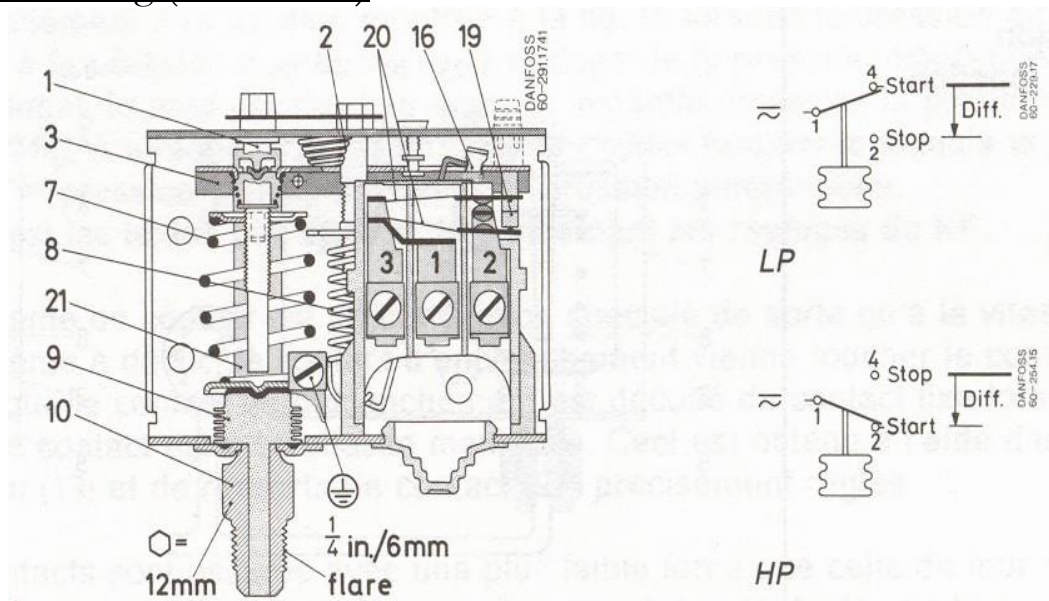
- de richtwaarde (regelbaar)
- het differentieel (vast of regelbaar)

De P.LD of pressostaat lage druk wordt gebruikt als pump-down regeling of als veiligheidsonderbreking. Als de compressor uitgeschakeld wordt door pump-down, vermijdt men een daling onder de nulwaarde van de manometer (atm. d), om een lichte overdruk op het circuit te bewaren en de lucht- en vochtinlaat in het circuit te voorkomen.

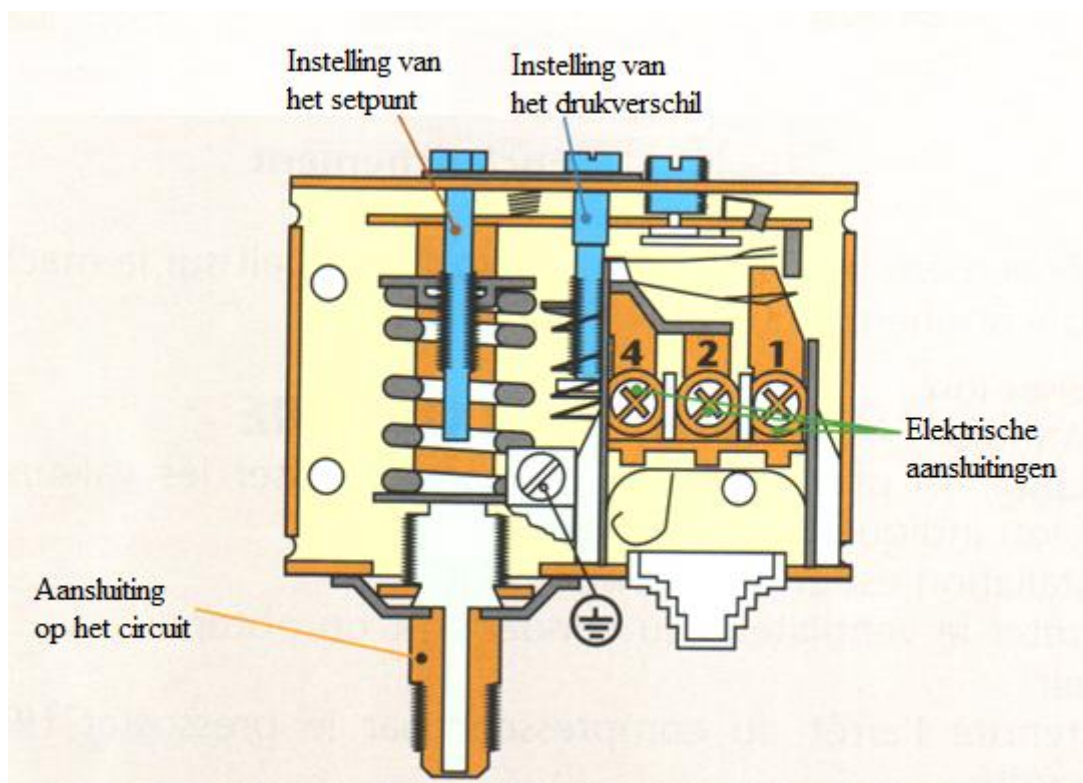
Bij klimaatregeling of in sommige industriële processen, vermijdt men een daling van de temperatuur van de verdamper onder 0 °C, om rijp op de ribben te voorkomen. A fortiori, als het een waterverdamer betreft, dient men vorst te vermijden. In beide gevallen is een veiligheids-P.LD onontbeerlijk.

De P.HD of pressostaat hoge druk wordt gebruikt als regelaar, want de temperatuur van het koelmiddel kan schommelen (zie waarom de HD regelen). Het is daarentegen verplicht een stijging van de HD boven de veiligheidswaarden (20 tot 35 bar naargelang van het fluïdum) te bewaken. Daarom vinden we veiligheidspressostaten HD terug

## Samenstelling (bron cretal)



Figuur 2.151

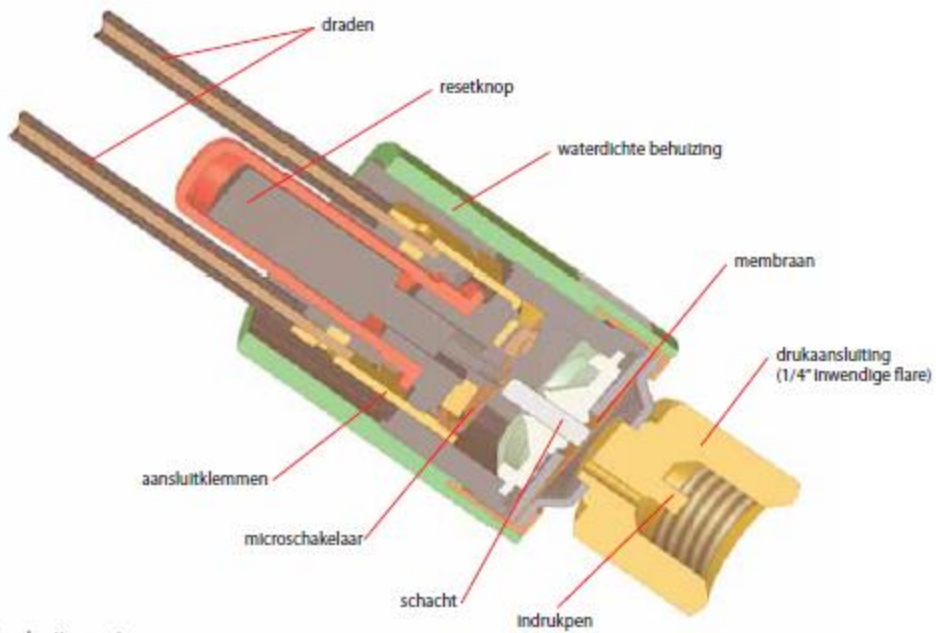


Figuur 2.152

Met de patroon-pessostaten kan de druk in het circuit ook bewaakt worden. Er zijn geen regelbare drempels.



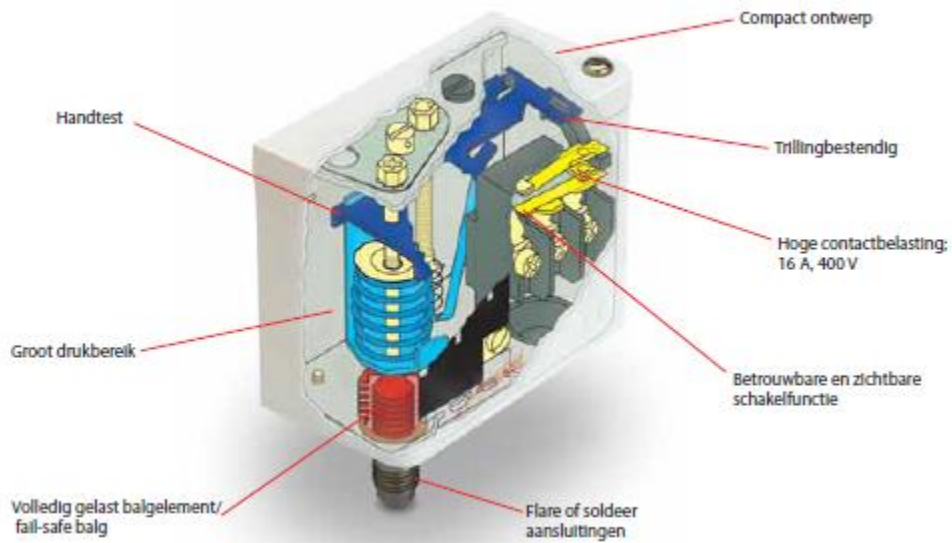
### Kenmerken



Afb: type SPST handmatige reset

Figuur 2.153 Document Danfoss

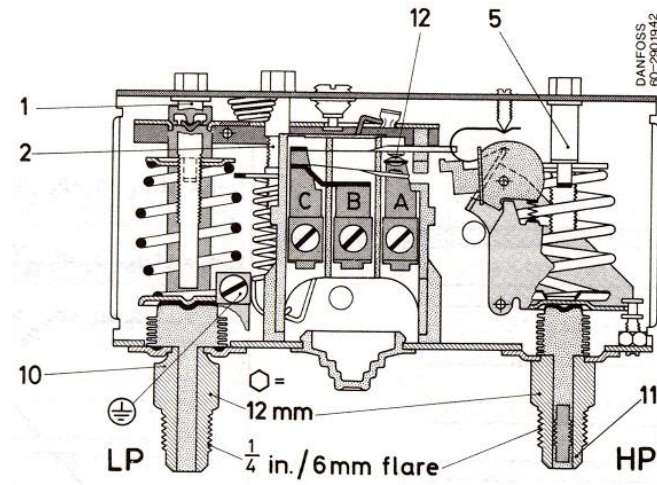
### Kenmerken



Figuur 2.154 Document Danfoss

## Variant

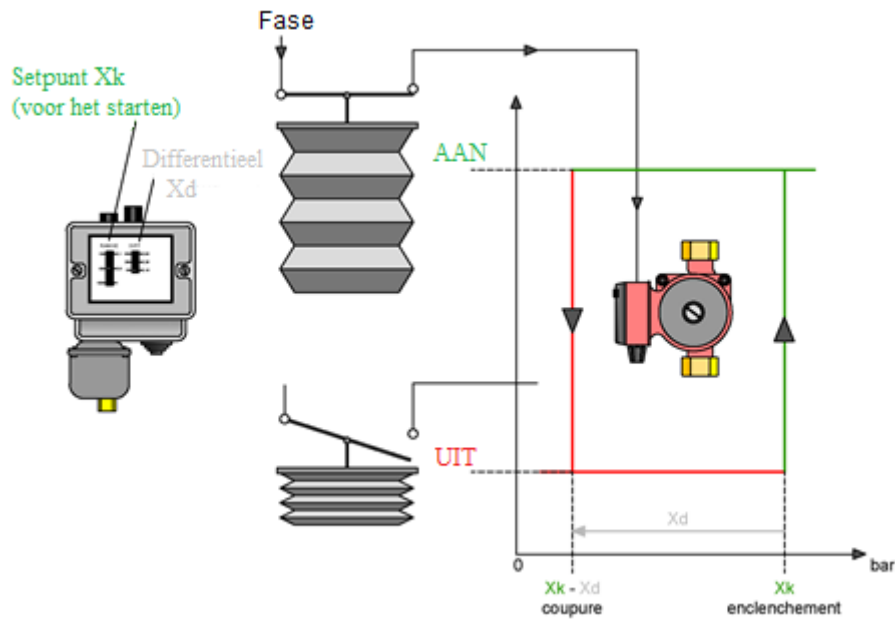
Er bestaan gecombineerde pressostaten HD en LD in eenzelfde behuizing (Danfoss KP15)



Figuur 2.155

### 2.11.13. PRESSOSTAAT WATERTEKORT

De rol van de pressostaat watertekort bestaat in het verhinderen dat de pomp droogloopt. Hij stopt de pomp, om te vermijden dat lucht in het bovenste gedeelte van het circuit en in de holte van de pomp terechtkomt.



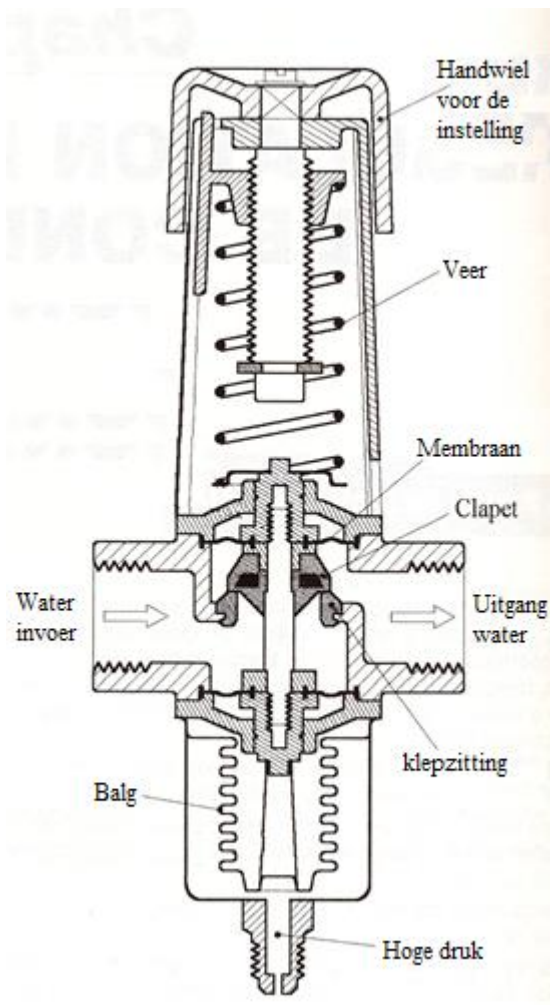
Figuur 2.156

Men moet de richtwaarde  $X_k$  en het differentieel  $X_d$  afstellen, opdat de pressostaat watertekort de circulatiepomp niet zou uitschakelen voor de regelthermostaat. (risico van bevriezing van de waterverdamer)

#### 2.11.14. PRESSOSTATISCHE WATERKLEP

Het waterdebiet van de watercondensoren wordt geregeld door een **pressostatische waterklep**.

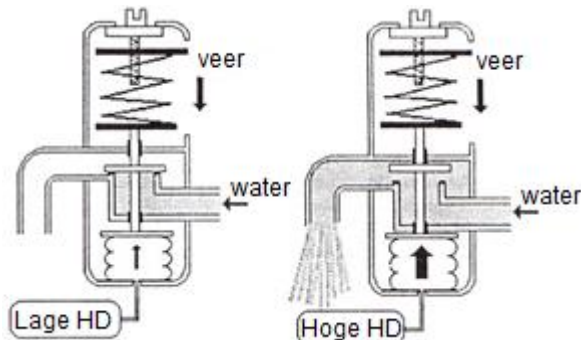
Deze kleppen bewaren een constante condensatiedruk, ondanks de ladingschommelingen. De klep bestaat uit een HD-drukstekker, een capillair verbonden met een balg van het klepventiel.



Figuur 2.157

## Werking

- De balg duwt het ventiel naar boven om de klep te openen, terwijl de stelveer naar beneden duwt om de klep te sluiten.
- Wanneer de kracht van de stelveer groter is dan de HD, blijft de klep gesloten.
- Als de compressor start, stijgt de HD, en zodra ze de door de veer ingestelde waarde bereikt, begint de klep te openen. De condensatie kan gebeuren bij een relatief constante HD, wat een correct debiet aan de verdamper garandeert en dus een goede koudeproductie.
- Bij uitschakeling van de compressor, daalt de HD snel, wat onmiddellijk de automatische sluiting van de klep veroorzaakt.

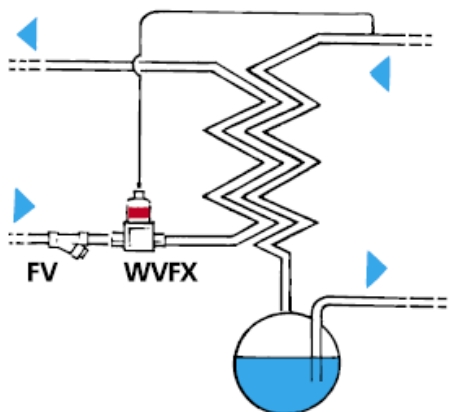


Figuur 2.158

- De afstelling van de pressostatische waterklep is delicaat en vereist een compromis.

## De aansluiting

De koudwateraanvoer moet zich bevinden aan de kant van vertrek van het vloeibare fluïdum (uitlaat van de condensor). Het water bevordert zo door zijn contact de nakoeling van het KM. Het water vloeit tegen de stroom van het fluïdum in door de condensor, om de warmte-uitwisseling te bevorderen.



Figuur 2.159

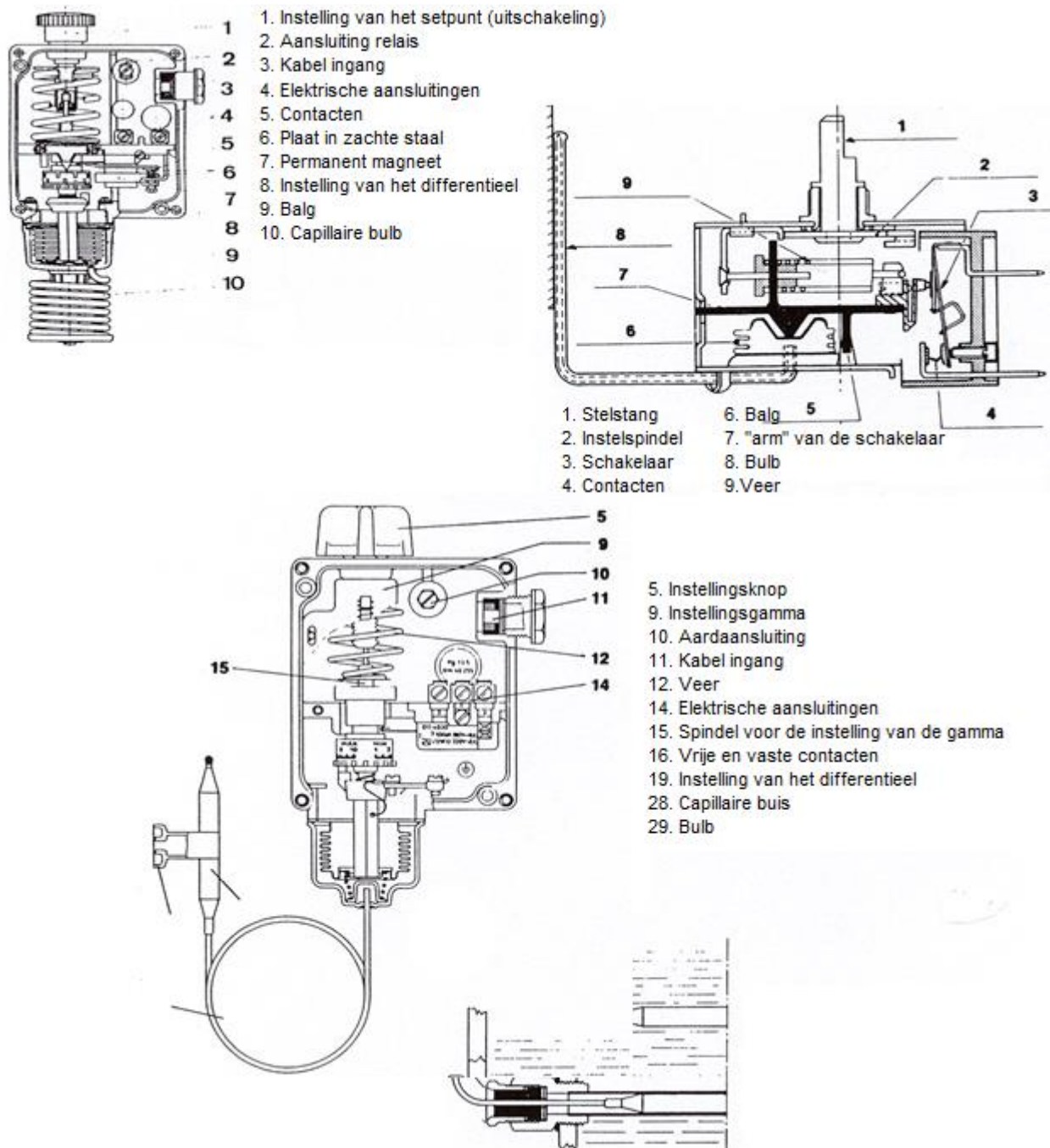
## 2.11.15. DE THERMOSTATEN

### Rol:

Een elektrisch circuit openen of sluiten onder invloed van een temperatuurschommeling, dankzij het gebruik van onderbrekingscontacten met abrupte werking.

De thermostaten kunnen in 3 categorieën ondergebracht worden:

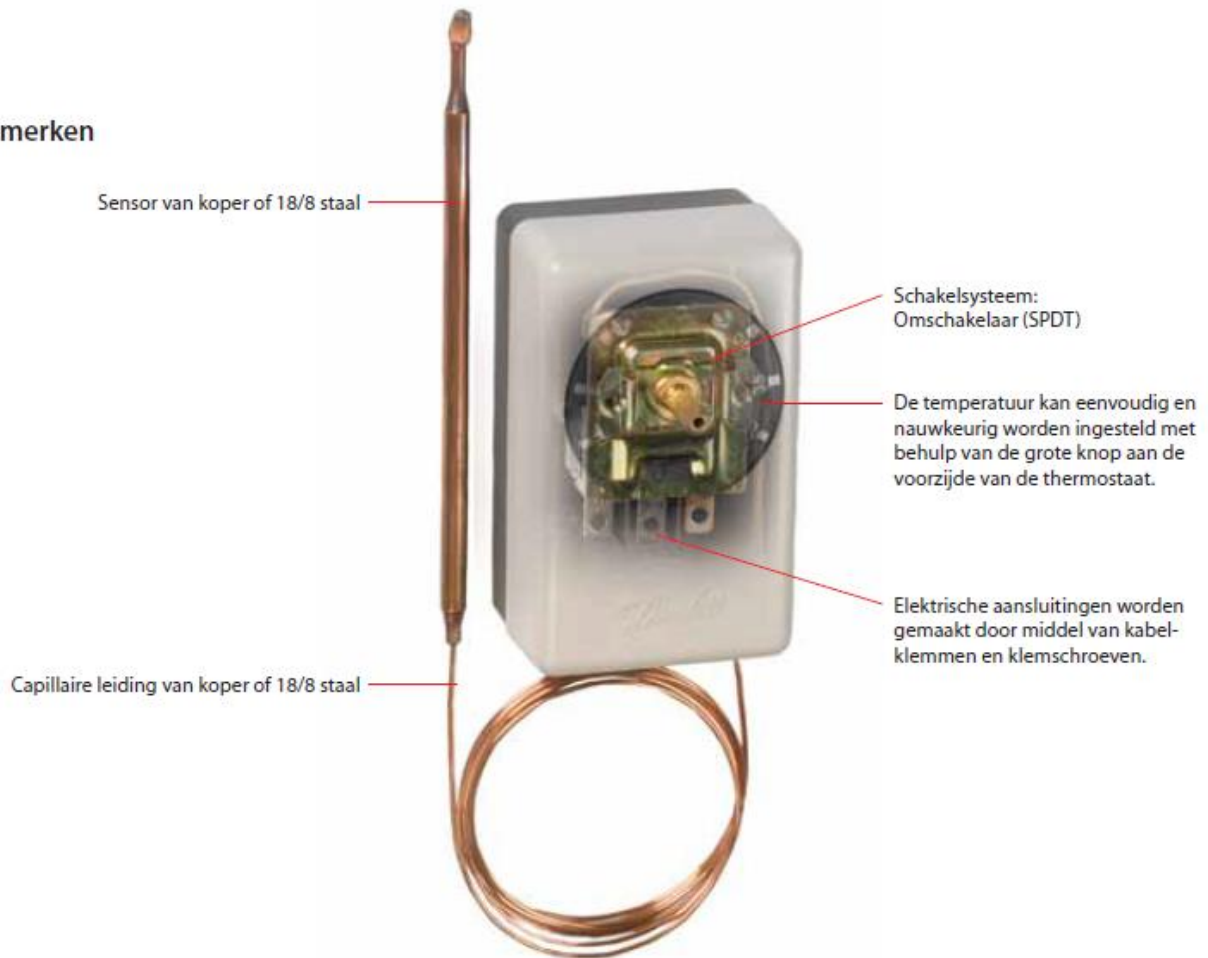
- de thermostaten voor gasvormige omgevingen
- de verdamperthermostaten,
- en de thermostaten voor vloeibare omgevingen.



Figuur 2.161

De verdamperthermostaten zijn van het fijnregeltype. Ze worden bevestigd op de verdamper op een plaats waar het fluïdum van toestand verandert.

### Kenmerken



Figuur 2.162 Documenten Danfoss

Zoals bij de pressostaten zijn de richtwaarde inschakeling/uitschakeling en het differentieel (soms bepaald in de fabriek) de parameters waarmee rekening gehouden moet worden.

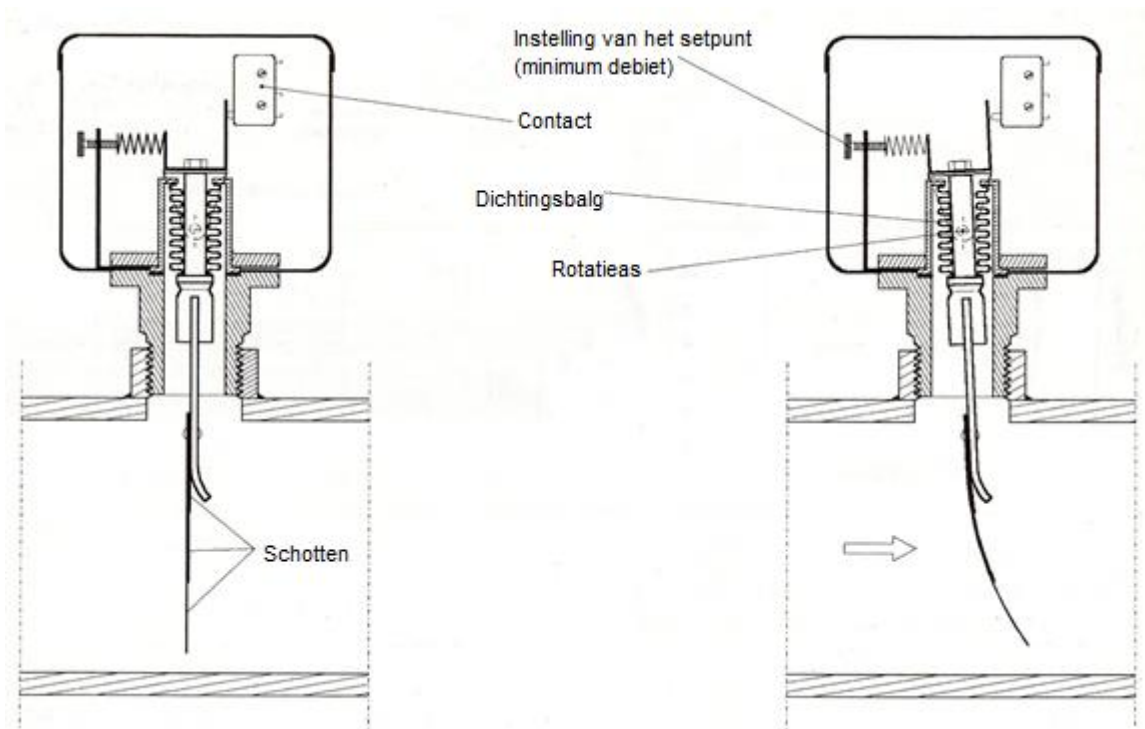


## 2.11.16. FLOW SWITCH

De watercircuits van sommige verdamers of condensoren worden beschermd door een waterdebietcontrole met schotten. Dit beschermt de compressoren tegen eventuele vloeistofslagen tijdens de startfase, en verhindert de toevallige vorming van ijs in de verdampers, als de waterstroom onderbroken wordt.

**Er wordt geen garantie gegeven als er geen debietdetectiesysteem geïnstalleerd is.**

Wanneer het debiet te klein is, opent de switch een contact en wordt de compressor uitgeschakeld.



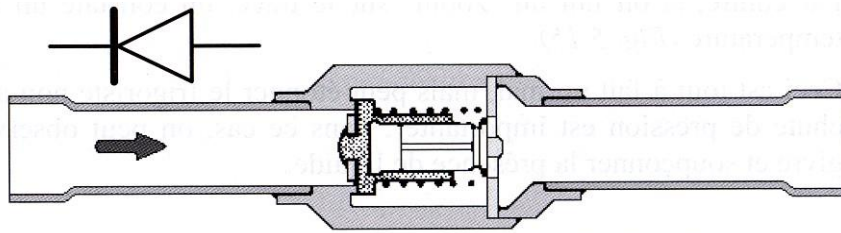
Figuur 2.163

Een elektronische debietcontrole is vervaardigd van roestvrij staal en heeft geen bewegende onderdelen. Hij controleert het debiet door het temperatuurverschil te meten tussen zijn verwarmende uiteinde en de onderkant van de sonde. Men moet dus zeker garanderen dat de onderkant goed in de stroom staat.



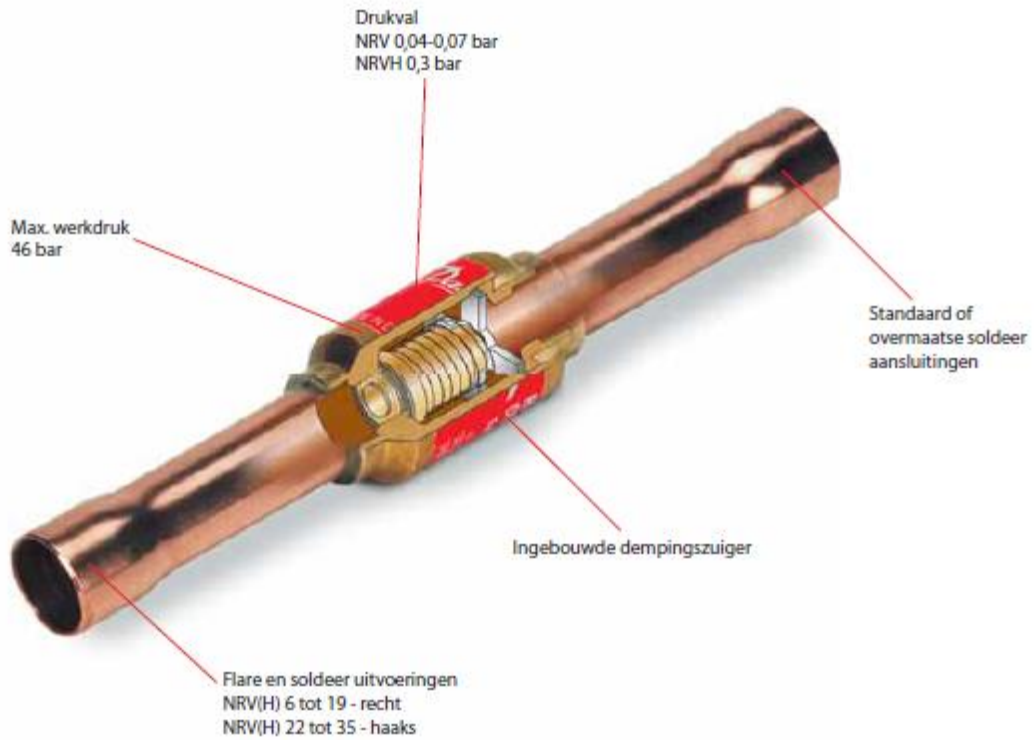
## 2.11.17. TERUGSLAGKLEP

De terugslagklep mag maar in een richting gepasseerd worden; ze legt een stroomrichting op aan het fluïdum.



Figuur 2.164

### Kenmerken



Figuur 2.165 Document Danfoss

## 2.11.18. DE LEIDINGEN VAN DE KOELINSTALLATIES

Bijzondere aandacht wordt besteed aan de leidingen in de koelinstallaties, om talloze defecten te vermijden.

Men zal toezien op het volgende:

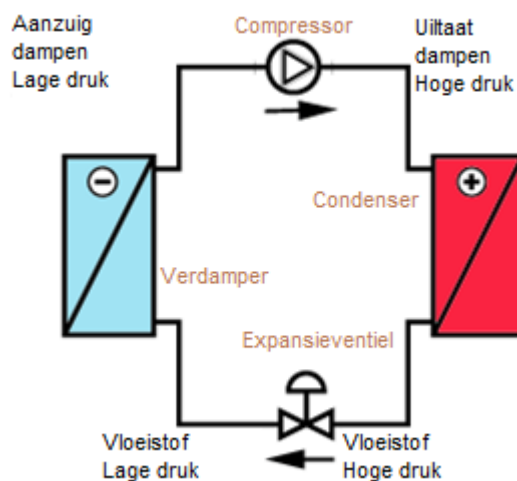
- te grote ladingverliezen bij de aanzuiging vermijden, die het rendement schaden
- de warmteverliezen beperken
- de olieteruglopen naar de compressor toelaten
- geen vloeistofvallen creëren
- de goede werking van de machine niet verstoren (overdracht van trillingen, akoestische problemen, ...)

De koelleidingen **zijn hoofdzakelijk van koper**, watervrij en aan de binnenkant gepolijst. Ze zijn geijkt in inches of in fracties van inches.

Ze worden gehaspeld of opgerold geleverd van 5 m tot 20 m voor diameters van ¼ tot ¾ inches. Daarboven worden ze geleverd in onbuigbare lengten van 6 meter (7/8 enz.)

Bij klimaatregeling worden gehaspelde koperen leidingen gebruikt die vooraf geïsoleerd zijn en omringd zijn met een armaflex-koker.

Een koelcircuit bestaat uit 3 zones: aanzuiging, drukzijde, vloeistoflijn.



Figuur 2.166

### Aanzuigzone

Deze leiding verbindt de verdamper met de compressor. Deze zone moet geïsoleerd worden wegens het risico van condensatie. De isolatie beperkt ook de oververhitting bij aanzuiging van de compressor. Een te hoge aanzuigtemperatuur van de compressor veroorzaakt een daling van het koelvermogen en een te hoge perstemperatuur. De afmetingen van de leiding moet zo bepaald worden dat de snelheid van het fluïdum in gasvormige toestand groot genoeg is om de olie mee te voeren (retour naar de compressor).

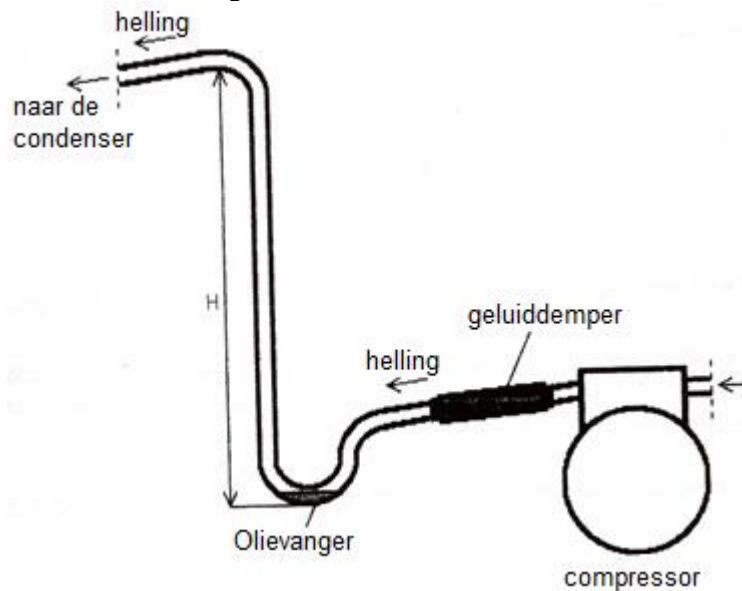
## Perszone

Deze leiding verbindt de compressor met de condenser.

Als de condensor meerdere meters boven de compressor geplaatst wordt, dient men om de 3 meter hoogteverschil een olievanger plaatsen, om de olieterugloop naar de drukzijde van de compressor te verhinderen.

Een geluidsdemper of antitrilrichting is aanbevolen aan de uitlaat in de buurt van de compressor.

Op deze leiding kan ook een oliescheider gemonteerd worden.



Figuur 2.167

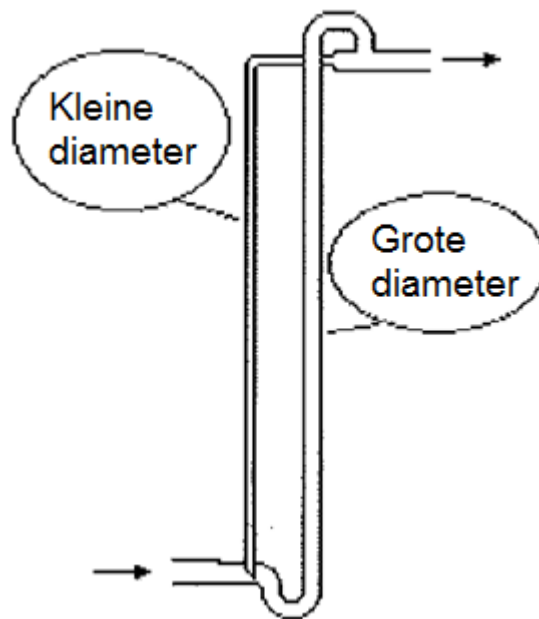
Opdat de olie zou kunnen opstijgen in een gasleiding, is het noodzakelijk dat de snelheid groter is dan 7 m/s (typische snelheden 8 tot 11 m/s, ladingverlies dat overeenstemt met 3 K).

Aan deze voorwaarde kan makkelijk voldaan worden als het massadebiet constant blijft.

Maar vormt een probleem als het massadebiet schommelt, bijvoorbeeld in gecentraliseerde koelinstallaties:

wanneer een enkele compressor in werking is, kan de snelheid van de gassen afnemen tot minder dan 7 m/s. Men heeft dus een sas nodig opdat de olie in laag regime zou kunnen stromen. De dubbele stijgende kolom vervult deze functie.

### Dubbele stijgende kolom



Figuur 2.168

Twee verticale buizen met verschillende diameter:

- Een buis met grote diameter met een sifon (olievanger) onderaan en een kontrasifon bovenaan
- Een buis met kleine diameter parallel met de dikke buis, die uitkomt in een verloop aan het einde van de bovenste buis, zodat de olie niet kan terugvloeien.

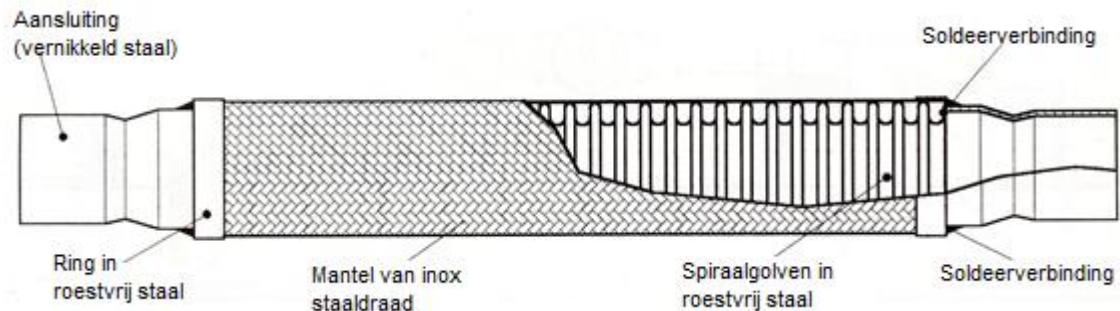
### Zone vloeistoflijn

Deze leiding verbindt de condensor met de verdamper. Deze zone is niet geïsoleerd. Men zoekt naar de best mogelijke nakoeling. De olie vermengt zich makkelijker met het fluïdum in vloeibare vorm dan met het fluïdum in gasvormige toestand. De minimale snelheid in de vloeistoflijn is kleiner dan in de twee andere zones.

## Roestvrij stalen soepele leidingen

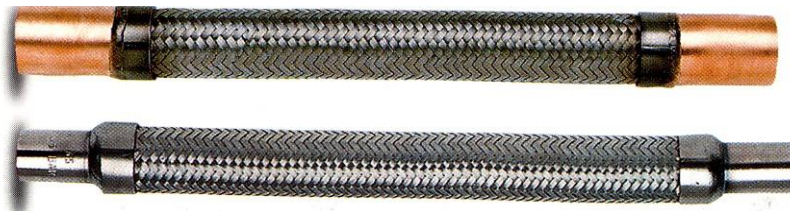
Dit zijn soepele verbindingen die de componenten scheiden en de overbrenging van trillingen vermijden. Het zijn flexibele metalen leidingen van roestvrij staal, die bestaan uit spiraalgolven. Het geheel is bekleed met een mantel van inox staaldraad. De leidingen zijn compatibel met alle actuele koelmiddelen en zijn bestand tegen grote temperatuurschommelingen.

Vaak vinden we aansluitingen voor en achter de compressoren. Ze verhinderen het breken van de leidingen, wat zou leiden tot een onbuigbare bevestiging van de leidingen op die plaats.



Figuur 2.169

Ze bestaan uit een flexibele golvende metalen slang van roestvrij staal of koperlegering.



Figuur 2.170

Ze mogen nooit gebruikt worden om een montagefout te compenseren. De dempers worden geplaatst in de buurt van de compressor en evenwijdig met zijn as. De compressor vibreert in laterale richting. Een loodrechte montage op de krukas is uitgesloten.