



TECHNISCH TALENT
KRIJGT TOEKOMST
mechanica/elektriciteit - hout - auto

VERY

TECHNICAL

INDEED

INDUSTRIËLE WETENSCHAPPEN

Koelhuizen REO-veiling

Leerling(en) :
Francis Van Hulle
Lander Devriese

Mentor:
De Laere Miranda

2004 - 2005

VTI Torhout Sint-Aloysius | Papebrugstraat 8a, 8820 Torhout
Telefoon: 050 23 15 15 | Fax: 050 23 15 25
E-mail: vti@sint-rembert.be | Site: <http://vtiweb.sint-rembert.be/>
Site GIP'S 6IW: www.gip6iw.be

Voorwoord

In onze geïntegreerde proef bespreken we het onderwerp REO 2005, deze tekst hou in een bespreking van de werken die op dit eigenlijke moment bezig zijn in de Reo-veiling gelegen te Roeselare. Wat ons in dit onderwerp interesseerde was het aspect koeling. We hadden het onderwerp al van oppervlakkig gezien vorig jaar in fysica, nu wouden we ons uitdiepen in het onderwerp. Maar naast fysica worden ook andere vakken gezien, chemie vinden we terug in het koudemiddel, mechanica in de opbouw van de koelruimtes zelf, ...

Dat dit onderwerp zeer groot was wisten we al vanaf het begin dat we er aan begonnen, al snel hebben we bepaalde onderwerpen moeten laten wegvallen en moesten we selecteren waarop we ons gingen selecteren. De onderwerpen die onze voorkeur kregen was de bouw van de koelruimtes en de koelinstallatie, dit omdat deze onderwerpen het vlugst evolueerde doorheen het schooljaar en kwam er dus informatie zeer snel vrij, zoals wat soort componenten er worden gebruikt. Een belangrijk onderwerp die we lieten wegvallen was traceerbaarheid, dit was nodig wegens tijdsgebrek en omdat dit het laatst werd ontwikkeld.

Deze GIP is natuurlijk niet *een verslagje* dat uit de bus moet komen. Het is een verslag van een jaar hard werken. Dit kunnen we natuurlijk niet op ons eentje. Een dankwoord aan mevr. De Laere, onze mentor is gepast. Ze was steeds bereid te helpen waar nodig. Ook TAC dhr. Maertens bedanken we voor zijn medewerking. Hij heeft ons voorzien van een zeer interessant cursus, waar veel informatie uit te halen was. Dhr. Verhaeghe danken wij ook voor de tijd die hij heeft gespendeerd in deze geïntegreerde proef. Mevr. Deprez danken we omdat zij al onze werkwoordsfouten corrigeerde.

Misschien de belangrijkste personen die ons hielpen voor het verschaffen van informatie zijn de mensen van het studiebureau STABO, voor het onderwerp koeling was dit Kristel Beelen, en voor de bouw was Iwein Meykens onmisbaar. Paul Demyttenaere van de Reo-veiling word ook bedankt voor de hulp die we kregen vanuit de Reo-veiling zelf. Onze ouders verdienen ook een pluim, zij stonden ons bij op ieder moment.

Inhoudopgave

VOORWOORD		2
<hr/>		
INLEIDING		7
<hr/>		
1 KOELING		8
<hr/>		
1.1 ALGEMENE BASISBEGRIPPEN		8
<hr/>		
1.1.1 DRUK		8
1.1.2 DRUK EN VOLUME		8
1.1.3 WARMTEHOEVEELHEID		8
1.1.4 SOORTELIJKE WARMTE		8
1.1.5 VERDAMPEN EN CONDENSEREN		9
1.1.6 VERDAMPINGSTEMPERATUUR EN –DRUK		9
1.1.7 WARMTE-INHOUD OF ENTHALPIE		9
1.1.8 WARMTE		9
1.1.9 WARMTEOVERDRACHT		10
1.1.10 STOLLEN EN SMELTEN		10
1.2 ALGEMEEN KOUDEPROCES		11
<hr/>		
1.3 KOELINSTALLATIE		12
<hr/>		
a	Koud of warmte verliezen?	12
b	Hoe kan je iets koelen	12
c	De aggregatietoestand	13
d	Warmteoverdrachtfactor	13
e	De basiskoelelementen	13
f	Accessoires	14
g	Algemene opbouw van een koelruimte	15
h	Koudestroom	15
1.3.1 COMPRESSOREN		17
1.3.1.1	DOEL VAN DE COMPRESSOR	17
1.3.1.2	PRINCIPE	18
1.3.1.3	SOORT COMPRESSOREN	18
a	Zuigercompressoren	19
a.1	Constructie van een zuigercompressor	19
a.1.1	De open compressor	19
a.1.2	De halfgesloten of semi-hermetisch gesloten compressor	20
a.1.3	De gesloten of hermetisch gesloten compressor	21
a.2	Werking	22
a.3	Capaciteit van de compressor	23
b	Schroefcompressoren	24
b.1	Constructie van een schroefcompressor	24
b.2	Werking	25

c	Centrifugaalcompressoren	26
c.1	Constructie van een centrifugaalcompressor	26
c.2	Werking	27
1.3.2	CONDENSOR	28
1.3.2.1	DOEL VAN DE CONDENSOR	28
1.3.2.2	PRINCIPE	28
1.3.2.3	SOORT CONDENSOR	29
a	Luchtgekoelde condensor	29
b	Watergekoelde condensor	30
b.1	Dubbelpijpcondensor	30
b.2	Bundelpijpcondensor	31
b.3	Gesloten Spiraalcondensor	31
c	Verdampingscondensor	32
1.3.3	VERDAMPER	33
1.3.3.1	DOEL VAN DE VERDAMPER	33
1.3.3.2	PRINCIPE	33
1.3.3.3	SOORTEN VERDAMPERS	33
a	Directe koeling of verdamping	33
a.1	Gladde pijp- of slangenverdampers	34
a.2	Plaatverdampers	34
a.3	Gevinde of gelamelleerde verdampers	35
a.3.1	Soorten van vinverdampers	36
b	Indirecte koeling of verdamping	38
1.3.3.4	CAPACITEIT VAN DE VERDAMPER	38
1.3.4	EXPANSIEVENTIEL	39
1.3.4.1	DOEL	39
1.3.4.2	SOORTEN REGELKLEPPEN	39
a	Met de hand bediende expansieventielen	40
b	Automatische expansieventielen	40
b.1	Thermostatisch expansieventiel	40
b.1.1	Inwendige drukvereffening	40
b.1.2	Uitwendige drukvereffening	41
b.2	Automatische expansieventiel	42
b.3	Lagedruk vlotterklep	43
b.4	Hogedruk vlotterklep	44
1.3.4.3	DE VERDEELKOP	45
1.3.4.4	VULLING VAN HET THERMO-ELEMENT	46
a	Begrensdde vulling	47
b	Absorberende vulling	47
c	Vloeistofvulling	48
1.4	KOUDEMIDDEL	49
1.4.1	INLEIDING	49
1.4.2	SOORTEN KOELMEDIUM	49
1.4.2.1	CHLOORFLUORKOOLWATERSTOF OF CFK	49
1.4.2.2	FLUORKOOLWATERSTOF OF HFK	50
1.4.2.3	ANORGANISCHE KOELMIDDELEN	51
1.4.3	EIGENSCHAPPEN VAN HET KOUDEMIDDEL	51
1.4.3.1	FYSIOLOGISCHE EIGENSCHAPPEN	52

1.4.3.2	CHEMISCHE EIGENSCHAPPEN	53
a	Stabiliteit	53
b	Inactiviteit	53
c	Brandbaarheid en explosiviteit	53
1.4.3.3	FYSISCHE OF NATUURKUNDIGE EIGENSCHAPPEN	54
a	Dampdruk	54
b	Verdampingswarmte	54
c	Geleidbaarheid van warmte	54
d	Oplosbaarheid van water	54
e	Oplosbaarheid van olie	54
f	Elektrische weerstand	55
1.4.3.4	ANDERE EIGENSCHAPPEN VAN DE KOELMIDDELEN	56
a	Prijs	56
b	De koudeproductie	56
c	Giftigheid en reuk	56

1.5 ONDERDELEN KOELINSTALLATIE **57**

1.5.1	DE COMPRESSOR	57
1.5.2	DE CONDENSOR	59
1.5.3	DE WARMTEWISSELAAR	60
1.5.4	HET KOUDEMIDDEL	61
1.5.4.1	EIGENSCHAPPEN VAN AMMONIAK	61
a	Identificatie	61
b	Fysische eigenschappen	61
c	Chemische eigenschappen	62
1.5.4.2	GEVAREN VERBONDEN MET AMMONIAK	63
a	Giftigheid	63
b	Brand- en ontploffingsgevaar	63
1.5.4.3	CLASSIFICATIE	63
1.5.4.4	OPSLAG VAN AMMONIAK	63

1.6 MOGELIJKE DIAGRAMMEN **64**

1.6.1	OPSTELLEN VAN DE KOELCYCLUS	64
1.6.2	TEMPERATUUR-ENTROPIE DIAGRAM	64
1.6.3	HET NEGATIEVE CARNOTPROCES	65
1.6.4	IDEALE SITUATIE	66
1.6.5	OPSTELLEN VAN HET T-S DIAGRAM VOOR WERKELIJKE TOESTAND	68
1.6.6	BESLUIT VOOR HET T-S DIAGRAM	76
1.6.7	HET (H-LOG P)-DIAGRAM	77
1.6.7.1	ISOBAREN IN HET (H, LOG P)-DIAGRAM	78
1.6.7.2	ISOTHERMEN IN HET (H, LOG P)-DIAGRAM	78
1.6.7.3	ISOCHOREN IN HET (H, LOG P)-DIAGRAM	78
1.6.7.4	ISENTHALPEN IN HET (H, LOG P)-DIAGRAM	79
1.6.7.5	ISOPYKNEN IN HET (H, LOG P)-DIAGRAM	79
1.6.7.6	ADIABATEN IN HET (H, LOG P)-DIAGRAM	79
1.6.7.7	SAMENVATTING VAN HET (H, LOG P)-DIAGRAM	80
1.6.8	DE DRUK-ENTHALPIE DIAGRAM	81

1.6.9	ANDERE DIAGRAMEN	83
1.6.9.1	P-V DIAGRAM	83
1.6.9.2	S-H DIAGRAM	83
1.6.9.3	V-T DIAGRAM	84
1.6.9.4	H-T DIAGRAM	84
<u>2</u>	<u>KOELRUIMTES</u>	<u>85</u>
<u>2.1</u>	<u>VROEGER</u>	<u>85</u>
<u>2.2</u>	<u>PROJECT 2005</u>	<u>86</u>
2.2.1	CONCEPT RUIMTE IN RUIMTE	86
2.2.2	TWEE RUIMTES IN RUIMTE	86
2.2.3	OPDELING OVERBLIJVENDE RUIMTE	87
2.2.3.1	BUITEN DE KOELRUIMTES	87
2.2.3.2	IN DE KOELRUIMTES	88
a	Koelruimtes van 2°C tot 7°C of 14°C	89
a.1	Natte doorstroomcel	90
a.2	Droge doorstroomcel	90
c	Koelruimtes van 7°C en van 7°C tot 14°C	91
<u>2.3</u>	<u>ANDERE FACTOREN</u>	<u>92</u>
2.3.1	SOORT ISOLATIEMATERIAAL	92
2.3.1.1	MAXIMALE TOELAATBARE LAST	93
2.3.1.2	BRANDVEILIGHEID	94
2.3.2	ONTWERP VAN DE VERPAKKINGEN	95
<u>3</u>	<u>EINDBESLUIT</u>	<u>97</u>
<u>4</u>	<u>BRONNEN</u>	<u>98</u>
<u>5</u>	<u>BIJLAGEN</u>	<u>99</u>

Inleiding

De REO (Roeselare En Omstreken Veiling) is een coöperatieve groenten- en fruitveiling waarin meer dan 3.000 producenten samenwerken om gemiddeld 60 verschillende soorten groenten in optimale omstandigheden te commercialiseren. De producten worden zesmaal per week dagvers geveild. De REO Veiling is gevestigd in Roeselare, in het midden van de belangrijkste groentestreek van België. Deze moestuin brengt kwaliteitsproducten voort: gezonde voedzame groenten en fruit geteeld volgens de principes van de goede agrarische praktijk.

In onze geïntegreerde proef bespreken we de werken die gebeuren in de Reo-veiling te Roeselare. In samenwerking met het studie bureau STABO werden deze werken gerealiseerd. Het project REO 2005 omvat twee onderwerpen: de oude kleinere koeldepartementen worden vervangen door één groot koelblok en er komt een herverdeling van de oppervlakte in de Reo-veiling.

In ons eindwerk wordt het basisprincipe van de koeling nog eens opgefrist, omdat deze complete geïntegreerde proef op dit basisprincipe rust. De vier basisonderdelen (compressor, condensor, verdampers,...) worden besproken van basis tot en met de componenten die gebruikt worden. Ook het koudemiddel in een koelinstallatie is belangrijk, koeling werkt niet zonder koudemiddel. In de Reo-veiling wordt gebruik gemaakt van het koudemiddel ammoniak of NH_3 . De eigenschappen, de soorten koudemiddel,... worden in onze geïntegreerde proef verwerkt.

Naast de koeling is er ook de opbouw van deze grotere koelcellen, de vormgeving van de koelcellen, het soort isolatiemateriaal die wordt gebruikt, ... hebben een grote invloed op de koeltemperatuur die in de koelruimtes wil bereikt worden. Bij al deze keuzes moet er ook rekening gehouden worden met het rendement en de efficiëntie van de installatie.

1 Koeling

1.1 Algemene basisbegrippen

De belangrijkste fysische grootheden die voorkomen in de teksten en de berekeningen worden hier kort beschreven met hun eenheid.

1.1.1 Druk

Onder druk wordt verstaan de kracht in een vloeistof of gas per oppervlakte-eenheid. De SI-eenheid voor kracht is Newton (N) en wordt aangeduid met de letter F. de SI-eenheid voor oppervlakte is vierkante meter (m²) en wordt aangeduid met de letter A.

De druk wordt dus aangegeven in newton per vierkante meter en wordt aangeduid met de letter p.

Om niet met te grote waarden te rekenen wordt er gebruik gemaakt van cm².

Wij kunnen stellen: druk = kracht / oppervlakte

$$\text{of } p = F / A \text{ (N / cm}^2\text{)}$$

1.1.2 Druk en volume

Gas is wel samendrukbaar. Hierdoor ontstaat er een verband tussen het volume van een opgesloten hoeveelheid gas en de daarbij aanwezige druk.

We kunnen concluderen: $p \cdot V = Cte$

1.1.3 Warmtehoeveelheid

De hoeveelheid warmte, die moet worden toegevoerd, is afhankelijk van de massa en van de soort stof, die verwarmd moet worden.

De hoeveelheid warmte is evenredig aan de massa en aan het temperatuursverschil en wordt gemeten in joule, aangeduid met J. De SI-eenheid voor warmte is joule, symbool J.

Dit geldt allemaal alleen maar als de druk constant blijft.

1.1.4 Soortelijke warmte

Het aantal kilojoules of joules, dat nodig is om 1 kg van een stof 1°C in temperatuur te doen stijgen. De soortelijke warmte wordt aangeduid met de letter c en uitgedrukt in kJ/kg °C

1.1.5 Verdampen en condenseren

Een stof kan in drie toestanden voorkomen, namelijk vast, vloeibaar en gasvormig. Een duidelijk voorbeeld hiervan is water, dat in deze toestand kan voorkomen, namelijk: vast (ijs), vloeibaar (water) en gasvormig (stoom).

Voeren wij aan een vloeistof warmte toe, dan zal deze bij een bepaalde temperatuur gaan koken. In kokende vloeistof ontstaan dampbellen. Blijven wij warmte toevoeren, dan zal de enige tijd duren, voordag de massa vloeistof in damp is omgezet. Tijdens het overgaan van vloeistof in damp blijft de temperatuur constant.

Voor verdampen is warmte nodig. De hoeveelheid warmte, die nodig is om de vloeistof in damp te doen overgaan, noemt men de verdampingswarmte. Deze verdampingswarmte wordt uitgedrukt in kJ/kg. Deze wordt aangeduid met r .

Het tegengestelde van verdampen is condenseren. Voor het condenseren moet worden warmte afgevoerd. Hiervoor onttrekken wij warmte aan de vloeistof. Deze warmte wordt de condensatiewarmte genoemd. Bij elke druk zijn de condensatie- en de verdampingswarmte even groot.

De ontstane damp, die de temperatuur van het kookpunt heeft, noemt men verzadigde damp. Als wij deze verzadigde damp verder gaan verwarmen, spreken wij van onverzadigde of oververhitte damp. De warmte, die nodig is om de damp te verhitten tot de verlangde temperatuur, noemen wij de oververhittingdamp.

1.1.6 Verdampingstemperatuur en –druk

Bij het proces van verdampen en condenseren is de druk boven de vloeistof van groot belang. Vastgesteld is, dat, als boven een vloeistof een hogere druk aanwezig is, ook de temperatuur, waarbij de vloeistof gaat koken, hoger wordt. Omgekeerd geeft een drukverlaging boven de vloeistof een lager kookpunt.

Bij elke temperatuur behoort een bepaalde druk. Deze druk wordt de verzadigde dampspanning genoemd en geeft dus het punt aan waarbij de damp juist verzadigd is.

1.1.7 Warmte-inhoud of enthalpie

Dit is een belangrijk begrip in de koudetechniek. De enthalpie geeft de warmte-inhoud aan van een vloeistof of gas bij een bepaalde temperatuur en druk. De enthalpie wordt aangegeven met de letter h en uitgedrukt in kilojoule per kilogram.

1.1.8 Warmte

Warmte is een vorm van arbeidsvermogen of energie.

1.1.9 Warmteoverdracht

In de verdampert van een koelinstallatie wordt de warmte van producten of vloeistoffen overgedragen op een verdampend koudemiddel.

In de condensor wordt deze warmte weer overgedragen op de omgevingslucht of het koelwater.

Omdat warmte slechts overgaat als er een temperatuurverschil is tussen twee stoffen, zal dus de temperatuur van het verdampende koudemiddel in de verdampert lager moeten zijn dan de te koelen stof en in de condensor zal de temperatuur van het condenserende koudemiddel hoger moeten liggen dan de lucht of het koelwater, waarop de warmte wordt overgedragen.

Wij onderscheiden drie vormen van warmte-overdracht:

- a straling,
- b stroming,
- c geleiding.

a straling

Deze soort speelt geen grote rol in de koudetechniek. Een warm lichaam zendt stralen uit, die een kouder lichaam verwarmen, zonder dat de tussenstof, bijvoorbeeld lucht, verwarmd wordt.

b stroming

Hier wordt de warmte overgedragen door de stroming van gassen of vloeistoffen, die circuleren langs wanden of over opgeslagen goederen en daar warmte opnemen.

c geleiding

Bij geleiding is het warmtetransport afhankelijk van de stof. Verschillende stoffen hebben een verschillende zogenaamde warmtegeleidingcoëfficiënt.

De warmtegeleidingcoëfficiënten geven aan hoeveel kilojoules de stof doorlaat bij een dikte van één meter en een temperatuurverschil van één graad Celsius per uur.

1.1.10 Stollen en smelten

In de koudetechniek komt regelmatig voor, dat bepaalde producten van vloeibare toestanden tot vaste toestand gebracht moeten worden.

1.2 Algemeen koudeproces

Het doel van een koelinstallatie is onder meer het op een lagere temperatuur brengen van de producten die opgeslagen liggen. De temperatuur, die bereikt moet worden, is afhankelijk van de stof die gekoeld moet worden.

Men maakt hiervoor gebruik van de twee volgende fysische verschijnselen:

1. Het kookpunt van een vloeistof, dat wil zeggen de temperatuur waarbij de vloeistof overgaat in dampvorm, is afhankelijk van de druk erboven. Zo gaat water bij een druk van 1 atm bij 100°C in damp over, maar bij een druk van 0,1 atm gebeurt dit al bij 46°C. Dit houdt echter tevens in, dat men waterdamp van bijvoorbeeld 50°C en 0,1atm zonder meer kan condenseren door de druk met bijvoorbeeld 1 atm te verhogen.

2. Elke vloeistof neemt bij de overgang van vloeistof- naar dampvorm warmte op; bij overgang van damp- naar vloeistofvorm wordt eenzelfde hoeveelheid warmte afgestaan.

Kiest men nu een vloeistof waarvan het kookpunt bij normale druk onder de gewenste lage temperatuur ligt, dan zal deze vloeistof al bij de lage temperatuur verdampen en daarbij warmte opnemen die aan de omgeving wordt onttrokken. Comprimeert men zo de gevormde damp, dan wordt hij al bij afkoeling tot kamertemperatuur vloeibaar. Dit omdat het kookpunt ervan daardoor immers hoger komt te liggen. Door de condensatie komt er warmte vrij. Laat men vervolgens de druk weer tot de normale waarde afvallen, dan kan de gehele kringloop weer van voren af aan beginnen.

Om het koeleffect te bereiken maakt men gebruik van zogenaamde koelmiddelen (bij lage temperaturen kokende vloeistoffen of gassen in vloeibare vorm), zoals in dit geval ammoniak of NH₃.

1.3 Koelinstallatie

Om te beginnen proberen we het begrip “*koeling*” zo eenvoudig mogelijk uit te leggen, zonder veel uit te diepen in de wereld thermodynamica. Het gebruik van tekeningen zou het moeten simpeler maken om het concept te begrijpen

a Koud of warmte verliezen?

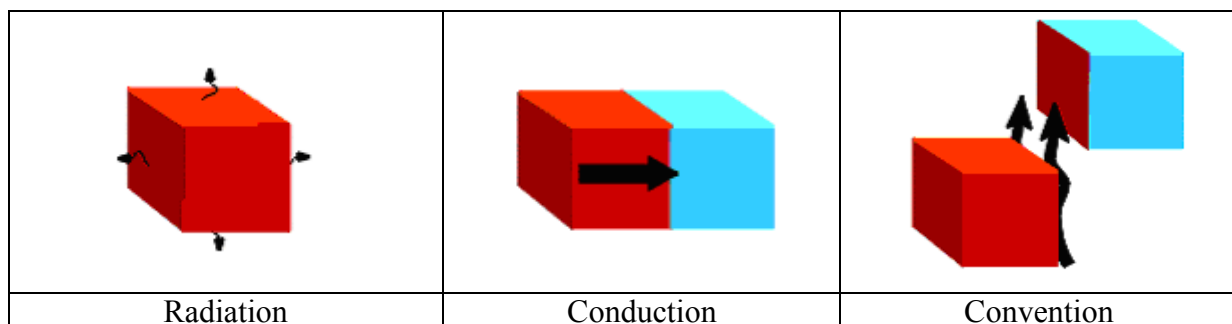
Bestaat er wel iets zoals koud? Als men zegt dat iets koud heeft dan weet iedereen wat je bedoelt, maar als we zeggen dat iets koud is heeft het gewoon minder warmte dan iets anders. Het enige waarover men kan spreken is het meer of minder hoeveelheid warmte bezitten. We kunnen dus zeggen dat koeling het wegnemen en afvoeren van warmte is.

Als voorbeeld nemen we een drankje die een temperatuur heeft van 35°C, omdat het veel te warm heeft plaats en we dit in de koelkast. Wanneer we het uit de koelkast nemen, na een bepaalde periode, heeft het slechts een temperatuur van 20°C en zegt ons gevoel dat het koud en fris is. Hier zien we dat producten een bepaalde hoeveelheid warmte hebben, die kan gereduceerd worden naar een staat waar het een mindere hoeveelheid warmte heeft. Het proces eindigt wanneer een product van al zijn warmte wordt ontnomen. Dit kan voorkomen wanneer het object wordt gekoeld tot het absolute nulpunt, deze is 1 Kelvin = -273°C = -460F.

b Hoe kan je iets koelen

Algemeen kunnen we spreken over drie manieren:

- radiatie,
- geleiding,
- conventie.



Plaats je twee objecten samen zodat ze elkander blijvend raken, en het ene object is warm en het andere koud, dan zal er warmte vloeien van het warme object naar het koude object. Dit noemen we geleiding. Ook is het mogelijk dat de warmte wordt geleid door de zuurstofmoleculen in de lucht. Dit is conventie. En neem je een gloeiend voorwerp en zet het gewoon in de open lucht dan zal je het gewoon geleidelijk zien uitdoven, het voorwerp koelt af door radiatie.

Geleiding en conventie zijn de twee meest gebruikte in het ontwerpen van koelinstallaties.

c De aggregatietoestand

De drie aggregatietoestanden zijn vast, vloeibaar en gasvormig. Het is belangrijk om te weten dat we warmte moeten toevoegen aan een substantie om het te doen wijzigen van vast naar vloeibaar of van vloeibaar naar gas. En omgekeerd is het ook zo, we moeten warmte wegnemen van een substantie om het te doen wijzigen van gas naar vloeibaar en van vloeibaar naar vast.

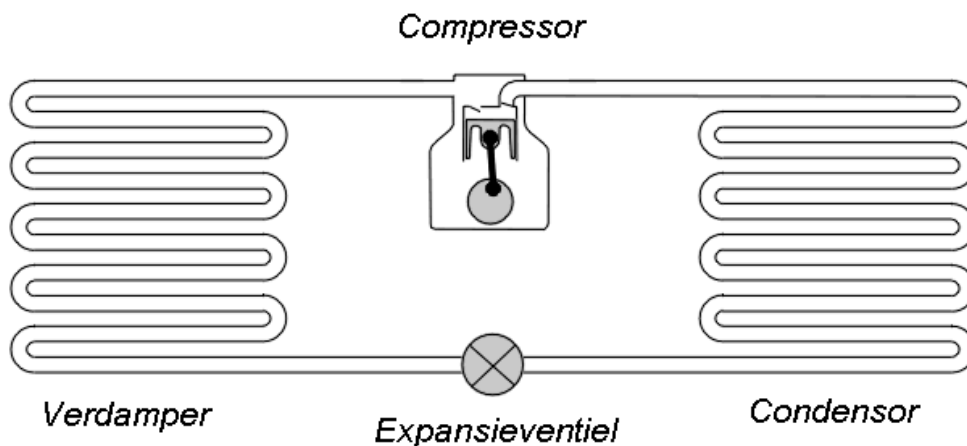
d Warmteoverdrachtfactor

De warmteoverdrachtfactor is zeer belangrijk in een koelinstallatie. Materialen als koper en aluminium zijn vaak gebruikt omdat ze zeer goed warmte geleiden. Door het contact oppervlakte te vergroten zal de warmteoverdrachtfactor ook vergroten.

e De basiskoelelementen

Een koelinstallatie kunnen we opdelen in vier basiscomponenten:

- de compressor,
- de condensor,
- het expansieventiel,
- de verdamper.

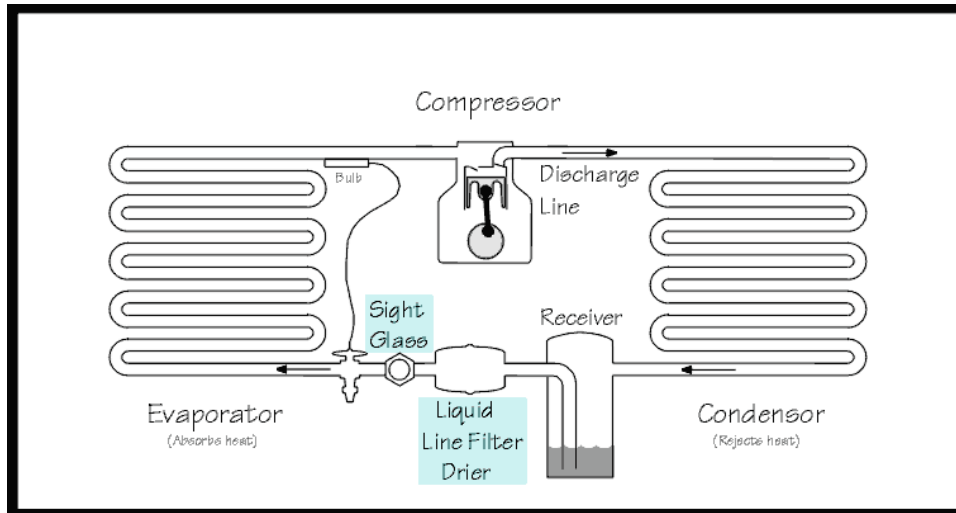


Opmerking: Deze componenten uit deze koelinstallatie worden later in het boek beschreven.

f Accessoires

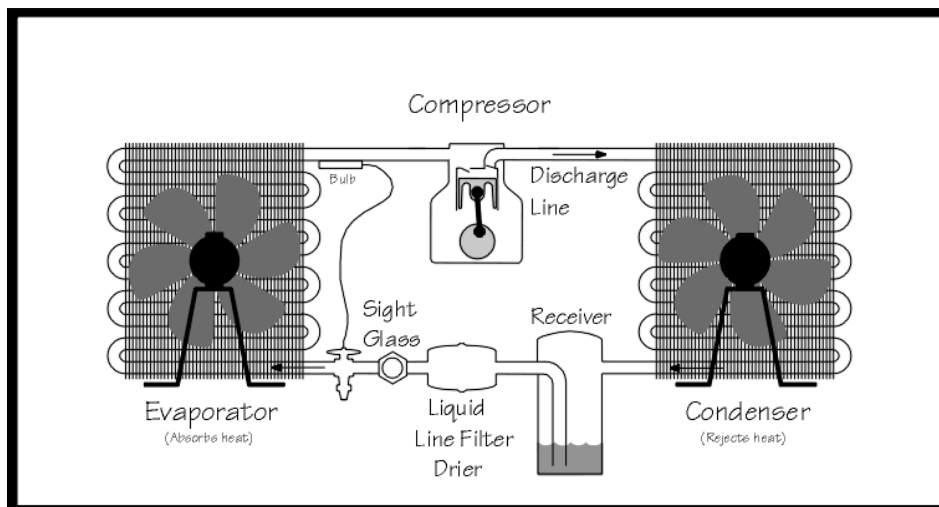
Naast de vier basiscomponenten in een koelinstallatie bestaan er nog verschillende accessoires die bij de koelinstallatie kunnen bijgevoegd worden.

De volgende figuur toont een filter en een kijkglas.



De filter neemt ongewilde deeltjes weg, op deze manier vermijden we dat het expansieventiel verstopt raakt. Een tweede functie die de filter heeft is het absorberen van kleine hoeveelheden water die in de leidingen zouden kunnen komen. Het kijkglas geeft de mecaniciens de gelegenheid om te kijken als de leidingen volledig gevuld zijn met koudemiddel.

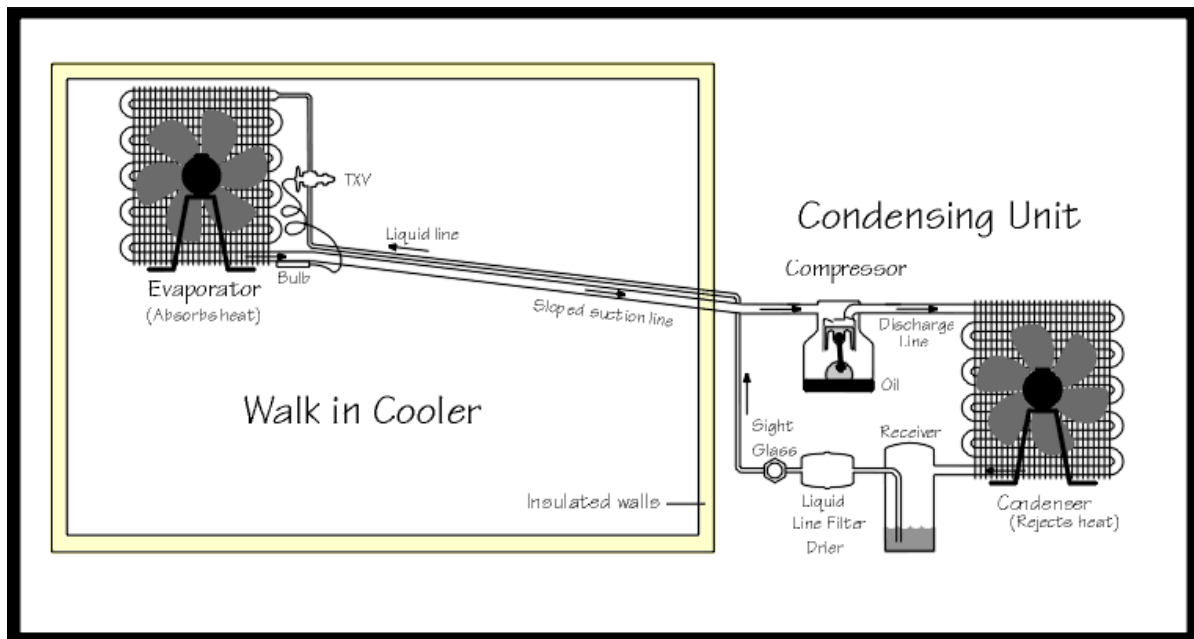
Er is al vermeld dat de warmteoverdracht vergroot als we het oppervlakte vergroten, dus als we verscheidende vinnen op de condensor en verdamper plaatsen zal de warmte uit deze componenten sneller afgevoerd kunnen worden. Men kan nog sneller warmte afvoeren door ventilatoren te plaatsen die lucht door de vinnen blazen.



De componenten noemen we de condensorventilator en de verdamperventilator.

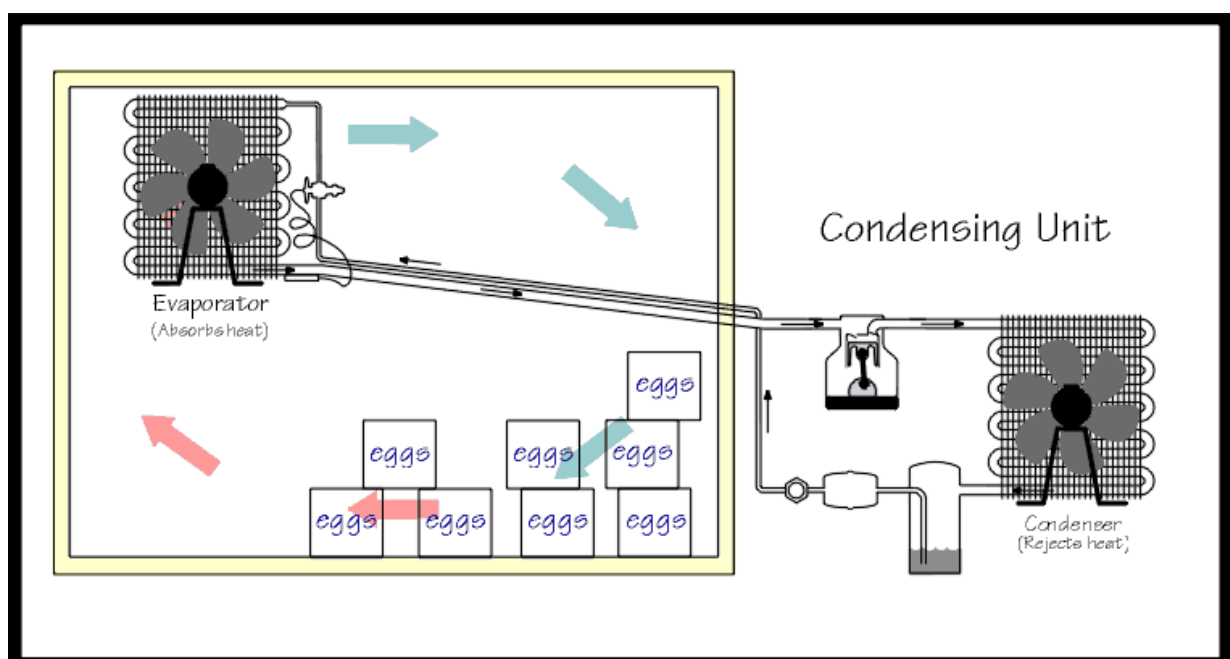
g Algemene opbouw van een koelruimte

Om meer de vormgeving te verkrijgen van een grotere koelruimte scheiden we de verdamper van de compressor en steken we de verdamper in een geïsoleerde ruimte. De verzameling van de overblijvende componenten kunnen we de condenserende eenheid noemen. De wand van de geïsoleerde ruimte is gemaakt uit een product dat niet makkelijk warmte geleid, als we de warmte in de koelruimte verminderen mag de warmte van buitenaf niet of traag binnenstromen.



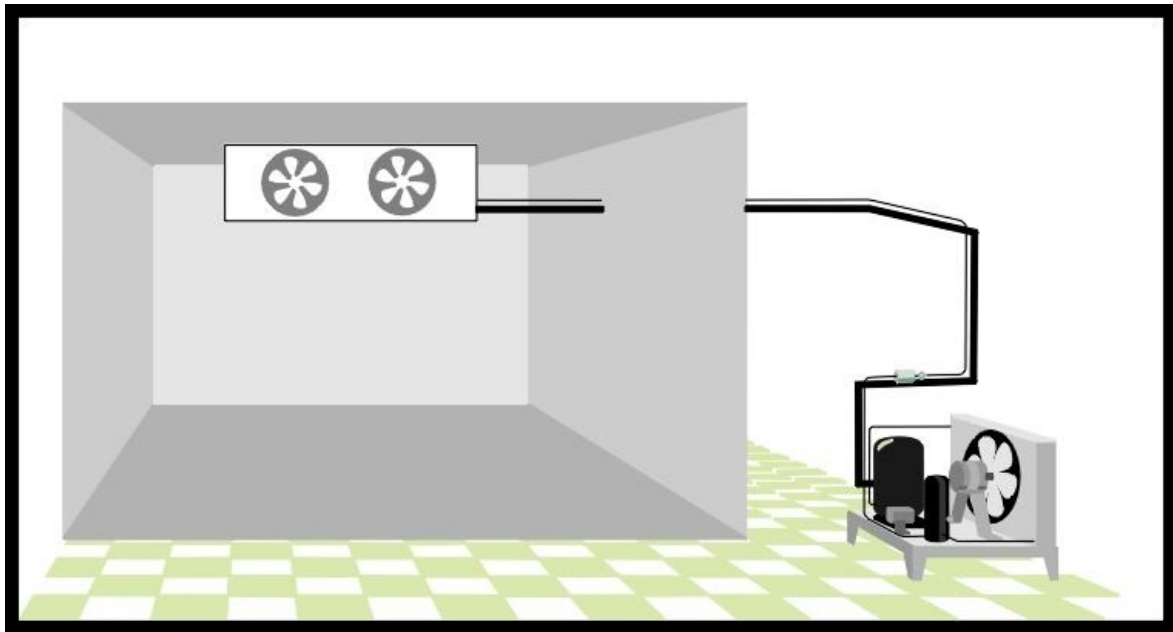
h Koudestroom

Bekijken we de warmtestroming in de koelruimte, dan stellen we vast dat de verdamper ervoor zorgt dat de lucht een geforceerde circulatie maakt doorheen de koelruimte.



Als de koude lucht door het te koelen product stroomt zal er een warmteoverdracht ontstaan. De warmte wordt uit het product ontnomen en door de lucht getransporteerd terug naar de verdamper. De warmte wordt aan de hand van de vinnen in het koudemiddel gebracht. De lucht is opnieuw herkoelt en kan zo de circulatie herbeginnen. De bovenstaande figuur toont deze circulatie aan.

Deze laatste figuur toont een koelruimte aan in zijn echt vorm:



COMPRESSOREENHEID



Verdamper in de koelruimte



1.3.1 Compressoren

1.3.1.1 Doel van de compressor

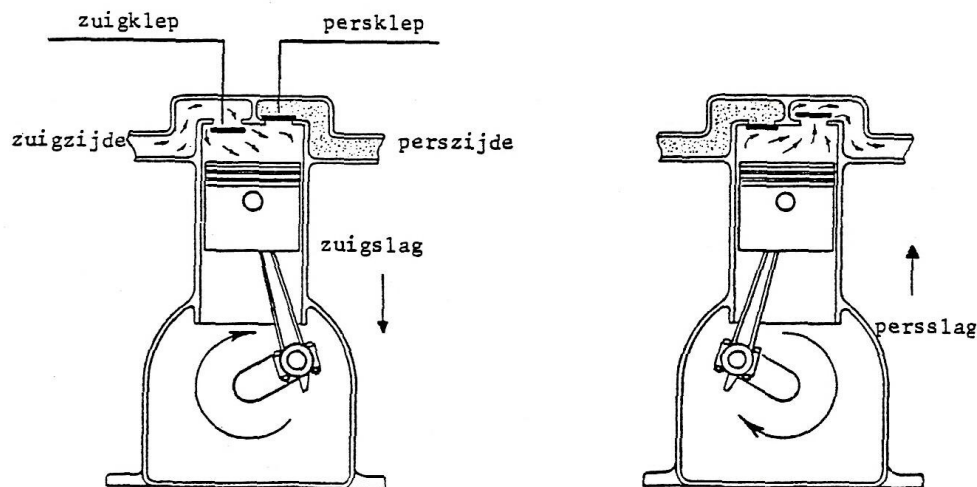
De functie van de compressor is het onderhouden van die lage druk in de verdamper en wel door hieruit de ontstane damp voortdurend weg te zuigen. De naam *zuigpomp* was voor deze machine dus beter op zijn plaats geweest. Zij ontleent haar actuele naam aan het feit, dat zij de aangezogen damp comprimeert, waardoor deze op hoge druk komt en sterk in temperatuur stijgt. Bij deze hoge druk hoort echter ook een hogere temperatuur waarbij de damp in vloeistof overgaat. Deze temperatuur ligt boven de omgevingstemperatuur; daardoor is het mogelijk de gecompriëerde damp op een door lucht of water gekoeld oppervlak te doen condenseren. Dit heeft plaats in de condensor. De aldus ontstane vloeistof wordt van de condensor weer naar de verdamper gevoerd om daar andermaal te verdampen. In de leiding tussen beide apparaten bevindt zich een vloeistofregelorgaan die ervoor moet zorgen dat de juiste hoeveelheid koudemiddelvloeistof naar de verdamper stroomt.

De correcte werking van de compressor is in hoge mate afhankelijk van de rest van de installatie. Indien zich hierin bijvoorbeeld te veel vuil bevindt, kan de compressor in het ongereede geraken; ook wanneer de installatie op onjuiste wijze is gedimensioneerd, gemonteerd of afgesteld, kan dit tot niet correct functioneren of beschadiging van de compressor leiden. Bij het optreden van storingen aan de compressor is het daarom veelal noodzakelijk de mogelijke oorzaken ook te zoeken bij de andere installatiedelen of in een tekort of teveel aan koudemiddelvulling. In het algemeen zal men daarom moeten beschikken over een bedieningsvoorschrift voor de installatie. Alleen dan zal men afwijkingen van de daarin vermelde omstandigheden die voor de installatie als normaal gelden, op tijd kunnen signaleren en kunnen ingrijpen voordat ernstige storingen optreden

1.3.1.2 Principe

Als de druk boven de vloeistof lager dan de verzadigde dampspanning gehouden wordt, zal de vloeistof blijven verdampen. Hierdoor wordt de temperatuur in de koelruimte verlaagd.

In een koelinstallatie gebruiken we hiervoor een compressor. De damp boven het koudemiddel wordt uit de verdamper aangezogen en gecomprimeerd door de compressor. Daardoor verlaagt de druk, die dan lager worden dan de druk, die overeenkomt met de omgevingstemperatuur. Hierdoor zal het koudemiddel verdampen en warmte aan zijn omgeving onttrekken.



1.3.1.3 Soort compressoren

De meest voorkomende compressortypen in de koeltechniek zijn:

- a zuigercompressoren,
- b schroefcompressoren,
- c centrifugaalcompressoren.

- a Zuigercompressoren
- a.1 Constructie van een zuigercompressor

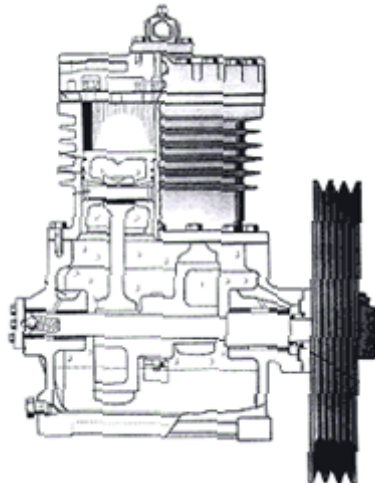
Zuigercompressoren die gebruikt worden in de koeltechniek kan je algemeen indelen in drie uitvoeringsvormen:

- 1 de open compressor,
- 2 de halfgesloten of semi-hermetisch gesloten compressor,
- 3 de gesloten of hermetisch gesloten compressor.

Deze soorten van aandrijving geldt voor alle types van compressoren!

a.1.1 De open compressor

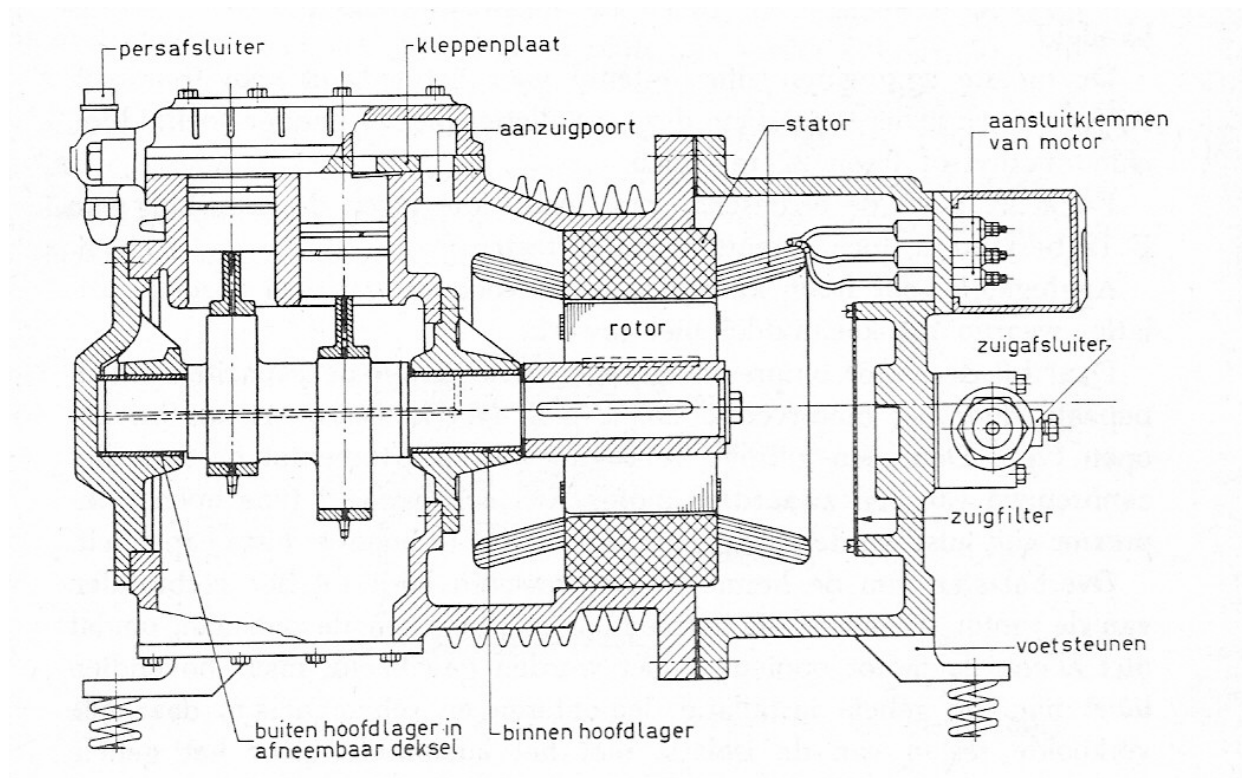
Hierbij is de motor apart opgesteld ten opzichte van de compressor. De overbrenging gebeurt via een V-riem of is direct gekoppeld via een elastisch-flexibele koppeling, een spierverschakeling.



Bij dit soort aandrijving moet de aandrijfas van de compressor voorzien zijn van een zeer goede asafdichting om lekkage van koelmiddel uit de compressor te voorkomen.

a.1.2 De halfgesloten of semi-hermetisch gesloten compressor

Om verlost te worden van de kwetsbare asafdichting, het enige onderdeel aan het compressoraggregaat dat een regelmatig toezicht nodig heeft, heeft men de elektromotor in hetzelfde huis gemonteerd als de compressor.



In de doorsnede van deze figuur kan men ook de weg onderscheiden die de gassen in de constructie volgen. De koude zuiggassen worden over of langs de elektromotor geleid, waardoor de warmte die ontstaat naar de compressor wordt afgevoerd. De temperatuurstijging van de zuiggassen brengt eventueel nog oververdampte koelmiddeldeeltjes tot verdamping, waardoor een rendements-verbetering ontstaat.

a.1.3 De gesloten of hermetisch gesloten compressor

De compressor en de motor worden verend opgehangen in een volledig gesloten diepgetrokken huis met opgelaste beschermkap. Reparaties zijn dus niet mogelijk. Deze compressor wordt het meest toegepast bij huishoudelijke toestellen.

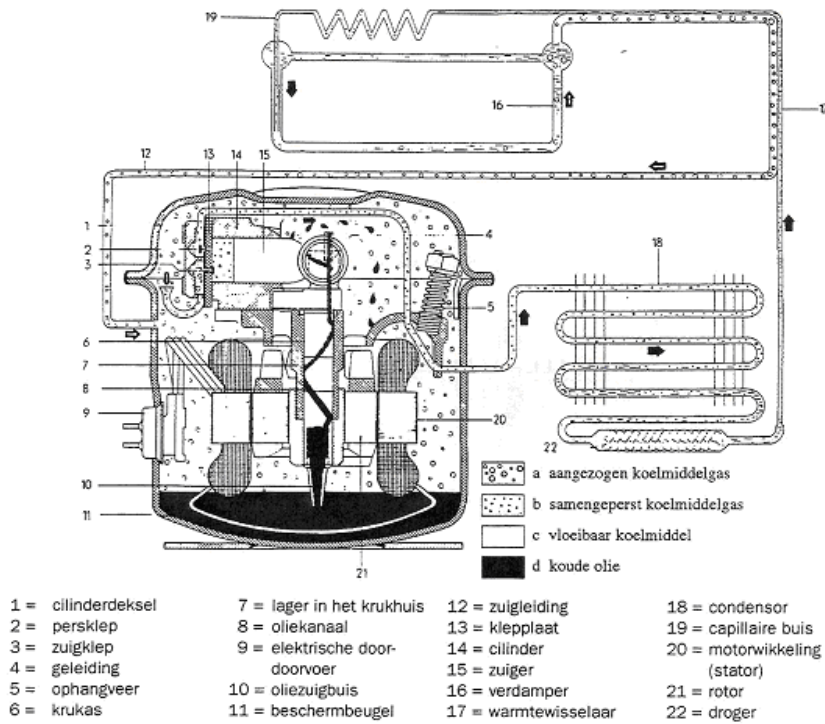


fig.5.9 - De hermetisch gesloten compressor in de cyclus

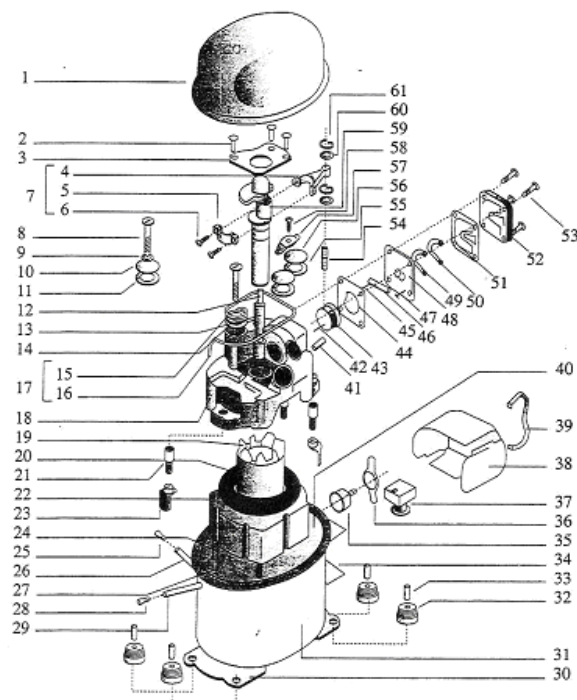
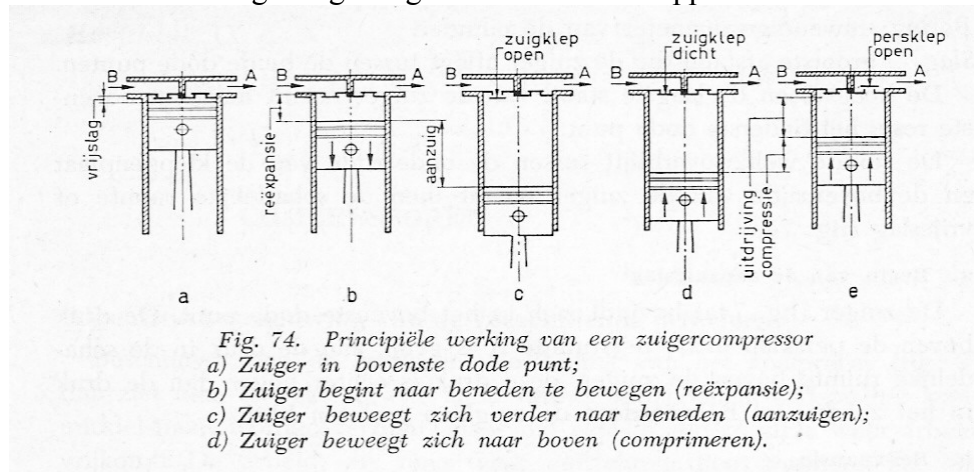


fig.5.10 - Exploded view van een hermetisch gesloten compressor

a.2 Werking

De compressor zuigt de damp aan, die door het verdampen van het koelmiddel in de verdamer is ontstaan en perst die op een hoge druk (condensatiedruk) naar de condensor. Deze cyclus van een volledige zuigerslag kan men in vier stappen verdelen:



1 Begin van de aanzuigslag: de zuiger bevindt zich in het bovenste dode punt, de hoogste stand die de zuiger kan aannemen. De druk boven de persklep in het perskanaal A is gelijk aan de druk in de schadelijk ruimte*. Deze druk is echter hoger dan de druk aan de zuigkanaal B, waardoor de zuigklep gesloten blijft.

(*De schadelijke ruimte is de ruimte die overblijft tussen de onderzijde van de kleppenplaat en de bovenzijde van de zuiger.)

2 Reëxpansie: De zuiger begint zich nu vanuit het bovenste dode punt naar beneden te bewegen, waardoor de schadelijke ruimte boven de zuiger groter wordt en de druk hierin zal verminderen. Het gas dat zich in de ruimte A of zuigzijde bevindt tracht nu via de persklep naar de cilinderruimte terug te stromen. Het drukt dan op de persklep die daardoor zal sluiten.

Nadat de persklep gesloten is, zal bij verdere daling van de zuiger door de volumevergroting de druk boven de zuiger verder afnemen en na enige tijd een waarde bereiken die gelijk is aan de druk die in de aanzuigruimte B heerst. Dit deel van de zuigerslag dient dus alleen om de druk boven de zuiger te verlagen. Er wordt geen gas aangezogen.

Men zal er altijd naar streven om de reëxpansie zo klein mogelijk te houden. Omdat de voor deze reëxpansie benodigde slaglengte afhangt van de grootte van de schadelijke ruimte, houdt men deze ruimte zo klein als met het oog op de veiligheid toelaatbaar is. Tijdens de reëxpansie zijn beide kleppen gesloten.

3 Aanzuigen van gas: daalt de zuiger nu verder, dan zal de druk erboven lager worden dan de druk in de aanzuigruimte B, waardoor de zuigklep wordt opgedrukt en gas de cilinder binnen kan stromen. Dit gaat zolang door, de zuiger zijn onderste dode punt, de laagste stand die de zuiger kan aannemen, heeft bereikt en zich naar boven begint te bewegen.

4 Compressieslag: Bij het omhooggaan van de zuiger zal drukverhoging optreden, waarbij eerst de zuigklep sluit en geen verdere uitstroming meer mogelijk is. Het gas wordt nu gecomprimeerd. Na enige tijd zal de druk in de cilinder hoger zijn dan de druk in het perskanaal A. Het ontstane drukverschil zorgt ervoor dat de persklep geopend wordt.

Gedurende het resterende deel van de zuigerslag wordt nu het gas boven de zuiger in het perskanaal gedreven. Is de zuiger weer in zijn bovenste dode punt, dan vangt het proces opnieuw aan met een aanzuigslag.

a.3 Capaciteit van de compressor

De compressor heeft per cilinder een inhoud die afhankelijk is van de doorsnede van de cilinder en de lengte van de slag. Deze inhoud, vermenigvuldigd met het aantal cilinders en het aantal omwentelingen van de compressor, geeft het theoretische slagvolume en het aantal meters gas dat kan worden afgezogen uit de verdamper.

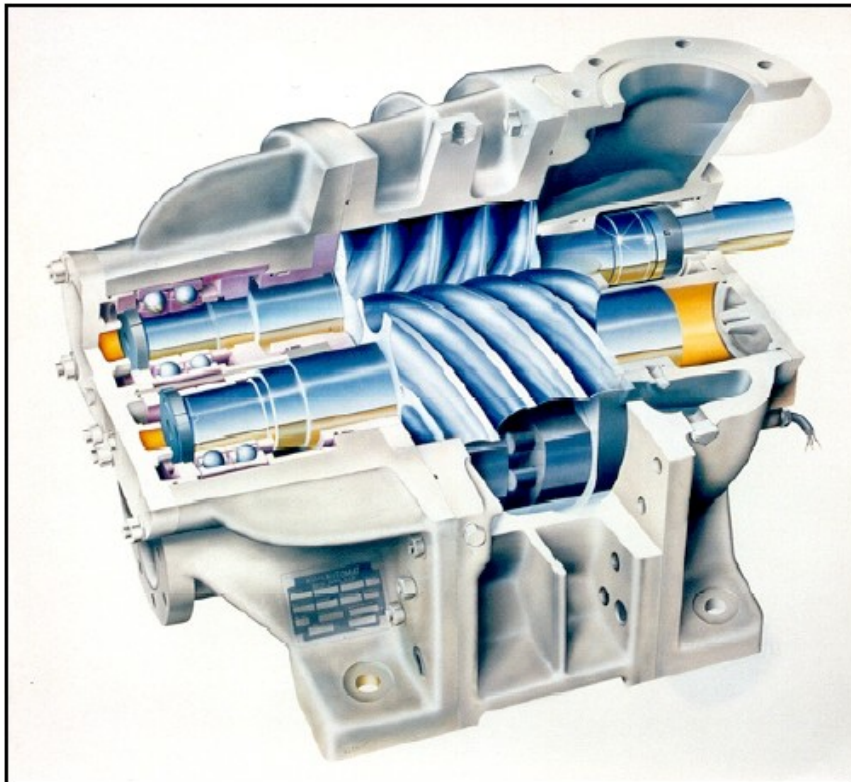
Door verliezen, zoals lekken van de kleppen, of weerstand aan de stroming van de kleppen, wordt minder gas afgezogen dan het theoretische slagvolume aangeeft. Bij kleine compressoren ligt dit tussen 80 en 85% van het theoretische slagvolume.

b Schroefcompressoren

De schroefcompressor is een compressor die steeds meer wordt gebruikt in grote koelinstallaties. Het rendement van deze compressoren is zeer hoog. Zij kunnen door hun constructie met hoge toerentallen werken, waardoor de afmetingen klein kunnen zijn. De compressor is geschikt voor de normale koelmiddelen, terwijl er ook geen problemen zijn in verband met vloeistofslag. Het benodigde aandrijfsvermogen zal wel 10 à 30% meer bedragen dan dat van een vergelijkbare zuigercompressor.

b.1 Constructie van een schroefcompressor

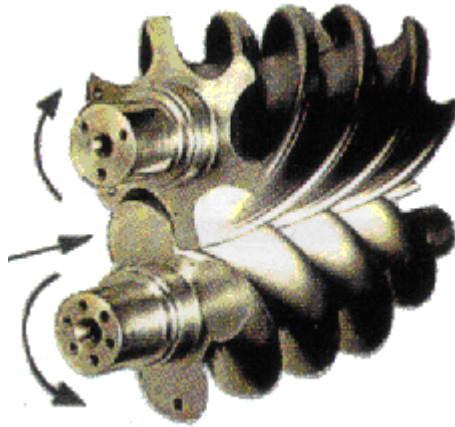
De schroefcompressor bestaat uit een achtvormig huis waarin twee rotoren in tegengestelde richting draaien. De rotoren zijn voorzien van zuiver in elkaar passende schroeflijnvormige uitsparingen.



De ene rotor heeft vier halfbolvormige tanden en de andere zes halfbolvormige uitsparingen. De toerentallen van de wormen verhouden zich als 1/1,5. Daardoor zullen de beide rotoren dezelfde omtreksnelheid hebben. De ene rotor wordt aangedreven door het aandrijvend werktuig en de andere door een stel tandwielen met schuine vertanding. Het is ook mogelijk dat de ene rotor de andere aandrijft, deze methode wordt het meest toegepast in de koeltechniek. Voor smering, koeling en afdichting van de rotoren wordt dan olie ingespoten.

b.2 Werking

De werking van de compressor berust op het aanzuigen van gas en dit dan te comprimeren in een nauwer wordende ruimte. Het gas wordt aan de inlaatzijde aangezogen en vult de gangen van de schroeven over de gehele lengte. De met gas gevulde gangen worden door de flanken van het schroefprofiel, de cilinderwanden en door een plaat aan de drukzijde opgesloten. Bij verder draaien van de schroeven grijpen deze aan de zuigzijde ineen, waardoor er geen verbinding meer is met de inlaatopening.



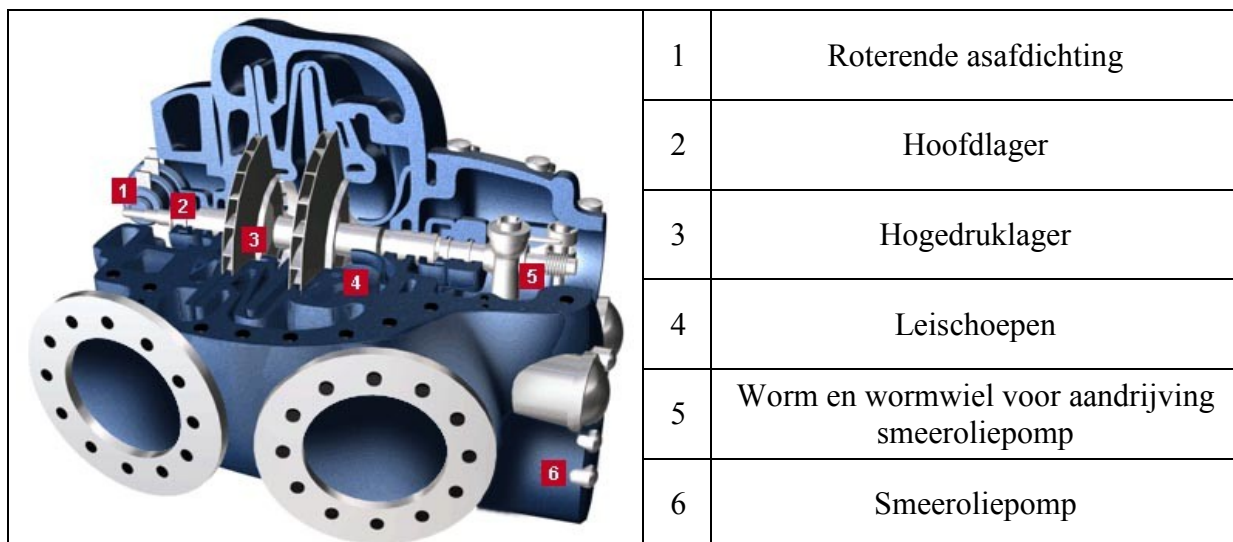
Het ingrijpen van de schroefprofielen verloopt in de richting van de perszijde, waardoor het volume van het gas verkleint en daardoor gecomprimeerd wordt. Zodra de einden van de schroeven de uitlaatopening bereiken, wordt het gas in de uitlaatopening geperst. Doordat de gasstroom gelijkmatig wordt aan- en afgevoerd, is de belasting van de aandrijfmotor ook gelijkmatig en wordt een trillingsvrije werking verkregen.

c Centrifugaalcompressoren

Centrifugaalcompressoren worden toegepast voor het koelen van grote hoeveelheden vloeistoffen die worden gebruikt als koudedragers bij luchtbehandelingsinstallaties en bij industriële processen. De koudedragers zijn in vele gevallen water. De centrifugaalcompressor is vooral geschikt voor het afzuigen van grote volumes damp. Koelmiddelen die bij toegepaste verdampingstemperaturen een groot specifiek volume hebben zijn R11, R12, R113 en R114. Deze koelmiddelen worden dan ook veelal gebruikt bij de centrifugaalcompressoren. Ook is de opvoerhoogte, dit wil zeggen het verschil tussen de verdampersdruk en de condensordruk, betrekkelijk klein.

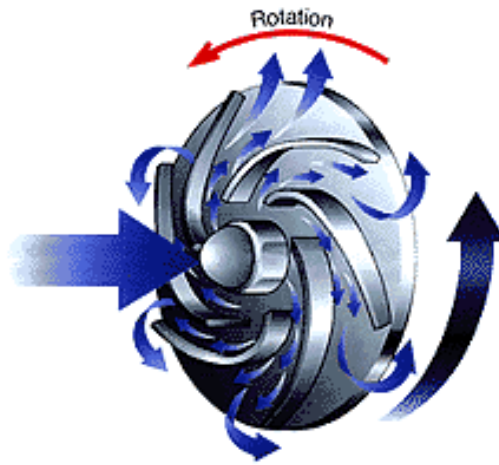
c.1 Constructie van een centrifugaalcompressor

De centrifugaalcompressor bestaat in principe uit een huis waarin centrish een as is aangebracht en waarop een of twee waaiers zijn bevestigd. Een waaier is een hol omwentelingslichaam dat een ringvormige opening heeft, waardoor de damp kan binnenstromen. Aan de omtrek is de waaier open, terwijl hij meestal voorzien is van gebogen schoepen.



c.2 Werking

Wordt de waaier in de centrifugaalcompressor snel rondgedraaid, dan zal op de dampdeeltjes een centrifugale kracht worden uitgeoefend. Dit heeft tot gevolg dat de damp naar de omtrek stroomt en daar met grote snelheid zal ontwijken. Door het verplaatsen van de damp zal bij de instroomopening van de waaier een drukverlaging optreden, waardoor nieuwe damp kan toestromen. In de waaier zelf treedt een geringe drukverhoging op ten gevolge van de centrifugale kracht. De uitstromende damp van hoge snelheid wordt nu door zogenaamde leiscoepen gestuurd, waarin deze snelheid gedeeltelijk omgezet wordt in druk. Bij toepassing van meer dan een waaier, bijvoorbeeld twee, wordt de damp via leiscoepen naar de tweede waaier geleid. Hierin vindt dan een tweede drukverhoging plaats.



De damp uit de verdamper komt via de inlaat en de leiscoepen in de rechterlagedrukwaaier. Deze waaier brengt de damp op hoge snelheid. Vervolgens wordt deze dampstroom door de vorm van het compressorhuis van richting omgekeerd en wordt de snelheid gedeeltelijk omgezet in druk. Hierna treedt de damp in de hogedrukwaaier, waar de damp opnieuw een snelheids- en druktoename krijgt. De uitstromende damp gaat vervolgens door een ruimte die de vorm heeft van een slakkenhuis. Door deze vorm wordt de snelheid weer gedeeltelijk omgezet in druk, waarna de damp via de persaansluiting naar de condensor stroomt.

1.3.2 Condensor

1.3.2.1 Doel van de condensor

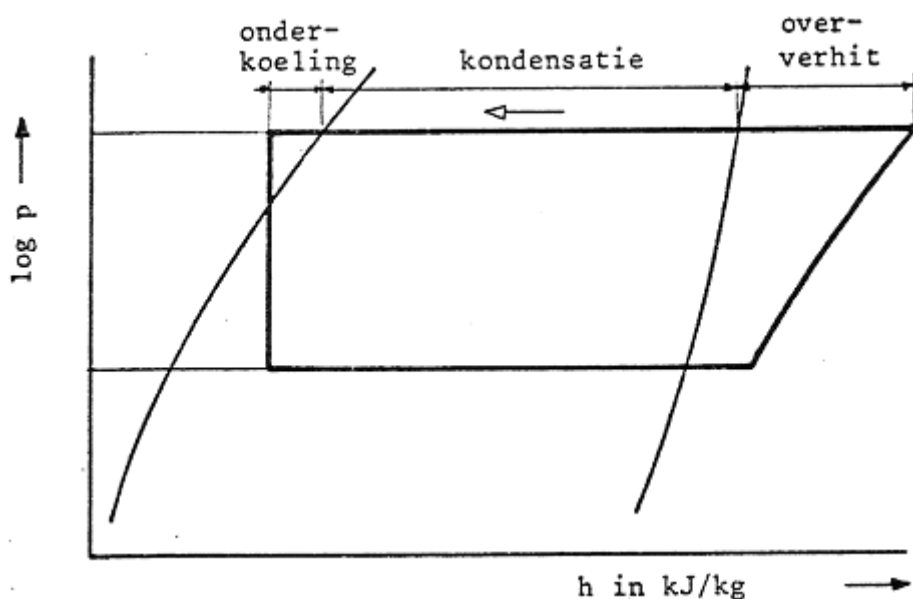
De damp, die door de compressor uit de verdamper wordt afgezogen, moet worden verdicht, zodat het koudemiddel weer als vloeistof aan het kringproces kan deelnemen.

1.3.2.2 Principe

Er zijn drie warmtehoeveelheden die door de condensor moeten worden afgevoerd:

- 1 de door het koudemiddel in de verdamper opgenomen verdampingswarmte vermeerderd met enige oververhitting van de damp;
- 2 de door de compressor geleverde compressiewarmte;
- 3 de warmte om het vloeibare koudemiddel enige graden beneden de condensatie temperatuur te brengen, de zogenaamde onderkoeling.

In het h-log p-diagram kan het condensatieproces worden aangegeven. Dit verloopt in de richting van de pijl van rechts naar links.



Hieruit kunnen we spreken over de begrippen oververhitting en onderkoeling

1. Oververhitting: De damp, die na compressie in sterk oververhitte toestand in de condensor wordt geperst, moet eerst in temperatuur worden teruggebracht tot die temperatuur die overeenkomt met de verzadigingstemperatuur.
2. Om zeker te zijn dat na de condensor al het samengeperste gas uit de compressor omgezet is in vloeistof, wordt er een onderkoeling voorzien. De gevormde vloeistof wordt hierbij tot een bepaalde waarde beneden de condensatietemperatuur gebracht. Hiermee verbetert men ook het koeleffect.

Hou er wel rekening mee dat de luchtcirculatie rond de condensor niet gehinderd mag worden. Daarom moet de condensor regelmatig gereinigd worden. Als de overdracht tussen condensor en omgeving moeilijker wordt, stijgt het verbruik en daalt het rendement. Ook mag het temperatuurverschil tussen condensor en omgeving niet te klein worden. Hiervoor plaatst men bij grote industriële installaties, zoals in de REO-veiling, de condensor buiten op het dak van het gebouw. Hier zal de condensor van de zon, regen en stof afgeschermd moeten worden.

1.3.2.3 Soort condensor

In koeltechnieken kan men drie types van condensoren onderscheiden:

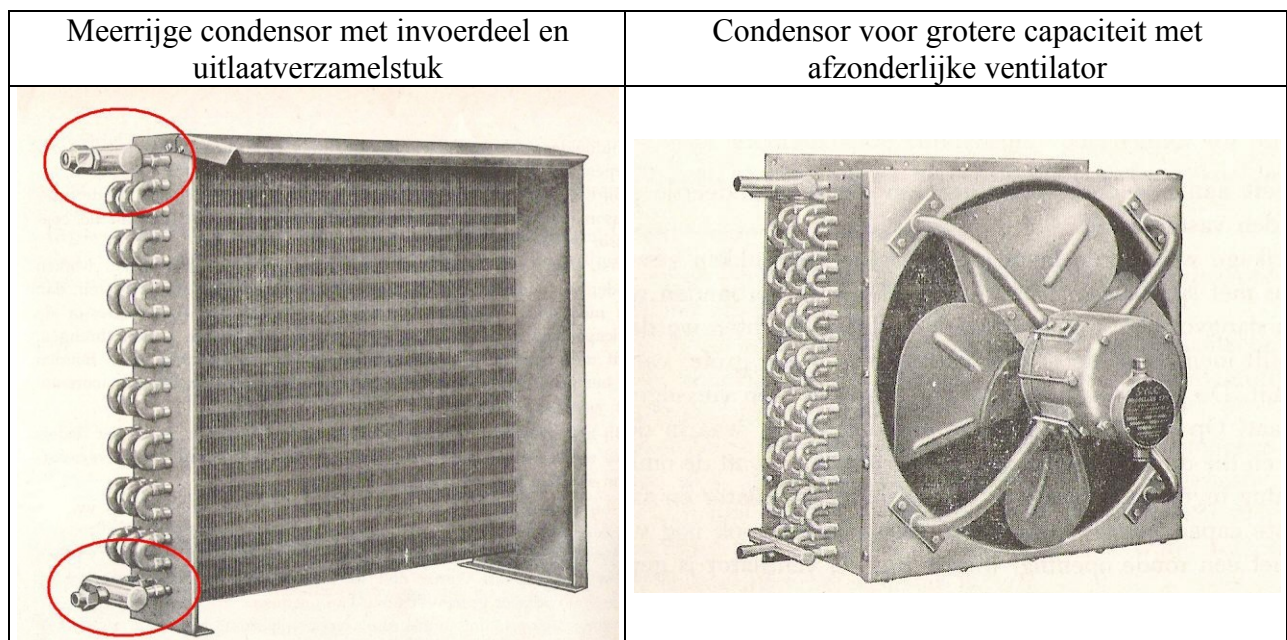
- a luchtgekoelde condensor,
- b watergekoelde condensor,
- c verdampingscondensor.

a Luchtgekoelde condensor

De constructie van de door lucht gekoelde lamellencondensor is eenvoudig. Ze zijn meestal vervaardigd van koperen of stalen buizen, waarop koperen, stalen of aluminium uitstralingslamellen zijn aangebracht die het koelend oppervlak aanzienlijk vergroten. In de lamellen worden gaten van een speciale vorm geponst en vervolgens schuift men de lamellen over de pijp. Deze lamellen vergroten het pijppoppervlak aan de luchtzijde en maken een grotere warmteoverdrachtgang op de koelende lucht mogelijk.

Bij grotere condensoren wordt de weerstand van de lange pijpen te groot, de reden waarom men de pijpen in secties verdeelt. Aan de bovenzijde van de condensor monden de pijpen in een verdeel uit en aan de onderzijde zijn zij aangesloten op een verzamelpijpstuk.

Figuur:



De koellucht wordt door de condensor gezogen door een ventilator. Dit geeft een betere verdeling van de lucht over het condensoroppervlak en lagere condensatiedrukken. De luchtstroom die uit de condensor komt, zorgt ook voor koeling van de elektromotor en de compressor. De door de ventilator geforceerde luchtstroom bevordert door de grotere snelheid de warmteoverdracht.

Voor de goede werking van de luchtgekoelde condensor is het schoonhouden van de lamellen van het grootste belang.

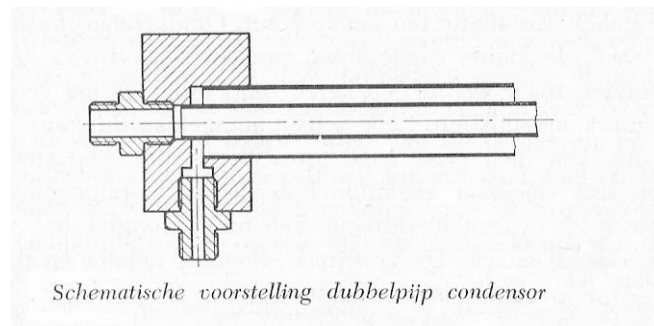
b Watergekoelde condensor

De door water gekoelde condensoren worden gewoonlijk in drie verschillende types verdeelt:

- 1 dubbelpijpcondensor,
- 2 bundelpijpcondensor,
- 3 gesloten spiraalcondensor.

b.1 Dubbelpijpcondensor

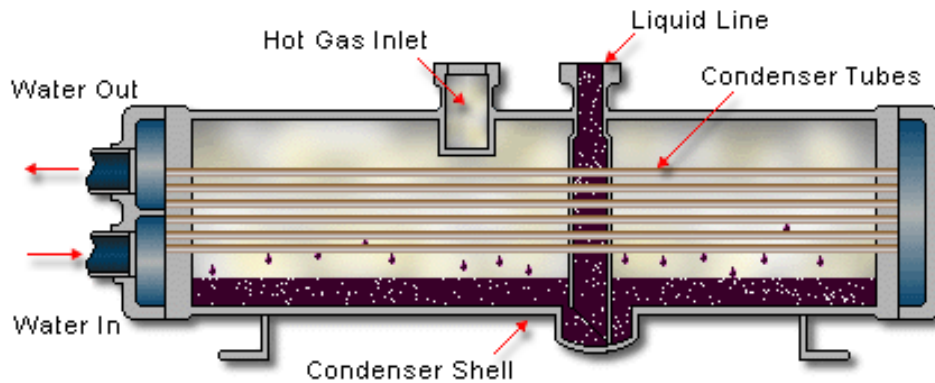
Deze condensor is uitgevoerd met twee buizen van verschillende diameters die, nadat zij in elkaar geschoven zijn, worden gebogen. Door de kleinste buis stroomt het koelwater en door de ringvormige ruimte tussen beide buizen het koudemiddel. De stromingsrichting van het water is tegengesteld aan die van het koudemiddel. De k-waarde is vrij goed bij dit soort condensoren waarbij de snelheid van het water een duidelijke rol speelt.



Een nadeel van deze condensor is dat door het aantal bochten de waterweerstand vrij hoog is.

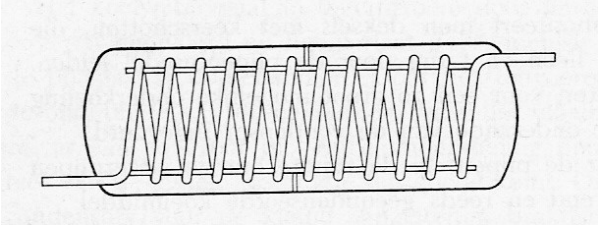
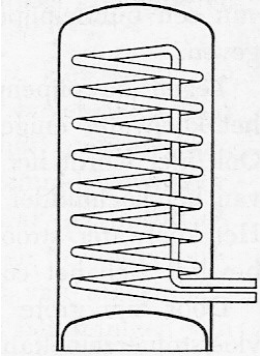
b.2 Bundelpijpcondensator

De bundelpijp of ketelcondensator bestaat uit een wijde stalen cilinder die aan beide einden voorzien is van vlakke pijpenplaten. Hietin zijn gaten geboord waarin de dünnere waterpijpen worden geschoven en daarna vastgerold of met zilver gesoldeerd. Op de pijpplaten zijn de deksels aangebracht. Het koelwater stroomt door de pijpen, terwijl het koelgas aan de bovenzijde wordt ingevoerd. Een verdeelpijp zorgt ervoor dat de gassen goed over de pijpen geleid worden.



b.3 Gesloten Spiraalcondensator

Dit soort condensator komt in horizontale en verticale uitvoeringen voor.

Horizontale Shell and coil condenser	Verticale Shell and coil condenser
	

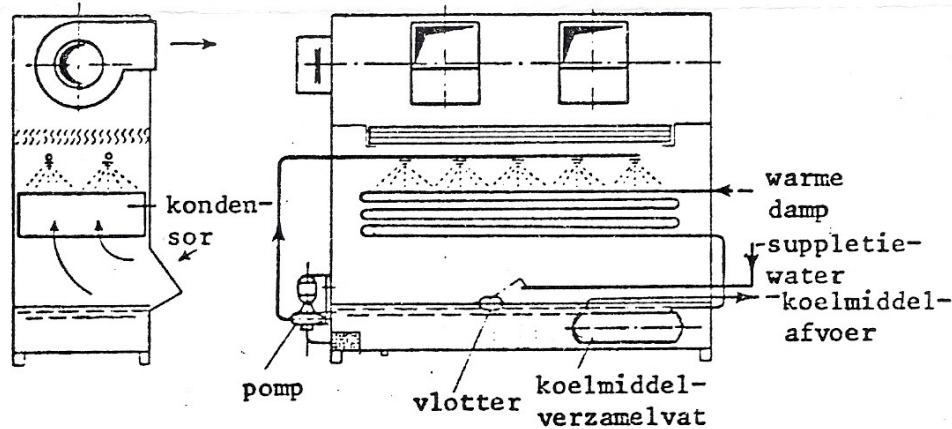
Het toestel bestaat uit een cilindervormige stalen mantel met aangelaste bolle bodem. In de mantel bevindt zich de gevinde spiraal. Direct onder de gasinlaatopening op de mantel is een verdeelplaat gemonteerd die de binnenkomende persgassen gelijkmatig over de koelspiraal verdeelt. Van onderkoeling van het vloeibare koelmiddel is bij deze condensator praktisch geen sprake. Bij de verticale uitvoering van de gesloten spiraalcondensator ontstaat echter wel onderkoeling door de betere tegenstroom.

De condensators doen tevens dienst als vloeistofverzamel-tank, waardoor men de benodigde afsluiters die anders op de vloeistofvat zijn aangebracht, nu op de condensator monteert.

c Verdampingscondensator

Bij de verdampingscondensator wordt gebruik gemaakt van de verdampingswarmte van water. Die bedraagt ongeveer 2270kJ/kg.

Deze figuur geeft het principe weer van een verdampingscondensator.



Onder de pijpbundel van de condensator is een reservoir aangebracht. Daarin wordt het water door een vlotterklep op peil gehouden. Een circulatiepomp besproeit de pijpenbundel, terwijl een ventilator een sterke luchtstroom door de pijpenbundel zuigt. Lucht en water stromen tegengesteld aan elkaar. Het neerstromende water zal gedeeltelijk verdampen en condensatiewarmte opnemen uit de condensator. Het waterverbruik is hierdoor aanmerkelijk lager dan bij de watergekoelde condensator.

1.3.3 Verdamper

1.3.3.1 *Doel van de verdamper*

De verdamper is het gedeelte van de koelinstallatie, waardoor de warmte uit de af te koelen lucht, vloeistof of het te koelen product wordt overgebracht op het verdampende koudemiddel. De verdamper is dus het toestel waarin het vloeibare koudemiddel in damp overgaat.

1.3.3.2 *Principe*

Om het vloeibare koudemiddel in damp te doen overgaan is dus een zekere hoeveelheid warmte nodig van zijn omgeving. Deze hoeveelheid warmte, de verdampingswarmte, moet door de wand van de verdamper worden toegevoerd en voor deze warmtestroom is een temperatuurverschil, tussen het verdampende koudemiddel en de te koelen stof, noodzakelijk. Het koudemiddel moet dus een lagere temperatuur hebben dan de omgeving waarin het geplaatst is. Hoe groter dit temperatuurverschil is, des te sneller de warmte naar de verdamper zal toestromen en de temperatuur van de te koelen stof vermindert.

1.3.3.3 *Soorten Verdampers*

In de koeltechniek kent men twee basismethoden waarop de koeling berust, namelijk:

- a directe koeling
- b indirecte koeling

a Directe koeling of verdamping

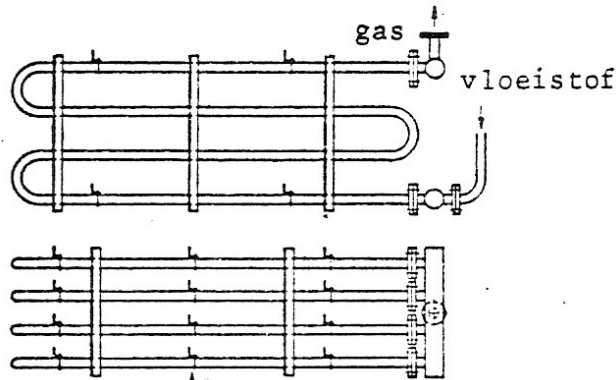
Deze komt het meest voor in de kleine en middelgrote installaties. Bij directe koeling komt de verdamper rechtstreeks in aanraking met de af te koelen stof. Deze methode wordt vooral gebruikt voor het afkoelen van lucht of vloeistoffen.

De verdamper voor directe koeling komt voor in allerlei constructies, ontworpen voor koel- en vriesinstallaties. Zij zijn te verdelen in drie groepen:

- 1 gladde pijpverdampers
- 2 plaatverdampers
- 3 lamellen- of vinververdampers

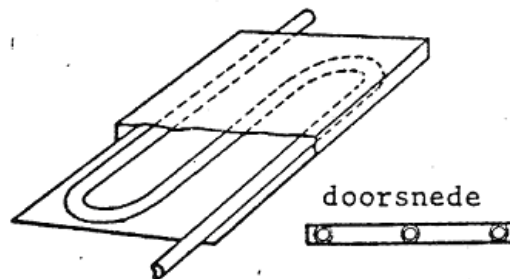
a.1 Gladde pijp- of slangverdampers

Deze verdampers hebben wel de eenvoudigste vorm: ze bestaan uit gebogen koperen buizen of spiralen. Aan het ene einde van de slang, wordt het koudemiddel ingespoten en aan het andere einde wordt de gevormde damp weggezogen.



a.2 Plaatverdampers

Om minder pijplengte nodig te hebben wordt het koelend oppervlak vergroot door een slangenvdamper in een metalen doos aan te brengen.

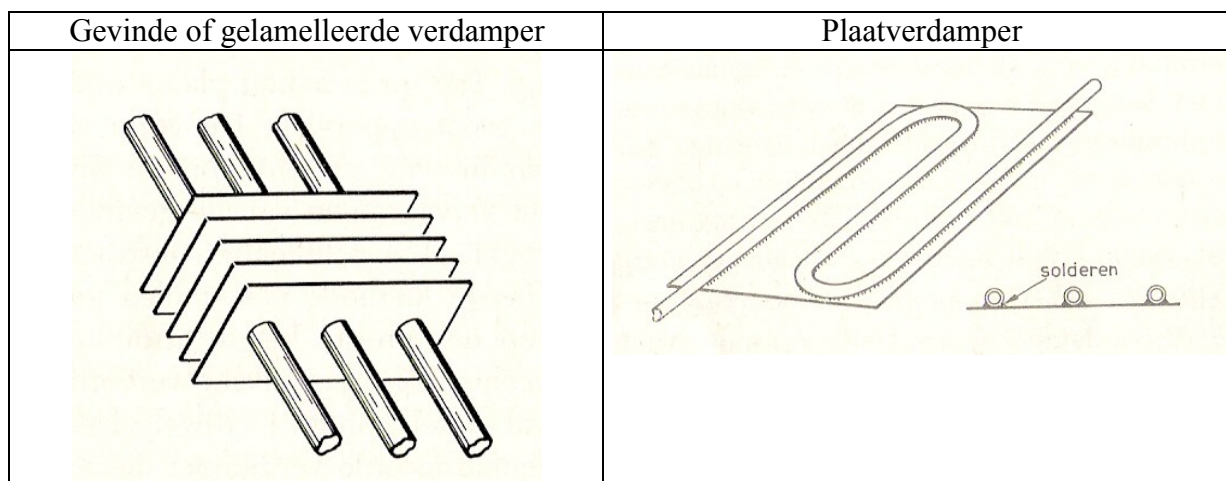


Nadat de spiraal bevestigd is, last men de doos dicht. Via een vacuümpomp wordt er een onderdruk in de doos gezogen en de buitenlucht drukt de doos tegen de spiraal. Daardoor wordt een goed contact tussen de doos en de spiraal verkregen en een goede warmteoverdracht verzekerd. De warmteoverdracht kan ook verbeteren door het aanbrengen van een thermische geleidende massa tussen pijp en wand.

a.3 Gevinde of gelamelleerde verdampers

De hiervoor genoemde verdampertypen zijn in wezen slangenverdampers waarbij men getracht heeft het warmteopnemend oppervlak te vergroten bij gelijkblijvende koelmiddelinhoud. Ook gevinde of gelamelleerde verdampers zijn in principe slangenverdampers. Zij verschillen met de voorgaande constructies vooral in de wijze waarop de vergroting van het oppervlak wordt verkregen.

Bereikte men bij de plaatverdampers deze vergroting door een plaat evenwijdig aan de hartlijn van de pijpen van de slang aan te brengen, bij de gevinde verdampers ontstaat dit grotere oppervlak door het aanbrengen van een groot aantal kleine plaatjes (lamellen) loodrecht op de hartlijn van de pijp. Het grote aantal plaatjes per meter pijp vormt in totaal een groot oppervlak. De vorm van de lamellen en de wijze van aanbrengen verschilt bij de diverse fabrikanten



De lamellen worden op de pijpen geschoven. Soms worden zij vastgelast of gesoldeerd, maar meestal worden de pijpen onder hoge druk geëxpandeerd, zodat de lamellen vast op de pijpen klemmen. De lamellen zijn aluminium of koperen platen waarin de pijpopeningen geponst worden. De randen van de openingen zijn opgezet en bepalen de afstand tussen de lamellen. Die verschilt naar gelang de doeleinden, waarvoor de verdampers wordt gebruikt. Bij natuurlijke circulatie is de afstand groter, omdat dan minder weerstand aan de luchtstroom wordt geboden. Bij geforceerde circulatie is de afstand kleiner en kan de verdampers ook meer compact zijn.

a.3.1 Soorten van vinverdamper

Gevinde verdamper worden gebruikt in installaties die met natuurlijke circulatie of geforceerde luchtstroming.

1 Natuurlijke verdamper

De vorm van de verdamper voor deze systemen verschilt onderling sterk. De verdamper voor natuurlijke circulatie zijn echter het eenvoudigste. Dit type verdamper past men in de horizontale of verticale vorm toe. De horizontale verdamper wordt dan boven in de koelkast gemonteerd en wordt daarom plafondverdampert genoemd. De verticale verdamper past men toe als wandverdampert aan een of beide zijwanden, soms ook tegen de achterwand. Verder kent men nog een veel voorkomend type de zogenaamde tussenstijlverdampert die bij grote koelkasten, vooral die met twee naast elkaar gelegen duren, dikwijls aanwezig is.

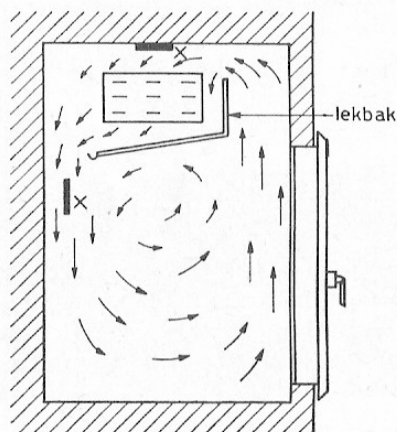
Bij deze verdamper ontstaat op het verdampertoppervlak condensatie die er in de koelcellen op den duur als druppels afvalt. Vooral bij plafondverdamper is dit hinderlijk wegens de schade die door het smeltwater aan de koelgoederen kan ontstaan. Het neervallende condenswater van een plafondverdampert vangt men op in een onder de verdampert aangebrachte lekbak. Omdat de lekbak praktisch dezelfde temperatuur aanneemt als de verdampert, zou aan de onderzijde eveneens condensatie optreden, indien men de bak niet isoleert.

De lekbak heeft overigens een tweedelige taak:

- het opvangen van het lekwater,
- circulatieschot.

De luchtstroom die wordt veroorzaakt door het verschil in dichtheid van de lucht die de verdampert verlaat en de lucht die onderin de kast is opgewarmd, kan alleen in stand blijven door de aanwezigheid van de lekbak. Was de lekbak niet aanwezig, dan zakte er een brede stroom koude lucht rechtstandig naar beneden. De lekbak, die meestal iets schuin wordt geplaatst om het aflopen van het water te bevorderen, buigt deze stroom echter af en leidt hem naar een zijde van de kast. Zo ontstaat er een rondgaande stroming waarin weinig vermenging optreedt.

Hier is schematisch voorgesteld hoe de circulatie verloopt bij een plafondverdampert.



Afhankelijk van het soort verdamper dient men de te koelen goederen zodanig op te stapelen, dat er voor de circulerende lucht voldoende doortocht overblijft. Dit is een punt waarop door gebruikers van koelkasten vaak te weinig wordt gelet. Veel klachten over een slechte werking van koelkasten berusten op een te vol stuwven van de kast. Men dient er zich terdege van te vergewissen dat bij klachten over een slechte werking ook werkelijk luchtcirculatie kan plaatsvinden.

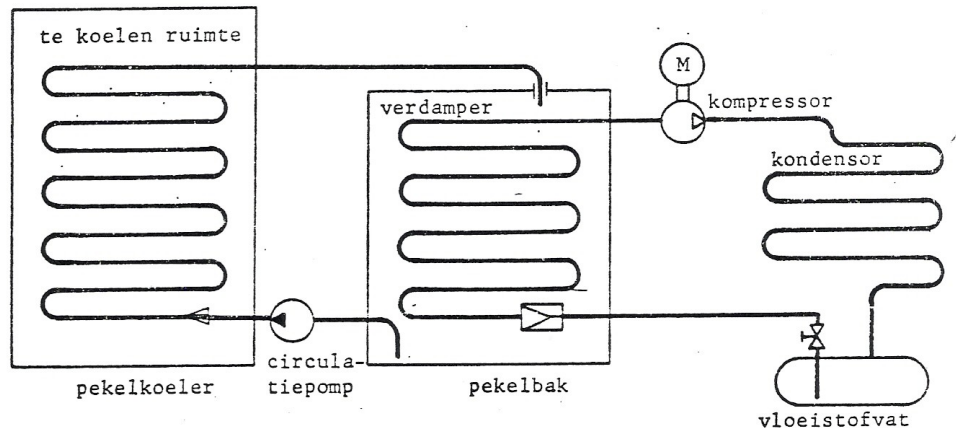
2 Geforceerde verdampers

Men kan deze moeilijkheden vermijden door verdampers toe te passen die de lucht in een gedwongen circulatie brengen. De verdampers worden voorzien van een ventilator, vaak ook twee exemplaren en bij hele grote verdampers nog meerdere stuks. Dit soort verdampers noemt men verdampers met een geforceerde luchtstroming. De lucht wordt dus door de verdamper geforceerd en stroomt er aan de voorkant uit. De bodem van de verdamper is op hetzelfde moment de lekbak.



b Indirecte koeling of verdamping

Bij indirecte koeling komt de verdamper niet rechtstreeks in aanraking met de af te koelen stof. Bij dit systeem wordt de verdamper geplaatst in een bak met vloeistof. Dit zal in vele gevallen pekkel, koudedragers, zijn. De pekkel wordt door de koelinstallatie gekoeld en door een pomp naar de koeler gepompt, die in de ruimte die gekoeld moet worden, opgesteld wordt.



1.3.3.4 Capaciteit van de verdamper

De capaciteit van de verdamper of de hoeveelheid warmte die er door de verdamper kan worden opgenomen, wordt berekend met de formule:

$$Q = k \times A \times dT \text{ (de hoeveelheid warmte in kilojoule of kJ)}$$

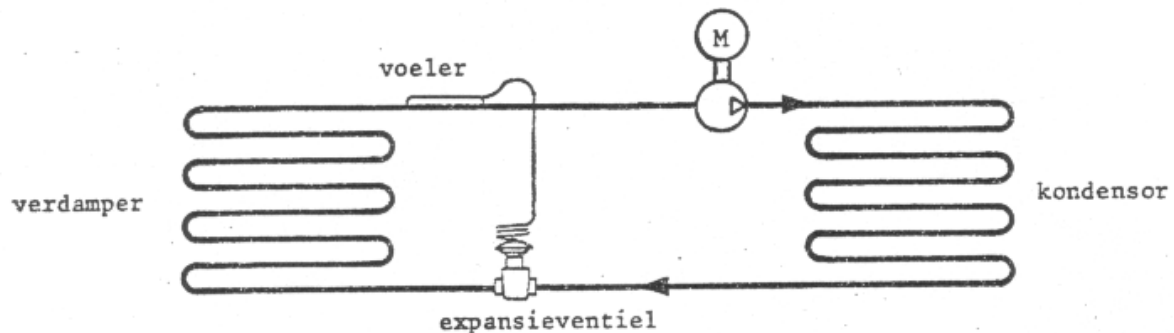
A is het oppervlak in vierkante meter waardoorheen de warmte gevoerd wordt. Het oppervlak wordt altijd berekend aan de buitenzijde van de verdamper. Bij een lamellenverdamer neemt men de beide zijden van de lamellen. Het oppervlak van pijpen is naar verhouding zo klein, dat dit wordt verwaarloosd.

k is de warmte-overdrachtsfactor per vierkante meter verdamperoppervlakte en dT is het temperatuurverschil aan weerszijden van de wand.

1.3.4 Expansieventiel

1.3.4.1 Doel

Het expansieventiel dient om de juiste hoeveelheid koelmiddel naar de verdamper te voeren. Het ventiel wordt dan ook in het systeem net voor de verdamper geplaatst. Het regelventiel is een scheiding tussen het gebied van hoge druk of condensatiedruk en lage druk of verdampingsdruk.



Wanneer de hoeveelheid koelmiddel die naar de verdamper moet, te klein is, wordt de capaciteit van de verdamper niet volledig benut. Wanneer deze hoeveelheid te groot is, zal de verdamper niet kunnen werken. Dan bestaat er een kans dat er vloeistof in de compressor komt. Het expansieventiel wordt zo ingesteld dat de damp die uit de verdamper komt en die naar de compressor moet, enkele graden oververhit is.

1.3.4.2 Soorten regelkleppen

De meest gebruikte regelventielen deelt men als volg in.

- 1 met de hand bediende expansieventielen
- 2 automatisch werkende expansieventielen.
 - a thermostatische expansieventielen
 - b automatische expansieventielen
 - c lagedruk vlotterklep
 - d hogedruk vlotterklep

a Met de hand bediende expansieventielen

Dit soort regelkleppen wordt vooral gebruikt bij grote landinstallaties en aan boord van schepen: daar is altijd bedieningspersoneel en daarom is deze regeling interessant. De laatste jaren is de techniek zo opengebloeid dat de automatische regeling ook daar gebruikt wordt. Daardoor komen met de hand bediende expansieventielen bijna nooit meer voor.

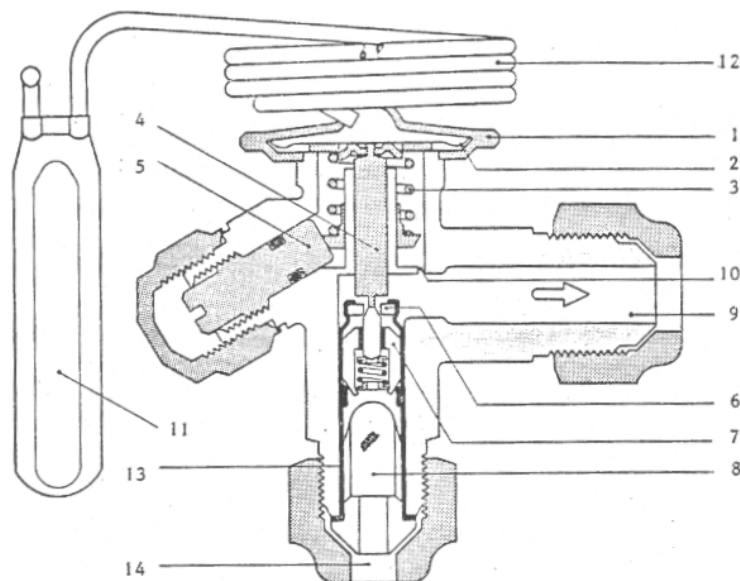
b Automatische expansieventielen

b.1 Thermostatisch expansieventiel

De meest gebruikte regelklep is het thermostatische expansieventiel. De werking berust op een krachterevenwicht op een membraan. Aan de ene zijde van het membraan staat de verdampingsdruk, aan de andere zijde de druk, die behoort bij de oververhittingstemperatuur aan het einde van de verdamper. De verdampdruk kan op twee manieren naar het membraan geleid worden.

- via een inwendige verbinding of drukvereffening. Dit systeem wordt toegepast wanneer de weerstand van het koelmiddel in de verdamper klein is.
- via een aparte leiding vanaf de zuigleiding na de verdamper naar een afgesloten ruimte onder het membraan, de uitwendige drukvereffening.

b.1.1 Inwendige drukvereffening

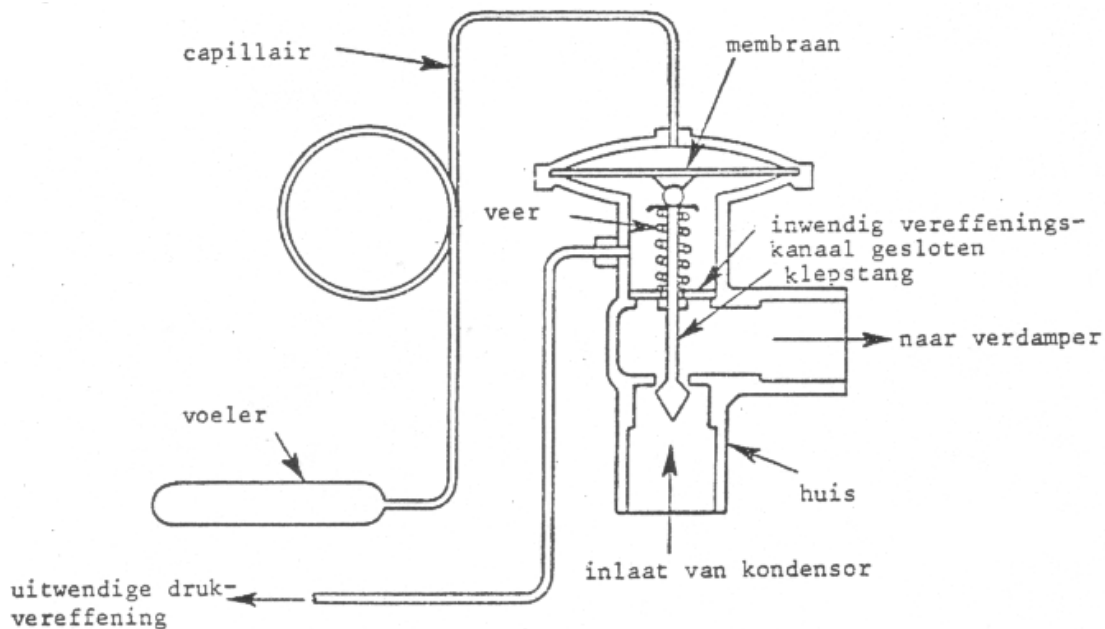


1	Deksel	8	Filter
2	Membraan	9	Uitlaat naar verdamper
3	Instelveer	10	Opening voor inwendige drukvereffening
4	Drukstift	11	Voeler
5	Instelspindel	12	Capillair
6	Klepzitting	13	Klephuis
7	Klep	14	Vloeistofinlaat

Alles begint bij de vloeistofinlaat nr. 14, waar het koelmiddel binnen komt. Dan gaat het koelmiddel langs de filter nr. 8 naar de klep nr. 7 en dan naar de verdamper. De hoeveelheid vloeistof die naar de verdamper stroomt, wordt bepaald door de stand van de klep nr. 7 t.o.v. van de klepzitting nr. 6. Boven het membraan nr. 2 staat de druk, die bij de temperatuur van het thermo-element hoort. Dit thermo-element bestaat uit: de voeler nr. 11, het deksel nr. 1, de capillair nr. 12 en het membraan nr. 2. De ruimte in het thermo-element is gevuld met verzadigde damp, waarvan de druk bepaald wordt door de temperatuur, die de voeler meet. Die druk die boven het membraan staat zal met een kracht naar beneden de klep via de drukstift nr. 4 willen openen.

Onder het membraan staat de verdampdruk en de spanning van de instelveer nr. 3. Deze geeft een opwaartse kracht die de klep wil sluiten.

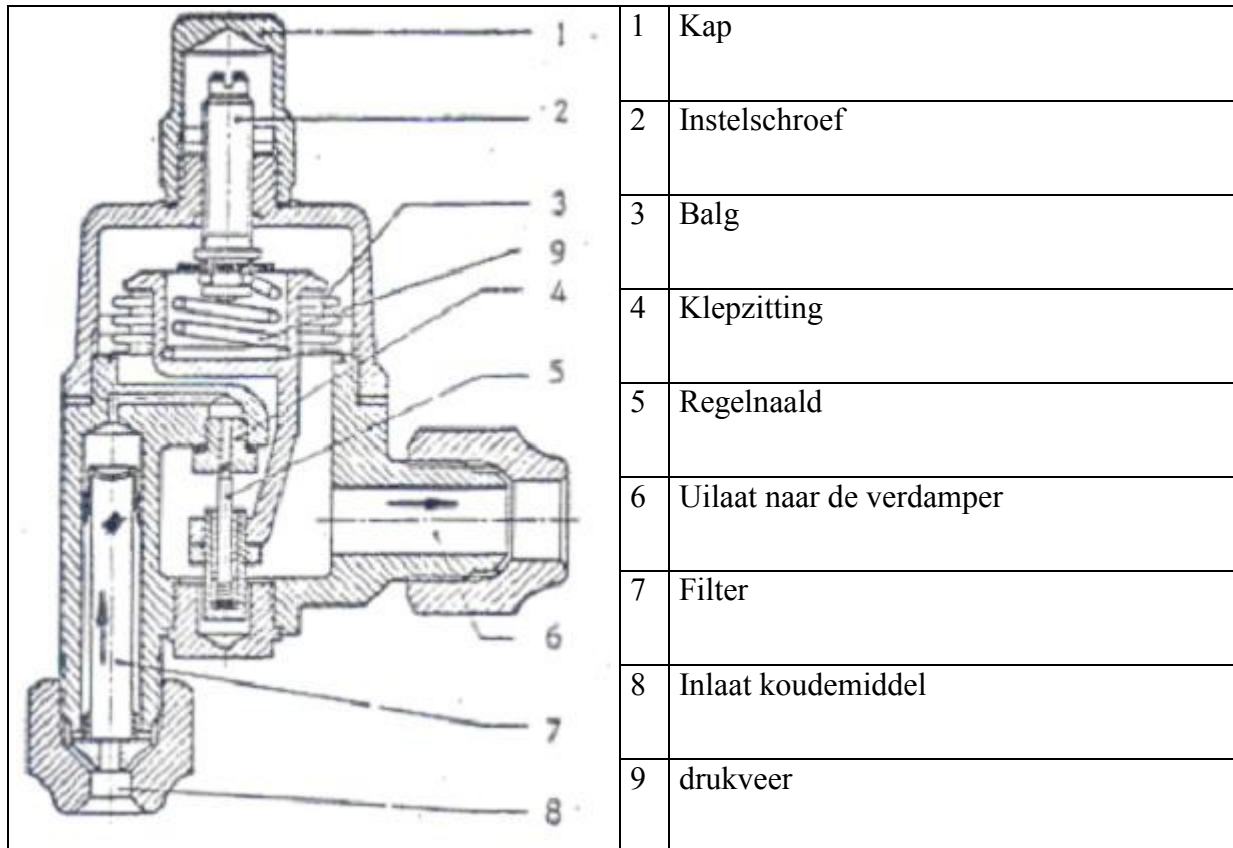
b.1.2 Uitwendige drukvereffening



Hier staat niet de druk onder het membraan, maar de druk na verdamping. Daardoor een extra klep aangesloten die uitkomt in de ruimte onder het membraan. Het inwendige kanaal is dan niet aanwezig. Bij een expansieventiel met uitwendige drukvereffening heeft de drukval geen invloed op de regelcapaciteit van het ventiel, noch van de verdamper. De drukvereffeningsleiding komt onmiddellijk na de voeler.

b.2 Automatische expansieventiel

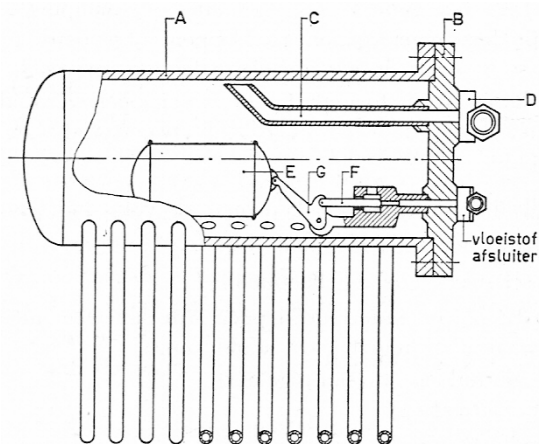
De automatische expansie is ook nog een veel gebruikte regelklep. Dat ventiel wordt door druk gestuurd. Het gaat verder open als de verdamperdruk daalt en het gaat dicht als de verdamperdruk oploopt. Daardoor kan je de verdampdruk constant houden.



Het koudemiddel dat van de condensor komt, treedt binnen langs de filter nr. 7. Dan stroomt het via de uitlaat nr. 6 naar de verdamper. De afstand die tussen de zitting nr. 4 en de regelklep nr. 5 zit, bepaalt de hoeveelheid koelmiddel. Dan is er nog de drukveer nr. 9, die een kracht bovenop de balg nr. 3 uitoefent. De verdamperdruk oefent een tegengestelde kracht aan de onderzijde uit.

b.3 Lagedruk vlotterklep

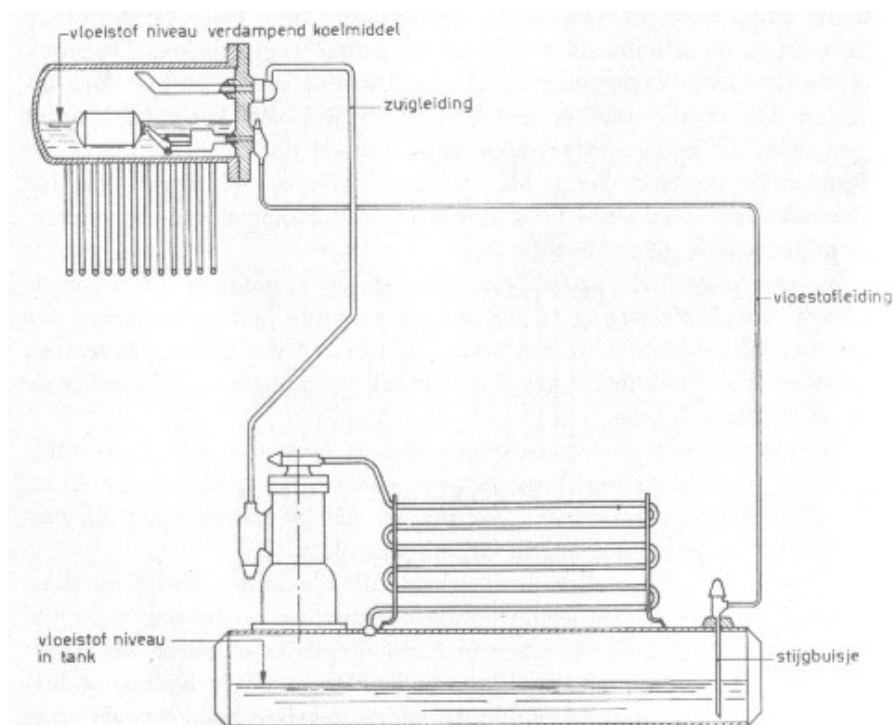
De lagedruk vlotterklep treffen we aan in het lagedrukgedeelte van de installatie. Een vlotterklep is een niveaugelaar. Hij regelt de toevoer van het koelmiddel door het vloeistofniveau in de verdamper steeds op dezelfde stand te houden. De werking is onafhankelijk van de temperatuur en de druk.



- A: Cilindervormige vlotterhuis
- B: Afneembaar deksel
- C: Gebogen pijpstuk
- D: Zuigafsluiter
- E: De vlotter
- F: De afsluitnaald
- G: Scharnierende hefboom

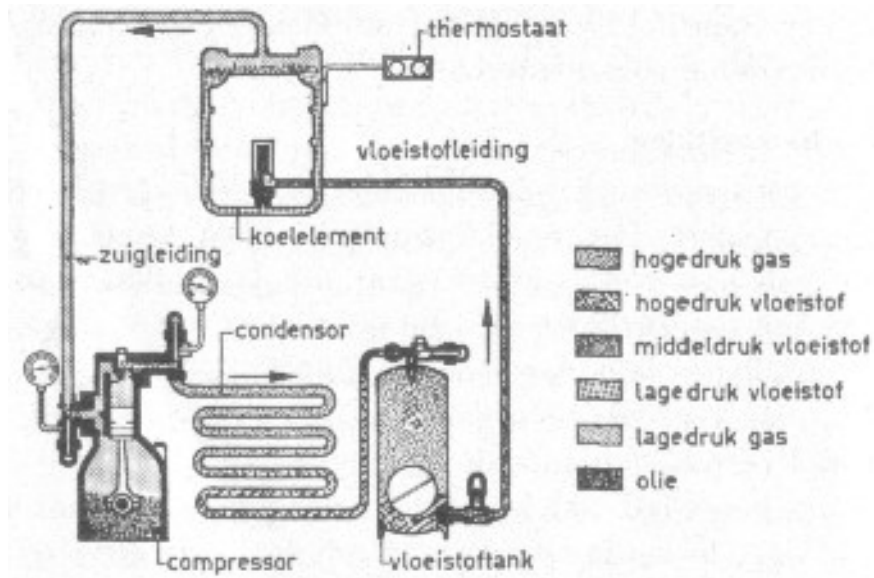
De verdampspijpen monden uit aan het cilindervormige vlotterhuis. Het vlottermechanisme is aan de binnenzijde van het afneembare deksel bevestigd. Aan de buitenzijde ervan zijn de service afsluiters voor de koelmiddeltoevoer en -afvoer aangebracht. Het pijpstuk dat naar boven gebogen is, staat via de zuigafsluiter in verbinding met de zuigleiding naar de compressor. De vlotter en de afsluitnaald zorgen ervoor dat het vloeistofniveau boven de opening van de verdamperspijpen blijft.

Op de onderstaande figuur ziet u een lagedruk vlotterklep die in een installatie gebruikt wordt.



b.4 Hogedruk vlotterklep

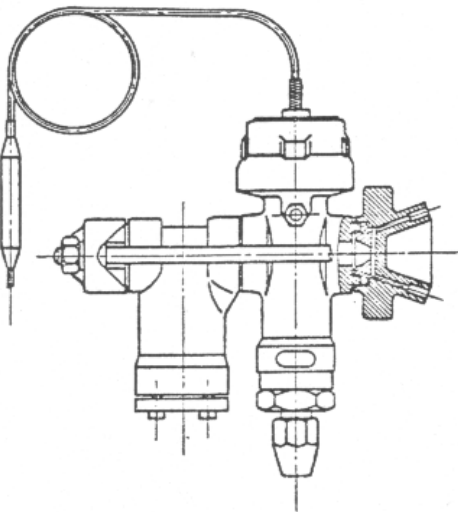
De hogedruk vlotterklep treffen we aan in het hogedrukgedeelte van de installatie, het gedeelte tussen de condensator en de verdamper. De hogedruk vlotterklep is zo uitgevoerd dat de regelnaald de opening bij stijgend niveau opent en bij een daling sluit. De hogedruk vlotterklep is meestal met een verzameltank verenigd. De vlotter en de vlotternaald bevinden zich in de tank.



1.3.4.3 De verdeelkop

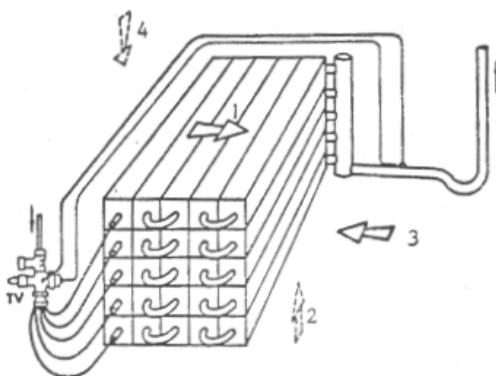
In sommige installaties is het nodig om de verdamper te verdelen in verscheidene parallel geschakelde verdampers. Dit kan men doen om een te grote weerstand in de verdamper te vermijden en om het rendement zo hoog mogelijk te maken. Om het koelmiddel over alle verdampers te verdelen, maakt men gebruik van een verdeler die men na het expansieventiel plaatst. Op de figuur zien we een expansieventiel zien met daaraan een verdeler aangekoppeld.

Figuur:



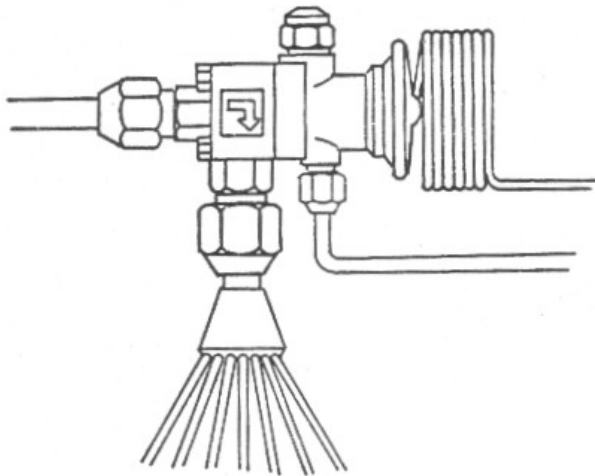
De lengte en de diameter van de verdeelleidingen moeten gelijk zijn, anders is er geen gelijkmatige verdeling. Op de tekening zijn er vijf parallel geschakelde verdampers.

Figuur:



Bij luchtkoeling moet de luchtstroom gelijk over de gehele doorsnede van de verdamper verdeeld worden. Pijlen 1 en 3 geven de juiste richting aan. Als we een luchtstroom volgens pijlen 2 en 4 laten stromen, krijgen we een ongelijkmatige belasting van de verdamper. Als we gebruik willen maken van de verdeelkop moet wel een expansieventiel met uitwendige drukvereffening toegepast worden. De verdeelkop dient verticaal gemonteerd te worden. Dit tont de figuur duidelijk.

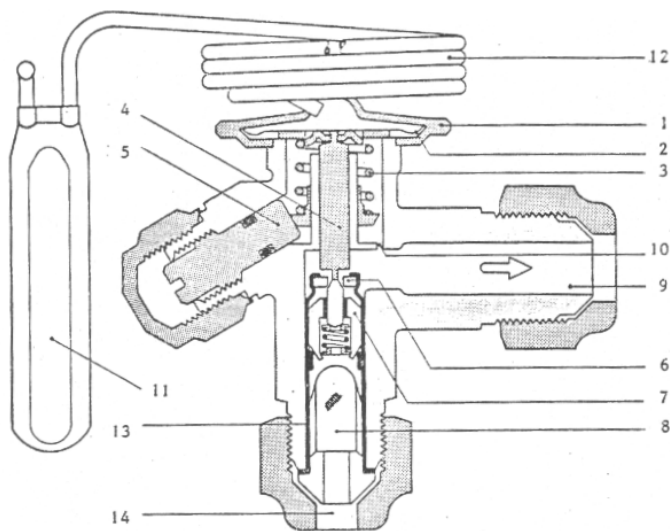
Figuur:



1.3.4.4 Vulling van het thermo-element

Het thermo-element bestaat uit een voeler, een deksel, capillaire leidingen en een membraan. Deze vier elementen zijn op de onderstaande figuur aangeduid met de nrs 1, 2, 11 en 12.

Figuur:



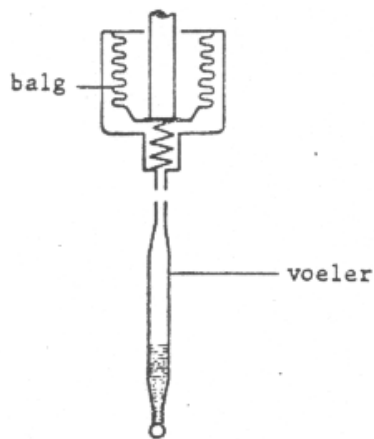
De vulling van dit thermo-element, dat gebruikt wordt bij b.v. expansieventielen, kan bestaan uit:

- a begrensde vulling
- b absorberende vulling
- c vloeistofvulling

a Begrensde vulling

Hierbij wordt in het thermo-element een hoeveelheid vulling aangebracht die bij een al van tevoren vastgestelde temperatuur geheel verdampt is. Als de temperatuur hoger wordt dan zal de damp oververhit worden en de druk veel minder stijgen dan bij verzadigde damp. De temperatuur die in de ruimte om de balg of het membraan zit, moet altijd hoger zijn dan de temperatuur van de voeler. Als dit niet het geval is, zal de vulling in de ruimte condenseren en zal het apparaat niet meer op de voeler reageren. Op de volgende figuur zien we de voeler.

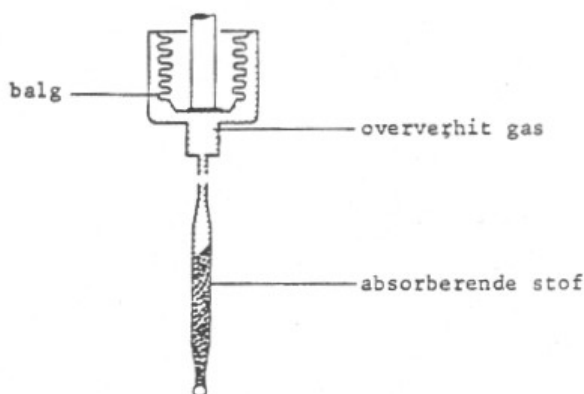
Figuur:



b Absorberende vulling

Bij deze vulling kan de balg en/of het capillair zonder problemen in een koudere omgeving geplaatst worden. Er wordt gebruik gemaakt van een oververhit gas en in de voeler bevinden zich korrels van een absorberende stof.

Figuur:

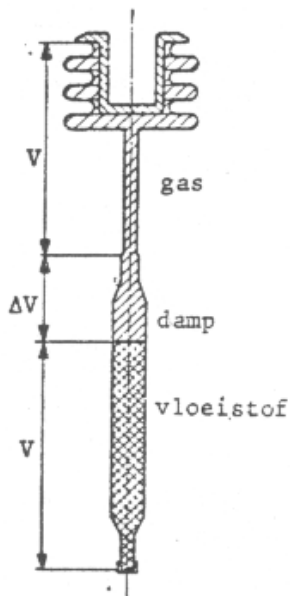


Als de temperatuur opgedreven wordt, wordt de druk hoger in de balg of boven het membraan. Bij een dalende temperatuur absorbeert het gas en daalt ook de druk. De temperatuur heeft geen invloed op het apparaat omdat de absorberende stof zich alleen in de voeler bevindt. Omdat de gasvulling niet kan condenseren, heeft de temperatuur van het capillair en het membraan geen invloed op de druk in het thermische element.

c Vloeistofvulling

De voeler heeft een vrij grote hoeveelheid vloeistof. De hoeveelheid is zo groot dat er, in de voeler, voldoende vloeistof achterblijft om de regeling goed te doen verlopen. Hoeveelheid is zo groot dat bij een koude balg door condensatie geheel gevuld wordt.

Figuur:



Wanneer de voeler kouder is, kan hij al de vloeistof bevatten: er is dan nog voldoende plaats voor de verzadigde damp. Daardoor blijft de temperatuur-drukrelatie dezelfde. Expansieventielen die een thermo-element met vloeistofvulling bezitten, kunnen in de koelende ruimte geplaatst worden, maar ook erbuiten. Op een plaats waar de omgevingstemperatuur hoog is, is het niet aan te raden deze vulling te gebruiken, omdat door de hoge temperatuur de druk zal stijgen en de balg beschadigen.

1.4 Koudemiddel

1.4.1 Inleiding

De koelinstallatie die een samenstelling is van compressor, condensor, verdamper, leidingen en regelorganen, kan slechts haar taak verrichten als zij gevuld is met een stof die als warmtetransporteur optreedt. Dit wil zeggen dat deze stof naar behoefte op een bepaalde plaats warmte opneemt en deze warmte op een andere plaats weer afstaat. De stof die deze taak kan vervullen, noemt men het koelmiddel of het koelmedium.

Aangezien het koelmedium een gesloten kringloop verricht, dient het op gemakkelijke wijze door de koelinstallatie te kunnen worden gevoerd. Dit gaat het beste als het koelmiddel als gas, als vloeistof voorkomt of als een mengsel van beide vormen.

Omdat het opwekken en in stand houden van lage temperaturen de taak van de koelinstallatie is, mag het koelmiddel om transportabel te blijven dus bij deze lage temperaturen niet in vaste vorm overgaan. Anderzijds moet de overgang van vloeistof naar damp juist wel bij deze lage temperatuur plaatsvinden. Korter geformuleerd kan men zeggen dat het koelmiddel een laag stollingspunt en een lage verdampingstemperatuur (kookpunt) moet bezitten. Deze eis sluit een groot aantal stoffen voor het gebruik als koelmiddel uit. Het aantal in de praktijk gebruikte koelmiddelen is ongeveer zestig.

1.4.2 Soorten Koelmedium

1.4.2.1 Chloorfluorkoolwaterstof of CFK

Veel toegepaste koudemiddelen in de installaties van de koudetechniek zijn de diverse soorten CFK, wat staat voor chloorfluorkoolstof, ook wel freon genoemd. Freon is een merknaam van het in 1928 uitgevonden CFK van de firma Du Pont de Nemours.

Algemeen duidt men de koudemiddelen of CFK's aan met de letter R (van Refrigerant of koudemiddel) gevolgd door een getal: R113, R22, R502.

De gevormde nummers hebben iets te maken met de scheikundige samenstelling. Stel je $R abc$ als algemene notatie, dan is:

a = aantal koolstofatomen -1 (is a = 0 dan valt dit weg)

b = aantal waterstofatomen +1

c = aantal fluoratomen

Alle koelmedia die in de reeks beginnen met een 5 (zoals R502), maken op de bovenstaande redenering een uitzondering. Het zijn geen enkelvoudige stoffen, maar mengsels van CFK's.

1.4.2.2 Fluorkoolwaterstof of HFK

De CFK's tasten echter de ozonlaag aan. Vooral het chloor in deze verbinding zorgt voor een belangrijke afname van het natuurlijke ozongehalte in de hogere luchtlagen van de aarde. Hierdoor komen voor de aarde gevaarlijke ultraviolette stralingen van de zon doorheen de dampkring.

Onderzoek heeft aangetoond dat de ozonlaag minder aangetast wordt wanneer het koelmiddel naast fluor en koolstof ook waterstofatomen bevat en geen chlooratomen. Deze worden HFK's genoemd, waarbij H staat voor waterstof. Het nadeel van HFK's is dat je in een bestaande installatie met CFK's niet zomaar een HFK kan inbrengen. De oplosbaarheid van oliën in het koelmiddel is anders en in extreme gevallen moet je de koelcompressor vervangen worden.

Tabel:

Hier vindt u een overzicht van de nieuwe koelmedia ter vervanging van de bestaande, schadelijke CKF's.

Vervangmiddel voor	Genormaliseerde aanduiding of merknaam	
	ODP = 0	0 < ODP < 1
CFK-12	HFK-134a	HCFK-22 HFK-401a HFK-401b MP39 (Du Pont) MP66 (Du Pont)
CFK-22	AC 9000 (Du Pont) Blend 66 (ICI) H x 4 (Hoechst)	HCFK-22
CFK-502	HFK-404a HFK-143a HFK-125 HP62 (Du Pont) FX40 en 70 (Forance) Blend 66 (ICI) H x 4 (Hoechst)	HCFK-22 HFK-408a HFK-402a HFK-403b HP80 (Du Pont) 69 L (Isceon) FX10 (Forance)

1.4.2.3 Anorganische koelmiddelen

Ook is het mogelijk om andere producten als koudemiddel te gebruiken. Dit zijn de anorganische koelmedia (dus van minerale oorsprong), ze krijgen na de letter het cijfer 7 toegewezen.

We onderscheiden twee anorganische koelmiddelen:

- ammoniak (R717) of NH_3 ,
- water (R718) en lucht (R729)

Ook propaan (R290) en isobutaan (R600a) worden tegenwoordig toegepast. Deze koelmedia wordt gebruikt in de zogenaamde *groene* huishoudkoelkasten. Propaan en butaan zijn wel min of meer brandbaar, maar de geringe hoeveelheden in zo'n koelkast zijn niet echt gevaarlijk.

1.4.3 Eigenschappen van het koudemiddel

Afhankelijk van welke eigenschappen men belangrijk acht, kiest men een van de koelmiddelen voor een bepaalde installatie.

1.4.3.1 Fysiologische eigenschappen

Hierbij staat een lijst met alle toegepaste koelmiddelen en hun natuurkundige eigenschappen. De koudemiddelen zijn volgens NEN 380 veiligheid van koelinstallaties verdeeld in groepen, waarvoor geldt:

1 koudemiddelen die zowel niet-brandbaar als niet of slechts in geringe mate vergiftig zijn.

2 koudemiddelen die bij een concentratie in lucht, in geval van ernstige lekkage van de installatie, gevaar van ernstige vergiftiging kunnen opleveren. Bovendien zijn enkele koudemiddelen uit deze groep brandbaar of explosief, als zij met lucht vermengd worden. Dit gebeurt met een onderste explosiegrens van 3,5% of hoger.

3 koudemiddelen, die met lucht vermengd, brandbaar en explosief zijn met een onderste explosiegrens lager dan 3,5%. Bij deze concentratie zijn zij niet giftig.

Tabel:

Groep	Symbool	Dodelijk of ernstig letsel binnen enige minuten % in lucht	Letsel binnen 30 à 60 minuten % in lucht	Geen letsel binnen 1 à 2 uur %in lucht	Zie opmerkingen
1	R11			10	a + h
	R12			20 – 30	b + h
	R13			20 – 30	b + h
	R13B1			20 – 30	b + h
	R21		10	5	a + h
	R22			20	b + h
	R113		5 – 10	2,5	a + h
	R114			20 – 30	b + h
	R115			20 – 30	b + h
	RC318			20 – 30	b + h
	R500			20	b + h
	R502			20	b + h
	CO ₂	8	5 – 6	2 – 4	c
2	R717	0,5 – 1,0	0,2 – 0,3	0,01 – 0,03	d
	R40	15 – 30	2 – 4	0,05 – 0,10	f + h
	CH ₃ CO ₂ H	2,0 – 2,5	0,9 – 1,0		e
	SO ₂	0,2 – 1,0	0,04 – 0,05	0,003 – 0,004	d + e
	R160	15 – 30	6 – 10	2,0 – 4,0	f + h
	R30	5,0 – 5,4	2,0 – 2,4	0,2	a + h
	R1130		2,0 – 2,5		f + h
3	R170			4,7 – 5,5	g
	R290		6,3	4,7 – 5,5	g
	R600			5,0 – 5,6	g
	R600a			4,7 – 5,5	g
	R1150				g
	R1270				g

Opmerkingen bij tabel fysiologische eigenschappen:

- a hogere concentraties werken licht narcotisch.
- b hogere concentraties veroorzaken een tekort aan zuurstof en kunnen verstikking tot gevolg hebben.
- c geen waarschuwendende geur treedt op en het overgangsgebied van niet-gevaarlijke naar dodelijke concentratie is zeer nauw begrensd.
- d waarschuwendende geur treedt reeds bij uiterst geringe concentratie op.
- e irriterend, reeds bij zeer geringe concentraties.
- f zeer narcotisch
- g zeer brandbaar en explosief, veroorzaken geen dodelijke of ernstige letsels bij concentraties beneden de onderste explosiegrens.
- h chloor bevattende koelmiddelen die in aanraking komend met open vuur of hete oppervlakken kunnen ontleden in uiterst giftige gassen als fosgeen en chloor. Deze verraden zich onmiddellijk door hun stekende en irriterende geur.

1.4.3.2 Chemische eigenschappen

a Stabiliteit

Het koelmiddel dient chemisch stabiel te zijn. Dit betekent, dat het zich bij de in een koelinstallatie heersende temperaturen of drukken niet mag ontleden of anderszins chemisch veranderen

b Inactiviteit

Het koelmiddel mag geen chemische verbindingen aangaan met de materialen waaruit de koelinstallatie is opgebouwd. Het mag ook niet inwerken op de smeerolie, de zuurstof uit de lucht of op eventueel aanwezige waterdamp.

c Brandbaarheid en explosiviteit

Uit de eis dat het koelmiddel zich niet met zuurstof mag verbinden, volgt reeds dat het onbrandbaar en niet explosief moet zijn.

1.4.3.3 Fysische of natuurkundige eigenschappen

a Dampdruk

De verzadigingsdrukken van het koelmiddel in de verdamper en in de condensor moeten redelijke waarden bezitten. Een hoog vacuüm ten gevolge van een lage verdampingsdruk maakt een grote compressor nodig en geeft moeilijkheden met de afdichtingen waardoor lucht en vocht in de installatie kunnen treden. Een hoge condensordruk geeft wel kleine compressorafmetingen, maar maakt de prijs van de compressor hoog door de zwaardere constructie.

b Verdampingswarmte

Een gunstige verdampingswarmte moet niet altijd een grote verdampingswarmte zijn. Een grote verdampingswarmte houdt in dat er slechts een geringe hoeveelheid koelmiddel in omloop zal zijn, wat bij de geringe capaciteit van de kleine koelinstallatie leidt tot zeer kleine afmetingen van de verschillende onderdelen.

c Geleidbaarheid van warmte

Hierdoor wordt de warmteovergang bevorderd en ontstaat een snelle verdamping.

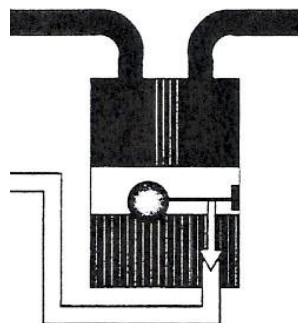
d Oplosbaarheid van water

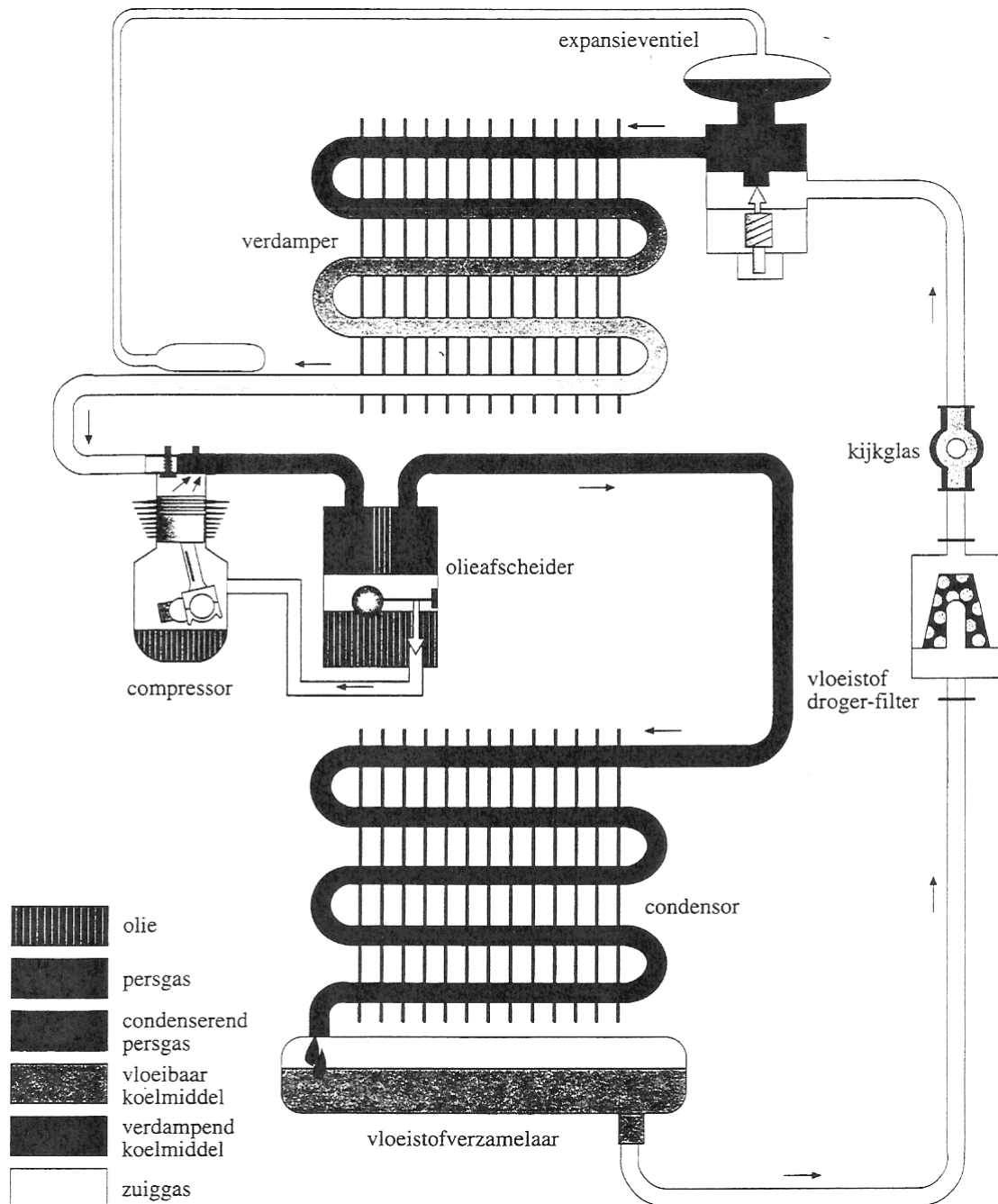
Eventueel water dat in de installatie treedt moet gebonden worden. Vrij water gaat bevriezen in de expansieklep.

e Oplosbaarheid van olie

Het koelmiddel moet de olie niet oplossen. Het is evenwel niet te vermijden, dat er olie met het koelmiddel wordt meegevoerd. Een goede olieafscheider kan de olie verwijderen en terugvoeren naar de compressor. Zo voorkomt we dat de compressor vastloopt, omdat deze geen olie meer heeft en dat op de verdamper en condensor een oliefilm aanwezig is die de warmteoverdracht zou belemmeren. De vermenging van de olie en het koelmiddel maakt het smerend vermogen van de olie slechter.

Figuur olieafscheider:



Olieafscheider weergegeven in circuit:

f Elektrische weerstand

Koelmiddelen die in hermetisch gesloten compressoren worden gebruikt en daar met stroomvoerende delen in aanraking komen, moeten een hoge elektrische weerstand bezitten.

1.4.3.4 Andere eigenschappen van de koelmiddelen

a Prijs

In installaties van de kleine koeltechniek speelt de prijs haast geen rol omdat de vulling meestal gering is. Bij installaties die in omvang grote koeltechniek benaderen, gaat de prijs wel een rol spelen. Belangrijk is dat het koelmiddel altijd gemakkelijk en in voldoende mate is te verkrijgen.

b De koudeproductie

Het koelmiddel moet per toegevoerd kilowattuur of kWh zoveel mogelijk warmte opnemen om een economisch bedrijf mogelijk te maken.

c Giftigheid en reuk



Er mag door het gebruik van koelmiddel geen gevaar ontstaan voor personen en dieren of voor de koelgoederen. Het koelmiddel mag daarom niet giftig zijn, ook niet in kleine concentraties. Er mogen ook geen giftige gassen ontstaan bij aanwezigheid van open vuur of vonken. Ook niet giftige koelmiddelen kunnen onder bepaalde omstandigheden gevaar opleveren, omdat bij hoge concentraties de zuurstof uit de lucht wordt verdreven. Een goede waarschuwing tegen aanwezigheid van koelmiddel in de lucht verschaft de geur ervan. Bij reukloze koelmiddelen voegt men soms reukstoffen toe.

1.5 Onderdelen Koelinstallatie

Voor de technische gegevens over de onderdelen in de koelinstallatie wordt er verwezen naar de bijlagen.

1.5.1 De compressor

In de nieuwe koelinstallatie worden vier nieuwe compressors bijgeplaatst, drie zuigcompressor en één schroefcompressor.

<u>Zuigcompressor</u>	<u>Schroefcompressor</u>
	
<ul style="list-style-type: none"> - Richtmerk: GRASSO - Type: RC612 	<ul style="list-style-type: none"> - Richtmerk: GRASSO - Type: RB-1B

Omdat in nieuwe installatie geen buffer aanwezig is tussen de koudevrager en de productie, zoals in de oude installatie, wordt er een schroefcompressor geplaatst. Aan de hand van deze schroefcompressor moet het mogelijk zijn om de capaciteit te regelen en deze samenstelling moet toelaten om soepel op de vraag in te spelen in elk seizoen.

Voordelen van de schroefcompressor t.o.v. zuigcompressor:

- minder roterende onderdelen
- minder onderhoud: om de 25000 uren draaitijd t.o.v. onderhoud om 8000 uren
- langere levensduur
- minder energieverbruik, vooral op deellast
- een schroefcompressor kan volledig modulerend aangestuurd worden van 25% tot 100% terwijl een zuigcompressor steeds in trappen wordt geregeld

Als besluit kan je stellen dat een schroefcompressor lagere uitbatingkosten.

Opmerking: In de figuren is zichtbaar dat de compressoren op, een in beton gegoten, verhoog staan. Als er ooit een lek zou zijn kan het ammoniak naar een goot stromen en zo wegvloeien naar de waterafvoer. Voor de waterafvoer komt er een opvangbuffer, mocht er ooit een lek zijn in de ammoniakleidingen zou het ongeveer twee dagen duren voordat er ammoniak zou komen in de waterafvoer.

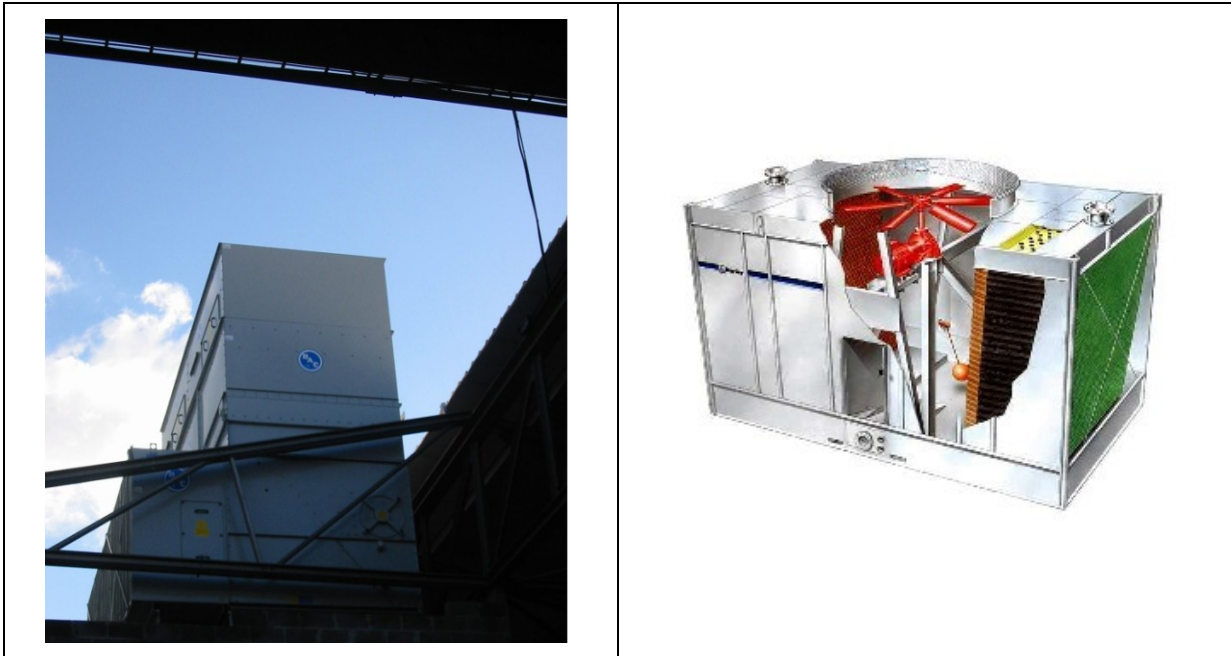
Een van de vier compressoren dient als reserve toestel om in het geval van compressorpanne in de nieuwe of bestaande koelcentrale in te vallen en om sneller de bestaande ijsbuffer 's nachts op te laden zodat een aantal draaiuren over dag kunnen vermeden worden.

1.5.2 De condensor

Voor de condensoren werden er twee verdampingscondensoren, werkend op regenwater of op stadswater, gekozen. De verdampingscondensoren worden op het dak van de nieuwe technische ruimte geplaatst. Voordelen bij het plaatsen boven op het dak zijn.

- akoestiek t.o.v. de burens is niet kritisch door de grote afstand > 100m
- geen lange ammoniakleidingen door de veilinghal (veiligheid, milieu,...)
- kortere responstijd van de koudeproductie

Voor de condensor werd uit het richtmerk BALTIMORE AIRCOIL INTERNATIONAL n.v. afgekort BAC gekozen en voor het type VXC SR 0656. Er werd gekozen voor twee stuks met afmetingen: lengte 6,0 meter, breedte 2,4 meter en een hoogte van 4,2 meter. Wanneer de condensor in werking is heeft hij een gewicht van 18640 kg.



Bij deze condensoren van BAC wordt er ook nog adiabatische koeling toegepast. Het adiabatische koelsysteem zorgt, d.m.v. verneveling van water, voor een groot koelend oppervlak. De ingaande lucht wordt op die manier gekoeld naar de natte boltemperatuur, terwijl de normale koelers niet verder kunnen koelen dan de omgevingsluchttemperatuur. Dit levert de extra koeling die de aanschaf van een extra koeltoren wellicht overbodig maakt.

Omdat grote waterreservoirs niet praktisch zijn, is een goede verneveling essentieel voor een efficiënte adiabatische koeling. Daarom worden meerdere sproeiers ingezet om de drogeboltemperatuur te verlagen voordat de lucht het buizenpakket raakt.

Door deze methode is het waterverbruik minimaal. Het buizenpakket wordt niet verzadigd met water waardoor er geen aanverwante kalkproblemen ontstaan. Water wordt niet gerecirculeerd of opgeslagen en omdat het systeem volledig zelflozend is, zijn er geen problemen met bevriezingen. Voor een toegevoegde veiligheid t.o.v. legionella en verkalking is het systeem uitgerust met een kalkpreventie eenheid en een UV water behandeling.

Ieder adiabatisch systeem heeft een onafhankelijk besturingssysteem wat er voor zorgt dat er alleen water wordt gebruikt als het nodig is. De vraag naar water wordt niet bepaald door de omgevingslucht temperatuur maar door de aangeboden lading en de droge capaciteit van de eenheid.

Wat zijn de voordelen:

- aanpassing koeltorens mogelijk
- relatief kleine investeringskosten
- kleine operationele kosten
- het systeem wordt slechts geactiveerd op het moment dat de ventilator niet meer de gewenste koeling kan leveren

1.5.3 De warmtewisselaar



Voor de twee verschillende temperatuurzones worden warmtewisselaars geplaatst, via deze warmtewisselaars wordt de temper of koudewater op temperatuur gebracht.

	Temperatuur in (°C)	Temperatuur uit (°C)	NH3 in (°C)	NH3 uit (°C)
Temper	4,0	0,0	-5,0	-5,0
Koelwater	11,0	7,0	1,0	1,0

1.5.4 Het koudemiddel

In de Reo-veiling wordt er als koudemiddel ammoniak, of NH₃, gebruikt.

1.5.4.1 Eigenschappen van ammoniak

a Identificatie

Ammoniak is een kleurloos, giftig gas met een sterk prikkelende geur.

Chemische formule: NH₃

CAS nummer: 7664-41-7

UN nummer: 1005

EG nummer: 007-001-00-5

EINECS nummer: 231-635-93

NFPA code: 3-1-0

Door zijn thermodynamische eigenschappen is ammoniak een geschikt koudemiddel in koelinstallaties waarin geen extreme lage temperaturen worden gehandhaafd.

b Fysische eigenschappen

Moleculair gewicht: 17

Kookpunt: -33.4 °C

Smeltpunt: -78 °C

DAMPSPANNING BIJ 20°C: 8.56 BAR

Relatieve dampdichtheid (lucht = 1): 0.6

Oplosbaarheid in water (bij 20°C): 53 g/100 ml

EXPLOSIEGRENZEN (BIJ 20°C EN 1,013 BAR): 15-30 VOL. % LUCHT

13.5-82 vol. % zuurstof

Zelfontstekingstemperatuur: 630°C

Minimale ontstekingsenergie: 100-1000 mJ

Ontbindingstemperatuur: 450°C, in aanwezigheid van ijzer, nikkel, zink, uranium en osmium kan deze ontbinding optreden vanaf 300°C.

Nog andere fysische of natuurlijke eigenschappen van ammoniak of NH₃ zijn:

1. Ammoniak is een brandbaar gas (zonering, warmwerk-vergunningsstelsel)

2. Het oplossen van ammoniak in water gaat gepaard met een grote warmte-ontwikkeling. Op een plas vloeibare ammoniak geen water sproeien aangezien dit de verdamping in de hand zou werken.

3. Ammoniakdamp wordt snel geabsorbeerd in water (1 volume eenheid water absorbeert ongeveer 200 volume eenheden ammoniakdamp). Een watergordijn wordt dan ook gebruikt voor de captatie van ammoniakdampen. Maar men moet wel opletten voor waterindringing in de dampfase van tank, dit kan een vacuüm creëren met het imploderen van de tank als gevolg.

4. Een lek van 1 liter vloeibare NH₃ vormt 125 liter gasvormige ammoniak.
5. De relatieve dichtheid van de ammoniakwolk is afhankelijk van de temperatuur en de concentratie. Ammoniak kan zich dus ook zwaarder gedragen dan lucht. Een lek zorgt voor een drukdaling (van opslag onder druk naar atmosferische druk) en dus in eerste instantie ook voor een temperatuursdaling. Door het afkoelen van het mengsel zal de waterdamp condenseren en er vormt zich een nevel (aërosolen). Naarmate de temperatuur van het mengsel van de ammoniakdampen met de vermengde omgevingslucht oploopt zal de invloed van het dichtheidsverschil tussen ammoniak en de omgevingslucht langzaam toenemen. Dit heeft als gevolg dat de ammoniakdampen zullen opstijgen. Bij een lek zal er een deel van de ammoniak omvormen tot aërosolen (een witte nevel), een deel verdampen (een wolk die niet zichtbaar is) en een deel als vloeibaar ammoniak blijven. De condities waaronder de aërosolen zich vormen is erg variabel en afhankelijk van factoren zoals druk van de opslag, de vochtigheid van de lucht. Men mag rekenen dat er 15-20% VAN DE VRIJGEKOMEN AMMONIAK ONMIDDELLIJK VERDAMPT.

c Chemische eigenschappen

Typisch chemische eigenschappen van ammoniak zijn:

1. In aanwezigheid van vocht is ammoniak corrosief, er is wel steeds een zekere hoeveelheid water nodig (0.2 gew. %) om SCC (Stress Corrosion Cracking) te vermijden. Naast de hoeveelheid water speelt ook de concentratie aan zuurstof een belangrijke rol om SCC te vermijden. De O₂-concentratie mag niet groter zijn dan 2.5 ppm w/w.
2. Ammoniak vormt bij verbranding giftige en bijtende gassen / dampen (NO_x).
3. Als ammoniak in contact komt met constructiematerialen:
 - gevaar voor SCC (Stress Corrosion Cracking): geen gebruik maken van gehard en ontlaten staal. Indien gebruik wordt gemaakt van ongelegeerd staal dan mag de minimum gespecificeerde rekgrens daarvan niet hoger zijn dan 355 MPa.
 - ammoniak is corrosief t.o.v. aluminium, koper, zink, kwik en zilver en veel van hun legeringen.
4. Ammoniak reageert exothermisch met zuren en oxidatiemiddelen.
5. Halogenen reageren bij lagere temperaturen met ammoniak waardoor stikstofhalogeenvormingen of ammoniak-halogeniden gevormd worden. Deze verbindingen zijn zeer explosief. Explosie treedt op onder invloed van schokken, licht of hitte. Dit is de reden dat er als blusmiddel geen halonen mogen worden gebruikt.
6. Ammoniak kan onder bepaalde omstandigheden reageren met kwikzilver tot explosieve componenten. Onder druk vormen kwikzilver en ammoniak een component van verschillende moleculen ammoniak per atoom kwikzilver. Deze component is ogenschijnlijk niet explosief. Wanneer de druk daalt wordt de verhouding tussen het aantal moleculen ammoniak ten opzichte van een atoom kwikzilver ook verlaagd, er vormt zich dan een ontplofbare component.
7. Ammoniak reageert met koolstofdioxide tot carbamaten. Deze kunnen filters verstopen.

1.5.4.2 *Gevaren verbonden met ammoniak*

a Giftigheid

Ammoniak-dampen zijn afhankelijk van de mate van blootstelling schadelijk voor de gezondheid.

Reukgrens 5 ppm

Grenswaarde 25 ppm

Korte tijdswaarde 35 ppm

Prikkeling ogen, luchtwegen 100 ppm

Ademhalingsmoeilijkheden 1700 ppm (blootstelling gedurende 0.5 uur kan reeds fataal zijn)

Dodelijk na korte blootstelling (15 min.) 3500-3700 ppm

Dodelijk binnen enkele minuten 5000 ppm

Contact van vloeibare ammoniak met de huid veroorzaakt ernstige brandwonden en het koude effect kan bevriezing van de huid veroorzaken.

b Brand- en ontploffingsgevaar

Ammoniak is niet erg brandbaar. Een koudgekookte ammoniakpoel brandt niet op een zichzelf onderhoudende manier, zoals de meeste koolwaterstoffen. Dit wordt veroorzaakt doordat er onvoldoende warmtestraling vanuit de vlammen, dewelke erg doorzichtig zijn, in de poel terechtkomen. Wanneer er op een andere manier warmte wordt toegevoegd, bijvoorbeeld uit de grond of met water, is er brand mogelijk. In tegenstelling tot mengsels van ammoniak en lucht zijn mengsels van zuurstof en ammoniak zijn zeer explosief.

1.5.4.3 *Classificatie*

VOLGENS HET KB VAN 11 JANUARI 1993 TOT REGELING VAN DE INDELING, DE VERPAKKING EN HET

kenmerken van gevaarlijke preparaten met het oog op het op de markt brengen of het gebruik ervan (BS. 17-5-1993) is de classificatie van ammoniak:

R10: ONTVLAMBAAR

- T, R23: giftig bij inademing
- C, R34: veroorzaakt brandwonden
- N, R50: zeer giftig voor in het water levende organismen

1.5.4.4 *Opslag van ammoniak*

MEN KAN AMMONIAK VLOEIBAAR MAKEN DOOR DE DRUK TE VERHOGEN OF DOOR DE TEMPERATUUR TE

verlagen. Deze eigenschap zorgt ervoor dat ammoniak op verschillende wijzen in de vloeistoffase kan worden opgeslagen. Er wordt doorgaans volgens drie verschillende methodes opgeslagen, afhankelijk van de hoeveelheid:

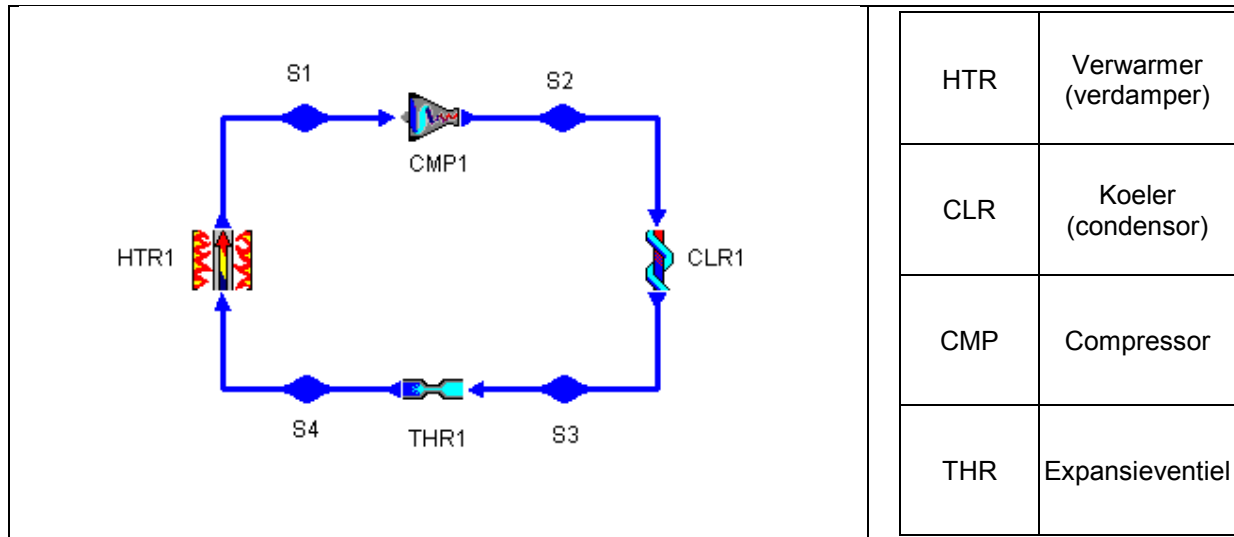
- minder dan 500 ton: in cilindrische opslagtanks onder druk
- tussen de 500 en de 3000 ton: in sferische opslagtanks onder druk
- vanaf 3000 ton: opslag bij omgevingsdruk en op een temperatuur van -33°C

Er dient wel opgemerkt te worden dat ook combinaties mogelijk zijn van afkoelen en het opslaan onder druk, men spreekt dan over semi-druk of semi-gekoelde opslag.

1.6 Mogelijke diagrammen

1.6.1 Opstellen van de koelcyclus

Als we de koelcyclus eenvoudig zouden moeten voorstellen, dan bestaat ze uit volgende vier componenten:



In deze cyclus zijn S1, S2, S3 en S4 meettoestellen die in de leidingen tussen de componenten de druk, temperatuur, verplaatst volume, enz. meten.

1.6.2 Temperatuur-Entropie diagram

Uitgaande van deze eenvoudige koelcyclus kunnen we de temperatuur-entropie diagram (of T-S diagram) opstellen. Voor dit diagram gebruikt men de volgende twee toestandsgrootheden:

- Temperatuur (T): de grootte die de warmte van het koudemiddel aanduidt, met als eenheid Kelvin (K).
- Entropie (S): de som van de gereduceerde warmtehoeveelheden tussen twee toestanden is het entropieverschil tussen beide toestanden. De entropie is uitgedrukt in kJ/K.

1.6.3 Het negatieve Carnotproces

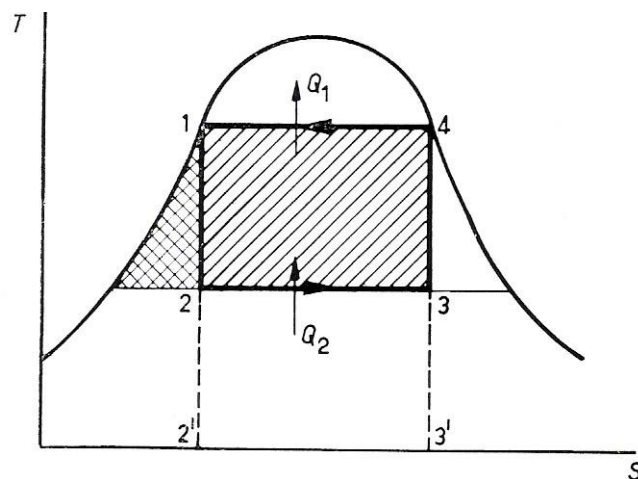
Op het negatieve Carnotproces die in de figuur is weergegeven, vinden we:

- 1-2 de isentrope expansie van de vloeistof in een expansiecilinder
- 2-3 de verdamping van de vloeistof t.g.v. warmteopname uit de koelcel
- 3-4 de isentrope compressie van de natte damp
- 4-1 de condensatie van verzadigde damp in een condensor

Q_1 = de in de condensor afgegeven warmte. Dit komt overeen met de oppervlakte 4-1-2'-3'

Q_2 = de warmte opgenomen in de verdamper. Dit komt overeen met de oppervlakte 2-3-3'-2'

$Q_1 - Q_2 = W$. Dit komt overeen met de oppervlakte 1-2-3-4



De netto toe te voeren arbeid komt overeen met het oppervlak ingesloten door het kringproces. Ditzelfde resultaat kan worden verkregen door W op te vatten als het verschil tussen de toegevoerde arbeid in de compressor en de geleverde arbeid in de expansiecilinder.

$W_{i\ 3-4} = h_4 - h_3$. Dit komt overeen met het naar links gearceerde oppervlak.

$W_{i\ 1-2} = h_1 - h_2$. Dit komt overeen met het naar rechts gearceerde oppervlak.

De koudefactor:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= Q_2 / W \\ &= Q_2 / (Q_1 - Q_2) \\ &= T_2 (s_3' - s_2') / (T_1 - T_2) (s_3' - s_2') \\ &= T_2 / (T_1 - T_2) \end{aligned}$$

Dit is de maximale waarde van de koudefactor die bij de gegeven temperatuurgrenzen mogelijk is. Als men weet dat T_2 zo hoog mogelijk moet worden genomen en T_1 zo laag mogelijk. Dan betekent dit dat de verdampingstemperatuur niet lager moet zijn dan strikt noodzakelijk is en dat het gunstig is als men over koud koelwater kan beschikken.

Zijn de toestanden 1 en/of 4 niet op de grenskromme maar in het coëxistentiegebied gelegen, dan blijft ε onveranderd. Wel zal de koudeproductie per kg koelmedium afnemen, zodat voor een zekere koelcapaciteit de circulerende hoeveelheid koelmedium groter zal moeten worden.

1.6.4 Ideale situatie

Nemen we nu aan dat we werken met een ideale koelinstallatie, dan krijgen we een T-S diagram als dat bij het negatieve carnotproces (zie figuur 1). We weten enkel dat we een koelinstallatie hebben werkend met ammoniak (NH₃) en deze heeft als:

- verdampingstemperatuur: -5°C
- condensatietemperatuur: 35°C

Bepalen we het T-S diagram voor dit ideale geval dan verkrijgen we volgende figuur.

Uit de tabellen voor ammoniak leiden we af dat

	vloeistof		damp
S ₁	= 4,7514	S ₄	= 8,3965
S ₆	= 4,1010	S ₅	= 8,8728

1) Het dampgehalte na expansie in punt 2:

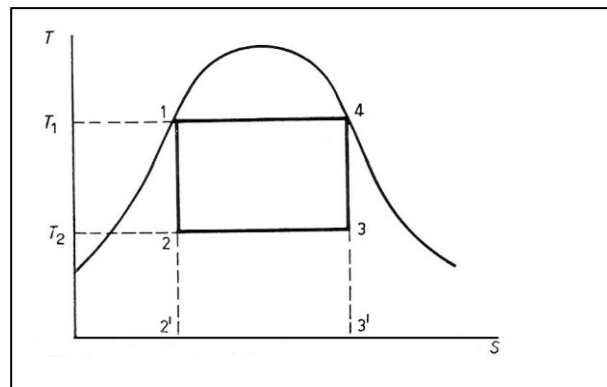
$$S_1 = S_2 \quad (1)$$

$$S_2 = x_2 \times S_5 + (1 - x_2) \times S_6$$

$$x_2 = (S_2 - S_6) / (S_5 - S_6)$$

rekening houdende met (1)

$$x_2 = \frac{(S_1 - S_6)}{(S_5 - S_6)} = \frac{(4,7514 \text{ kJ} - 4,1010 \text{ kJ})}{(8,8728 \text{ kJ} - 4,1010 \text{ kJ})}$$



Het dampgehalte na expansie in ideaal geval is gelijk aan $0,1363 \times 100\% = 13,63\%$.

2) Het dampgehalte voor de compressie in punt 3:

Zelfde wijze als bij het berekenen van x_2 :

$$x_3 = \frac{(S_3 - S_6)}{(S_5 - S_6)} \quad \text{met } S_3 = S_4$$

$$= \frac{(S_4 - S_6)}{(S_5 - S_6)} = \frac{(8,3965 \text{ kJ} - 4,1010 \text{ kJ})}{(8,8728 \text{ kJ} - 4,1010 \text{ kJ})}$$

$$= 0,900$$

Het dampgehalte net voor compressie is in ideaal geval gelijk aan $0,900 \times 100\% = 90\%$.

3) De koudefactor ε

Uit de tabel voor ammoniak (NH₃) leiden we af dat:

	vloeistof		damp
h_1	= 584,51	h_4	= 1707,6
h_6	= 395,53	h_5	= 1674,8

$$\begin{aligned}\varepsilon &= Q_2 / |W| &&= (h_3 - h_2) / [(h_4 - h_3) - (h_1 - h_2)] &&= T_2 / (T_1 - T_2) \\ &&&= (273 \text{ K} - 5^\circ\text{C}) / [(273 \text{ K} + 35^\circ\text{C}) - (273 \text{ K} - 5^\circ\text{C})] \\ &&&= 6,7\end{aligned}$$

4) De arbeid en hoeveelheid opgenomen warmte

$$\begin{aligned}W &= (S_3 - S_2) \times (T_1 - T_2) &&= (S_4 - S_1) \times (T_1 - T_2) \\ &= (8,3965 \text{ kJ} - 4,7514 \text{ kJ}) \times (308 \text{ K} - 268 \text{ K}) \\ &= 145,804 \text{ kJ}\end{aligned}$$

Uit vorige berekeningen wisten we al de arbeid W en de koudefactor ε af te leiden, met deze waarden kunnen we nu ook de hoeveelheid opgenomen warmte Q_2 berekenen.

$$\begin{aligned}\text{Als } \varepsilon &= Q_2 / |W| &&\text{ dan is } Q_2 &= \varepsilon \times |W| \\ Q_2 &= 6,7 \times 145,804 \text{ kJ} &&= 976,88 \text{ kJ}\end{aligned}$$

5) Rendement

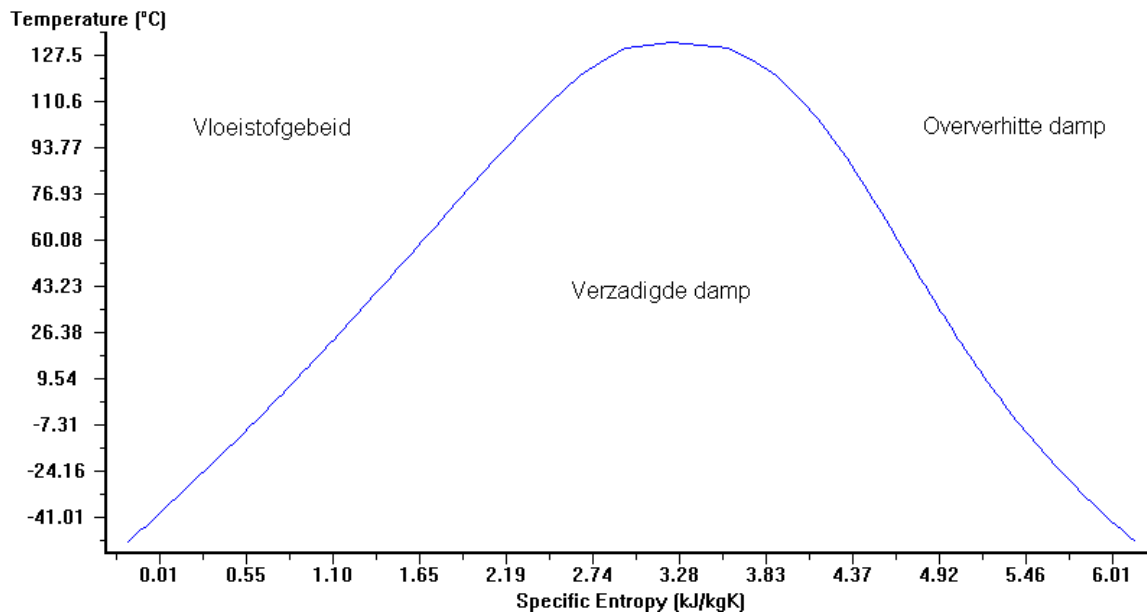
$$\begin{aligned}\eta &= (Q_1 - Q_2) / Q_1 &&= (T_1 - T_2) / T_1 &&= 1 - T_2 / T_1 \\ &= (308 \text{ K} - 268 \text{ K}) / (308 \text{ K}) &&= 0,1299 \times 100\% &&= 12,99 \%\end{aligned}$$

Opmerking: Het rendement is afhankelijk van de aard van het koudemiddel, wordt deze koelcyclus toegepast met freon dan zal het rendement respectievelijk 13,4% zijn.

Deze berekeningen zijn voor een ideale koelmachine met een expansiecilinder, maar omdat een expansiecilinder gecompliceerd is, weinig bedrijfszeker en een geringe hoeveelheid arbeid levert zal men dit vervangen door een regelkraan of expansieventiel. Dit zorgt wel voor een daling van het rendement.

1.6.5 Opstellen van het T-S diagram voor werkelijke toestand

Voor het T-S diagram bestaat er voor elke (koel)vloeistof een vloeistoflijn. Deze lijn ontstaat door alle punten te verbinden waarbij de damp of vloeistof net verzadigd is. Deze punten geven dan de temperaturen en de daarbijbehorende drukken weer. Wij weten dat in de koelcyclus ammoniak (NH_3) of R717 circuleert. Dus krijgen we de volgende vloeistoflijn:

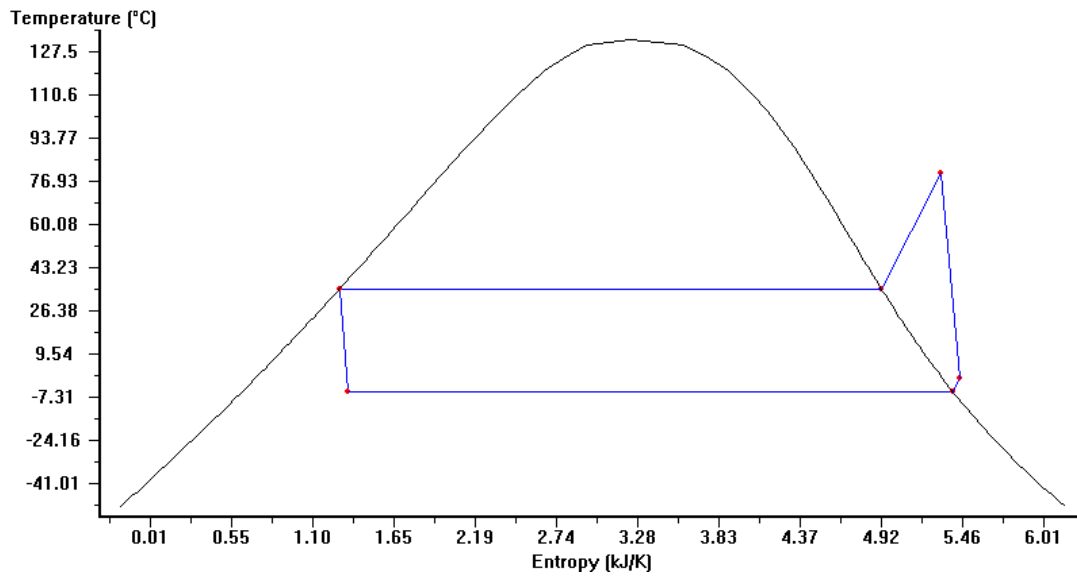


Om het T-S diagram op te stellen leiden we uit de gegevenfiches van de compressoren en condensors (zie bijlagen) de volgende waarden af:

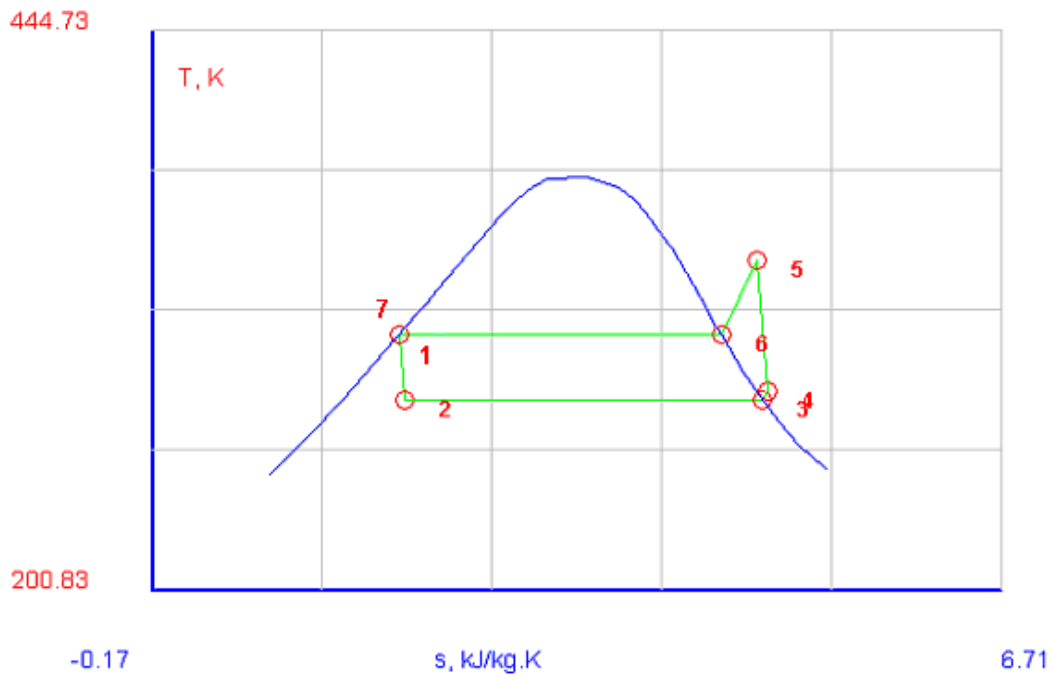
- Verdampingstemperatuur: -5°C
- Oververhitting: 5°C
- Condensatietemperatuur: 35°C
- Onderkoeling: 0°C

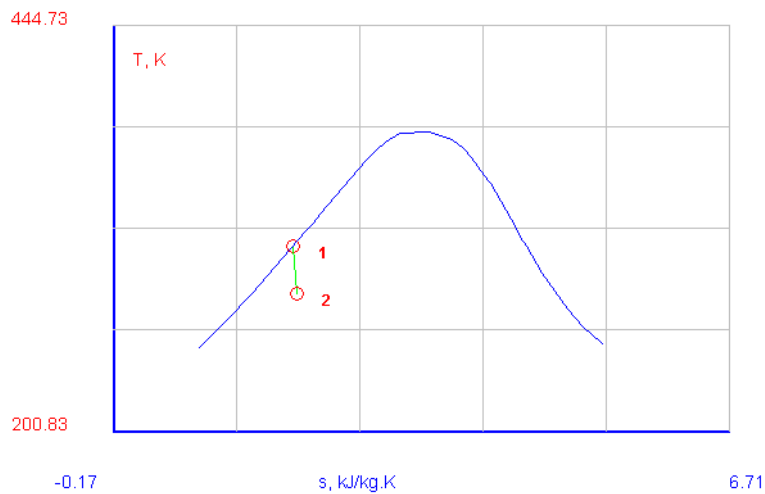
Opmerkelijk hier is dat er niet wordt onderkoeld (0°C), dit wordt niet nodig geacht voor het behalen van de opgegeven temperaturen.

Construeren we het T-S diagram aan de hand van de opgegeven waarden dan verkrijgen we volgende cyclus:



Bekijken we dit T-S diagram van wat dichterbij dan kunnen we zien dat het bestaat uit meerdere gedeeltes of stappen.



Van punt 1 naar punt 2: expansie van het ammoniak

Uit de gegevenfiches (zie bijlage) van ammoniak leiden we af dat verzadigde ammoniak, bij een temperatuur van 35°C, een druk heeft van 13,51 bar. Bij 0°C heeft verzadigde ammoniak een druk van 3,55 bar.

Het ammoniak stroomt dus naar het expansieventiel met een druk van 13,51 bar en een temperatuur van 35°C. Na het expansieventiel is de druk 3,55 bar en is er een temperatuur van 0°C. Deze drukval vindt plaats bij een constante warmte-inhoud, de enthalpie of h voor -5°C en 35°C is 346,8 kJ/kg.

Het dampgehalte na expansie in punt 2 is gelijk aan:

$$x_2 = \frac{(h_1 - h_{vl})}{r}$$

Hierbij is:

$h_1 = h_2$: de enthalpie na expansie in punt 2

h_{vl} : de enthalpie die behoort bij de verdampingstemperatuur

$r = h_d - h_{vl}$

$$x_2 = \frac{(586,41 \text{ kJ/kg} - 395,53 \text{ kJ/kg})}{1279,3 \text{ kJ/kg}} = 0,149 \times 100\%$$

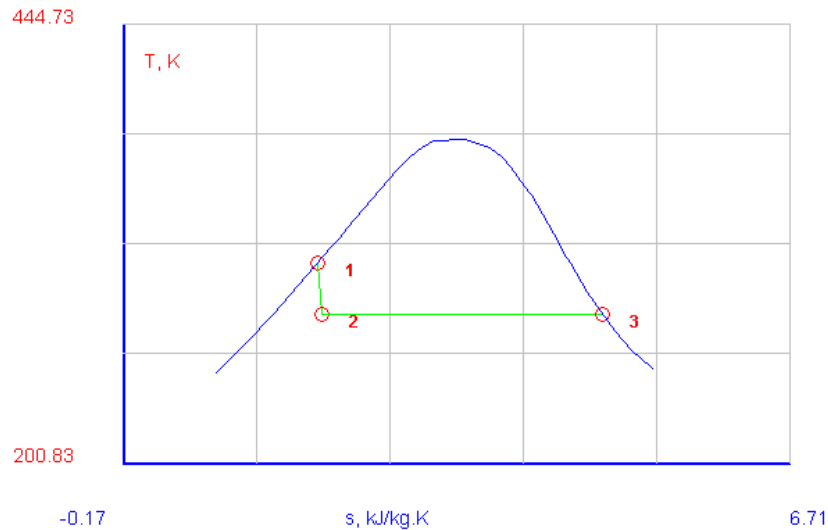
$$x_2 = 14,9\% \quad \cong 15\%$$

Uit de berekende waarden kunnen we afleiden dat het ammoniak reeds 15% is verdampt om de temperatuur te verlagen van 35°C tot -5°C. Deze dampvorming is nodig voor het verkrijgen van de lage temperatuur, een nadeel hieraan is wel dat er een vermindering van koudeproductie is.

Opmerking: de waarden van de enthalpieën voor de berekeningen zijn genomen uit de tabellen die te vinden zijn in de bijlage achteraan, daarom verschillen ze met de gemeten waarden.

Van punt 2 naar punt 3: verhitten van het ammoniak

Om te verdampen moet het koudemiddel (ammoniak) een zekere hoeveelheid warmte opnemen. Deze warmte onttrekt ze van het te koelen product, in dit geval de lucht of de andere koelvloeistoffen (Temper, koelwater).



De hoeveelheid ontnomen warmte is:

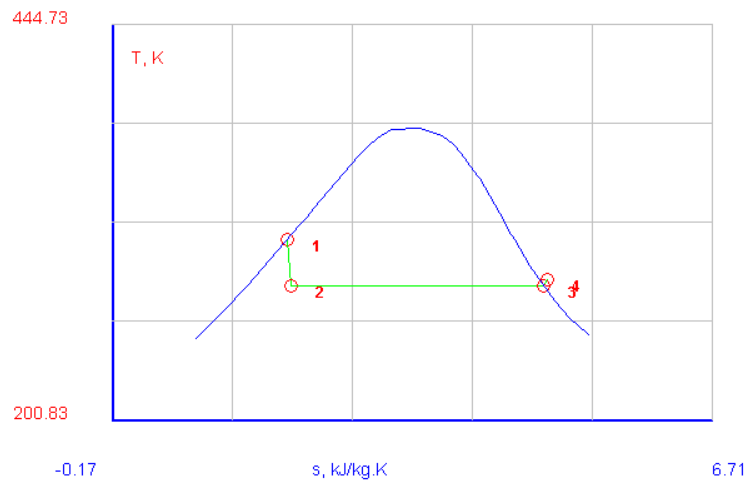
$$\begin{aligned}
 &= (S_3 - S_2) \times T &&= (5,3977 \text{ kJ/K} - 1,33325 \text{ kJ/K}) \times 268,15 \text{ K} \\
 &= 1090,43 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

een andere manier om de ontnomen warmte te berekenen is het verschil nemen van de enthalpies:

$$\begin{aligned}
 &= h_3 - h_2 &&= 1436,7 \text{ kJ/kg} - 346,8 \text{ kJ/kg} \\
 &= 1098,9 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

stellen we de massa gelijk aan $m = 1 \text{ kg}$ dan is 1098,9 kJ/kg \cong 1091,43 kJ.

Op dit moment is het ammoniak ook voor 100% in dampvorm verandert.

Van punt 3 naar punt 4: oververhitten van het koudemiddel

Nadat alle vloeistof is verdampt, wordt het verzadigde gas oververhit van -5°C tot 0°C . De oververhitting verloopt volgens een constante druk. Omdat bij compressie de verzadigde damp oververhit is moet de condensor eerst de oververhittingwarmte afvoeren voordat hij kan overgaan met condenseren.

Hierbij is de warmte die tijdens de oververhitting opgenomen wordt gelijk aan :

$$= h_4 - h_3 = 1449,2783 \text{ kJ/kg} - 1436 \text{ kJ/kg} = 13,2783 \text{ kJ/kg}$$

Men kan terug de warmte-inhoud te berekenen aan de hand van de entropie's, hiervoor splitsen we het oppervlak in twee delen:

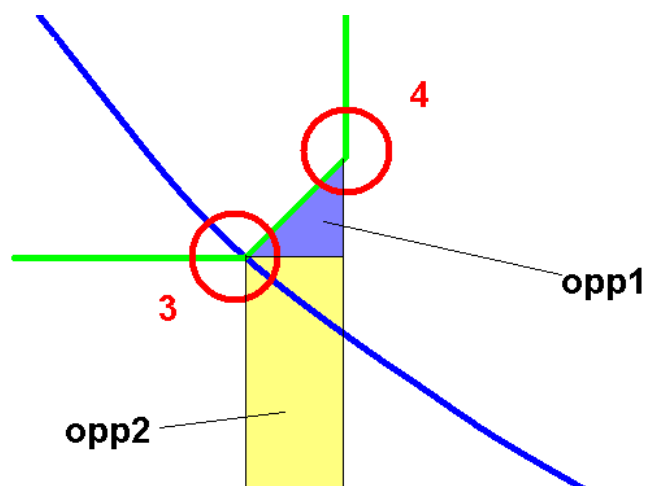
Hierbij is het is de totale warmte-inhoud gelijk aan de som van de twee oppervlaktes:

Oppervlakte 1:

$$= (s_4 - s_3) \times \Delta T / 2$$

$$= (5,44319 - 5,3977) \times 278 / 2$$

$$= 6,323 \text{ kJ}$$



Oppervlakte 2:

We moeten hier een referentiewaarde nemen zodat we ΔT zouden kunnen berekenen. We kunnen deze berekening niet volledig oplossen omdat we de referentiewaarde niet kennen.

$$= (S_4 - S_5) \times \Delta T = (5,44319 - 5,3977) \times (268 - ?)$$

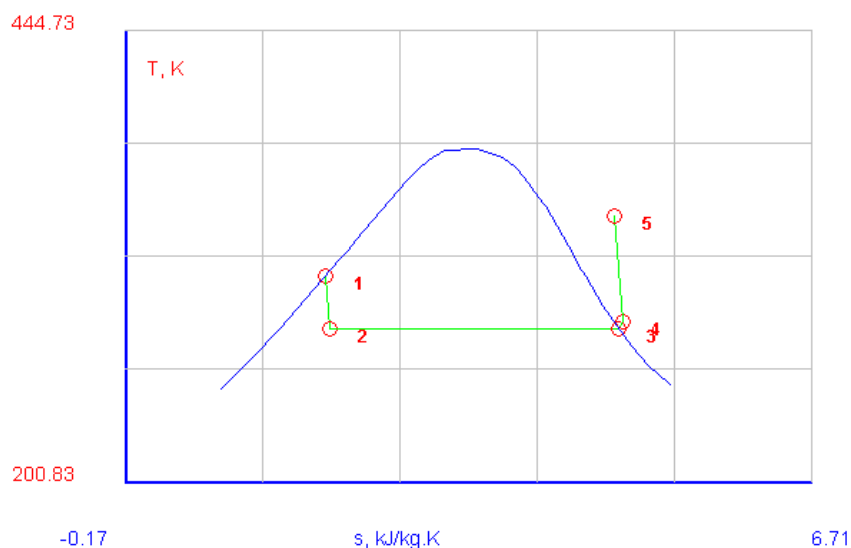
De som van beide oppervlakken is dus:

$$= \text{Opp1} + \text{Opp2} = ?$$

De nodige referentiewaarden zijn vroeger onderzoeksgewijs bepaald geweest en in tabellen vastgelegd. Omdat dit te veel onderzoek vereist laten we deze berekeningswijze links liggen.

Van punt 4 tot punt 5: compressie van het koudemiddel

Om de condensatietemperatuur van 35°C te bereiken moet het gas gecomprimeerd worden tot 13,51 bar. De temperatuur loopt door de geleverde energie op tot 80°C (de perstemperatuur).



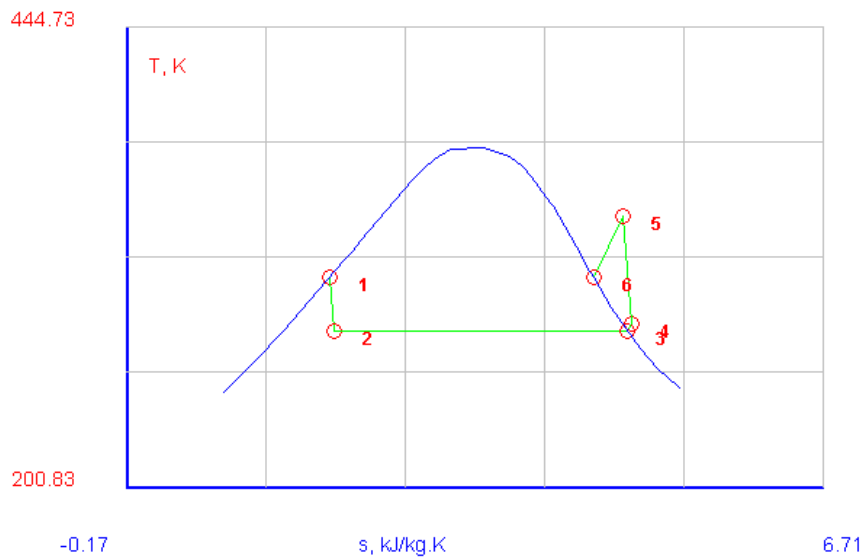
De arbeid nodig om dit uit te voeren is gelijk aan het verschil van de enthalpie's van de twee punten.

$$\begin{aligned} &= h_5 - h_4 = 1449,2783 \text{ kJ/kg} - 1600,7392 \text{ kJ/kg} \\ &= -151,45 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Opmerking: Dit is de arbeid die compressor nodig heeft om een cyclus te doorlopen.

Van punt 5 tot punt 6: begin condensatie

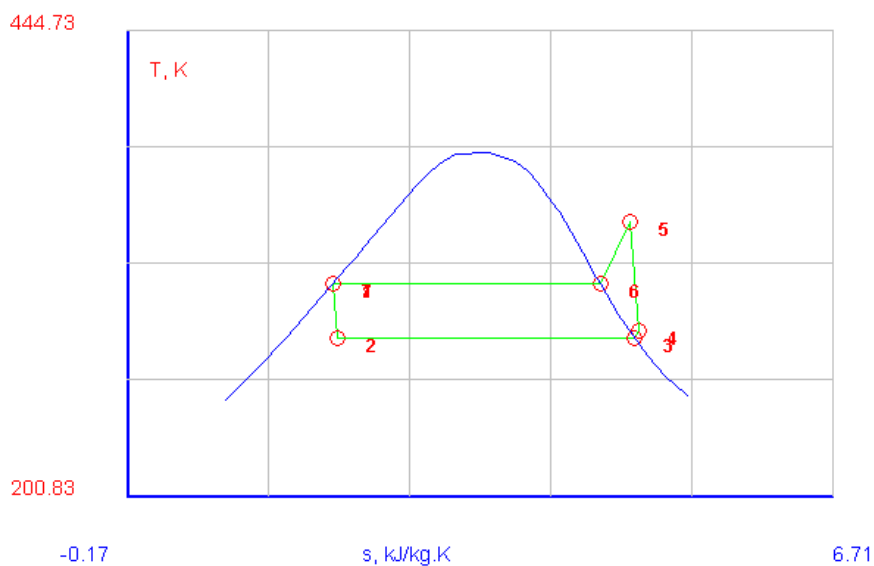
In dit gedeelte wordt de warmte die werd toegevoerd tijdens het oververhitten terug afgevoerd door lucht die op de leidingen wordt geblazen. Als lucht niet genoeg is, zoals in de zomer als de lucht te warm is, worden de buizen met het ammoniak besprenkeld met water.



De afgevoerde warmte in deze fase is gelijk aan:

$$= h_5 - h_6 = 1600,7329 \text{ kJ/kg} - 1468,6 \text{ kJ/kg}$$

$$= 132,1329 \text{ kJ/kg}$$

Van punt 6 tot punt 7: condenseren van het koudemiddel

De condensatiewarmte wordt verder afgevoerd door middel lucht of water.

De rest van de afgevoerde warmte is gelijk aan:

$$\begin{aligned} &= h_6 - h_7 &&= 1468,6 \text{ kJ/kg} - 346,8 \text{ kJ/kg} \\ &= 1121,8 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Afsluitende berekeningen

1) De koudefactor

Zien we naar de gegevens die we kunnen terugvinden in de fiches van de compressors dan kunnen we voor deze cyclus de koudefactor ε berekenen.

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{Q_2}{|W|} &&= \frac{Q_0}{P_e} &&= \frac{556 \text{ kW}}{127 \text{ kW}} \\ &= 4,378 \end{aligned}$$

Deze waarden voor Q_0 (koelcapaciteit) en P_e (asvermogen) zijn afgeleid uit de gegevenfiches voor de zuigercompressoren RC612. Voor de schroefcompressor is de koudefactor ongeveer gelijk aan die van de zuigercompressoren.

Uit de gegevenfiches voor de schroefcompressor leiden we af:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\text{schroef}} &= \frac{Q}{P} &&= \frac{\text{koelcapaciteit}}{\text{opgenomen vermogen}} \\ &= \frac{1002 \text{ kW}}{229 \text{ kW}} \\ &= 4,376 &&\cong 4,378 \end{aligned}$$

2) De hoeveelheid opgenomen warmte

Aan de hand van de berekeningen kunnen we afleiden dat de koudefactor ε respectievelijk gelijk is aan 4,376 en dat de arbeid W -151,45 kJ/kg is. Met deze waarden kunnen we nu de hoeveelheid opgenomen warmte berekenen:

$$Q_2 = \varepsilon \times |W| = 4,376 \times 151,45 \text{ kJ/kg} = 662,75 \text{ kJ}$$

3) Het rendement

Als laatste kunnen we van deze cyclus ook nog het rendement gaan bepalen:

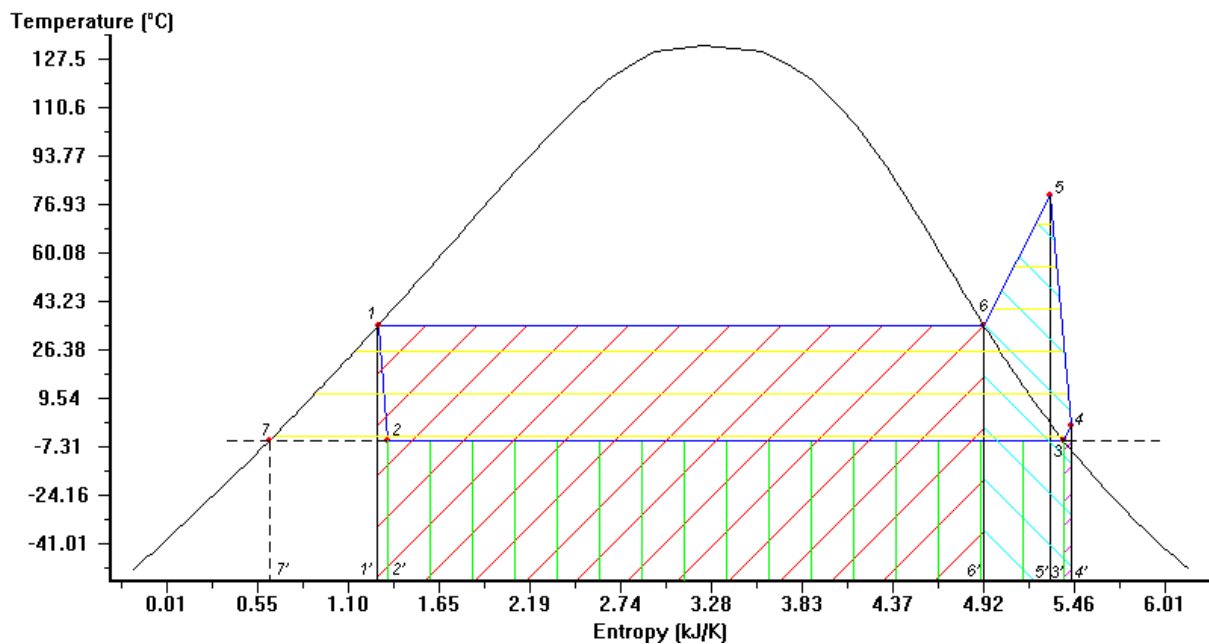
$$\begin{aligned} \eta &= \frac{(h_5 - h_4)}{(h_5 - h_2)} &&= \frac{(1600,7329 - 1449,2783)}{(1600,7329 - 346,8)} \\ &= 0,1208 \times 100\% &&= 12,08\% \end{aligned}$$

Vergelijken we deze waarden van de echtelijke toestand met dat van de ideale cyclus, dan kunnen we besluiten dat door de stijging van de arbeid (145,80 kJ t.o.v. 151,45 kJ) en een daling van de opgenomen warmte tijdens één cyclus er een daling is van rendement en we een kleinere koudefactor verkrijgen.

1.6.6 Besluit voor het T-S diagram

We kunnen het T-S diagram dus in verschillende stukken delen waarvan het oppervlakte gelijk is aan de hoeveelheid warmte die opgenomen of afgevoerd wordt. Maar om deze oppervlaktes te berekenen is de werkwijze net iets te omslachtig en te moeilijk om op dit diagram terug te vallen voor de berekeningen te maken.

Hier zijn nog eens alle stukken waarin men het T-S diagram kan opdelen.



opp. 2-3-3'-2' = $h_2 - h_1$
= warmte door het koelmedium tijdens de verdamping opgenomen

opp. 3-4-4'-3' = $h_3 - h_2$
= warmte door het koelmedium tijdens de oververhitting opgenomen

opp. 5-6-6'-4' = $h_4 - h_5$
= de met koelwater afgevoerde oververhittingwarmte

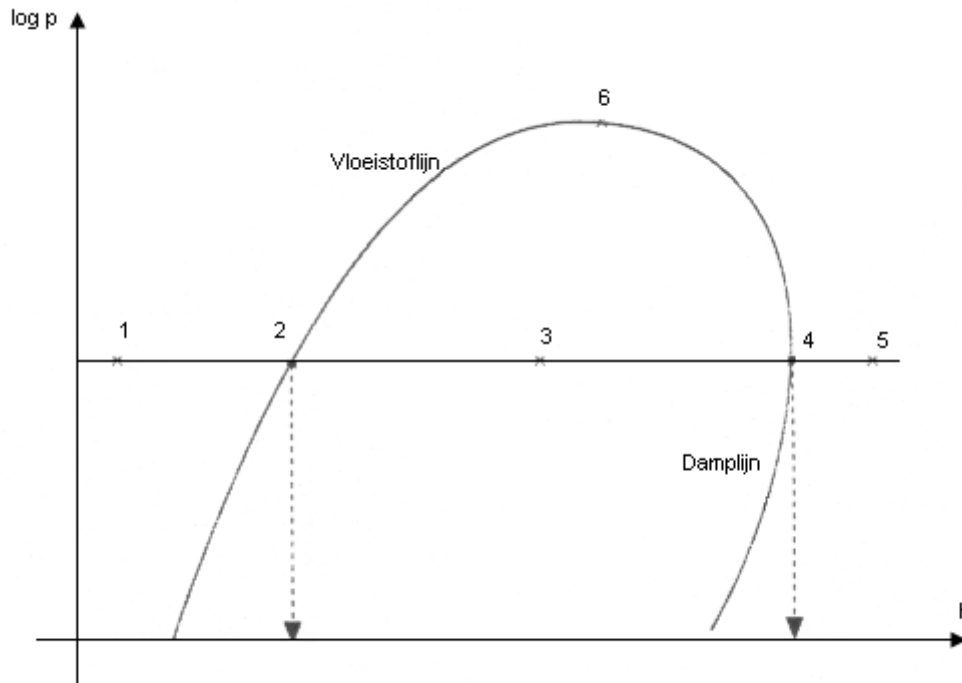
opp. 6-1-1'-6' = $h_5 - h_1$
= de met koelwater afgevoerde condensatiewarmte

opp. 5-6-1-7-3-4 = $h_4 - h_3$
= de voor de compressor benodigde arbeid

1.6.7 Het (h-log p)-diagram

De toestand, waarin een vloeistof of gas bij een constante druk of verschillende drukken zich zal bevinden, kan worden weergegeven in een enthalpie-drukdiagram, kortweg (h, log p)-diagram. Het dient er om een goed uitzicht te krijgen in het koudeproces.

Op het volgende voorbeeld kun je de gebieden in het (h, log p)-diagram zien.



- 1 = Vloeistof
- 2 = Verzadigde vloeistof
- 3 = Natte damp
- 4 = Verzadigde damp
- 5 = Oververhitte damp
- 6 = Kritisch punt (zonder enige overgang rechtstreeks overgaan van vloeistof naar oververhitte damp)

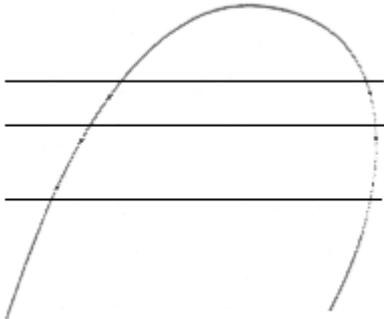
De drie gebieden: vloeistof, natte damp en oververhitte damp. Deze worden gescheiden door de volgende lijnen.

0% damp en 100% vloeistof, is de vloeistoflijn

100% damp en 100% vloeistof, is de damplijn

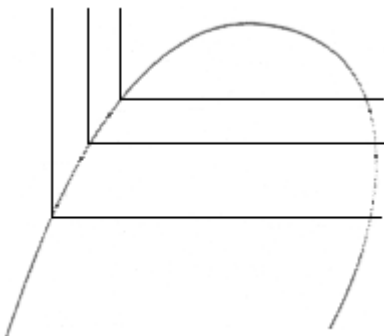
1.6.7.1 Isobaren in het $(h, \log p)$ -diagram

Een isobaar is de verzameling van alle punten waar de druk constant blijft. In het diagram zijn dit alle horizontale lijnen.



1.6.7.2 Isothermen in het $(h, \log p)$ -diagram

Een isotherm is de verzameling van alle punten waar de temperatuur constant blijft. In het diagram is in het gebied tussen de vloeistoflijn en de verzadigde damplijn steeds damp en vloeistof aanwezig. In dit gebied, kookt de vloeistof.



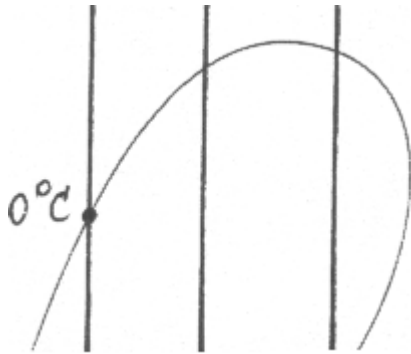
1.6.7.3 Isochoren in het $(h, \log p)$ -diagram

Een isochoor is de verzameling van alle punten waar het soortelijke volume constant blijft.



1.6.7.4 Isenthalpen in het $(h, \log p)$ -diagram

Een isenthalpe is de verzameling van alle punten waar de warmte-inhoud constant blijft. In het diagram zijn dit alle verticale lijnen.



1.6.7.5 Isopyknen in het $(h, \log p)$ -diagram

Een isopykne is de verzameling van alle punten waar het dampgehalte constant blijft. De isopyknen komen alleen in het natte gebied voor.



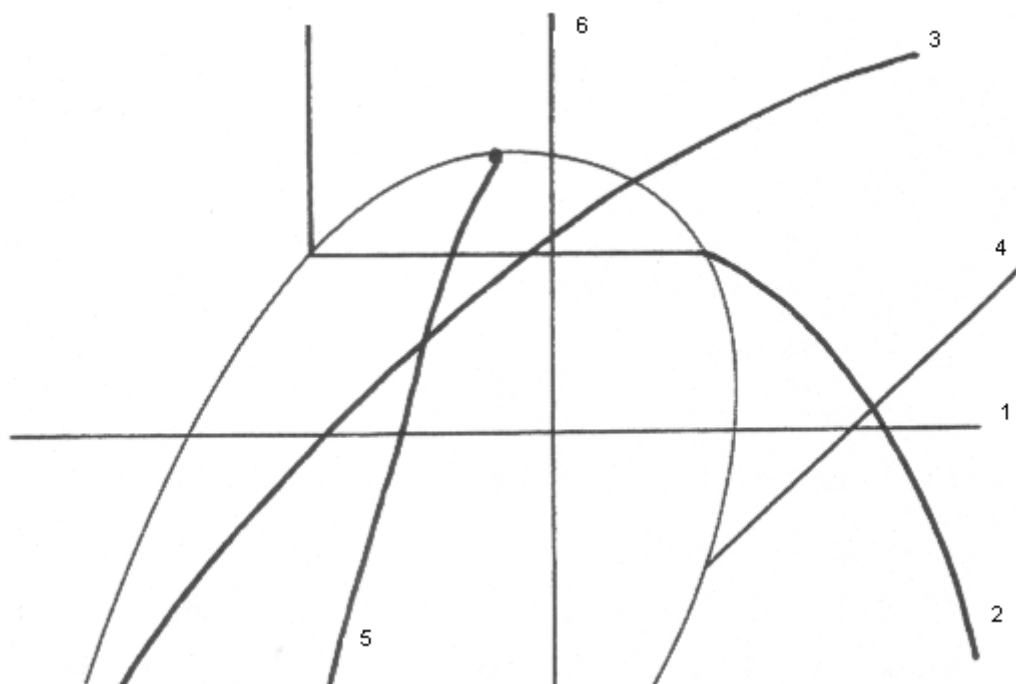
1.6.7.6 Adiabaten in het $(h, \log p)$ -diagram

Een adiabaat is de verzameling van alle punten waar Q nul is. (geen warmte-uitwisseling met de omgeving). Een adiabatische toestandsverandering ontstaat, als tijdens het comprimeren van een gas geen warmte wordt toe- of afgevoerd.



1.6.7.7 Samenvatting van het (h, log p)-diagram

Hieronder zie je een samenvatting van alle lijnen in het (h, log p)-diagram



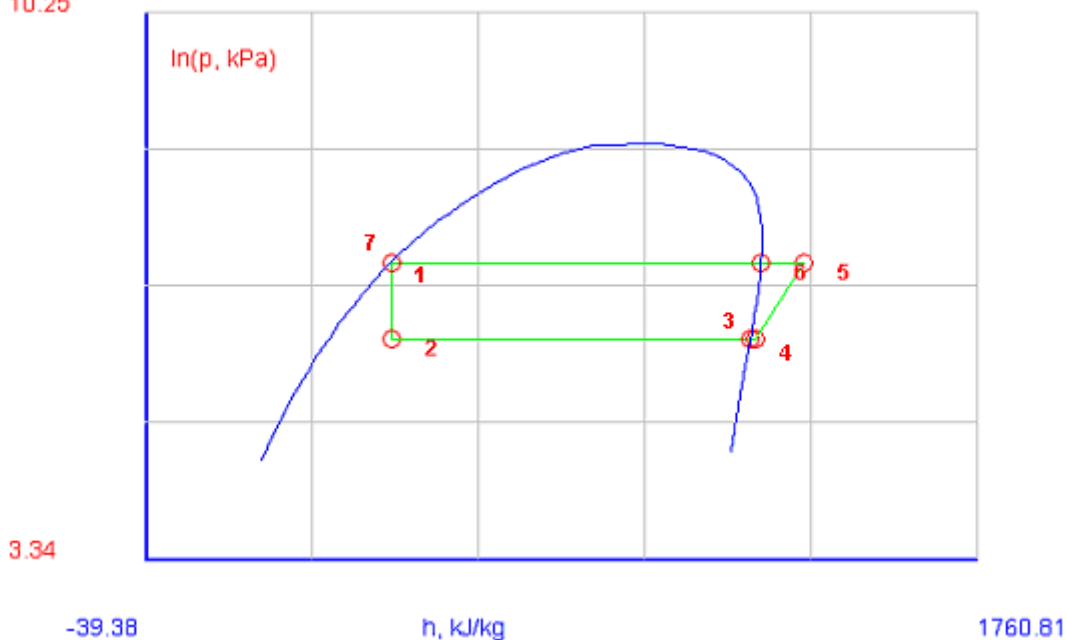
- 1 = Isobaar
- 2 = Isotherm
- 3 = Isochoor
- 4 = Adiabaat
- 5 = Isopykne
- 6 = Isenthalpe

1.6.8 De druk-enthalpie diagram

Meeste berekeningen in verband met koelinstallaties worden gemaakt aan de hand van een log p-h diagram. Verticaal zet men de druk logaritmisch uit en horizontaal hebben we de enthalpie waarden. De benodigde arbeid voor de compressor en alle warmtehoeveelheden zijn op het log p-h diagram als horizontale lijnstukken op te meten. Dus zullen de berekeningen sneller op te lossen zijn dan bij het T-S diagram.

Stellen we de druk-enthalpie diagram op voor dit geval dan verkrijgen we volgende grafiek:

10.25



De gemeten waarden waren:

	h (kJ/kg)	p (bar)
punt 1	346,8	7,20815
punt 2	346,8	5,87184
punt 3	1436,7	5,87184
punt 4	1449,2783	5,87212
punt 5	1600,7329	7,2086
punt 6	1468,6	7,20816
punt 7	346,8	7,20815

$h_4 - h_2$	= 1102,48 kJ/kg
$h_5 - h_4$	= 151,45 kJ/kg
$h_7 - h_5$	= -1253,93 kJ/kg

We hebben aan de hand van de waarden in de tabellen in de bijlagen zelf het log p-h diagram opgesteld. Hierbij is opmerkelijk dat de schaalwaarden van de enthalpie of h verschillen van wat het simulatieprogramma meet. Maar het is vooral het enthalpieverschil of Δh dat belangrijk is in de berekeningen voor koelinstallaties.

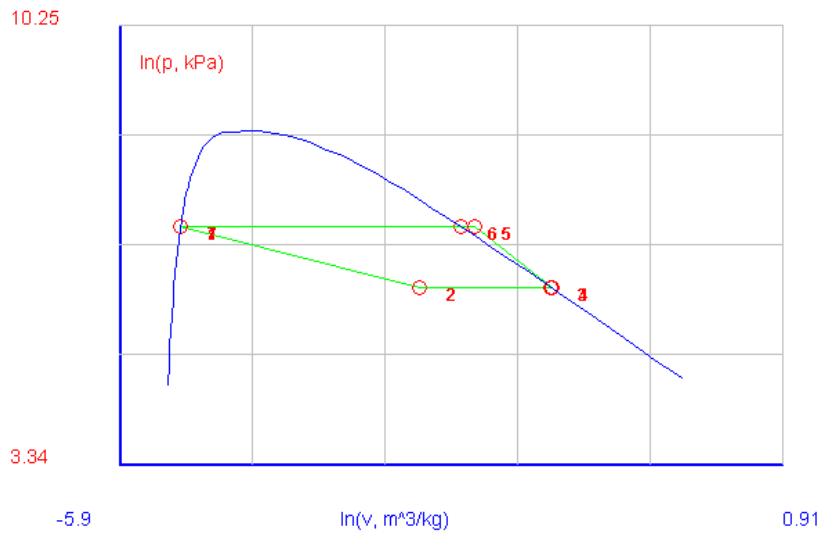
Dus als we het enthalpieverschil van de afgemeten waarden gaan vergelijken met het enthalpieverschil van de berekende waarden zouden deze voor beide gevallen gelijk moeten zijn.

	T (°C)	p (bar)	h (kJ/kg)
voor expansie	35	13,2	550
na expansie	-5	3,7	550
voor verhitting	-5	3,7	1670
na verhitting	0	3,7	1690
na compressie	80	13,2	1835
condentie	35	13,2	550

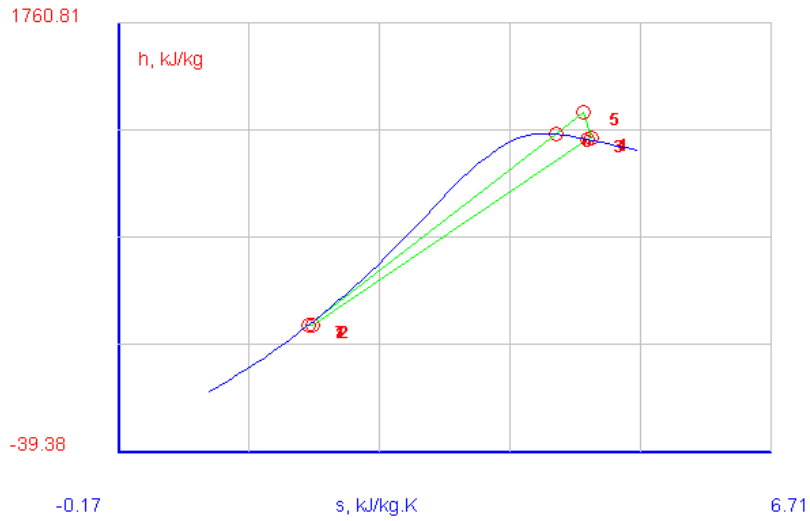
$$\begin{array}{llll}
 \Delta h \text{ warmer} & = 1690 \text{ kJ/kg} - 550 \text{ kJ/kg} & = 1140 \text{ kJ/kg} & \cong 1102,48 \text{ kJ/kg} \\
 \Delta h \text{ compressor} & = 1835 \text{ kJ/kg} - 1690 \text{ kJ/kg} & = 145 \text{ kJ/kg} & \cong 151,45 \text{ kJ/kg} \\
 \Delta h \text{ koeler} & = 550 \text{ kJ/kg} - 1835 \text{ kJ/kg} & = -1285 \text{ kJ/kg} & \cong -1253,93 \text{ kJ/kg}
 \end{array}$$

1.6.9 Andere diagrammen

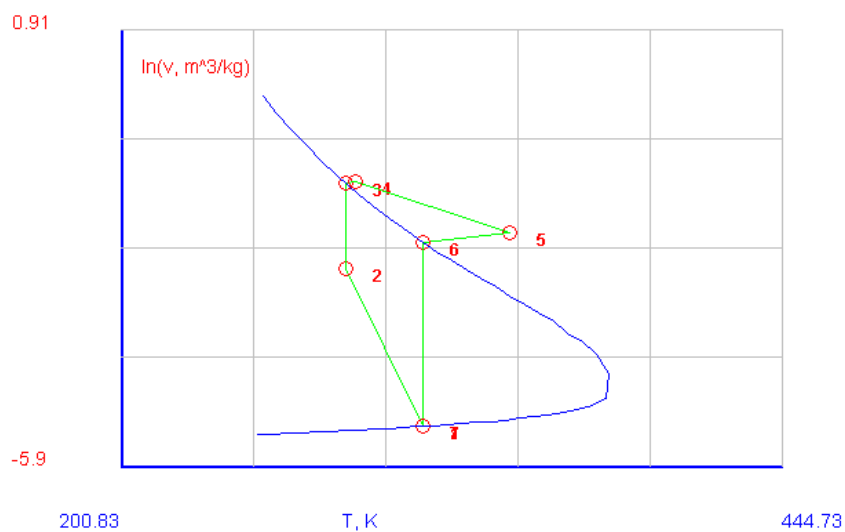
1.6.9.1 *p-v diagram*



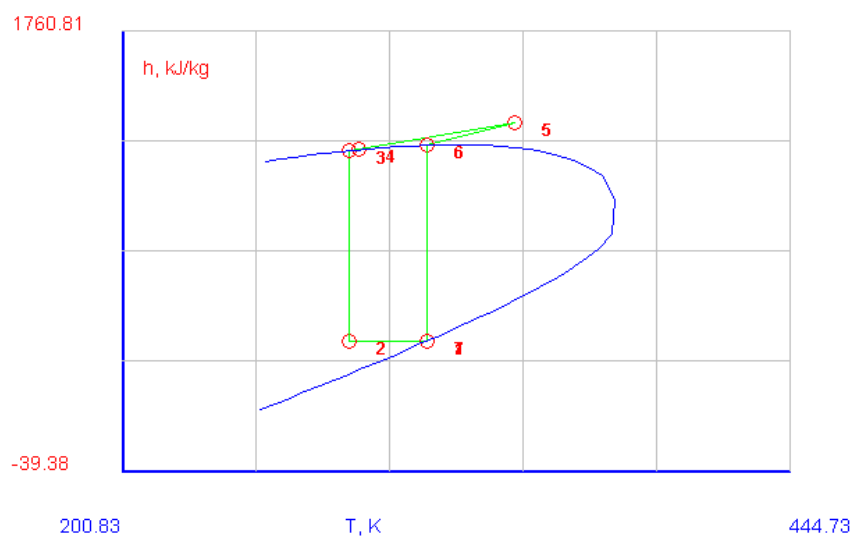
1.6.9.2 *S-h diagram*



1.6.9.3 v - T diagram



1.6.9.4 h - T diagram

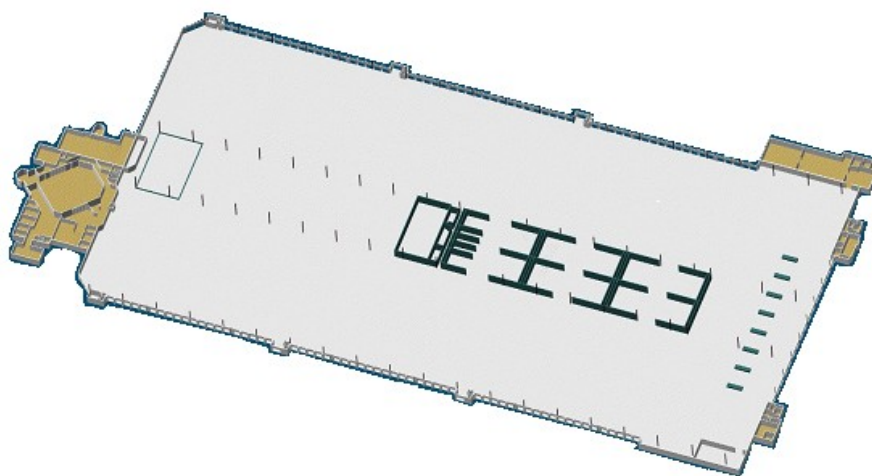


2 Koelruimtes

De bouw van de nieuwe koelruimtes wordt gezien als een onderdeel van het herstructureren van de oppervlakte van de bestaand veiling. Naast het bouwen van de nieuwe koelruimtes moet het resterende oppervlakte elk een functie worden toegewezen, zodat werken in de REO-veiling vlot verloopt.

2.1 Vroeger

De REO-veiling anno 2003 had slechts een klein oppervlakte aan koelruimtes. Met zijn vijftien koelruimtes werden enkel de belangrijkste soorten van groenten gekoeld, zoals aangevoerde sla, champignons, bloemkool, witloof, prei, ...



	Aantal	Lengte (m)	Breedte (m)	Hoogte (m)	Oppervlakte (m ²)	Inhoud (m ³)
Grote koelcellen	10	16,8	15,3	6,15	257	1581
Kleine koelcellen	2	9,45	11,6	6,2	110	680
Kleinere koelcellen	3	4,6	11,6	6,15	53	328
Totaal	15				2949	18154

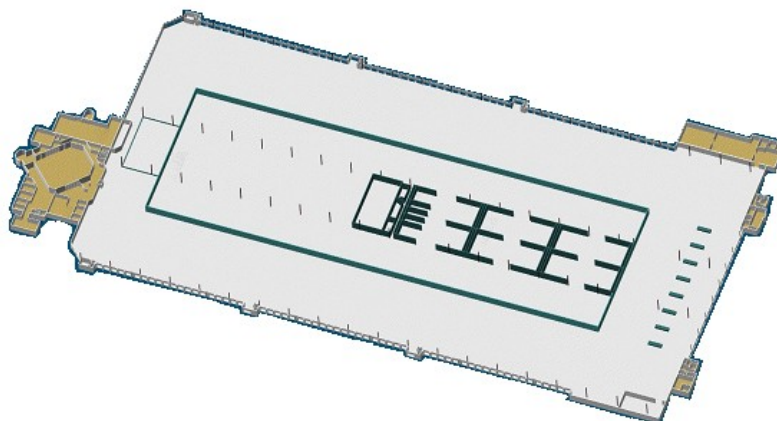
Loods	1	350	160	7,5	56000	420000
-------	---	-----	-----	-----	-------	--------

Er werd slecht zo'n 5% aan oppervlakte van de totale loods gebruikt aan koelruimte. De andere groenten werden in de grootte loods geplaatst die werd zelf ook gekoeld met behulp van ijswater en ventilatoren. De gemiddelde temperatuur in de loods varieerde tussen de 10°C en de 15°C.

2.2 Project 2005

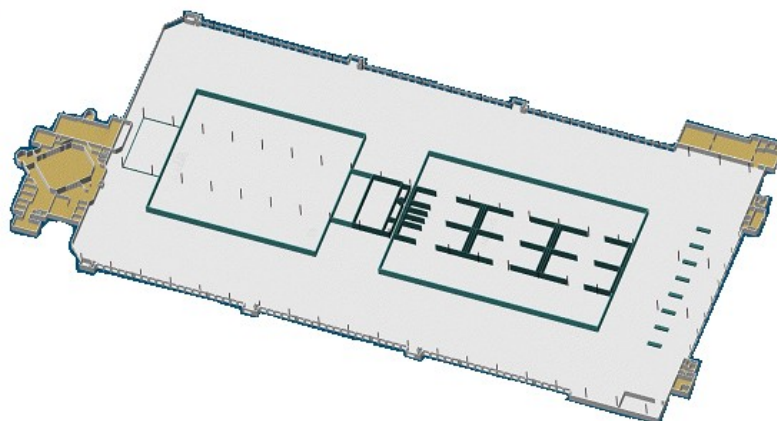
2.2.1 Concept ruimte in ruimte

Er wordt een groot oppervlakte in de bestaande loods van de veiling ingenomen voor de bouw van één grootte koelruimte. Er kan gesproken worden van “een loods in een loods”.



2.2.2 Twee ruimtes in ruimte

Er worden twee grote koelruimtes gecreëerd in de loods van de REO-veiling, hierbij worden de bestaande kantoren en de bestaande technische ruimte gevrijwaard en niet opgenomen in de nieuwe koelruimte.



De twee nieuwe koelruimtes hebben elk een grote van:

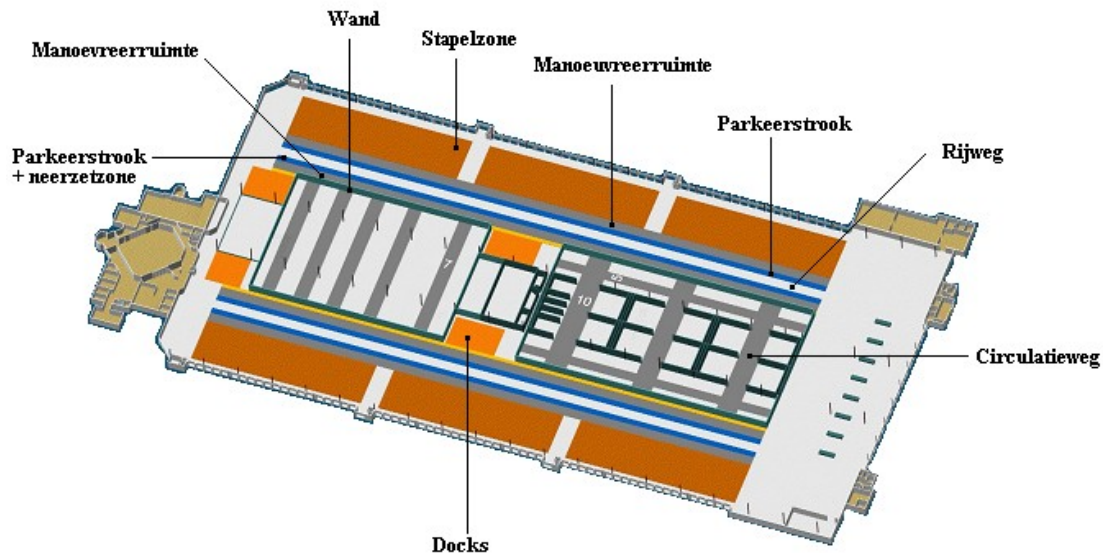
	lengte (m)	breedte (m)	oppervlakte (m ²)
Koelruimte zijde veilzaal	130	70	9100
Koelruimte zijde keurtafels	100	70	7000

Procentueel gezien wordt nu ongeveer 30% van het oppervlakte gebruikt voor koelruimtes, dit is het zesvoud van wat het vroeger was.

2.2.3 Opdeling overblijvende ruimte

Door het komen van de nieuwe geconditioneerde ruimtes gaat heel wat oppervlakte van de loods verloren dus moet er een herverdeling zijn van de overblijvende ruimte, zodat er in de toekomst geen problemen, voorkomen wegens plaatsgebrek.

2.2.3.1 Buiten de koelruimtes



Er wordt gezorgd voor een stapelzone aan de laadkaaien. Per laadkaai moeten twee vrachtwagen kunnen klaarstaan voor verkoop en moet er de mogelijkheid zijn voor het opstapelen van aangevoerde producten. Deze laadkaaien krijgen een diepte van 23,5 meter.

De vorkheftrucks, die de groenten moeten lossen van de vrachtwagens, krijgen een manoeuvreerruimte van vijf meter in de breedte in de lengte is dit verspreid over de totale veiling (zie grijze stroken).

De leveranciers komen aan met hun vrachtwagen langs de rijweg die een breedte heeft van vijf meter en voor het lossen van de groenten moeten ze hun vrachtwagen plaatsen op de parkeerstrook of neerzetzone. Aan elke kant van de veiling is er een neerzetruimte, van drie meter voorzien plus een beperkte neerzetzone van twee meter.

De positie van de wand van de geconditioneerde ruimte is ook bepaald tegenover van de verschillende oppervlaktes:

- 46,5 m achter de docklevellers
- Afstand tussen wand en bestaande koelcellen is 17,5 m
- Tussenruimte 70,0 m breed

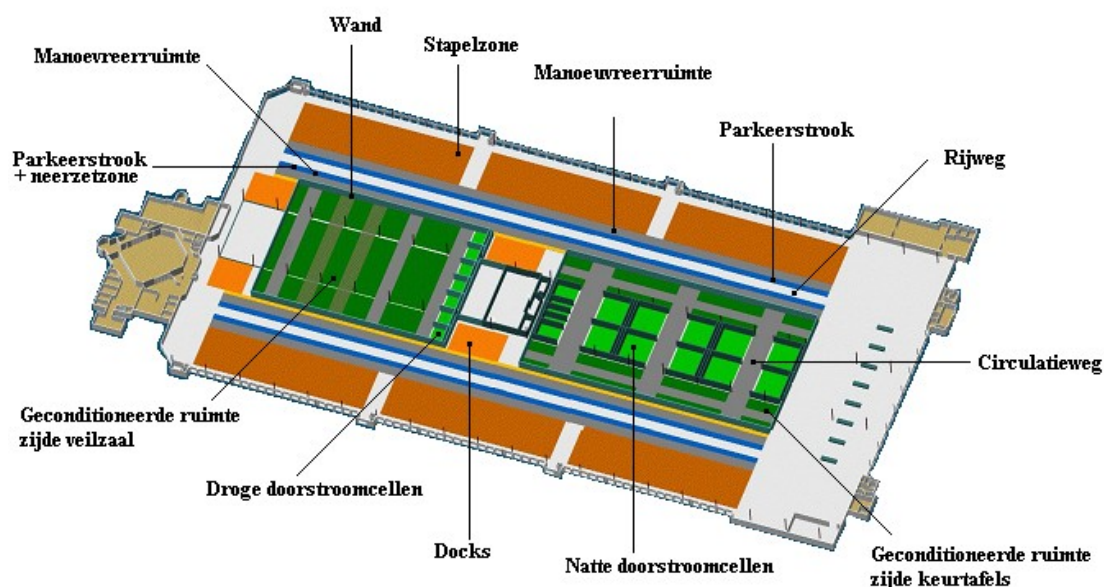
De bestaande docks worden herplaatst net tegenover de individuele verkoop komen er 34 rijen en ter plaatse van de technische ruimte zullen er 44 rijen zijn.

De zones buiten de geconditioneerde ruimtes of de twee grote koelruimtes kunnen we dus opdelen in de volgende vlakken:

	Diepte (m)	Kleur
Stapelzone	23,5 meter	Oranje
Manoeuvreeerzone	5,0 meter	Grijs
Rijweg	5,0 meter	Wit
Parkeerstrook of neerzetzone	3,0 meter	Blauw
Beperkte neerzetzone	2,0 meter	Geel
Docks		Oranje

2.2.3.2 In de koelruimtes

In de grote koelruimtes of geconditioneerde ruimtes komen er zelf nog eens circulatiewegen waarop de vorkheftrucks zich mogen bevinden. De hoofdassen van deze circulatiewegen hebben een breedte van 10,0 m of 7,0 m. Naast de hoofdassen zijn er nog verschillende kleinere secundaire assen die een breedte hebben van 5,0 meter.

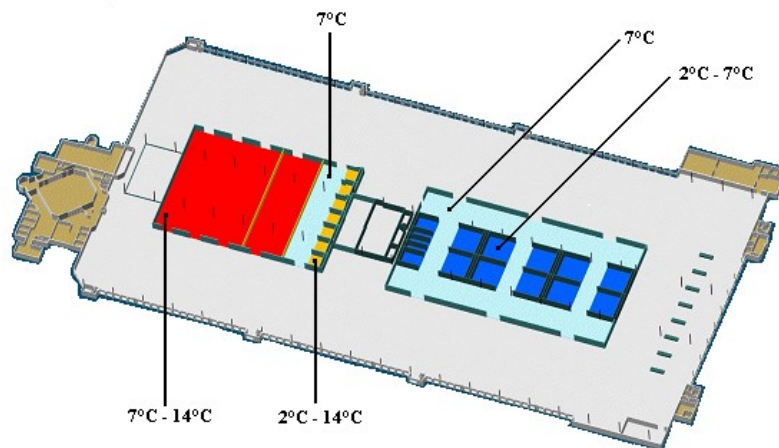


Binnenin de koelruimtes zijn er verschillende temperatuurzones, er kan gesproken worden over flexibele temperatuurzones. Deze flexibele temperatuurzones staan in functie van het soort groente of fruit die moet opgeslagen worden en ook het seizoen waarin we ons bevinden heeft een grote invloed.

We krijgen dus de volgende temperatuurzones:

- Natte doorstroomcellen: 2°C – 7°C
- Geconditioneerde ruimte zijde keurtafels: 7°C
- Droge doorstroomcellen: 2°C – 14°C
- Geconditioneerde ruimte zijde veilzaal: 7°C – 14°C

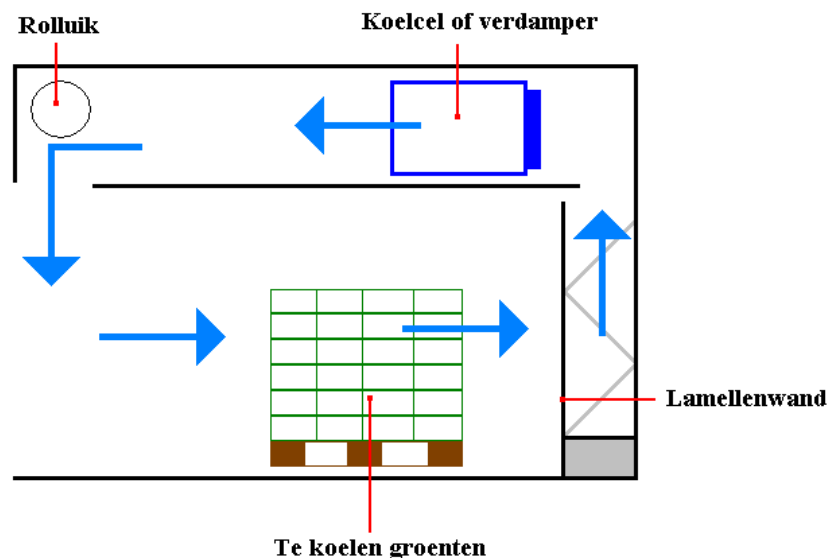
Nog eens samengevat in een figuur:



Waar de verschillende zones elkaar grenzen wordt een rolgordijn opgehangen, deze zal ervoor zorgen dat onderlinge luchtbeveging tussen twee zones wordt verhinderd. De zones tussen de loods en de gekoelde zones worden afgesloten door automatische snelsluiters.

a Koelruimtes van 2°C tot 7°C of 14°C

Hierbij is een figuur weergegeven die het principe uitlegt van de kleinere koelruimtes die een lagere temperatuur moeten bereiken.

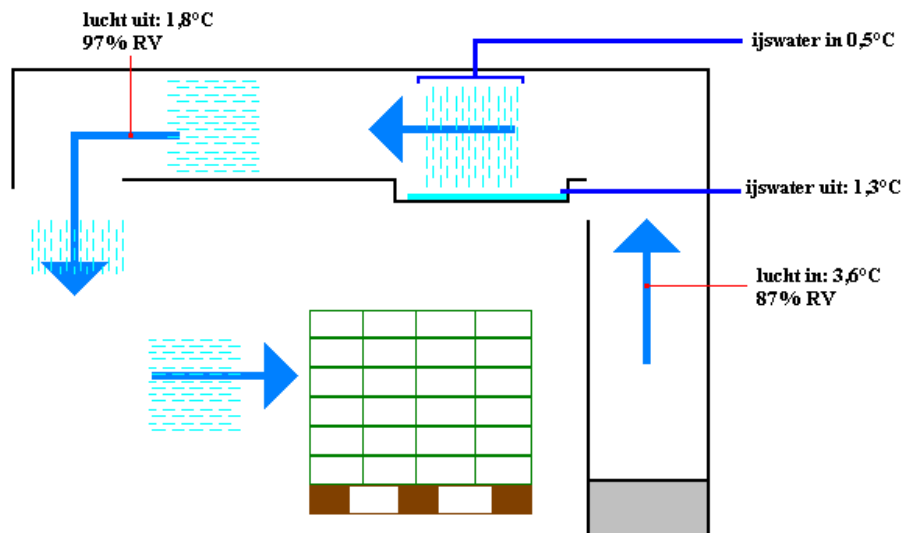


We krijgen een ingebouwd hoogteverschil waarin de koelcel tussengeplaatst wordt. Door het plaatsen van de lamellenwand bestaande uit polyester, in de achterzijde van de koelruimte, ontstaat er een zuigende strook die een geforceerde circulatie voortbrengt. Door deze circulatie tot stand te brengen is het verplicht om door de groenten te stromen.

Dit soort van circulatie vinden we terug in de koelruimtes waar er naar een lagere temperatuur wordt gestreefd, dit zijn de natte en de droge doorstroomcellen. Het verschil tussen de twee doorstroomcellen is de manier hoe het product wordt gekoeld.

a.1 Natte doorstroomcel

De natte doorstroomcellen zijn aanwezig in de vijftien oude koelruimtes. De circulerende lucht die door de koelruimte stroomt krijgt een hoeveelheid verneveld ijswater met zich mee en krijgt een relatieve vochtigheid (RV). Door de circulatie is het verneveld ijswater verplicht om door het af te koelen product te stromen.



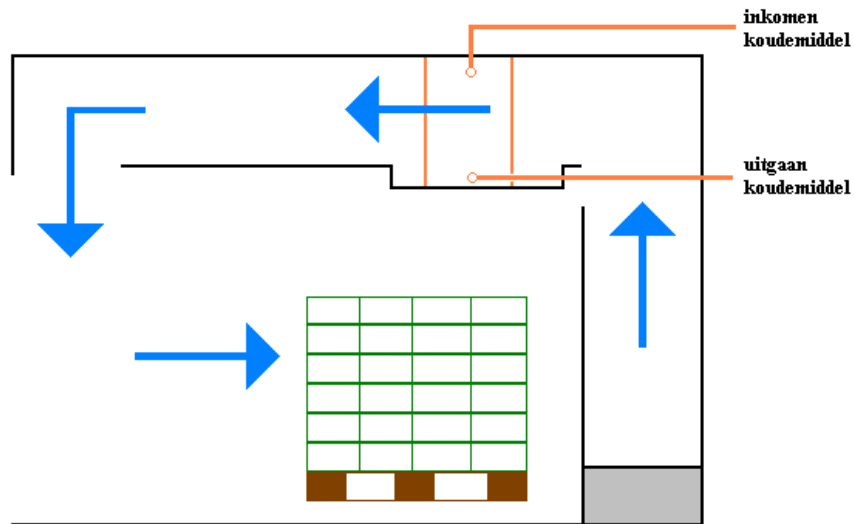
Omdat de manier waarop de oude koelruimtes werkten afgeschreven is, worden ze gerenoveerd om zo de efficiëntie te verhogen. Er wordt gezocht naar eventuele lekken van het ijswater en deze worden weggewerkt. De werking van de driewegkranen achter de wanden worden nagekeken. Ook worden het plafond en de achterwand totaal vernieuwd en veranderd.

Plafond	Achterwand
<ul style="list-style-type: none"> - Geen zeildoeken - Plaatsen van een verlaagd plafond tot positie producten vooraan 	<ul style="list-style-type: none"> - Geen zuigopeningen meer - Lamellensysteem uit polyester juist achter de stapelplaatsen van de groente - Schermen per 4 rijen i.f.v. één of twee paletten hoog (flexibel).

Voor het veranderen van de oude koelruimtes worden de metalen rekken die binnenin de ruimtes staan verwijderd, ze waren toch niet meer bruikbaar.

a.2 Droge doorstroomcel

Alle nieuwe koelcellen of verdampers die worden geplaatst werken volgens het principe van een droge doorstroomcel, bij deze koelcellen komt de rondcirculerende lucht niet in contact met het koudemiddel. Deze eigenschap geeft ook de mogelijkheid dat er gewerkt kan worden met andere koudemiddelen, zoals temper, ammoniak.



In de nieuwe kleinere koelruimtes wordt er gekoeld van 2°C tot 14°C aan de hand van droge koeling. Het koudemiddel die wordt gebruikt in deze kleine koelruimtes is ammoniak. Het gebruik van water in deze situatie is afgeraden, omdat de temperatuur van het inkomende koudemiddel 0°C is en bij deze temperatuur zou water overgaan tot zijn vaste vorm, ijs.

c Koelruimtes van 7°C en van 7°C tot 14°C

In de grotere compartimenten waar er niet naar zo'n lage temperatuur wordt gestreefd hangen de koelcellen in rijen. Er wordt niet gelet op circulatie omdat de temperatuur die constant moet gehouden worden (ongeveer 14°C) op deze wijze haalbaar is.



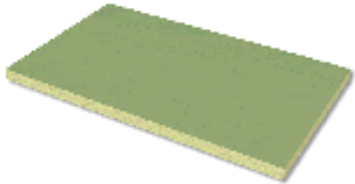
In deze grotere koelruimtes worden vooral groenten gekoeld zoals tomaten, komkommers, ... Het koudemiddel die gebruikt wordt in deze grootte ruimtes is afhankelijk van de temperatuur die bereikt wil worden. Twee stroken worden gekoeld met verschillende soorten koudemiddelen.

- Strook van 7°C – 14°C wordt gekoeld door middel van koudewater
- Strook van 7°C wordt gekoeld door middel van temper

2.3 Andere factoren

2.3.1 Soort isolatiemateriaal

Het isolatiemateriaal die gebruikt wordt in de wand van de koelruimtes is polyisocyanuraat of kortweg PIR.

	<p>Polyisocyanuraat (PIR) is een lichtgroen synthetisch schuim met een cellenstructuur van het gesloten type, dat wordt geproduceerd door de vermenging van twee harsen waarvan de reactie een derde stabiel hars creëert. Het wordt gekenmerkt door een geringe warmtegeleidingwaarde. Sommige fabrikanten bieden evenwel panelen aan met een λ d lager dan 0,024 W/mK, wat voor een uitstekende isolerend vermogen zorgt. Dit maakt het gebruik van panelen met geringe dikte mogelijk.</p>
---	--

Polyisocyanuraat (PIR) kan gezien worden als een verbeterde versie van polyurethaan (PUR), het heeft een zeer goed brandgedrag met daaraan gekoppeld een bijzonder laag rookgetal. Vergelijken we de PIR en PUR met elkander:

ISOLATIEMATERIALEN	ρ in kg/m ³	c in J/kg . K	λ_i binnen in W/(m.K)
Kunststofschuimen			
geëxpandeerde of geëxtrudeerde polystyreen (PS)	15-30	1465	0,035
polyurethaan (PUR)	30-50	1465	0,028
polyisocyanuraat	30-50	1465	0,028
Mineraalwol			
glaswol (vlokken of platen)	16-100	840	0,04
rotswol (vlokken of platen)	34-100	840	0,04

PIR tegenover Mineraalwol

Het meest gebruikte isolatiemateriaal is mineraalwol, maar met de Powerdeck-platen kan eenzelfde isolatiewaarde aanbieden met een plaat die maar liefst de helft dunner is. Buiten de besparing op transport en gewicht (tot 10 x lichter dan minerale wol) kunnen er ook kortere bevestigingsschroeven worden gebruikt. Dankzij de hoge en constante drukvastheid is er verder weinig gevaar op beschadiging van de dakbedekking door de schroeven en is de plaat ook blijvend beloopbaar en dus perfect toepasbaar onder dakterrassen. Bovendien is het bij metalen daken met een klimaatklasse lager dan III niet langer nodig een dampremmende laag aan te brengen dankzij de dampdichte bekleding, die er tevens voor zorgt dat de plaat minder weersgevoelig is. Wanneer we dan nog vermelden dat de platen probleemloos te hergebruiken of te recyclen is en ook toepasbaar is bij renovatieprojecten.

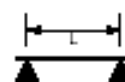
2.3.1.1 Maximale toelaatbare last

We nemen aan dat we een uniforme belasting hebben. We werken met standaardpanelen, beide zijden zijn afgewerkt met 0,63 mm dikke staalplaat, en met de volgende kenmerken:

- DOORBUIGING = 1/200 VAN DE OVERSPANNING,
 - kernmateriaal: PIR (of PUR),
 densiteit 33 (of 35) kg/m³.



Eenveldoverspanning (kg/m²)



dikte (mm)	lengte (mm)							Eigen gewicht (kg/m ²)
	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	
50	81	42						13.1
60	102	55						13.5
80	145	83	51					14.3
100	188	111	71	47				15.1
120	231	139	91	62	43			15.8
140	274	167	112	78	55			16.6
160	317	185	133	94	68	50		17.4
180	360	224	154	110	81	60	45	18.1
200	403	252	174	127	94	71	53	18.9

Tweeveldoverspanning (kg/m²)



dikte (mm)	lengte (mm)							Eigen gewicht (kg/m ²)
	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	
50	90	51						13.1
60	112	66	42					13.5
80	156	95	63	44				14.3
100	200	124	85	61	44			15.1
120	244	153	106	78	58	44		15.8
140	289	182	128	95	72	55	43	16.6
160	333	212	150	112	86	67	53	17.4
180	377	241	171	129	100	79	63	18.1
200	422	270	193	146	114	91	73	18.9

Berekeningen volgens RS1990, reken- en beproevingsmethoden ter bepaling van sterkte en stijfheid van sandwichpanelen. Alle vermelde waarden zijn indicatieve gemiddelde waarden, onderhevig aan fabricagetoleranties.

2.3.1.2 Brandveiligheid

PIR of Polyisocyanuraat heeft ls eigenschap dat het minder brandbaar is dan zijn voorganger PUR. Als er ooit brand zou ontstaan binnenin de koelruimtes dan zal zo snel mogelijk zoveel mogelijk ingangspoorten sluiten. Op deze manier is er minder zuurstof toevoer, en zal het vuur uitdoven. Er zal een grote hoeveelheid rook ontwikkeld worden, om deze hoeveelheid rook weg te krijgen worden rooksluizen geopend.

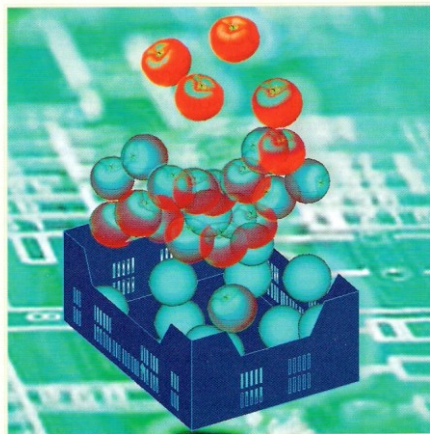


Wanneer de rooksluizen opengaan wordt de rook naar buiten geleid, in de grote loods. Er moet dus een samenwerking zijn tussen de nieuwe rooksluizen en de oude rooksluizen om de rook naar buiten te leiden.

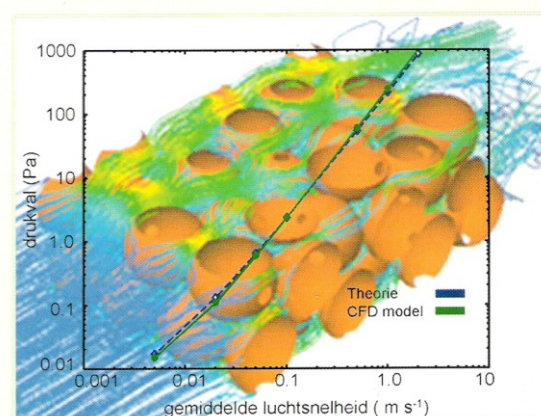
Omdat er nog geen specifieke normen zijn op het vlak van brandveiligheid in grote koelruimtes, zijn de koninklijke normen voor laagbouw aangenomen. Samen met de brandweer is de constructie gecontroleerd of het voldoet aan deze waarden. Opmerkelijk is dat er geen brandwerende laag op de ijzeren palen aanwezig is, dit omdat de oude constructie dit ook niet heeft en het dus geen nut zou hebben om het binnenste te beschermen als alles rond de nieuwe koelruimtes niet beschermd is.

2.3.2 Ontwerp van de verpakkingen

Verpakkingen zoals kisten en dozen zijn belangrijk voor een vlotte logistiek en distributie van verse producten en hebben ook een commercieel doel. Daar staat tegenover dat vaak weinig of geen aandacht wordt besteed aan een goed thermisch ontwerp van de dozen voor optimale koeling. Bij thermisch ontwerp van verpakkingen moet aandacht worden besteed aan de thermische eigenschappen van het product en de kist, maar ook aan aërodynamische aspecten. Koeling en bewaring gebeuren immers met behulp van doorstroming van koele of koude lucht, waarbij ook aandacht gaat naar luchtvochtigheid. De beweging van de koele lucht doorheen de doos zorgt voor een al dan niet snelle en uniforme koeling van de producten. Deze luchtbeweging wordt beïnvloed door producteigenschappen, kistontwerp, ...

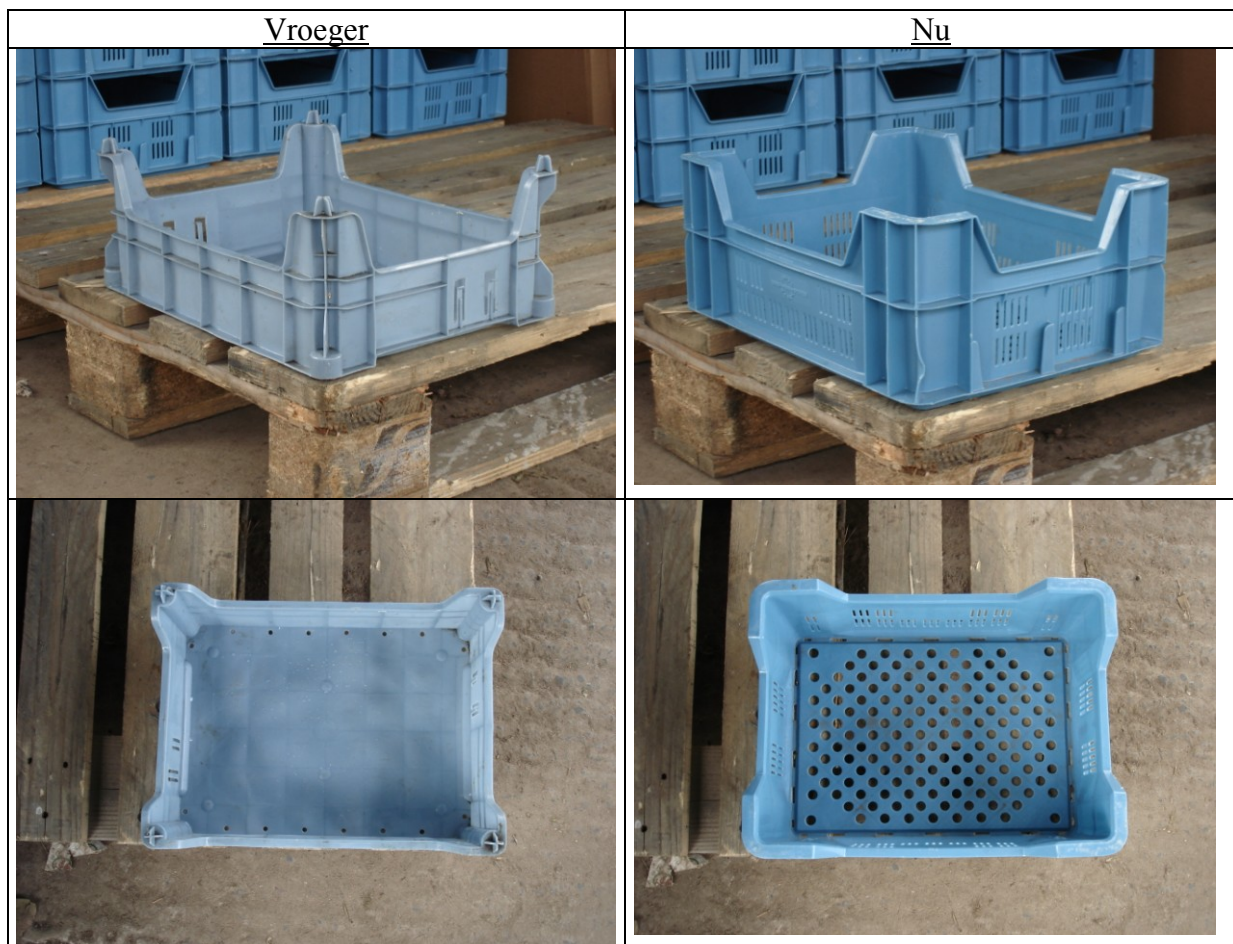


De bovenstaande figuur geeft een modelconfiguratie voor de vulling van een kist met verse groenten. Dit is nodig voor het berekenen van de luchtstroom doorheen de kist. Het model laat ook toe de invloed van het aantal, de vorm en de plaats van producten en verluchtungspleten in de kist in rekening te brengen.



Bovenstaande figuur toont de overeenkomst tussen berekende en theoretische drukval over een stapel bolvormige producten bij verschillende luchtsnelheden.

De design, vorm van de verpakking is dus ook zeer belangrijk voor een optimale en snelle koeling te hebben. Met deze eigenschap hebben de veilingen doorheen de jaren ook rekening mee gehouden, door in hun kisten de nodige luchtspleten te voorzien.



Merk op dat er vroeger geen luchtspleten aanwezig waren in de kisten, door dit kan de circulerende lucht enkel maar de bovenste laag van het product koelen. Door verschillende ventilatiespleetjes aan te brengen in de kist krijgt de lucht de kans om door het product te stromen en zo tot in het midden van het product.

3 Eindbesluit

Na een jaar werken kunnen we besluiten dat we veel hebben bijgeleerd over de werking en de constructie van een koelinstallatie. De vier basiscomponenten in de koelinstallatie, compressor, condensor, expansie en verdampers bestaan in verschillende soorten elk met hun bepaalde eigenschappen. De keuze van de soort componenten is zeer belangrijk voor het opstellen van de koelinstallatie zodat je de gewenste eigenschappen die je wil bereiken met de installatie. Naast de componenten is ook het koudemiddel zeer belangrijk voor het behalen van de gewilde temperaturen.

In de Reo-veiling werd er in de nieuwe koelinstallatie vier nieuwe compressoren geplaatst, waarvan drie zuigercompressoren en één schroefcompressor. De keuze hangt af voor de gewenste eigenschappen, de schroefcompressor zorgt ervoor dat de capaciteit kan geregeld worden en één van de compressoren valt in als reserve. Voor condensor werd er gekozen voor twee verdampingscondensoren, en er worden verschillende expansieventielen of regelkranen geplaatst. Als koudemiddel wordt ammoniak of NH_3 gebruikt, dit koudemiddel wordt ook al in de oude koelinstallatie gebruikt. Het ammoniak wordt door de compressoren gecirculeerd doorheen de condensor en doorheen twee warmtewisselaars. In de warmtewisselaars wordt een pekkel afgekoeld, als pekkel werd er voor temper en koelwater genomen dit hangt af van de temperatuur waarop er moet gekoeld worden.

Naast koeling was er ook nog de bouw van de twee grote koelruimtes met elk een omvang van ongeveer een voetbalveld groot. Het isolatie materiaal gekozen voor de wand is PIR of polyisocyanuraat. PIR is een verbeterde versie van PUR. PIR heeft ongeveer dezelfde eigenschappen als polyurethaan (PUR), maar is minder brandbaar en heeft een kleinere massadichtheid en is dus lichter dan zijn voorganger. De manier hoe de koelruimtes zijn gebouwd heeft ook invloed op het koelrendement. Er zijn kleinere koelruimtes waarvan de structuur van de koelruimte speciaal is opgebouwd zodat een temperatuur van 2°C tot 14°C kan bereikt worden. In grotere ruimtes van 7°C en 7°C - 14°C heeft de circulatie geen belang dus worden de verdampers enkel in rijen opgehangen in de koelruimtes. De verschillende koelzones worden gescheiden van elkander door zeilen.

Buiten koelzones worden de oppervlaktes herverdeelt zodat het werk in de Reo-veiling soepel verloopt.

De omvang van deze werken was zeer groot en het is haast niet mogelijk om met twee personen alles in één schooljaar te bundelen in een geïntegreerde proef. Het selecteren van onderwerpen heeft ons tijd gekost, en het eindresultaat mag er hopelijk zijn. Zeker is dat we allebei een groot stuk hebben bijgeleerd over hoe koeling gebeurd en wat er voor nodig is.

4 Bronnen

Bronvermelding boeken:

VAN INGEN SCHENAU, H.A. en VAN KNOTSENBORG, A., 'Handboek voor de KLEINE KOELTECHNIEK', Stam Technische Boeken B.V., Culemborg, 1980, 648 pagina's.

OOSTHOEK, H., 'Hoe werkt dat?1, de techniek verklaard in woord en beeld', HET SPECTRUM N.V., Utrecht/Antwerpen, 1969, 383 pagina's.

Andere bronvermelding:

MAERTENS, E., 'Cursus koeltechnieken', Torhout, 2004, 295 pagina's, (cursus koeltechnieken die koeling stap voor stap uitlegd.).

Internet – artikels:

KENNEDY, S., 'Refrigeration Basics', internet, 2005-05-21, (<http://oberon.ark.com/~airekool/rb1.htm>)

REFRIGERATION DEVISION, GRASSO, 'Reciprocating Compressors for industrial refrigeration Series Grasso 12', internet, 2004-11-30, (http://docnav.grasso-global.com/DocNav_Eng/Sources_e/DBo_e/ca0110_0089000_pi_rc12_v004_gbr_.pdf)

REFRIGERATION DEVISION, GRASSO, 'Grasso Screw Compressor Packages SP1, SP2, SPDuo', internet, 2004-11-30, (http://docnav.grasso-global.com/DocNav_Eng/Sources_e/Ber_e/_051000_pi_sp_gbr_.pdf)

INSTITUUT OF TECHNOLOGIE, SOUTHERN ALBERTA, 'Refrigeration - External Process', 2005-03-12, (http://tlmwebsites.sait.ab.ca/pfo/modules/27315202/27315202_content.htm)

REFRIGERATION GMBH, A., 'GEBRUIK EN WERKING VAN KOELTORENS', 2005-03-12, (http://www.axiref.com/internet/refde/nl/home/cooling_towers/kuehlturm-technik.html)

DEBRUYNE, E., 'Febowall PIR-PUR', 2003-09-25, (<http://www.isobar.be/default2.asp?taal=en>)

Elektronische bronnen:

FORBUS, K.D., WHALLEY, P.B., 'CyclePad', computerprogramma, 1995.

5 Bijlagen

Logboek: overzicht van wat het voorbije jaar is gedaan.

Technische gegevens onderdelen van de nieuwe koelinstallatie.