

VTI Sint—Aloysius
Papebrugstraat 8A
8820 TORHOUT

GEINTEGREERDE PROEF

KOELTECHNIEK

Bjorn Demey en Bart Vergote
Studierichting IW
Schooljaar 2000-2001

Begeleiders: Mv. Degryse
De Hr. Develter
De Hr. Verhaeghe

KOELTECHNIEK

Geïntegreerde proef

Woord vooraf

Als laatstejaarsstudenten moeten we een geïntegreerde proef maken. Wij hebben het onderwerp koeltechniek gekozen omdat we dit een interessant onderwerp vinden. Ook om het feit dat iedereen elke dag met koeltechniek geconfronteerd wordt en niet weet wat het in feite inhoud. Dit is dan ook een van de technieken die in de toekomst zeer belangrijk wordt. Daarom hebben we geprobeerd om dit begrip te verduidelijken, wat niet altijd gemakkelijk is. Je zal ook zien dat de geïntegreerde proef in twee delen is verdeeld: het eerste deel handelt hoofdzakelijk over de thermodynamische aspecten en het tweede deel handelt eerder over de verschillende delen van zo'n koelmachine (bv. een diepvriezer).

Om deze geïntegreerde proef te verwezenlijken hebben we gebruik gemaakt van de tekstverwerker microsoft word 2000 en van microsoft powerpoint 2000 om onze presentatie te maken. Alles is afgeprint met een HP Laserjet 6L printer.

We bedanken eerst en vooral onze ouders voor hun morele steun. Ook bedanken we de volgende leerkrachten: Mevr. Degryse Karin, De hr. Verhaeghe Dirk en De hr. Develter Koen voor hun positieve bijdrage aan onze geïntegreerde proef en de bedrijven: Sacobel, Molimex refrigeration en Frigro SA om hun informatie.

Inhoudsopgave

1	Thermodynamica in de koeltechniek	8
1.1	Voorbeschouwingen	8
1.1.1	De aggregatietoestanden	8
1.1.2	Voelbare en latente warmte	10
1.1.2.1	Verzadiging, oververhitting en onderkoeling	12
1.2	De hoofdwetten van de thermodynamica	13
1.2.1	Eerste hoofdwet.....	13
1.2.2	Tweede hoofdwet.....	13
1.3	Kringprocessen	14
1.3.1	Kringproces	14
1.3.2	Het kringproces van Carnot.....	14
1.4	Het negatieve Carnotproces	15
1.5	Meertrapscompressie.....	19
1.6	De gebruikelijke kringloop.....	19
1.7	Soorten Diagrammen.....	20
1.7.1	Het (h, log p) - diagram.....	20
1.7.1.1	Een (h, log p) - diagram.....	20
1.7.1.2	De drie delen	23
1.7.2	Het (h, x) - diagram van vochtige lucht.....	24
1.7.2.1	Het (h, x) - diagram	24
1.7.2.2	Eenvoudige processen in het (h, x) - diagram.....	25
2	De onderdelen	27
2.1	De condensor.....	27
2.1.1	Inleiding	27
2.1.1.1	De dubbelpijp – tegenstroomcondensor	28
2.1.1.2	De multiplexcondensor	29
2.1.1.3	De blokcondensor.....	30
2.1.2	Koeltoren.....	32
2.2	De verdamper	33
2.2.1	Doel van de verdamper.....	33
2.2.2	Het gebruik van de verdamper	33
2.2.3	Verskil tussen droge verdamperen en snelverdamperen	33
2.2.3.1	Verklaring droge verdamperen.....	34
2.3	Regelorganen.....	35
2.3.1	Doel van regelorganen.....	35
2.3.2	Soorten regelorganen	35
2.3.2.1	De regelafsluiter.....	35
2.3.2.2	Het automatisch of expansieventiel.....	36
2.3.2.3	De capillaire buis	37
2.4	De olieafscheider.....	38
2.5	Filter en droger	39
2.6	Het kijkglas.....	40
2.7	Thermostaat of pressostaat.....	41

3	Koelmiddelen	42
3.1	Freon of CFK.....	42
3.1.1	De nummering van CFK's	42
3.1.2	Gebruik van koelmiddelen	43
3.2	HFK' s en HCFK' s.....	44
3.2.1	Vervanger van CFK – 12 en CFK – 502 voor koelinstallaties.....	44
3.3	Ammoniak, water en lucht als koelmiddelen	45
3.3.1	Water (R717) en lucht (R729)	45
3.3.2	Ammoniak (R717) of NH3	45
4	Woordverklaring.....	46
Bijlage 1	48
Bijlage 2	50
Bijlage 3	53
Logboek van Bjorn.....		56
Logboek van Bart		57

Inleiding¹

Het principe van de koeltechniek is reeds lang bekend en wordt al vele eeuwen toegepast. De huidige koeltechniek bestaat iets meer dan 100 jaar en heeft zich vooral na de tweede wereldoorlog ontwikkeld. Dit dank zij de evolutie van de meet- en regeltechniek en de conserveringstechniek van levensmiddelen. Ook door de commercialisering van freon 12 als koelmiddel kende de koeltechniek een hoge vlucht.

In de oudheid koelde men dranken door verdamping na de wand van poreuze potten. Sneeuw uit de bergen werd over honderden kilometers vervoerd om voedsel en dranken te koelen. Zo had Alexander de Grote (330 v Chr.) de bedoeling de strijdbaarheid van zijn troepen te verhogen door hun met sneeuw gekoelde dranken te schenken. 's Winters werd ijs in met stro geïsoleerde kruiken of in ijskelders opgeborgen om het in de zomer als koelmiddel te kunnen gebruiken. In de 19^{de} eeuw brachten zeilschepen poolijs naar tropische landen. Alleen al in 1872 werden meer dan 200000 ton natuurijs over zee vervoerd. Het is meer zinvol om de historie te lezen vanaf het tijdstip waarop van een "koelmachine" kan worden gesproken.

Het beginpunt is dan 1755. In dat jaar bouwt W. Cullen in Schotland een koelmachine waarin hij water bij lage temperatuur verdampte door met een vacuumpomp de druk boven het water te verlagen. "Verdampen" is dus het eerst gebruikte principe voor het opwekken van koude. De met de hand gedreven machine heeft alleen wetenschappelijke betekenis gehad. Het duurt bijna 80 jaar voordat na de machine van Cullen een echte stap vooruit gedaan wordt.

In 1834 bouwt Perkins in de VS een compressiekoelmachine met ether als koudemiddel. De machine werd tot een echte continu werkende koelmachine ontwikkeld. Het jaar 1834 moet dan ook als het geboortjaar van de koelmachine worden beschouwd. De machine van Perkins lekte en ontploffingen bleven dan ook niet uit.

In 1844 bouwde Gorrie in Engeland de eerste expansiekoelmachine met lucht als koudemiddel, nadat in 1827 Stirling al het principe van een expansieproces had ontwikkeld. Peltier had in 1834 het koeleffect ontdekt ten gevolge van een elektrische stroom door het lassen van twee verschillende materialen, nl. het omgekeerde van het Seebeck effect. Dit principe staat bekend onder de naam thermo-electrische koeling.

In 1850 komt een vierde principe tot ontwikkeling. In Frankrijk maakt Carré zijn eerste absorptiekoelmachine met zwavelzuur als absorbent en water als koudemiddel. Later gebruikt hij water als absorbent en ammoniak als koudemiddel. Carré werkt ook aan de verbetering van de compressiekoelmachine. Hij past in 1867 ammoniak als koudemiddel toe.

Lindé bouwt in 1874 de eerste betrouwbare en op grote schaal toepasbare koelmachine. In 1861 hadden Hart en Nicolle al een koelhuis gebouwd, maar dat bleek niet erg betrouwbaar. Maar na 1870 gaat de ontwikkeling snel. Er worden vriesschepen gebouwd voor het vervoer van bevroren vlees van Australië en Amerika naar Europa. Bekend is het door Tellier ontworpen schip "Frigorique" uit 1876.

Men bereikt met de koelmachines steeds lagere temperaturen. De natuurkundigen maken steeds meer gassen vloeibaar. In 1877 begint Cailletet met zuurstof en in 1908 is het laatste gas overwonnen, Kammerlingh Onnes maakt helium vloeibaar. Lindé weet deze natuurkundige kennis te vertalen in een technische installatie om lucht vloeibaar te maken en daarna te splitsen in zuurstof en stikstof. Nog lagere temperaturen brengen de fysici tot dicht bij het absolute nulpunt.

¹ Bron: cursus koeltechniek KHBO.

De ontwikkeling van koelmachines voor hogere temperaturen dan in de cryogene toegepast, staat evenmin stil. Audiffren bouwt in 1903 een hermetisch gesloten compressor en in 1908 vindt Pollard het thermostatisch expansieventiel uit. Daarmee worden twee belangrijke stappen vooruit gedaan.

De gebruikte koelmiddelen zijn NH_3 , SO_2 , CH_3Cl en CO_2 . Al deze media hebben een nadeel. Het ene is giftig, het andere corrosief en een derde heeft hoge werkdrukken. Pas in 1930 komt er op dit punt een doorbraak als Midgley, Henne en Mc Nary van Frigidaire in de VS Freon introduceren. Freon 12 van Dupont is het beginpunt van een grote reeks halogeenvaterstoffen. Daarmee wordt een enorme stoot gegeven aan de ontwikkeling van kleine koelmachines. De massaproductie komt aan het einde van de tweede wereldoorlog op gang en maakt daarna een geweldige groei door. De roterende stromingsmachine doet in de vorm van de turbocompressor zijn intrede in de koeltechniek. Later komt de schroefcompressor tot ontwikkeling en recentelijk heeft de scrollcompressor en de swingcompressor vernieuwing gebracht.

Uit het voorgaande valt op te maken dat in de 19^{de} eeuw aan elk van de drie belangrijkste principes voor koeling even hard is gewerkt. Maar na 1900 verandert dat. Vooral de ontwikkeling van de hermetische compressor en daarnaast door het hoge rendement gaat de compressiekoelmachine vóórlopen en wordt voor zeer veel doeleinden gebruikt. De absorptie wordt verdrongen naar de klimaatregeling en naar plaatsen waar goedkope warmte beschikbaar is. De expansiemachine vindt vrijwel uitsluitend toepassing in de zeer lage temperaturen.

Tegenwoordig komen de freonen in opspraak wegens de aantasting van de ozonlaag en het in de hand werken van het broeikas-effect. Daarom wordt hard gewerkt aan ozonvriendelijke koelmiddelen en koelinstallaties met grote rendementen. Een grote ommezwaai op dit vlak is momenteel aan de gang.

1 Thermodynamica in de koeltechniek

1.1 Voorbeschouwingen²

1.1.1 De aggregatietoestanden

Stoffen komen voor in één van de 3 fysische toestanden afhankelijk van hun temperatuur, druk en warmte-inhoud. Als voorbeeld neemt men water (onder standaard atmosfeerdruk). Indien de temperatuur beneden 0°C is water ijs geworden, m.a.w. het water komt voor als een vaste stof. Indien het water een temperatuur heeft van 0°C tot 100°C dan is het vloeistof. Boven de 100°C wordt het een gas (waterdamp).

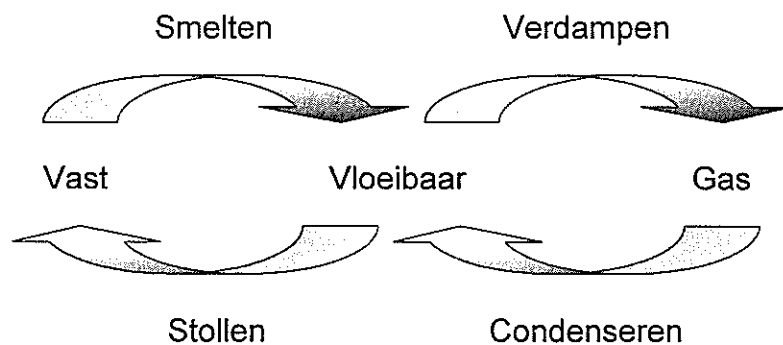


Fig. 1

Uitleg van de begrippen:

Vaste stoffen: een vaste stof is een fysische toestand van een stof waarbij het zijn vorm behoud. Het bestaat uit miljarden moleculen van dezelfde grootte, massa en vorm. Ze blijven allemaal op dezelfde afstand van elkaar (relatief³), waarbij ze snel trillen. De snelheid waarmee ze trillen wordt bepaald door de temperatuur. Hoe lager de temperatuur, hoe trager de moleculen trillen, hoe hoger de temperatuur, hoe sneller de moleculen trillen.

De moleculen zijn echter sterk met elkaar verbonden, er is een grote kracht nodig om hen te scheiden.

Vloeistoffen: een vloeistof is een fysische toestand van een stof waarbij het de vorm van de omgeving aanneemt waarin het zich bevindt. De moleculen echter hebben nog altijd een sterke aantrekkingskracht, maar kunnen toch vrijer bewegen dan bij de vaste toestand.

Hoe hoger de temperatuur, hoe vrijer ze kunnen bewegen.

Gas: een gas is een fysische toestand van een stof die in een afgesloten omgeving moet worden opgesloten, omdat men wil voorkomen dat het in de atmosfeer ontsnapt.

De moleculen hebben weinig aantrekkingskracht en kunnen zich totaal vrij bewegen.

² Bron: cursus koeltechniek KHBO.

³ Zie woordverklaring.

De overgang van de ene fysische toestand naar de andere gebeurt door toevoegen of onttrekken van warmte (fig.1).

Als men warmte toevoegt:

Smelten: overgang van vast naar vloeibaar. De temperatuur waarbij dit gebeurt noemt men smeltpunt of smelttemperatuur.

Verdampen: overgang van vloeibaar naar damp (of gas). De temperatuur waarbij dit gebeurt noemt men verdampingstemperatuur of kookpunt.

Als men warmte onttrekt:

Condenseren: overgang van damp naar vloeibaar. De temperatuur waarbij dit gebeurt noemt men condensatietemperatuur. De condensatietemperatuur is gelijk aan de verdampingstemperatuur (bij gelijke druk).

Stollen: overgang van vloeibaar naar vast. De temperatuur waarbij dat gebeurt noemt men stolpunt of stollingstemperatuur. Het stolpunt is gelijk aan het smeltpunt (bij gelijke druk).

1.1.2 Voelbare en latente warmte

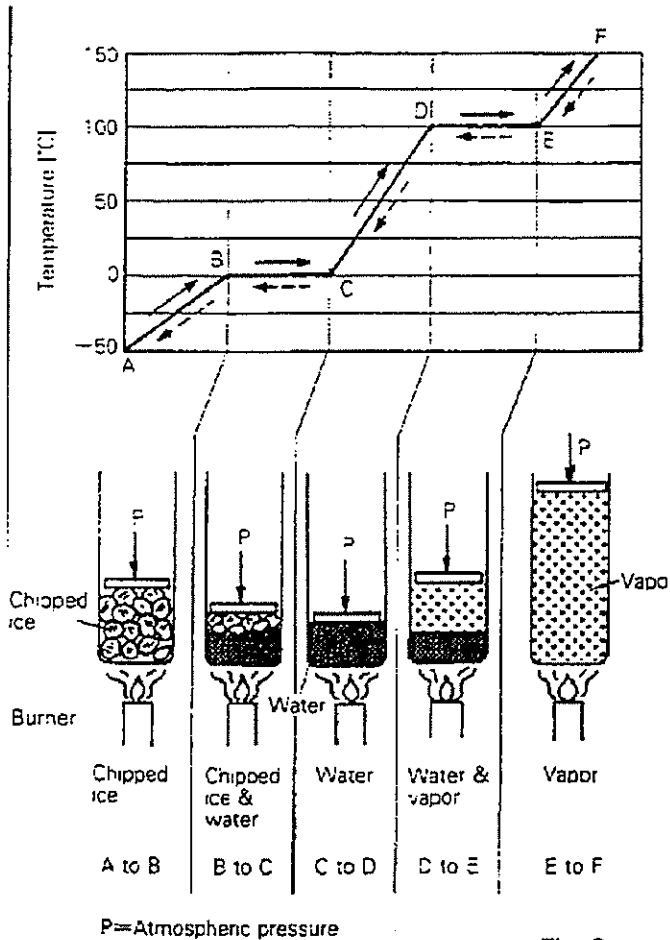


Fig. 2

Veronderstellen we gemalen ijs op -50°C dat wordt opgewarmd in een vat door middel van een brander. De druk boven het ijs is de gewone atmosferische druk. Als er warmte toegevoerd wordt zal de temperatuur van het ijs stijgen (zal nog niet smelten). Wat er wel gebeurt is dat de moleculen sneller zullen bewegen, de warmte wordt dus omgezet in kinetische energie⁴. Dit verschijnsel blijft zich voordoen tot 0°C . In de figuur van A naar B.

Eens de 0°C voorbij dan zal het ijs beginnen smelten, de temperatuur verandert echter niet totdat alle ijs is gesmolten. De toegevoerde warmte wordt niet gebruikt om de temperatuur te doen stijgen, maar om van fysische toestand te veranderen (om van structuur te veranderen). Men zegt ook dat alle toegevoerde energie (warmte) zich in potentiële energie³ omzet. In de figuur van toestand B naar C.

Wanneer het ijs volledig vloeibaar geworden is wordt de toegevoerde warmte

terug gebruikt om de temperatuur van het water te verhogen tot het water begint te koken op 100°C . Opnieuw dus wordt de toegevoerde energie omgezet in kinetische energie. In de figuur van toestand C naar D. Tijdens het koken zal de temperatuur terug constant blijven op 100°C . Tijdens deze fase hebben we dus water en waterdamp op 100°C . Naarmate er meer water verdampt neemt de hoeveelheid waterdamp toe en de hoeveelheid water af. Alle toegevoerde energie wordt omgezet in potentiële energie. In de figuur van toestand D naar E.

Wanneer het water volledig verdampt is zal de temperatuur verder oplopen. Alles die nu nog toegevoerd wordt aan energie zal worden omgezet in kinetische energie. In de figuur van toestand E naar F.

Indien men in plaats van warmte toe te voegen warmte onttrekt (koelen) zal het proces in omgekeerde richting worden doorlopen. De te onttrekken hoeveelheid warmte is gelijk aan de hoeveelheid warmte die moet worden toegevoerd.

Zoals hierboven uitgelegd, zijn er twee verschillende toestandsveranderingen. Bij de ene neemt door het toevoegen van warmte de temperatuur toe, deze warmte heet *voelbare warmte*. Bij de andere blijft de temperatuur gelijk als men warmte toevoegt. Deze warmte heet de *latente warmte*. Deze warmte wordt gebruikt om van toestand te kunnen veranderen (vast-vloeibaar-gas).

⁴ Zie woordverklaring.

De hoeveelheid warmte die moet worden toe - of afgevoerd hangt af van de soort en de hoeveelheid stof en van de druk waarbij dit gebeurt. Hierbij kunnen we enkele begrippen ophelderen:

Specifieke of soortelijke warmte (kJ/kg.K): de specifieke warmte van een stof is de hoeveelheid warmte dat moet worden toegevoerd om 1 kg van die stof 1K in temperatuur te laten stijgen. Deze wordt uitgedrukt in kJ/kg.K en voorgesteld door het symbool "c". Gebeurt dit onder constante druk, dan spreekt men van c_p . Gebeurt dit echter bij een constant volume dan spreekt men van c_v .

Enkele van die c-waarden zijn:

water = 4.2 kJ/kg.K
 ijs = 2.1 kJ/kg.K
 koper = 0.4 kJ/kg.K
 lucht = 1 kJ/kg.K
 waterdamp = 1.85 kJ/kg.K

Stollingswarmte/smeltwarmte/verdampingswarmte/condensatiewarmte: toe te voeren latente warmte voor de faseveranderingen hangt ook af van de stof. De latente warmte van een vloeistof is afhankelijk van de druk op de vloeistof. Indien de druk verhoogt zal de latente warmte afnemen. De latente warmte toe of af te voeren bij faseovergang (zie fig 2, van B naar C en van D naar E). Hierbij is de smeltwarmte gelijk aan de stollingswarmte en de verdampingswarmte gelijk aan de condensatiewarmte (in kJ/kg).

Enkele waarden bij atmosferische druk:

smeltwarmte van ijs = 334 kJ/kg
 verdampingswarmte van water = 2257 kJ/kg

Onderstaand tabel heeft een overzicht van de nodige warmte om van 6 kg ijs naar damp te gaan:

fase	wat	m (kg)	c (kJ/kg.K)	t2 (°C)	t1 (°C)	I (kJ/kg)	Q (kJ)	voelb/latent
A naar B	ijs	6	2.1	0	-50	**	630	voelbaar
B naar C	ijs en water	6	**	**	**	334	2004	latent
C naar D	water	6	4.2	100	0	**	2520	voelbaar
D naar E	water en damp	6	**	**	**	2257	13542	latent
E naar F	damp	6	1.85	150	100	**	555	voelbaar
TOTAAL							19251	

De faseveranderingen die in de figuur staan vermeld wijzen op die van in figuur 2.

1.1.2.1 Verzadiging, oververhitting en onderkoeling

Verzadigde vloeistof: wanneer de temperatuur van een vloeistof gestegen is tot aan de verzadigingstemperatuur, wat betekent dat verder toegediende warmte niet meer zal dienen om de temperatuur te doen stijgen, maar latente warmte is (om de vloeistof te doen verdampen), spreekt men van verzadigde vloeistof. Iedere bijkomende joule zal dus damp doen ontstaan.

Verzadigde damp: wanneer de temperatuur van een damp wordt verminderd tot de verzadigingstemperatuur, wat betekent dat verder afgevoerde warmte niet meer zal dienen om de temperatuur te verlagen, maar latente warmteafgifte is (om de damp te doen condenseren), spreekt men van verzadigde damp. Iedere bijkomende joule die verder wordt onttrokken zal vloeistof laten condenseren.

Oververhitte damp: wanneer de temperatuur boven de verzadigde dampstemperatuur stijgt noemen we de damp oververhit. Om oververhitte damp te hebben mag er dus geen vloeistof meer aanwezig zijn (dus boven de verzadigingstemperatuur). Indien de damp toch nog in contact is met de vloeistof zal de damp niet worden oververhit doch blijft deze verzadigd omdat elke joule toegevoegd aan het vloeistof-damp mengsel niet zal gebruikt worden om de damp te oververhitten, maar om de vloeistof te laten verdampen.

Onderkoelde vloeistof: wanneer de temperatuur beneden de verzadigde vloeistofstemperatuur daalt noemen we de vloeistof onderkoeld. Verder kun je dezelfde opmerkingen maken als bij oververhitte damp.

1.2 De hoofdwetten van de thermodynamica⁵

1.2.1 Eerste hoofdwet

Het belangrijkste van de eerste hoofdwet is het behoud van energie. Dit betekent dat als je in een bepaald systeem energie toevoegt de inwendige energie zal stijgen. De soort energie die men toevoegt kan verschillende vormen aannemen (bvb. elektriciteit, warmte, beweging...). Als symbool voor de inwendige energie gebruikt men U . Men heeft ook een formule gevonden voor het berekenen van de bijgekomen inwendige energie:

$$Q - W = U_e - U_b$$

Uitleg bij formule: Q = de warmtehoeveelheid die toegevoegd wordt
 W = arbeid die het systeem levert
 U_b = hoeveelheid inwendige energie in de begintoestand
 U_e = hoeveelheid inwendige energie in de eindtoestand

Als men warmte (of andere soort energie) toevoegt aan het systeem dan wordt een deel omgezet in arbeid die het systeem moet leveren en de rest van de energie wordt omgezet in inwendige energie. Dus de inwendige energie neemt toe. Je kunt ook zeggen dat al de energie die je toevoegt wordt omgezet in inwendige energie U en arbeid W . De formule zou men dan kunnen omvormen tot:

$$Q = U_e - U_b + W = \Delta U + W$$

In de koeltechniek is het de bedoeling om de inwendige energie van de eindtoestand lager te krijgen dan in de begintoestand. Dus het verschil van U_e en U_b moet negatief zijn.

1.2.2 Tweede hoofdwet

Wanneer een systeem een kringproces doorloopt is de algebraïsche som van de toegevoerde warmtehoeveelheden gelijk aan de algebraïsche som van de afgevoerde arbeidshoeveelheden. Men zal dan ook proberen om een zo groot mogelijk gedeelte van de toegevoerde warmte in arbeid om te zetten. Men noemt deze verhouding het thermisch rendement van het kringproces:

$$\eta = \sum \frac{W}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

⁵ Bron: cursus fysica 5^{de} jaar.

1.3 Kringprocessen⁶

1.3.1 Kringproces

Een kringproces is een opeenvolging van toestandsveranderlijken, maar de eindtoestand is gelijk aan de begintoestand. Het gebied tussen de toestandsveranderlijken is de hoeveelheid arbeid dat het proces levert. Het symbool voor een hoeveelheid arbeid is W . Je hebt een positief kringproces als de toestandsveranderlijken in wijzerzin lopen.

1.3.2 Het kringproces van Carnot

Dit theoretisch kringproces bestaat uit 2 isothermen⁷ en 2 adiabaten⁶. In onderstaand figuur is dit kringproces getekend.

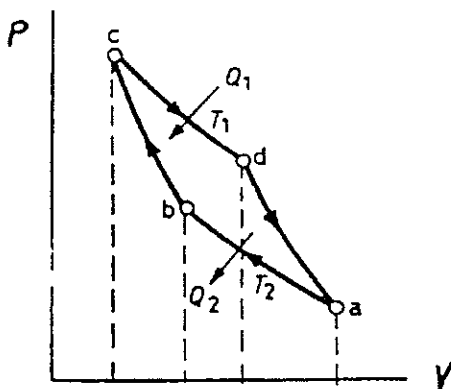


Fig. 3

Uitleg bij figuur:

a-b is een isothermische compressie
 b-c is een adiabatische compressie
 c-d is een isothermische expansie
 d-a is een adiabatische expansie

Alle warmte wordt toegevoerd tijdens de isothermische expansie c-d, de gehele warmte - afvoer vindt plaats tijdens de isothermische compressie a-b.

Voor het berekenen van het rendement van een kringproces kunnen we schrijven:

$$\eta = 1 - \frac{Q_1}{Q_2} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Uit deze formule kan men besluiten dat alleen de toevoer - en afvoertemperatuur een rol spelen en niet het soort gas om het rendement te bepalen.

⁶ Bron: cursus fysica 5^{de} jaar.

⁷ Zie woordverklaring.

1.4 Het negatieve Carnotproces⁸

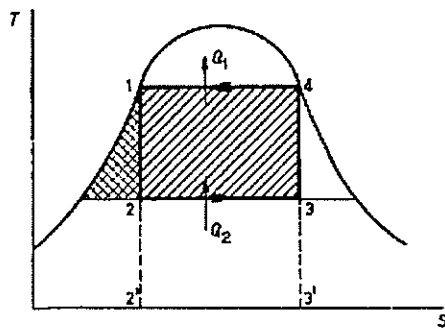


Fig. 4

Het negatief Carnotproces bestaat uit 2 isothermen en 2 adiabaten. In de figuur hiernaast is:
 1-2 de isentrope expansie⁹ van de vloeistof.
 2-3 de verdamping van de vloeistof t.g.v. warmteopname uit de koelcel.
 3-4 de isentrope compressie⁸ van de natte damp.
 4-1 de condensatie van verzadigde damp in een condensor.

Q_1 = de in de condensor afgegeven warmte \approx opp. 4-1-2'-3'.

Q_2 = de warmte opgenomen in de verdamper \approx opp. 2-3-3'-2'.

$Q_1 - Q_2 = W \approx$ opp. 1-2-3-4.

De netto toe te voeren arbeid komt overeen met het oppervlak ingesloten door het kringproces.

De koudefactor:

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{|W|} = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_2(S_3 - S_2)}{(T_1 - T_2)(S_3 - S_2)} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

De koudefactor is de verhouding tussen de hoeveelheid warmte eruit een koelcel is gehaald met de arbeid die men moet leveren. Deze koudefactor is de maximale waarde die bij de gegeven temperatuurgrenzen mogelijk is.

Uit figuur 4 blijkt ook dat T_2 zo hoog mogelijk moet worden genomen en T_1 zo laag mogelijk. Dit betekent dat de verdampingstemperatuur niet lager moet zijn dan nodig is (ook te zien in de formule).

Dit theoretisch kringproces zal men echter nooit in de praktijk tegenkomen. En dit omwille van de volgende problemen:

1. De expansieventiel levert maar een geringe hoeveelheid arbeid, omdat bij de drukdaling het volume van het koelmedium slechts weinig toeneemt.
2. Bij het aanzuigen van natte damp loopt de smering van de compressor gevaar. Bovendien kan smeerolie, opgenomen door het koelmedium, zich op de condensorpijpen afzetten en daardoor de warmteoverdracht hinderen.

⁸ Bron: Warmteleer voor technici van Van Kimmenaede.

⁹ Zie woordverklaring.

Om deze problemen op te lossen zal men het volgende doen:

Om het eerste probleem op te lossen zal men het expansieventiel vervangen door een regelkraan. Hiermee kan men op een eenvoudige manier de druk tot een gewenste waarde reduceren. De toestandsverandering verloopt hierbij volgens een lijn van constante enthalpie¹⁰. De entropie⁹ neemt echter toe. In de figuur hiernaast is de dit proces door de gestippelde kromme 1-2 weergegeven. De koudefactor zal lager zijn dan bij die van figuur 4, ook al is de warmte toegevoerd bij een constante temperatuur.

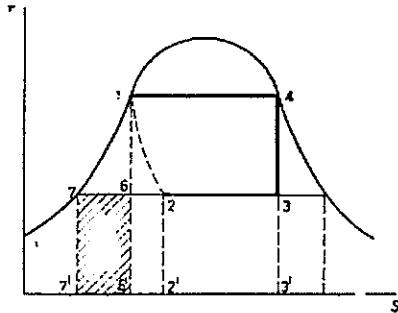


Fig. 5

Het dampgehalte in 2 is :

$$x_2 = \frac{(h_1 - h_{v1})}{r}$$

In deze formule zijn h_{v1} en r waarden die behoren bij de verdampingstemperatuur T_2 . De dampvorming bij de expansie is essentieel voor het verkrijgen van een lage temperatuur. Wordt namelijk van een vloeistof met verzadigingstemperatuur de druk verlaagd, dan ontstaat damp. Omdat er echter geen warmte wordt toegevoerd zal de warmte die men hiervoor nodig heeft aan de vloeistof zelf worden onttrokken, zodat deze in temperatuur daalt. De verdamping zal maar stoppen zodra de verdampingstemperatuur behorende bij de druk na de regelkraan is bereikt. De warmte die per kg koelmedium uit de koelcel kan worden opgenomen:

$$Q_2 = \text{opp. } 2-3-3'-2'$$

De warmteafvoer in de condensor is gelijk gebleven, zodat de toe te voeren arbeid:

$$W = \text{opp. } 1-6'-2'-2-3-4$$

of

$$W = \text{opp. } 1-4-3-7$$

¹⁰ Zie woordverklaring.

Om het tweede probleem op te lossen zal de compressor geen natte damp mogen aanzuigen. Men zal dus moeten verzadigde damp aanzuigen, dat zal er ook voor zorgen dat de waarde van de koudeproductie zal stijgen. De koudeproductie zal stijgen met een waarde die overeenkomt met opp.3-6-5'-3'.

Bij compressie van verzadigde damp wordt deze oververhit. In de compressor moet dan eerst de oververhittingswarmte, voorgesteld door het opp. 4-5-5'-3', worden afgevoerd voor de condensatie kan beginnen. Door deze werkwijze zal echter de koudefactor beïnvloed worden. Het is duidelijk dat t.o.v. een Carnot-proces met T_1 en T_2 als temperatuurgrenzen de toevoeging van het proces 6-3-4-5 een verlaging van de koudefactor inhoudt. De gemiddelde temperatuur van warmteafvoer is nu immers hoger geworden.

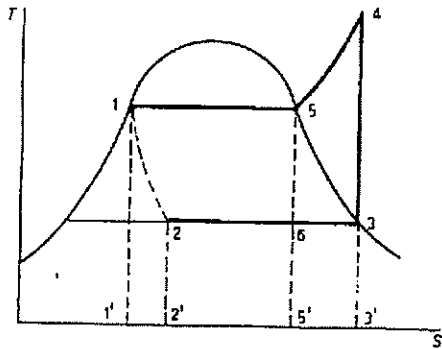


Fig. 6

Omdat de temperatuur in de koelcel altijd wat hoger ligt dan de verdampingstemperatuur, is het mogelijk dat de damp al in de verdampingsspiralen wordt oververhit. Dit kan gebeuren als de leidingen naar de compressor niet goed geïsoleerd zijn. De oververhitting verloopt volgens de isobaar 4-5 (zie fig. 7).

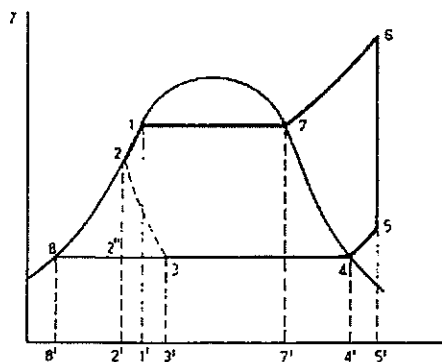


Fig. 7

De temperatuur van het koelwater is lager dan de condensatietemperatuur. Daardoor is het mogelijk dat het koelmiddel tot beneden de condensatietemperatuur wordt afgekoeld. Dit proces verloopt van 1 naar 2 in de figuur hiernaast. Hierdoor is de koudefactor toegenomen.

Een overzicht van de warmte die af- of toegevoerd wordt:

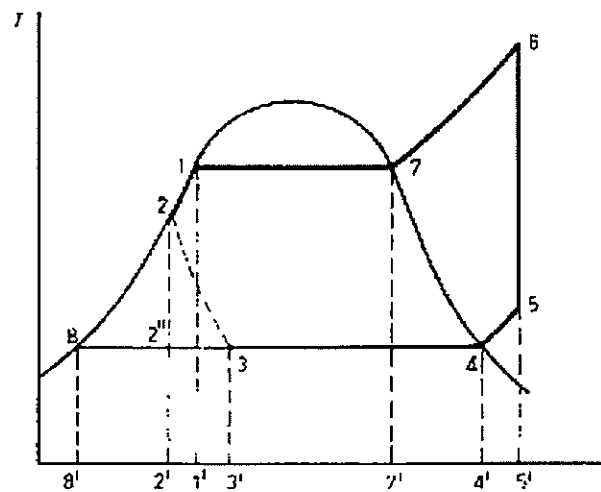


Fig. 8

opp. 1-2-2'-1' = $h_1 - h_2$ = warmte afgevoerd met het koelwater bij nakoeling van het koelmedium,

opp. 3-4-4'-3' = $h_4 - h_3$ = warmte door het koelmedium tijdens de verdamping opgenomen,

opp. 4-5-5'-4' = $h_5 - h_4$ = warmte door het koelmedium tijdens de oververhitting opgenomen,

opp. 7-1-1'-7' = $h_7 - h_1$ = de met het koelwater afgevoerde condensatiewarmte.

1.5 Meertrapscompressie¹¹

Bij grote drukverschillen tussen verdamper en condensor kan de temperatuur in 4 (zie fig. 7) een hoge waarde bereiken. Dit kan gevaarlijk zijn voor de smering. In een meertrapscompressie zal de koudefactor lager worden. In fig. 9 is een tweetrapscompressie met tussenkoeling tot de temperatuur T_6 afgebeeld. Het gearceerde oppervlak stelt de arbeidswinst voor, die groter is naarmate het drukverschil groter is.

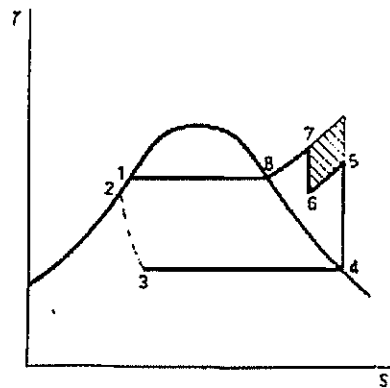


Fig. 9

Voor het berekenen van koelinstallaties wordt gebruik gemaakt van het $(h, \log p)$ -diagram¹². Hierdoor kunnen berekeningen zeer snel worden uitgevoerd.

1.6 De gebruikelijke kringloop¹⁰

Omdat de compressor een mengsel van damp en vloeistof moet verwerken zorgt dit voor praktische moeilijkheden (zie 1.4). Doordat men de toestand 2 (zie fig. 10) moeilijk kan detecteren zal men ervoor zorgen dat zeker alles is verdampt, anders zal er een vloeistofslag zijn in de compressor. Daarna zal de vloeistof oververhit zijn en zal ze eerst moeten afkoelen en dan kan er condensatie optreden. Dit alles gebeurt in de condensor.

De arbeid die men krijgt van de toestand die van 4 naar 1 gaat gebruikt men niets. Dit komt omdat de kosten en het onderhoud van een turbine te hoog liggen en het is de moeite niet als men ziet welke arbeid men maar krijgt.

Een voorbeeld van zo'n kringloop:

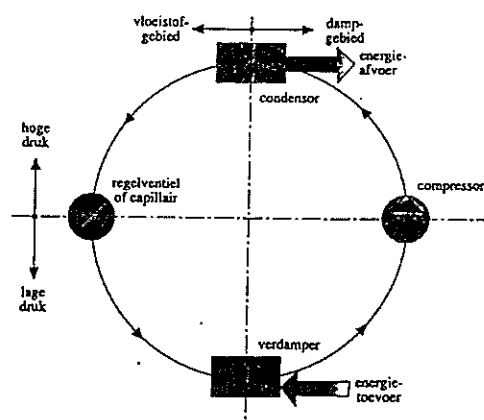


Fig. 10

¹¹ Bron: Warmteleer voor technici van Van Kimmenaede.

¹² Het $(h, \log p)$ -diagram wordt in hoofdstuk 1.7 uitgelegd.

1.7 Soorten Diagrammen¹³

1.7.1 Het (h, log p) - diagram

1.7.1.1 Een (h, log p) - diagram

Het (h, log p) - diagram toont het verband aan tussen druk en enthalpie. Dit diagram werd door professor R. Mollier ontwikkeld. Hieronder volgt een uitleg van wat er in een (h, log p) - diagram staat en wat het voorstelt:

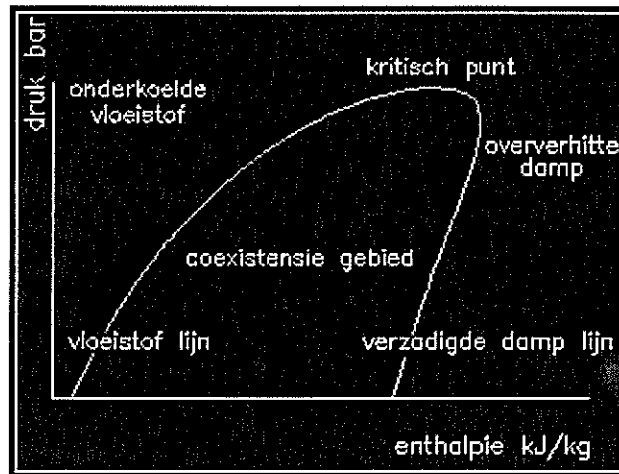


Fig. 11

Op de horizontale as plaats men de warmte-inhoud (enthalpie). Op de verticale as wordt de druk genoteerd¹⁴. De warmte-inhoud is per kg, dus de grafiek geldt voor 1 kg van een bepaalde stof. In het diagram zie je ook 3 delen. Het eerste deel is het gedeelte van de onderkoelde vloeistof, het tweede is het coëxistentie gebied en het derde deel de oververhitte damp (deze drie delen worden verder besproken). De grafiek bevat twee lijnen nl. de vloeistoflijn en de verzadigde damplijn. Het punt waar deze twee samenkomen heet het kritisch punt. Boven dit punt is het onmogelijk om nog de damp te condenseren door de druk te verhogen.

Om met dit diagram te kunnen werken zullen we de volgende lijnen moeten kennen¹⁵.

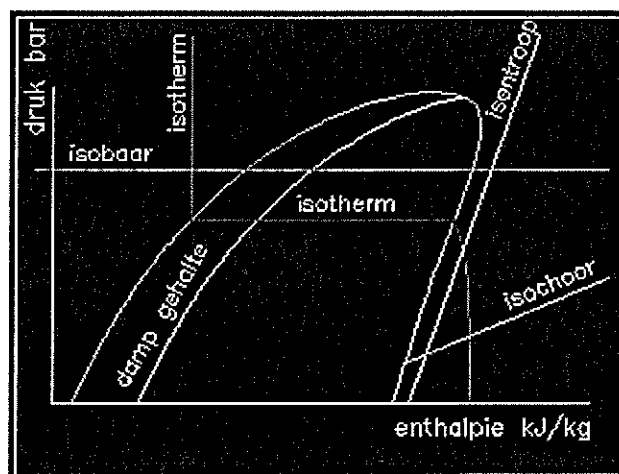


Fig. 12

¹³ Bron: Internetsite: <http://home.plex.nl/~jlmvers/koel/2.htm>

¹⁴ Deze druk wordt in logaritmische schaal genoteerd.

¹⁵ Zie woordverklaring.

(De grafiek is van het koelmiddel R134a)

1. Expansie

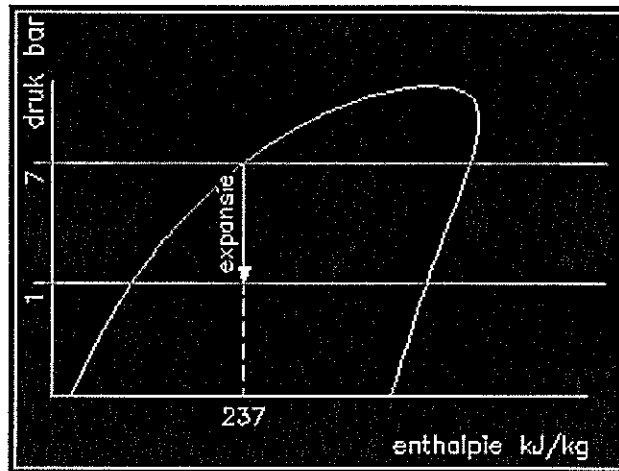


Fig. 13

De druk wordt verlaagd van 7 bar naar 1 bar. Maar de enthalpie-inhoud blijft 237 kJ/kg. Het koelmiddel zal verdampen en de drukverlaging verkrijgt men door capillair of expansieventiel.

2. Verdampen

Om te kunnen verdampen moet het koelmiddel warmte kunnen opnemen. Deze warmte komt uit de omgeving waarin het koelmiddel zich bevindt. Dus de ruimte die moet worden gekoeld. Door deze warmteopname zal de enthalpie van het vloeistof stijgen en zal dus na een tijd verdampen. Op figuur 11 zie je dat de enthalpie stijgt tot een waarde van 383 kJ/kg en dat de druk gelijk blijft.

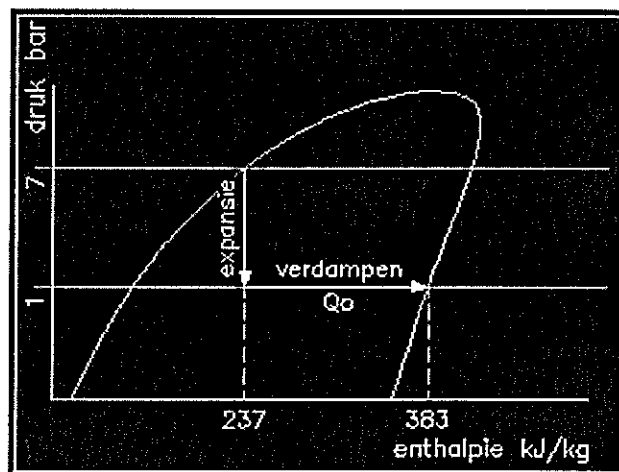


Fig. 14

3. Compressie

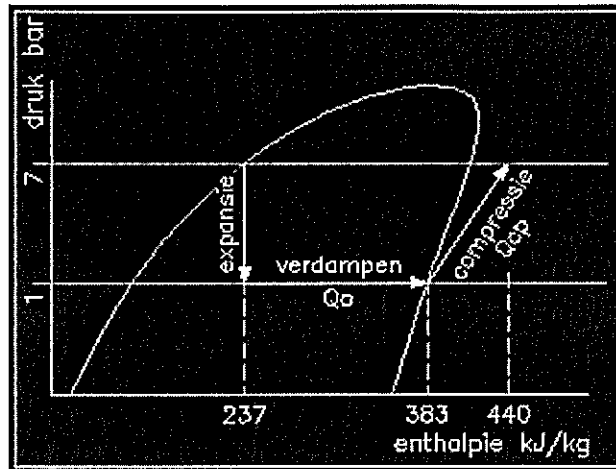


Fig. 15

Tijdens de compressie neemt het koelmiddel(ondertussen al gasvormig) energie op. Energie in de vorm van warmte. De damp(of gas) wordt samengedrukt naar een hogere temperatuur- en drukniveau. Omdat men dit samenperst zal de damp oververhit worden. De enthalpie bedraagt na de compressie 440 kJ/kg.

4. Condensatie

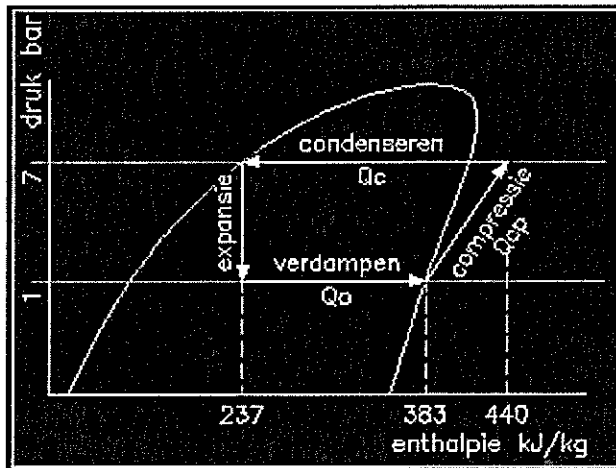


Fig. 16

In de condensor wordt de oververhitte damp afgekoeld tot de temperatuur waarbij het koelmiddel terug vloeibaar is. Om het koelmiddel te kunnen condenseren moet de temperatuur van het koelmiddel hoger zijn dan de omgevingstemperatuur. Uit deze grafiek kun je ook afleiden dat alle toegevoerde warmte terug moet afgevoerd worden. Condenseren gebeurt altijd op gelijke druk en temperatuur.

1.7.1.2 De drie delen

Eerder in het vorige deel zijn deze drie delen al eens ter sprake gekomen. Nu zullen we deze delen nader bekijken.

Het eerste deel is het deel voor de vloeistoflijn. Dit is het gebied waar alle koelmiddelen vloeibaar zijn. Naarmate men energie toevoegt (bij een gelijke temperatuur) dan zal het koelmiddel tot aan de vloeistoflijn vloeibaar zijn, maar zal beginnen verdampen bij de vloeistoflijn tot en met de verzadigde damplijn. Dus het tweede deel tussen de vloeistoflijn en de verzadigde damplijn is een gebied met gelijk temperatuur en druk. In dit gebied zal het koelmiddel verdampen. Als men de verzadigde damplijn voorbij is dan heb je alleen nog damp, maar in de praktijk zal men de damp nog verder verwarmen totdat men zeker is dat alles damp is (anders heb je in de compressor een vloeistofslag).

Voorbeelden van $(h, \log p)$ - diagrammen vindt je in bijlage 1. In elke figuur staat vermeld wat het referentiepunt is. Hiermee bedoelt men dat men beginnen meten is van een welbepaalde enthalpie-waarde. Omdat men de absolute waarde van enthalpie niet weet moet men een referentiepunt aangeven.

1.7.2 Het (h, x) - diagram van vochtige lucht

1.7.2.1 Het (h, x) - diagram

Als je een ruimte afkoelt dan zal het vocht van deze ruimte condenseren. De temperatuur speelt dus een zeer belangrijke rol in het condenseren, want als de temperatuur hoger is dan zal de vocht die gecondenseerd is weer verdampen. Dit verschijnsel is goed waar te nemen in de badkamer. Je neemt een douche wanneer het in de badkamer 5°C is en daarna als er in de badkamer een temperatuur is van 30°C . De lucht zal veel vlugger verzadigd zijn in de koude badkamer dan in de warme. Dit verschijnsel merk je op koude oppervlakken en aan mistvorming.

Voor lucht bestaat er een punt waarop de lucht met waterdamp is verzadigd¹⁶. Dit noemen we de verzadigingsconcentratie en die is afhankelijk van de temperatuur. Is de lucht voor 100 % verzadigd, dan noemt men dit een relatieve vochtigheid van 100 % en men stelt dit voor met de letter ϕ . Als de relatieve vochtigheid bijvoorbeeld 75 % is, dan wil dit zeggen dat in die lucht een vochtigheid voorkomt die 75 % bedraagt van de maximale waarde. Om de hoeveelheid 'vocht' te weten moet men de absolute waarde kennen.

Om deze gegevens snel en efficiënt te gebruiken maakt men gebruik van een (h, x) - diagram¹⁷

Op de y-as wordt de temperatuur weergegeven (hier in $^{\circ}\text{C}$). Vanuit deze as zijn evenwijdige, horizontale assen (bijna horizontaal) getrokken, op die assen is de (in elk punt) luchttemperatuur gelijk aan deze die op de y-as staan. Op de x-as wordt de absolute waarde gegeven van de hoeveelheid 'vocht' in die lucht¹⁸.

Op het diagram zie je ook veel lijnen¹⁹. De horizontale zijn met constante temperatuur (lijn B), de kromme lijnen zijn deze met constante relatieve vochtigheid ϕ (lijn A). De lijn waarop 100 % staat verdeelt deze grafiek in twee. Het eerste deel noemt men het oververhit gebied en het tweede het nevelgebied. In het nevelgebied kan de relatieve vochtigheid nooit meer bedragen dan 100 %. Het oververhitte gebied daarentegen bevat nog vele onbekende lijnen. Een deel van die lijnen zijn deze van de constante watergehalte x (de hoeveelheid 'vocht'). Deze lopen verticaal vanuit de x-as. Evenwijdig aan de lijn C. De lijnen evenwijdig aan de lijn E zijn deze met een constante enthalpie h (in kJ/kg) of men noemt ze ook de isenthalpen. Hierbij moet men echter een referentiepunt meegeven (de absolute waarde van enthalpie kan men nog niet bepalen). Dus neemt men voor $h = 0 \text{ kJ/kg}$ een temperatuur van 0°C en een relatieve vochtigheid van 0 %. Dit kun je zeer goed zien op de figuur. Ten slotte vind je er ook de partiële dampdruk p_v ten opzichte van de lucht in kPa . Deze lijnen lopen ook evenwijdig met lijn C.

¹⁶ Zie woordverklaring.

¹⁷ Zie figuur 1 in bijlage 3.

¹⁸ De eenheid is gram per kilogram, dus hoeveel gram waterdamp er per kilogram lucht aanwezig is.

¹⁹ Zie figuur 2 in bijlage 3.

1.7.2.2 Eenvoudige processen in het (h, x) - diagram

Op figuur 3 van bijlage 3 zie je een aantal processen die we nu zullen bespreken:

Van toestand A naar toestand B:

In dit proces neemt de temperatuur toe. We verwarmen dus de lucht tot ongeveer 38°C en we komen van 30°C dus is de temperatuur toegenomen met 8 °C. Hierdoor zal de relatieve vochtigheid van 70 % naar ± 43 % gaan (wat normaal is, want dat de relatieve vochtigheid daalt naarmate de temperatuur stijgt). De absolute vochtigheid blijft gelijk, want je voegt geen vocht toe en je neemt er ook geen weg. De enthalpie stijgt, dit is ook logisch want je voegt tenslotte warmte toe en die warmte is in feite energie die zich omzet in inwendige energie. Dit is op de grafiek ook meteen duidelijk.

Van toestand C naar toestand D:

Hier neemt de temperatuur sterk af, namelijk van 35°C naar ±8°C. Je kunt zeggen dat de temperatuur gedaald is met 27°C. Deze toestandsverandering heeft tot gevolg dat de relatieve vochtigheid sterk zal toenemen, want hij gaat van 20 % naar 100 %ⁱ. Dit is een toename van 80 %. De temperatuur in toestand D noemt men ook wel eens het dauwpunttemperatuur, dit is de temperatuur waarbij de eerste condensatie of dauw optreedt. De absolute vochtigheid is ook hier niet veranderd, want je hebt terug geen vocht toe- of afgevoerd. De enthalpie is echter gedaald, want je hebt energie uit de lucht moeten nemen (er is dus sprake geweest van koelen).

Het is ook mogelijk om de lucht nog verder te laten afkoelen dan de toestand in D. Op de figuur is dit aangeduid met D'. Hierbij blijft de relatieve vochtigheid 100 % (kan niet meer zijn), de temperatuur is gedaald tot ±3°C en de enthalpie is ook nog verder gedaald. Bij deze toestand zal de damp (of het koelmiddel) al redelijk zijn gecondenseerd.

Van toestand E naar toestand F:

Dit is een toestandsverandering waarbij er twee toestandsveranderingen plaatst vinden. Stel dat je toestand E en toestand F bezit en je wil naar toestand M. In toestand E heb je de volgende gegevens: de temperatuur is 42°C, de relatieve vochtigheid is 10 %, een enthalpie van 55 kJ/kg en een absolute vochtigheid van 5 g/kg. In toestand F heb je: een temperatuur van 26°C, een relatieve vochtigheid van 80 %, een enthalpie van 70 kJ/kg en een absolute vochtigheid van 17 g/kg. Na een paar berekeningen vind je dat de temperatuur die je bekomt na het mengen gelijk is aan 30,57°C. Nu je de temperatuur weet kun je de rest bepalen: een enthalpie van 65 kJ/kg, een relatieve vochtigheid van 50 % en een absolute vochtigheid van 14 g/kg.

Van toestand G naar toestand H:

Deze toestandsverandering is adiabatisch. Het is dus een verandering met een constante enthalpie. In dit voorbeeld is die waarde gelijk aan 55 kJ/kg. Hiervoor moeten we ervoor zorgen dat de temperatuur van het vernevelde water gelijk is aan die van de doorstromende lucht, want je mag geen warmte toe- of afvoeren. De toestand in G heeft een temperatuur van $\pm 33^{\circ}\text{C}$, een enthalpie van 55 kJ/kg, een relatieve vochtigheid van 30 % en een absolute vochtigheid van ± 22 g/kg. In de toestand H heb je: een temperatuur van $\pm 19^{\circ}\text{C}$, een enthalpie van 55 kJ/kg, een relatieve vochtigheid van 100 % en een absolute vochtigheid van 14 g/kg.

Omdat je dus geen warmte toevoegt (of afvoert) heb je een adiabatistische toestandsverandering en zal de enthalpie constant blijven.

2 De onderdelen²⁰

2.1 De condensor

2.1.1 Inleiding

De condensor heeft als doel, het door de compressor samengeperste dampvormige koudemEDIUM te condenseren. Het koudemEDIUM komt in oververhitte toestand in de condensor, terwijl het de condensor verlaat als onderkoelde vloeistof. De warmte die aan het koudemEDIUM moet worden onttrokken, stelt zich dus samen uit:

- a. de oververhittingswarmte van de damp
- b. de condensatiewarmte
- c. de onderkoelingswarmte van de vloeistof

Van deze verschillende soorten van warmte is b het grootst.

We kunnen onderscheid maken in de verschillende condensortypen, naar gelang de wijze, waarop de warmte wordt afgevoerd. Men komt dan tot de volgende indeling:

1. met water gekoelde condensors
2. met lucht gekoelde condensors
3. verdampingscondensors of evaporative condensors

Bij de twee eerste situaties is het duidelijk dat men respectievelijk water en lucht gebruikt voor het afkoelen. Voor de derde situatie komt de warmteafvoer tot stand m.b.v. water, dat over de condensorpijpen vloeit en ten gevolge daarvan warmer wordt. Hierdoor gaat men een grote hoeveelheid lucht laten verdampen door een grote hoeveelheid lucht te laten stromen in de andere richting als het water langs de condensorpijpen.

De gevormde waterdamp wordt door de lucht meegevoerd. De temperatuur van het water blijft zodoende tussen betrekkelijk nauwe grenzen schommelen. Het afvloeiende water wordt opgevangen en opnieuw gebruikt. Er is slechts een betrekkelijke suppletie nodig. Deze condensor noemt men dan ook wel eens karakteristiek een watersparende condensor.

Het tweede type, de met lucht gekoelde condensor, wordt slechts toegepast bij betrekkelijk geringe capaciteiten (tot ca. 8000kcal/h) en dan nog alleen bij koude media met een betrekkelijk lage dampspanningskromme, aangezien de condensatietemperatuur bij dat type in de zomer zeer hoog kan worden.

Voor industriële NH₃ – koelinstallaties worden ze niet toegepast. Men vindt ze wel bij kleine installaties, werkend met freon12, chloormethyl,...

De met lucht gekoelde condensors bestaan uit één of meer rijen slangvormig gebogen pijpen, welke in de regel van koelribben of – lamellen zijn voorzien en waarlangs, met behulp van een ventilator, lucht wordt geblazen. Het koudemEDIUM treedt doorgaans boven in de pijpen in en wordt aan de onderzijde afgevoerd naar een vloeistof reservoir.

Meestal maken deze condensors deel uit van een koelaggregaat, bestaande uit compressor, motor en condensor. Vaak is dan het vliegwiel van de compressor van zodanig gevormde spaken voorzien, dat een ventilatorwerking wordt verkregen en is op de motor as eveneens een schroefventilator aangebracht. Van de met water gekoelde condensors kunnen watergekoelde condensoren worden genoemd.

²⁰ Bron: Koeltechniek van HOEN C.

2.1.1.2 De multiplexcondensator

Dit type condensator bestaat uit één of meer pijpen van betrekkelijk grote diameter, waarin zich meer dan één binnenpijp bevindt. Het aantal binnenpijpen kan variëren bij de diverse uitvoeringen, van ongeveer 5 tot 24 stuks. De binnenpijpen of mantels, zoals men ze zou kunnen noemen, zijn aan de uiteinden voorzien van pijpplaten, waarin de binnenpijpen gasdicht zijn gerold of gelast. De binnenpijpen zijn watervoerend, het koudemEDIUM condenseert aan de buitenzijde van de pijpen. De waterkappen, welke de uiteinden van de mantels waterdicht afsluiten, kunnen aan de binnenzijde voorzien zijn van een aantal schotten, die zodanig zijn geplaatst, dat het water gedwongen wordt door een bepaald aantal binnenpijpen parallel te stromen, welk aantal door de plaatsing van de schotten wordt bepaald. De naam multiplex is eigenlijk onjuist en zou beter vervangen worden door de Engelse naam multipass, hetgeen aanduidt, dat het koelwater in een aantal passes door de condensator stroomt. Bouwt men enige mantels samen, op de wijze van de dubbelpijpcondensator, dan noemt men elk samenstel van buitenpijp plus binnenpijpen een condensorelement.

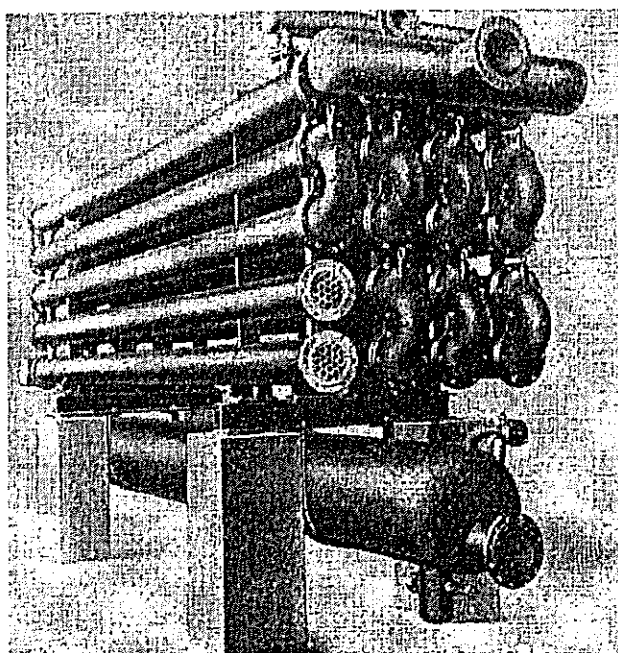


Fig. 18

Indien het koelwater alle pijpen van een element tegelijk doorstroomt, dus het element van één pass doorloopt, kan men, ingeval van serieschakeling van meer dan één element nog spreken van tegenstroom, indien men het koelwater onder in laat treden, het koudemEDIUM boven. Wanneer echter het koelwater een element in meer dan één pass doorloopt, kan van tegenstroom feitelijk niet meer gesproken worden. Het begrip kruisstroom is hier beter op zijn plaats. Men is er veelal toe overgegaan, de condensorelementen te standaardiseren, dat wil zeggen: men bouwt elementen op voorraad, van een constant aantal binnenpijpen (vb. 24 stuks per mantel) en slechts een beperkt aantal gekoelde lengtes. Onder gekoelde lengtes verstaat men de pijplengtes, die aan het condensatie proces deelnemen. Tevens zorgt men er voor, waterkappen in voorraad te hebben, met een zodanige variatie in de indeling van de keerschotten, dat men het koelwater naar keuze door vb. 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12 pijpen parallel kan laten stromen, afhankelijk van de watersnelheid en van de hoeveelheid koelwater per tijdseenheid, welke wordt bepaald door de condensatorcapaciteit en de temperatuurstijging van het koelwater die men toelaat.

Ondanks het feit dat men per element niet kan spreken van tegenstroom, wordt toch een goede onderkoeling bereikt, aangezien het koudste water onder wordt toegevoerd en het gecondenseerde koudemEDIUM langs de buitenzijde van de pijpen naar beneden druppelt, waarbij het door de koudste onderpijpen extra wordt afgekoeld. Soms voorziet men het condensorreservoir van enkele met watergekoelde pijpen (k-waarde van $750 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}^\circ \text{C}$ en watersnelheid van 1 à 1,3m/sec).

2.1.1.3 De blokcondensator

De blokcondensator is eveneens een bevoeiingscondensator, echter van het tegenstroom type. Het koudemEDIUM wordt aan de onderzijde in de pijpen gevoerd, waarvan de einden iets opgebogen zijn, zodat ze ten dele gevuld blijven met vloeibaar koudemEDIUM. De afvoer van het condensaat geschiedt aan de bovenzijde, waar het verse koude koelwater over de pijpen gesproeid wordt, zodat een goede onderkoeling wordt verkregen. Het dampvormige koudemEDIUM stroomt aanvankelijk met grote snelheid door de pijpen. De snelheid vermindert, naarmate de damp condenseert, doch dan is de oververhittingwarmte afgevoerd en heeft de damp snelheid nog slechts een geringe invloed op de warmte overgangscoefficiënt. Wanneer de damp nog oververhit is, bevordert een grote stroomsnelheid de warmteoverdracht echter ten zeerste. In de blokcondensator wordt de oververhittingwarmte dus op vlotte wijze afgevoerd.

Schema van een blokcondensator:

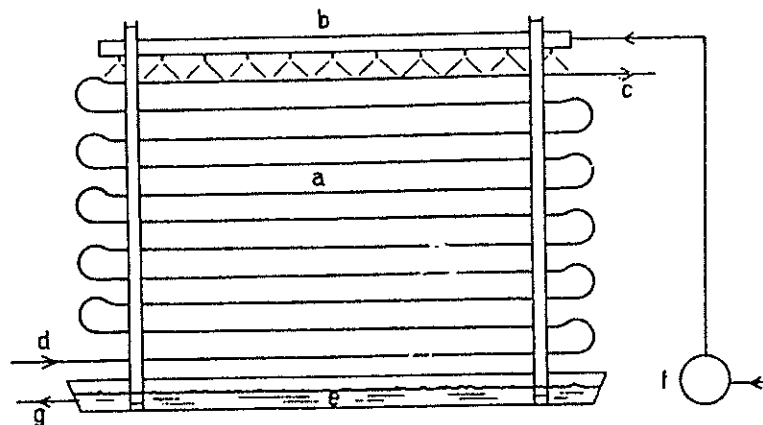


Fig. 19

- Legende: a = condensator
 b = sproeier
 c = afvoerleidingen vloeistof
 d = toevoerleiding gas
 e = verzamelbak voor koelwater
 f = koelwaterpomp
 g = afvoer koelwater

De k –factor bedraagt ongeveer $750 \text{ kcal/m}^2\text{h } ^\circ\text{C}$.

De blokcondensor is nagenoeg niet watersparend. In gevallen waar schaarste aan koelwater bestaat, kan men, door het aanbrengen van een lattenkoelwerk boven de condensorpijpen, gecombineerd met hercirculatie van het koelwater en suppletie van vers koelwater, enerzijds profiteren van de gunstige eigenschappen van dit type condensor, anderzijds een belangrijke besparing aan koelwater verkrijgen. Het aflopende, warme koelwater wordt dan over het lattenkoelwerk gepompt, waar het door gedeeltelijke verdamping aan de lucht afkoelt. Het wordt opgevangen in een bevoeiingsgoot waarin ook het suppletiewater wordt gebracht, en vervolgens weer over de pijpen gevoerd. Het lattenkoelwerk moet zodanig worden geconstrueerd, dat een zo gering mogelijke hoeveelheid koelwater door de wind wordt meegevoerd. Men moet er zich hierbij wel rekenschap van geven, dat, naarmate men minder suppleert, de condensatietemperatuur steeds meer afhankelijk wordt van de klimatiese omstandigheden en dat de begintemperatuur van een steeds geringere rol gaat spelen. Bij een nijpend gebrek aan koelwater, wanneer men dus weinig kan suppleren, is het beter om over te gaan tot de toepassing dan een evaporative condensor of gesloten condensor, met terugkoeling van het koelwater in een koeltoren.

De blokcondensor is enigszins verwant met de Amerikaanse bleeder condensor.

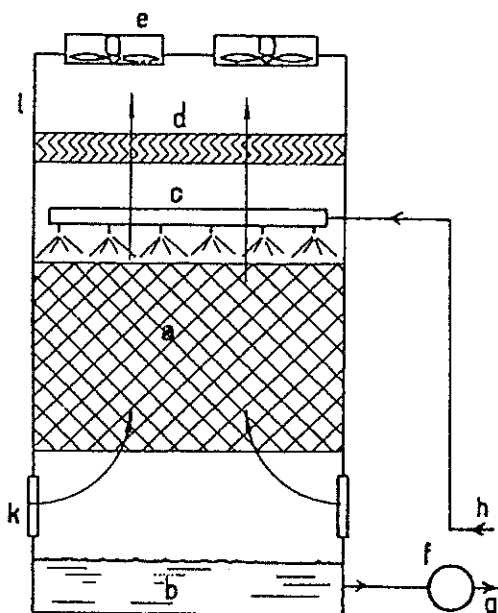
De k – factor van de bleeder condensor is $900 \text{ kcal/m}^2\text{h } ^\circ\text{C}$.

De horizontale pijpen worden hier parallel geplaatst.

2.1.2 Koeltoren

De koeltoren met geforceerde trek heeft als taak, het koelwater, dat verwarmd is in de condensor, tot de oorspronkelijke temperatuur terug te koelen. In de opbouw lijkt dit apparaat enigszins op de verdampingscondensor, met dit verschil, dat de condensorpijpen zijn vervangen door een houten, metalen, of keramische constructie. Met als functie het koelwater, dat door middel van een bevoeiings – of sproei inrichting over de constructie verdeeld wordt. Om het zo gelijkmatig en fijn mogelijk te verspreiden. Zodat een zo groot mogelijk contactoppervlak met de doorstromende lucht ontstaat.

Schema van een koeltoren met geforceerde trek:



Legende:

- a = vulling
- b = verzamelbak koelwater
- c = sproeiinrichting
- d = druppelvanger
- e = ventilator
- f = circulatiepomp
- g = afgekoeld water naar condensor
- h = opgewarmd water van condensor
- k = luchtaanzuigopeningen
- l = omkasting

Fig. 20

Tevens moet als eis aan de constructie worden gesteld dat de luchtweerstand zo gering mogelijk is om de stroomkosten voor de ventilator(en) laag te houden. De in combinatie met de koeltoren toegepaste condensor bij voorkeur van het type met gesloten watercircuit zijn, zodat slechts één pomp nodig is, welke het in de toren afgekoelde water door de condensor pompt en vervolgens naar de sproeiers voert. Het binnenwerk van de koeltoren kan bestaan uit een houten of metalen lattenconstructie, of uit een vulling van metalen of keramische raschigringen (nadeel: een grote luchtweerstand, voordeel: een groot contactoppervlak). De capaciteit van de koeltoren wordt bepaald door de hoeveelheid water welke per uur wordt gekoeld, vermenigvuldigd met de gewenste temperatuur daling. Daarom is het ook belangrijk dat je rekening houdt met het klimaat als je een koeltoren plaatst.

2.2 De verdamper

2.2.1 Doel van de verdamper

De taak van een verdamper is warmte te onttrekken aan een bepaalde stof, door middel van het verdampen van een koudemEDIUM. De stof, waaraan men de warmte wil onttrekken kan zijn het te koelen of te bevrozen product zelf. Men krijgt dan de meest directe werking. Voorbeelden hiervan zijn de verschillende koelsystemen voor het koelen van melk, de plaatvriezer (in het Engels, plate foster) voor het diepvriezen van o.a. vis en groente.

Meestal komt de warmteonttrekking aan het product op indirecte wijze tot stand. De verdamper dient dan, om een bepaalde tussenstof (vb. lucht, water) af te koelen.

2.2.2 Het gebruik van de verdamper

Er zijn zeer vele soorten en uitvoeringsvormen van verdampers. Men zou kunnen zeggen dat een koelinstallatie gekarakteriseerd wordt door de verdampers welke er in worden toegepast; koelinstallaties voor melkfabrieken, ijsfabrieken, ijскоelcellen, chemische fabrieken, koelschepen, vereisen alle verdamperconstructies, welke zijn aangepast aan het speciale doel waarvoor ze moeten dienen. De meest gebruikte verdampers zijn de droge verdampers of de snelverdampers. Deze worden hieronder besproken.

2.2.3 Verschil tussen droge verdampers en snelverdampers

- de droge verdamper: de droge verdamper is de verdamper, waarbij het via de regelkraan toenemende koudemEDIUM de verdamper slechts éénmaal doorloopt en deze in dampvormige, meestal iets oververhitte toestand verlaat.
- de snelverdamper: de snelverdamper is de verdamper, waarbij hercirculatie van het koude medium in een of andere vorm optreedt. De vloeistofdeeltjes kunnen hierbij op hun weg door de verdamper meer dan eenmaal hetzelfde verdamperoppervlak passeren.

2.2.3.1 Verklaring droge verdamper

Schema van een droge verdamper:

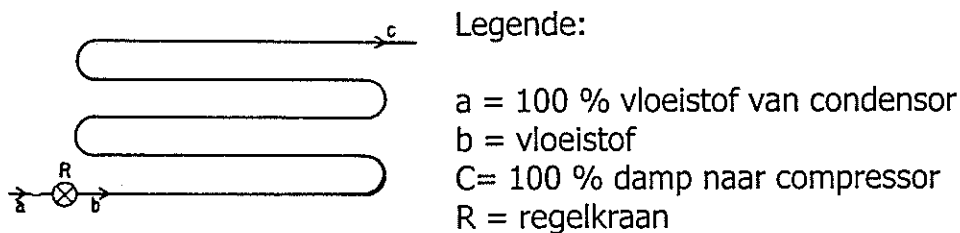


Fig. 21

In de figuur hierboven is een droge verdamper schematisch voorgesteld. Hierbij moet men wel aannemen dat de verdamperspiraal van een pijp met overal een gelijke diameter heeft. In toestand a bestaat het koudemEDIUM uit 100 % vloeistof, natuurlijk moet er vooraf al voldoende koudemEDIUM in het systeem aanwezig zijn. De temperatuur van deze vloeistof moet gelijk aan, of lager zijn dan de condensatie temperatuur. Omdat anders de vloeistof al zal verdampen voordat men de regelkraan geopend heeft. Wanneer de afstand van de condensor groot is naar het punt a, en deze door een omgeving gevoerd wordt, waarvan de condensatie of onderkoelingstemperatuur, moet van een lichte isolatie voorzien worden. In de regelkraan wordt de vloeistof gesmoord tot op de verdampingsdruk, omdat de temperatuur anders daalt tot een verdampingstemperatuur, waarbij de enthalpie constant blijft. Vanaf punt b wordt de eigenlijke taak van de vloeistof pas duidelijk, warmte onttrekken aan de omgeving, door verdamping. Van b tot c neemt het vloeistofaandeel voortdurend af, het dampen neemt toe. Omdat het dampvolume vele malen groter is dan het vloeistofvolume van dezelfde gewichtshoeveelheid, neemt de stroomsnelheid van het complex in de richting van c toe, om bij c de verdamper te verlaten met de maximale snelheid. Indien de warmtebelasting per oppervlakte-eenheid van de verdamper groot is, zal een hevige verdamping optreden, zodat er geen vloeistof achterblijft, maar dat alles wordt "meegesleurd". Als de warmtebelasting gering zou zijn, dan zou de verdamping maar traag op gang komen zodat het vrij lang zou duren voordat er damp gevormd wordt, de vloeistof al wordt meegenomen door de grote snelheid van de stroom. De vloeistof krijgt dan de kans om in de richting van punt b terug te zakken en zich aldaar te verzamelen. Dit heeft als gevolg, als de stand van de regelkraan niet wordt veranderd dat de vloeistof er in c oververhit uitkomt.

Bij de droge verdamper is dus in de regel een overmaat aan vloeistof aanwezig aan de intreedzijde, terwijl aan de uittreedzijde er een tekort van is.

Bij de snelverdamper komt er gewoon nog een injectie bij kijken en wordt de vloeistof niet zo vlug verdampt.

2.3 Regelorganen

2.3.1 Doel van regelorganen

Doel: het vloeibare koudemEDIUM uit de condensor in de juiste hoeveelheid aan de verdamper te voeren.

De toestandsverandering, die het koudemEDIUM bij het passeren van het regelorgaan ondergaat, noemt men smoren. M.a.w. men krijgt een verlies van nuttige arbeid.

2.3.2 Soorten regelorganen

2.3.2.1 De regelafsluiter

Dit regelorgaan wordt beschouwd als een eenvoudig regelorgaan. Het werkt niet automatisch. Een goede regelafsluiter moet aan de volgende zaken voldoen:

- in gesloten toestand moet de regelnaald of – klep perfect sluiten
- direct bij het openen moet de klep reageren + de stand van het handwiel moet de stand van de klep bepalen.
- wanneer de afsluiter verder wordt geopend, moet de doorlaat op regelbare wijze toenemen. De snelheid mag ook niet te groot zijn zodat men nauwkeurig de stroom van het koudemEDIUM kan controleren, dus ook exact kan bepalen hoeveel koudemEDIUM door de opening vloeit. Zodat er indien teveel of te weinig koudemEDIUM doorvloeit men het kan aanpassen.

Bij het omhoog bewegen van een klep wordt de doortocht dus progressief²¹ vergroot. De klep wordt goed geleid door het overblijvende cilindrische gedeelte. De bovenzijde van de klep is van een bewerkt vlak voorzien, dat in geheel geopende stand van de afsluiter tegen een corresponderend vlak in het huis van de afsluiter komt te rusten. Hierdoor wordt het koudemEDIUMproces afgesloten van de pakkingsbus. De pakking kan zodoende nagezien of verwisseld worden, zonder de afsluiting uit de leiding te moeten verwijderen. Meestal worden de huizen van de afsluiters van gietijzer vervaardigd. Maar tegenwoordig vind je ook afsluiters met een gelaste constructie.

²¹ Zie woordverklaring.

2.3.2.2 Het automatisch of expansieventiel

De werking van een expansieventiel is eenvoudig in vergelijking met de vele andere ventielen. Een afsluitnaald of – klep (a) wordt door een veer (b) op haar zitting gedrukt. Links is de vloeistoftoevoer (condensorzijde), rechts de afvoer (verdamperzijde). De bovenzijde van het klephuis wordt afgesloten door een membraan (c), dat onder druk staat van een instelbare veer (d). Via een druktafeltje en twee door het klephuis gevoerde pennen wordt de kracht van de veer (d) overgebracht op de naald (a). Laatstgenoemde veer wordt zo ingesteld, dat bij de in het koelcircuit heersende dampdruk²² de naald zover van de zitting geheven wordt, tot een correcte hoeveelheid vloeistof naar de verdamper wordt gevoerd.

Figuur van een automatische expansieventiel:

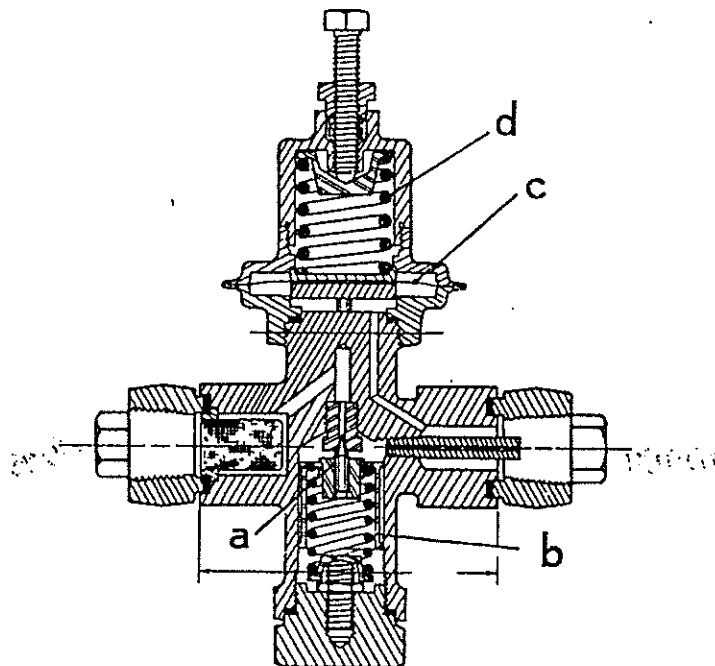


Fig. 22

Deze krachten zijn enerzijds die van de veer (b). Anderzijds is het de som van de veerkracht (d) en de kracht op het membraan, afkomstig van tussen verdamperdruk en atmosferische druk. Hieruit is al direct te zien, dat de toepassingsmogelijkheid van dit ventieltype beperkt is tot koelinstallaties, waarbij men een stationaire toestand mag verwachten. D.w.z. dat het alleen geschikt is voor koelinstallaties waar de verdamperdruk vrijwel constant blijft en de compressorcapaciteit en verdampingscapaciteit goed op elkaar zijn afgestemd. Een teveel aan vloeistof in de verdamper zal dan tot gevolg hebben, dat de verdampingsdruk iets toeneemt, een tekort zal de druk iets doen dalen, met het gevolg, dat de krachten op het membraan gewijzigd worden, dat de naald op de gewenste wijze reageert. Verandert de verdamperdruk, dan moet de veer (d) opnieuw ingesteld worden.

²² Zie woordverklaring.

2.3.2.3 De capillaire buis

Foto van expansieventielen van het type TE van Danfoss:

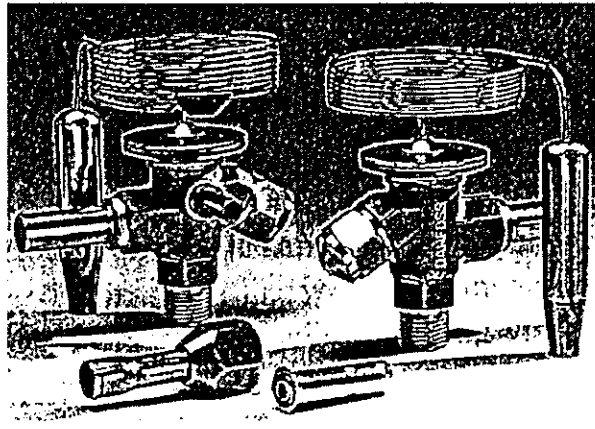


Fig. 23

Volg je de vloeistof die uit de condensor komt, dan ontmoet je een element dat vernauwt en dat de druk zodanig moet verminderen dat er twee circuitzones in de koelcyclus ontstaan, nl een hoge drukzone voor condensatie en een lage drukzone voor verdamping. Deze functie wordt in kleine koelapparaten (<5000 watt) vervuld door een capillaire buis. In grotere systemen plaats je regelkranen (met voeler) of expansieventielen.

De capillaire buis bestaat uit een gekalibreerde buis (met inwendige diameter van 0.6 tot 0.8mm) uit koper die de uitgang van de condensor verbindt met de ingang van de verdamper.

De capillair buis heeft de volgende voordelen:

- geen bewegende onderdelen.
- economisch.
- gebruik van compressoren met een laag aanloopkoppel mogelijk.
- een veel kleinere hoeveelheid koelmiddelen nodig in vergelijking met die met een expansieventiel.

Het koelmiddel dat uit een capillair komt:

- is verlaagd in druk en temperatuur (in vergelijking met wat uit de condensor kwam).
- bestaat hoofdzakelijk uit vloeistof met enkele dampbellen (natte damp).

2.4 De olieafscheider

Een olieafscheider: in het carter van de compressor bevindt zich olie. De olieafscheider zorgt ervoor dat de olie niet met het gasvormige koelmiddel meestroomt naar de condensor. Zo voorkom je dat:

- de compressor vastloopt omdat deze geen olie meer heeft.
- de verdamper en de condensor een oliefilm aanwezig is die de warmteoverdracht zou belemmeren.

Verder zal de olieafscheider ook zijn nut bewijzen als geluiddemper op de hogedrukzijde van de compressor.

In een gewone koelkast zit geen olieafscheider

Foto van een olieafscheider:

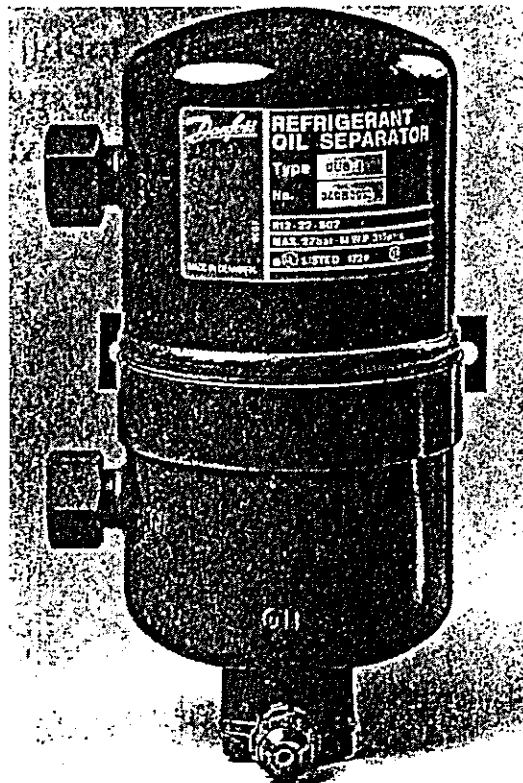


Fig. 24

2.5 Filter en droger

Een filter/droger bestaat uit een ronde buis met daarin silicagel die het weinige vocht in de leidingen opslorpt. Zo kan het capillair of expansieventiel niet dichtvriezen. Ook zuur en vuil worden door deze filter/droger verwijderd. Er zijn filter/drogers die je nooit moet vervangen gedurende de levensloop van de huishoudkoelkast. Ook zijn er filter/drogers waarop je de patronen met silicagel²³ kan vervangen. Dit laatste wordt meer toegepast bij grote systemen.

Foto van een filter/droger, type DX van Danfoss:

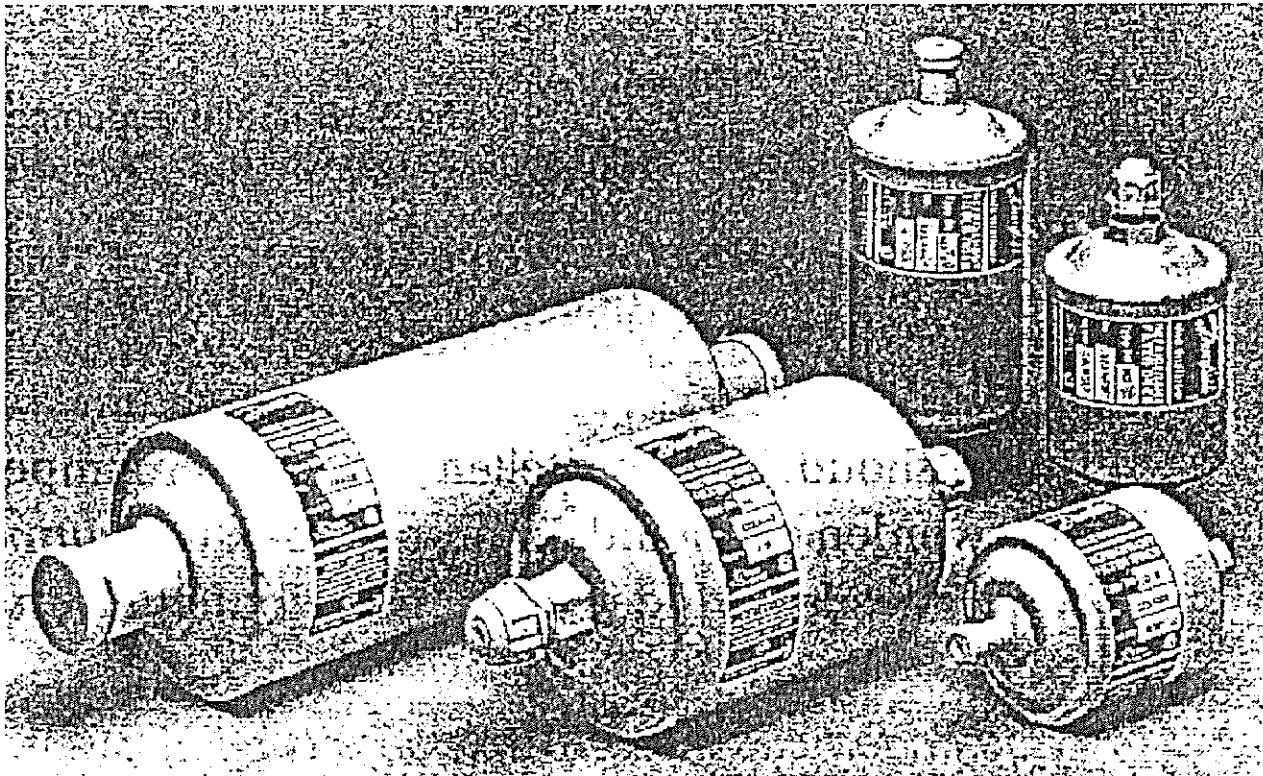


Fig. 25

²³ Zie woordverklaring.

2.6 Het kijkglas

Een kijkglas: in de leiding wordt als het ware een kijkopening ingebouwd, zodat je het koelmiddel ziet. Gezien het kijkglas achter de condensor is gemonteerd, zal je niets zien vloeien als alles normaal is. Voorbij stromende dampbellen zijn een teken dat de condensor zijn opdracht niet meer vervuld m.a.w. er is iets mis met de condensor. Je moet deze dan inspecteren. Het kijkglas is bovendien voorzien van een vocht indicator die normaal groen is, maar die geel verkleurt als het vochtgehalte toeneemt. Dit betekent dat je bijvoorbeeld de filter/droger moet vervangen. Daarom wordt het kijkglas vaak achter de filter/droger geplaatst. Bij een koelkast zal je geen kijkglas vinden. Je kan het kijkglas ook plaatst en tussen de olieafscheider en compressor, zodat je de olieterugvoer kunt controleren.

Foto van een kijkglas van het type SGI van Danfoss:

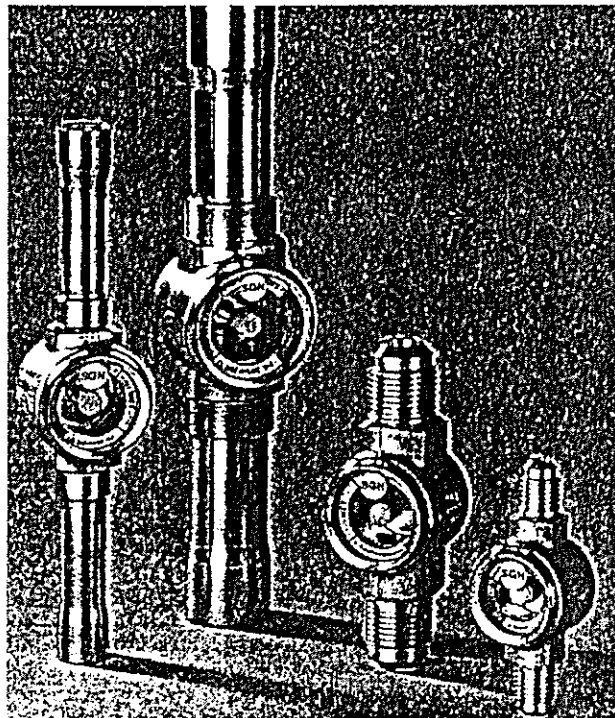


Fig. 26

2.7 Thermostaat of pressostaat

Een thermostaat of pressostaat: de thermostaat (je zou echter ook kunnen spreken over een pressostaat, omdat de temperatuur en de druk in dit systeem gelijkwaardig zijn) zal de compressor aanschakelen wanneer de temperatuur in de koelcel te groot wordt. In grotere systemen werk je effectief met een pressostaat op de compressor en met een thermostaat in de koelcel die dan een extra tweewegklep in het koelcircuit bedient.

Foto van een pressostaat:

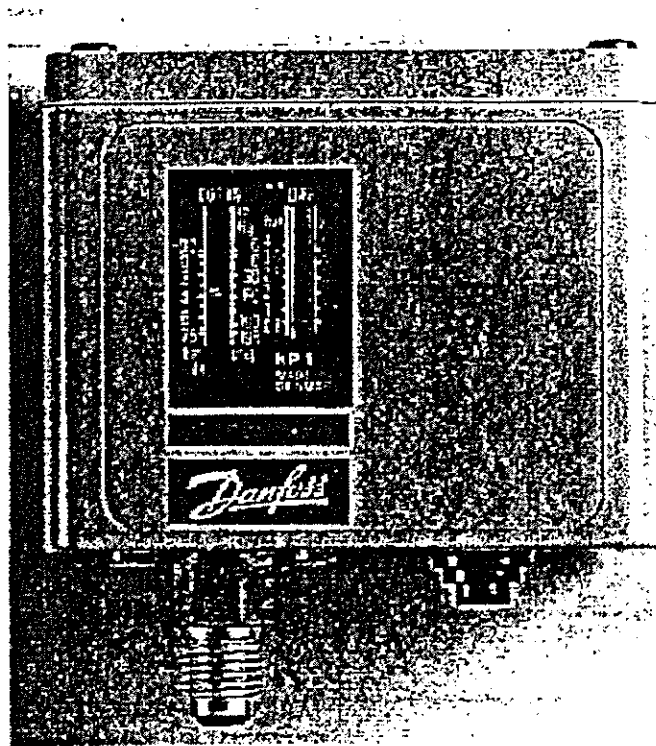


Fig. 27

3 Koelmiddelen²⁴

3.1 Freon of CFK

Als koelmiddel werden vroeger, en nu nog altijd, CFK's gebruikt. Dit is de afkorting voor Chloorfluorkoolwaterstoffen. Soms wordt ook de naam Freon gebruikt: dit is de merknaam van het in 1928 uitgevonden CFK. Het nadeel is echter wel dat de CFK's de ozonlaag aantasten. Vooral het chloor in deze verbinding zorgt voor een belangrijke afname van het natuurlijke ozongehalte (O_3) in de hogere luchtlagen van de aarde. Deze luchtlagen bevinden zich op een hoogte van 15 tot 50 km boven het aardoppervlak. Hierdoor komen voor de aarde de gevaarlijke ultra – violette stralingen van de zon doorheen de dampkring, wat de risico's op huidkanker verhoogt. Daarom gebeurt het lozen van de CFK' s uit de koelkasten pas bij een lek of als de koelkast op de schroothoop terecht komt. CFK' s worden niet enkel gebruikt in de koeltechniek (slechts 10 % en 150 g per koelkast). Er worden ook CFK' s gebruikt in spuitbussen, reinigingsmiddelen voor elektronische toestellen... . Natuurlijk komen veel van die CFK' s in de dampkring terecht. Daarom probeert men alternatieve stoffen te vinden die eventueel minder schadelijk zijn voor het milieu.

3.1.1 De nummering van CFK's

De meeste CFK' s beschikken over een aanduiding die begint met de letter R. De R is afkomstig van refrigerant of koelmiddel, vb R 113.

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

$$\begin{aligned} a &= \text{aantal koolstofatomen} - 1 \text{ (is } a = 0 \text{ dan valt dit weg)} \\ b &= \text{aantal waterstofatomen} + 1 \\ c &= \text{aantal fluoratomen} \end{aligned}$$

voorbeeld: de scheikundige samenstelling van R22 is $CHClF_2$, dus:

$$\begin{aligned} a &= 1 - 1 = 0 \text{ (wordt dus niet genoteerd)} \\ b &= 1 + 1 = 2 \\ c &= 2 \end{aligned}$$

Dus R abc wordt R22.

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

voorbeeld: R502 is een mengsel van 48,8% R22 met 51,2% R115

²⁴ Bron: Blaadjes koeltechniek (Module 5) van De Hr. Verhaeghe gekregen.

3.1.2 Gebruik van koelmiddelen

R12 is het meeste gebruikte koelmiddel voor huishoudelijke en industriële toepassingen. Je vindt ze dus terug in koelbufferetten, vriescellen, waterkoelers, koelpakhuizen en koeltransporten (in treinen, containers of in vrachtwagens). Het wordt gebruikt voor de temperaturen in de koelcellen die hoger zijn dan -15°C en dit voor alle types van compressoren. De scheikundige formule is CClF_2

R22 is het koelmiddel voor het klimatiseren van woningen, koelpakhuizen, fabrieken van voedingswaren, koeling op schepen en in warmtepompen. Installaties met R22 nemen minder plaats in dan deze met R12. Het kookpunt op atmosferische luchtdruk ligt op $-40,8^{\circ}\text{C}$. Het wordt gebruikt voor *lagere temperaturen* dan bij R12 en dit voor alle compressoren. De scheikundige formule is CHClF_2 .

R502 is het koelmiddel voor koelbufferetten met diepvriesproducten, voor koelkamers en koelopslag tot temperaturen van -35°C . Het is een mengsel van R22 en R115. Het kookpunt ligt bij atmosferische druk op $-45,6^{\circ}\text{C}$.

3.2 HFK' s en HCFK' s

Onderzoek heeft aangetoond dat de ozonlaag minder wordt aangetast wanneer het koelmiddel naast fluor en koolstof ook waterstofatomen bevat en geen chlooratomen. Deze worden HFK' s genoemd, waarbij H staat voor waterstof.

Voorbeelden hiervan zijn HFK – 143a, HFK – 125, HFK – 134a, ...

3.2.1 *Vervanger van CFK – 12 en CFK – 502 voor koelinstallaties*

Het ideale vervangmiddel voor R12 of CFK – 12 is HFK – 134a. Het is een kleurloos gas, chemisch stabiel, niet explosief en niet brandbaar. Het ideale vervangmiddel voor CFK – 502 is HFK – 404a. Dit is een blend, m.a.w een samengesteld koelmiddel.

Het nadeel van deze HFK' s is, dat je in een bestaande installatie met bijvoorbeeld CFK – 12 niet zomaar HFK – 134a kan brengen. De oplosbaarheid van de oliën in het koelmiddel is anders en in extreme gevallen moet je de koelcompressoren vervangen. Bij de omschakeling moet je wel degelijk rekening houden met het feit dat je niet zomaar de CFK' s in de atmosfeer kan loslaten. Hiervoor bestaan toestellen die de CFK' s uit het systeem halen. Deze CFK' s kunnen dan onschadelijk gemaakt worden.

Naast de CFK' s en de HFK' s ken je ook de HCFK's: dit zijn chloorfluorkoolwaterstoffen. Ze bestaan reeds lang en tasten de ozonlaag minder aan dan CFK's.

3.3 Ammoniak, water en lucht als koelmiddelen

3.3.1 Water (R717) en lucht (R729)

Ook water en lucht kunnen in hun temperatuurgebied (boven de 0°C) als koelmedia worden gebruikt. Tegenwoordig worden ook propaan (R290) en isobutaan (R600a) toegepast: deze 'koelmedia' worden meer en meer gebruikt in de zogenaamde "groene " huishoudtoestellen.

Het nadeel aan propaan en isobutaan is wel dat er min of meer brandbaar zijn, maar de geringe hoeveelheden in een koelkast zijn niet gevaarlijk.

3.3.2 Ammoniak (R717) of NH₃

Ammoniak is een kleurloos, giftig gas met prikkelende, traanverwerkende reuk, dat zeer goed oplosbaar is in water (tot Ammonia). Bij 10°C kan per liter water 930 liter NH₃ oplossen. Ammoniak laat zich ook makkelijk tot vloeistof comprimeren. Bij verdamping worden aanzienlijke hoeveelheden warmte opgenomen, van welk feit in de koeltechniek gebruik wordt gemaakt. In geringe hoeveelheden komt NH₃ in de natuur voor door o.a. afbraak van eiwitten. Ammoniak is een basisch gas dat ook voorkomt in de zure regen.

Het nadeel is wel dat ammoniak de slijmvliezen en de ademhalingsorganen aantast en de ogen irriteert. De MAC – waarde (Maximale aanvaardbare concentratie) is 25 ppm (18 mg/m³). Bij verontreiniging van oppervlaktewater zijn concentraties groter dan 1, 25 – 5 mg NH₃/ liter in het algemeen dodelijk voor de vissen.

De toepassingen van ammoniak: voor de voorbereiding van kunstmeststoffen (ammoniumzouten, ureum), als grondstof voor de nylon – en acrylfabricage, bij de sodabereiding volgens het solvay – proces, voor de bereiding van waterstof door het kraken van NH₃ (dit is goedkoper dan het kopen en vervoeren van H₂ in bombes), in koelmachines, ijsfabrieken,...

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 (Forane) Blend 60 (ICI) H x 4 (Hoechst)	HCFK-22 HFK-408a HFK-402a HFK-403b HP80 (Du Pont) 69 L (Isceon) FX10 (Forane)

Fig. 28

4 Woordverklaring²⁴

adiabatisch proces

In de thermodynamica een proces waarbij geen warmte-uitwisseling met de omgeving plaatsvindt. Dit kan komen doordat het proces zich zo langzaam voltrekt dat er op ieder moment een toestand van evenwicht heerst, of doordat het zo snel verloopt dat de warmte-uitwisseling met de omgeving te verwaarlozen is. Dit laatste vindt o.a. plaats bij de koeling door middel van expansie in een koelkast.

enthalpie

Symbool: H . Een thermodynamische grootte die gebruikt wordt om de toestand van een systeem te beschrijven. Indien de enthalpie bekend is als functie van zijn eigen karakteristieke parameters: druk p en entropie S , dan kunnen alle andere toestandsgrootheden (temperatuur, volume, enz.) bepaald worden. Daarom wordt de enthalpie ook wel een toestand-functie of karakteristieke functie genoemd. Voor een bepaald systeem met een inwendige U , een druk p en een volume V is de enthalpie H gegeven door: $H = U + pV$.

entropie

Symbool: S . Basisbegrip uit de natuurkunde, volgens Boltzmann "Maat van de waarschijnlijkheid" of "wanorde". De entropie is gedefinieerd als de warmte die een systeem opneemt bij een omkeerbare verandering, gedeeld door de absolute temperatuur. Een systeem bezit een bepaalde hoeveelheid entropie, hoewel absolute entropie weinig gebruikt wordt: de verandering van de entropie is veel belangrijker. De entropie van een systeem is een maat van alle beschikbaarheid van energie voor arbeid. Het begrip entropie is uitgebreid tot het algemene begrip van wanorde "hoe hoger de entropie hoe meer wanorde er is in het systeem".

isentropie expansie

Expanderen zonder dat er warmtewisseling is.

isentropie compressie

Compenseren zonder dat er warmtewisseling is.

isobaar

Lijn die in een thermodynamisch toestandsdiagram of op een weerkaart punten verbindt waar een gelijke druk heerst.

isotherm

Lijn op een diagram of op een weerkaart die punten verbindt met dezelfde temperatuur.

²⁴ Bron: De grote encyclopedie van easy computing en encarta 2000 van microsoft.

isohoor

Lijn op een diagram die punten verbindt met een constant volume.

kinetische energie

De energie die een mechanisch systeem bezit door haar beweging. Een massadeeltje met massa m en snelheid v bezit een kinetisch energie van $\frac{1}{2} mv^2$. Kinetisch energie kan door wrijving worden omgezet in warmte.

potentiële energie

Arbeid die een lichaam kan verrichten dankzij zijn positie. Er zijn veel voorbeelden. De arbeid die een lichaam kan verrichten door van een bepaalde hoogte te vallen heet zijn potentiële energie. De 'opgeslagen' energie in een samengedrukte veer noemt men de elastische potentiële energie. Een elektrische potentiaalverschil is een soortgelijk begrip. In de praktijk is de potentiële energie van een systeem gelijk aan de energie die nodig is om het systeem vanaf een bepaald referentiepunt naar zijn huidige positie te brengen.

progressief

Evenredig stijgen.

relatief

Afhangende van iets anders.

silicagel

Een stof die vocht opneemt.

smoren

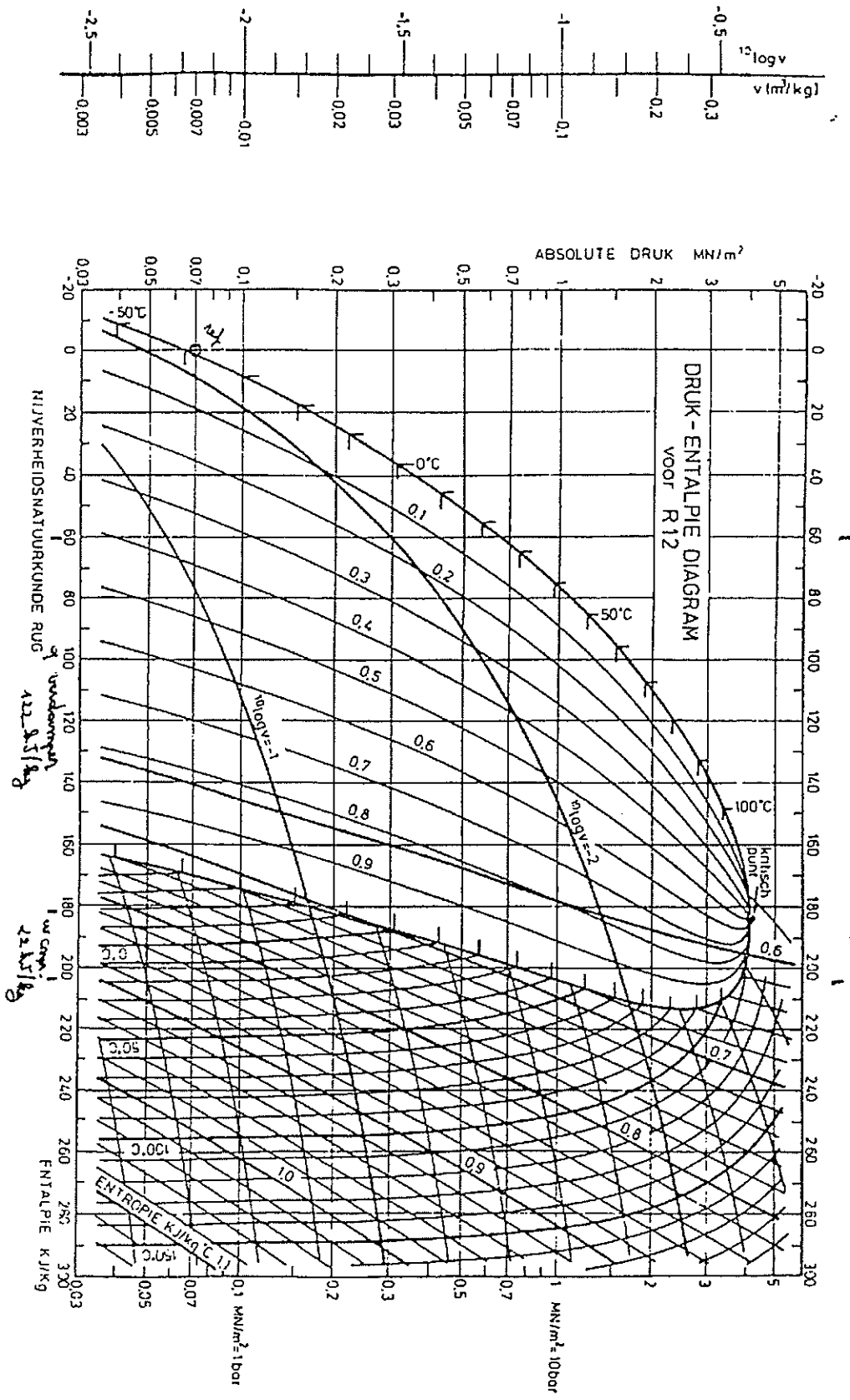
Iets verlagen, tegenhouden (bv. de druk).

verzadigd

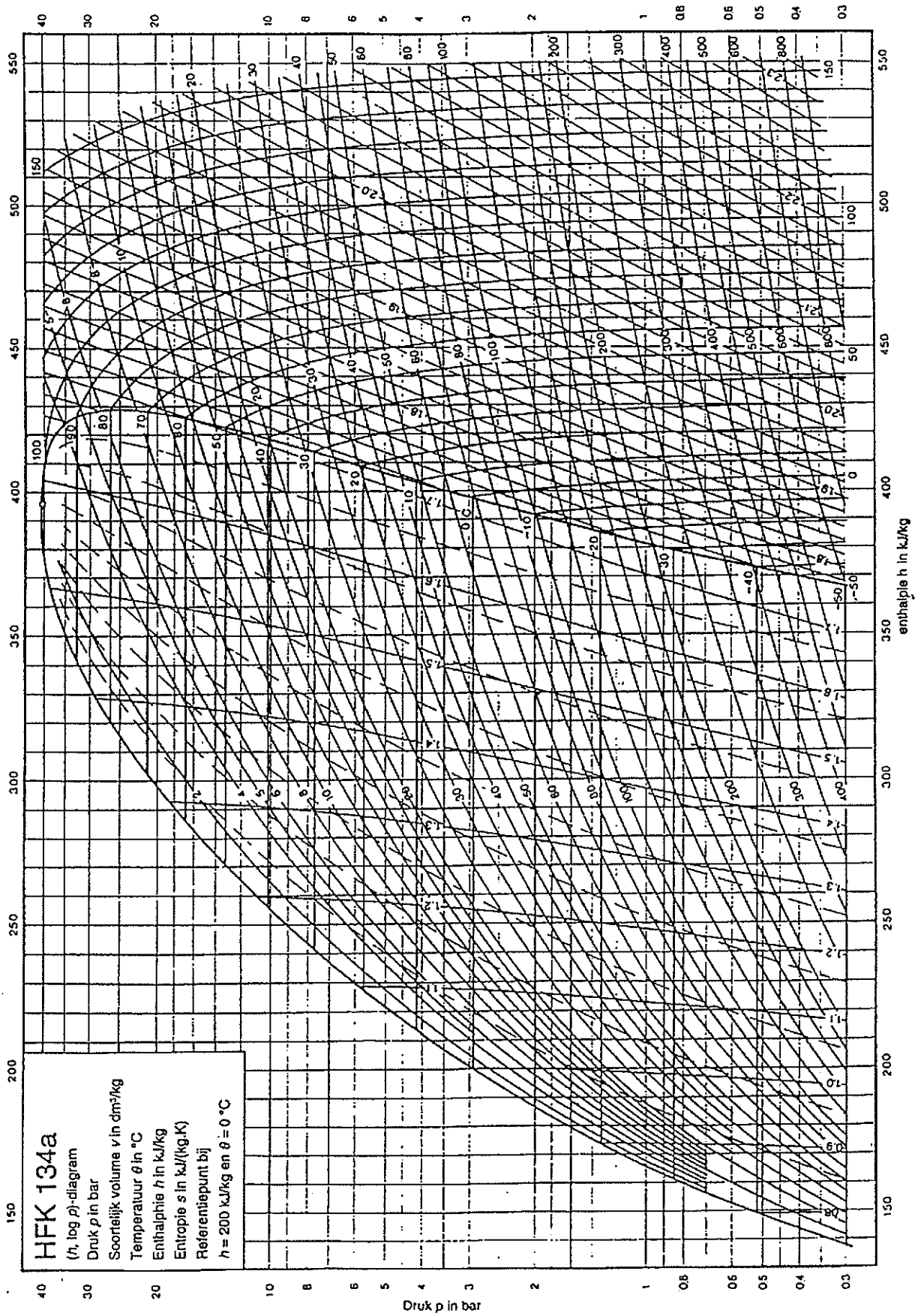
De maximale hoeveelheid opgenomen hebbend; zo onderscheidt men: een verzadigde damp, een verzadigde oplossing, verzadigde verbindingen. Tegenstelling: onverzadigd.

Bijlage 1: (h, log p) - diagrammen

Figuur 1:



Figuur 2:



Bijlage 2: Damptabellen

Damptabel 1:

DAMPTABEL VOOR FREON 12 (CF_2Cl_2)

t °C	p ata	v' dm ³ /kg	v'' m ³ /kg	i' kcal/kg	i'' kcal/kg
—80	0,0632	0,617	2,135	83,05	127,60
—70	0,1255	0,626	1,127	85,19	128,79
—60	0,2315	0,637	0,640	87,30	129,97
—50	0,4005	0,649	0,385	89,40	131,15
—45	0,516	0,654	0,305	90,44	131,74
—40	0,655	0,660	0,244	91,50	132,34
—35	0,826	0,668	0,1975	92,55	132,95
—30	1,023	0,674	0,161	93,59	133,49
—25	1,261	0,680	0,133	94,59	134,09
—20	1,54	0,686	0,1105	95,67	134,67
—15	1,86	0,693	0,0925	96,68	135,18
—10	2,235	0,699	0,0784	97,81	135,81
— 5	2,66	0,705	0,0664	98,90	136,40
0	3,14	0,718	0,0566	100,00	137,00
5	3,7	0,724	0,0485	101,12	137,52
10	4,315	0,736	0,042	102,25	138,05
15	5,01	0,743	0,0364	103,40	138,80
20	5,78	0,755	0,0317	104,56	139,06
25	6,63	0,765	0,0277	105,75	139,55
30	7,57	0,774	0,0242	106,95	140,05
35	8,63	0,786	0,0213	108,17	140,57
40	9,77	0,799	0,0188	109,40	140,90
45	11,01	0,811	0,0165	110,65	141,25

Damp tabel 2:

DAMPTABEL VOOR AMMONIAK (NH₃)

t °C	p ata	v' dm ³ /kg	v'' m ³ /kg	i' kcal/kg	i'' kcal/kg
—70	0,1114	1,3788	9,009	25,9	375,5
—65	0,160	1,390	6,46	31,0	377,9
—60	0,2233	1,401	4,649	36,1	380,0
—55	0,308	1,413	3,49	41,2	382,1
—50	0,4168	1,4245	2,623	46,2	384,1
—45	0,5562	1,4367	2,001	51,5	386,1
—40	0,7318	1,4493	1,550	56,8	388,1
—35	0,9503	1,4623	1,215	62,08	390,03
—30	1,2190	1,4757	1,9630	67,42	391,91
—25	1,546	1,4895	0,7712	72,78	393,72
—20	1,940	1,5037	0,6235	78,17	395,46
—15	2,140	1,5187	0,5087	83,59	397,12
—10	2,966	1,5338	0,4185	89,03	398,67
— 5	3,619	1,5490	0,3469	94,50	400,14
0	4,379	1,5660	0,2879	100,00	401,52
5	5,259	1,5831	0,2435	105,54	402,80
10	6,271	1,6008	0,2058	111,11	403,95
15	7,427	1,6193	0,1749	116,72	404,99
20	8,741	1,6386	0,1494	122,38	405,93
25	10,225	1,6588	0,1283	128,09	406,75
30	11,895	1,6800	0,1107	133,84	407,43
35	13,765	1,7023	0,0959	139,65	407,97
40	15,850	1,7257	0,0833	145,52	408,37
45	18,165	1,7604	0,0726	151,43	408,61

Damp tabel 3:

DAMPTABEL VOOR FREON 22 (CHF₂Cl)

t °C	p ata	v' dm ³ /kg	v'' m ³ /kg	i' kcal/kg	i'' kcal/kg
-90	0,0488	0,650	3,63	76,68	139,1
-80	0,106	0,661	1,78	79,16	140,3
-70	0,209	0,668	0,941	81,67	141,5
-60	0,382	0,682	0,534	84,10	142,6
-55	0,506	0,688	0,413	85,45	143,4
-50	0,66	0,695	0,322	86,7	143,9
-45	0,848	0,702	0,255	88,0	144,5
-40	1,077	0,708	0,205	89,3	145,1
-35	1,354	0,715	0,166	90,6	145,7
-30	1,68	0,724	0,135	91,9	146,3
-25	2,06	0,731	0,112	93,3	146,8
-20	2,505	0,740	0,0928	94,6	147,4
-15	3,025	0,748	0,0777	95,9	147,9
-10	3,63	0,758	0,0654	97,3	148,5
-5	4,315	0,767	0,0554	98,5	148,9
0	5,09	0,777	0,0471	100,00	149,5
5	5,99	0,788	0,0403	101,5	150,0
10	6,99	0,800	0,0346	103,0	150,4
15	8,11	0,811	0,0298	104,6	150,8
20	9,35	0,824	0,0258	106,2	151,2
25	10,73	0,837	0,0224	107,7	151,5
30	12,27	0,850	0,0194	109,4	151,8
35	13,95	0,866	0,0169	111,1	152,0
40	15,79	0,881	0,0148	112,8	152,2
45	17,81	0,900	0,0129	114,5	152,3

t = temperatuur van het verzadigde koudemEDIUM in °C.

p = dampspanning van het verzadigde koudemEDIUM in atm. abs.

v' = soortelijk volume van de vloeistof in liters/kg.

v'' = soortelijk volume van de verzadigde damp in m³/kg.

i' = enthalpie (warmte-inhoud) van de vloeistof in kcal/kg.

i'' = enthalpie (warmte-inhoud) van de verzadigde damp in kcal/kg.

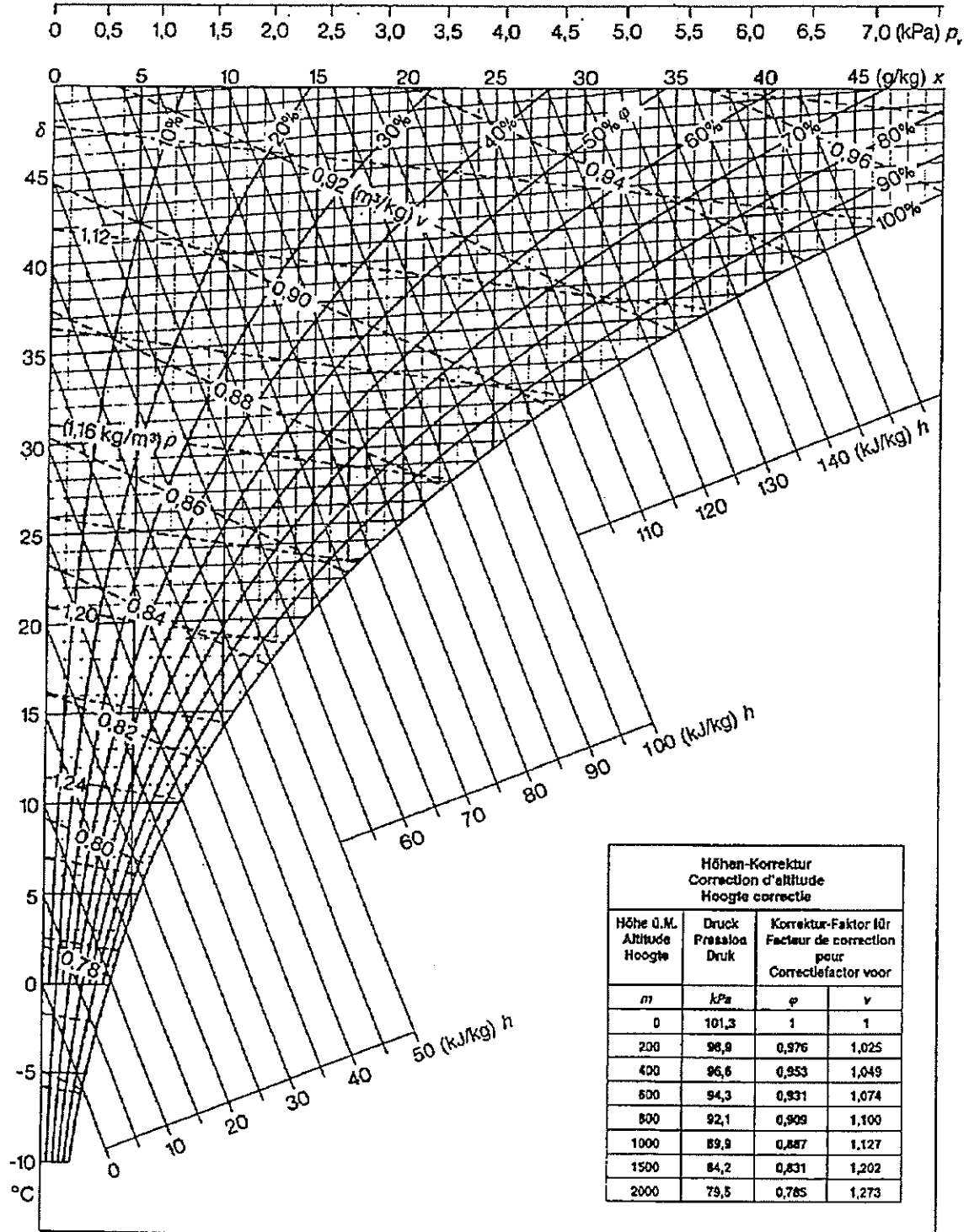
Het verschil in enthalpie van de damp en de vloeistof is gelijk aan de verdampingswarmte van het desbetreffende koudemEDIUM.

Bijlage 3 : (h-x) - diagram

Figuur 1:

(Druck / Pression / Pressure 101,3 kPa Δ 1013 m bar Δ 760 mm Hg)

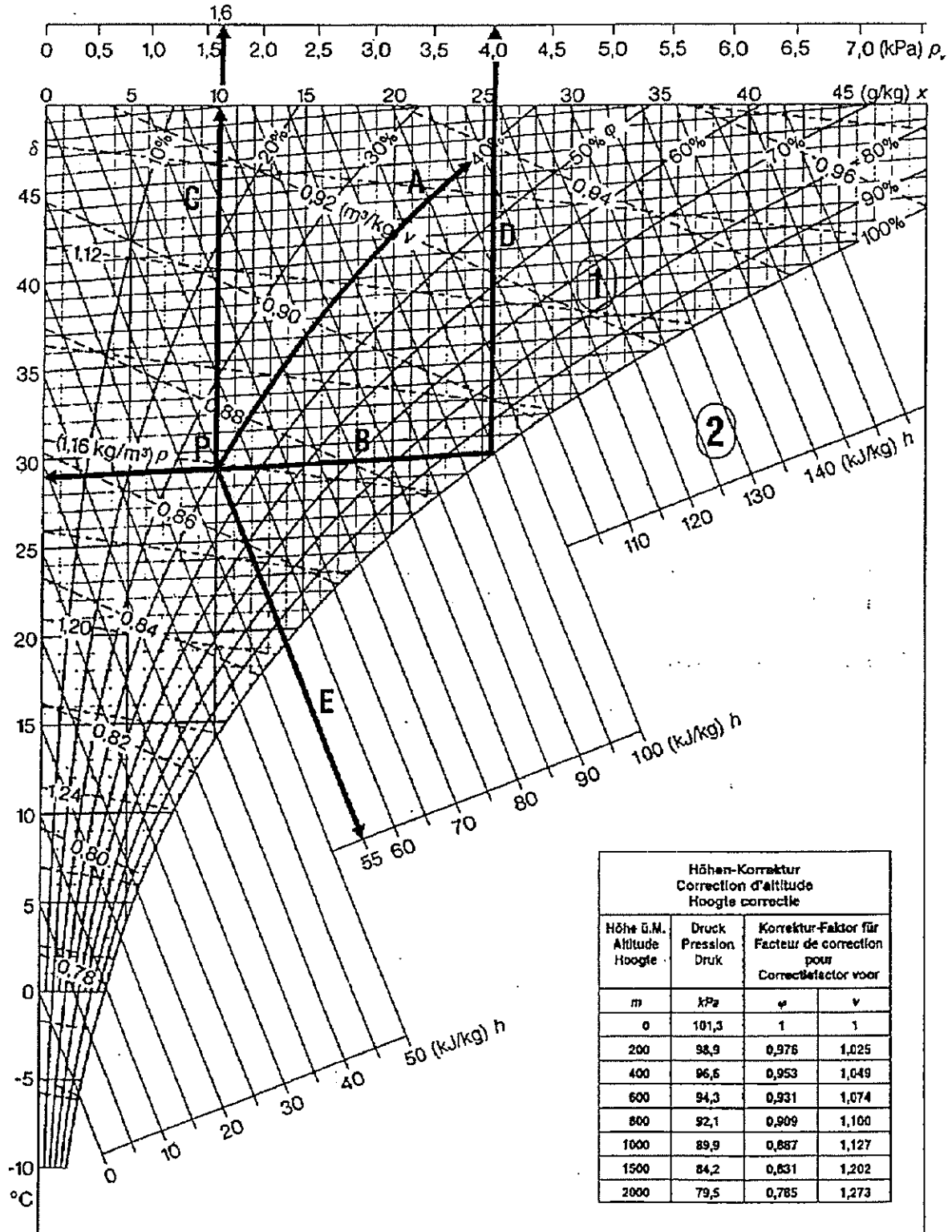
- δ = Temperatur / Température / Temperature
- x = Wassergehalt / Teneur en eau / Moisture content
- p_v = Wasserdampfdruck / Pression vapeur d'eau / Vapor pressure
- φ = Relative Feuchte / Humidité relative / Relative humidity
- n = Enthalpie / Enthalpie / Enthalpy
- v = m³/kg Trockene Luft / Air sec / Dry air
- ρ = kg/m³ / Feuchte Luft / Air humide / Moist air



Figuur 2:

(Druck / Pression / Pressure 101,3 kPa Δ 1013 m bar Δ 760 mm Hg)

- δ = Temperatur / Température / Temperature
- x = Wassergehalt / Teneur en eau / Moisture content
- p_v = Wasserdampfdruck / Pression vapeur d'eau / Vapor pressure
- φ = Relative Feuchte / Humidité relative / Relative humidity
- n = Enthalpie / Enthalpie / Enthalpy
- v = m³/kg Trockene Luft / Air sec / Dry air
- ρ = kg/m³ / Feuchte Luft / Air humide / Moist air



Figuur 3:

(Druck / Pression / Pressure 101,3 kPa Δ 1013 m bar Δ 760 mm Hg)

δ = Temperatur / Température / Temperature

x = Wassergehalt / Teneur en eau / Moisture content

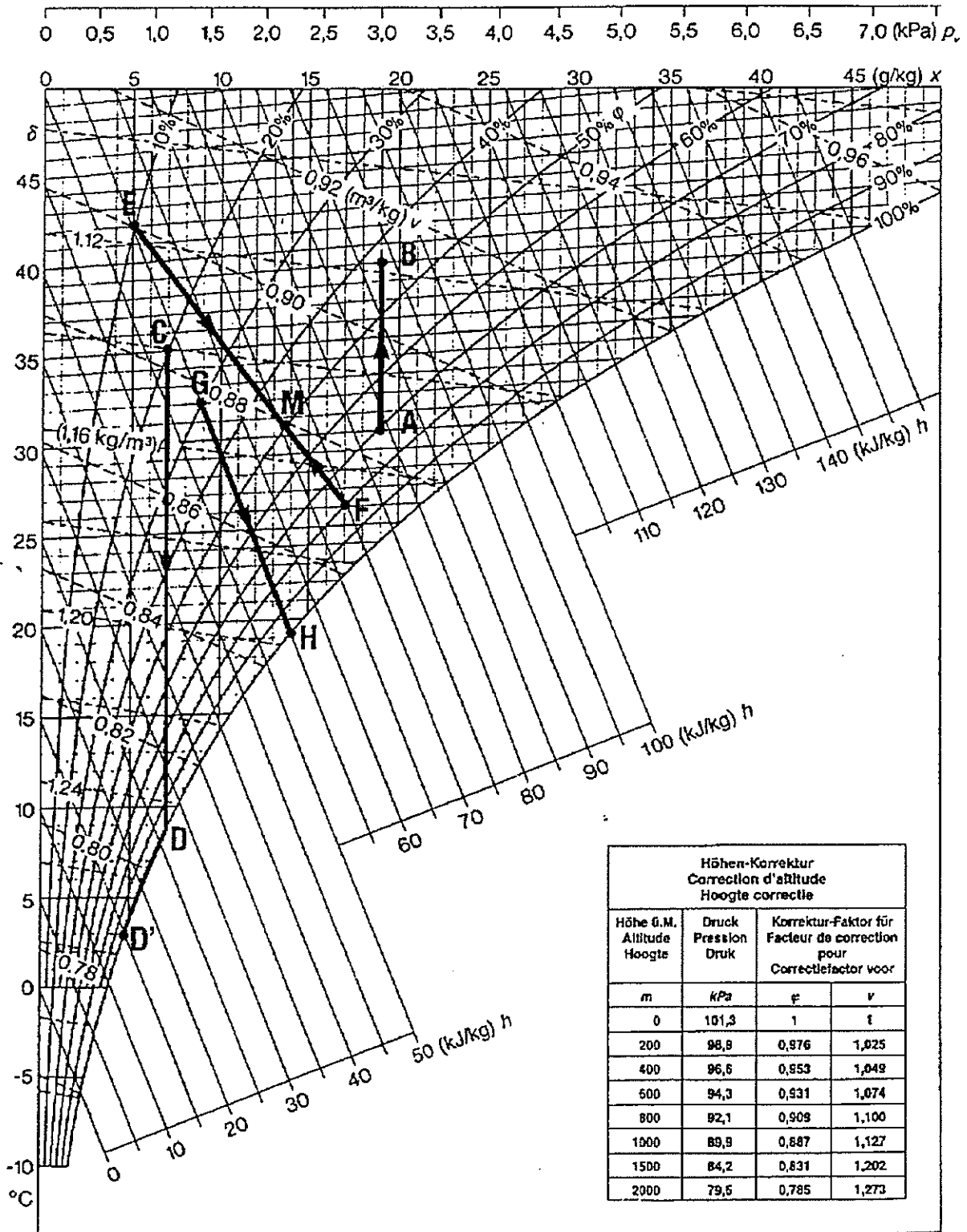
p_v = Wasserdampfdruck / Pression vapeur d'eau / Vapor pressure

ϕ = Relative Feuchte / Humidité relative / Relative humidity

n = Enthalpie / Enthalpie / Enthalpy

v = m³/kg Trockene Luft / Air sec / Dry air

ρ = kg/m³ / Feuchte Luft / Air humide / Moist air



Logboek van Bjorn:

	Datum	?? uur
Zoeken naar onderwerp.	2000/09/03	2 uur
Zoeken naar informatie.	2000/09/04-07	3 uur
Beginnen met de informatie te lezen.	2000/09/09-10	3 uur
De bibliotheek van de hoge school te Oostende bezoeken.	2000/09/23	2 uur
Samenkomen met Bart:- bespreken wie wat doet. - voorlopige inhoudstafel maken.	2000/09/30	4 uur
Brieven opstellen om naar bepaalde bedrijven te sturen.	2000/10/02	2 uur
Beginnen met hoofdstuk 1: Thermodynamica.	2000/10/30-11/05	10 uur
Invoegen deel koelmiddelen van Bart + eventuele fouten verbeteren.	2000/10/30-11/05	2 uur
Verbeteren van hoofdstuk 1.	2000/11/22	3 uur
Hoofdstuk 1 verder afwerken.	2000/12/25-01/07	7 uur
Beginnen met de layout.	2000/12/25-01/07	5 uur
Verbeteren van hoofdstuk 1 en andere fouten verbeteren + afprinten van GIP.	2000/12/25-01/07	6 uur
Aanpassen hoofdstuk 1 en ook aanpassen van layout. (omzetten naar opmaakprofiel)	2001/01/27	3 uur
Hoofdstuk 1 afwerken (eventueel nog aanpassingen).	2001/02/26-03/04	4 uur
Figuren invoegen in de tekst die Bart heeft gemaakt + inscannen.	2001/02/06-03/04	4 uur
Woordverklaring typen + afprinten van GIP.	2001/03/09-03/11	2 uur
Inleiding invoegen van Bart en de afwerking + logboeken maken.	2001/03/09-03/11	3 uur
Beginnen aan de presentatie in powerpoint.	2001/04/30-05/01	5 uur
Afwerken van presentatie in powerpoint en invoegen figuren.	2001/05/24-05/25	5 uur
Samenkomen met Bart. Verbeteringen aanbrengen, presentatie bekijken, figuren zoeken en het praktisch bekijken.	2001/05/26	4 uur
De presentatie afwerken.	2001/05/27	3 uur
Woord vooraf schrijven, laatste figuren inscannen, de laatste verbeteringen aanbrengen en afprinten.	2001/05/28-05/30	5 uur

Logboek van Bart:

	Datum	?? uur
Zoeken naar onderwerp.	2000/09/03	2 uur
Opzoeken informatie.	2000/09/04-09/09	3 uur
Beginnen met de informatie te lezen.	2000/09/10-09/12	3 uur
De bibliotheek van de hoge school te Oostende bezoeken.	2000/09/23	2 uur
Samenkomen met Bjorn:- bespreken wie wat doen. - voorlopige inhoudstafel maken.	2000/09/30	4 uur
Brieven opstellen om naar bepaalde bedrijven te sturen.	2000/10/02	2,5 uur
Opzoeking informatie koelmiddelen (naar bibliotheek).	2000/10/15	1,5 uur
Verwerken van gegevens over koelmiddelen.	2000/10/21	3,5 uur
Afwerken van Hoofdstuk 3: Koelmiddelen.	2000/10/28	3 uur
Beginnen met hoofdstuk 2: De onderdelen.	2000/10/30-11/05	14 uur
Verbeteren van hoofdstuk 2 en 3.	2001/01/07	4 uur
Verder typen van hoofdstuk 2.	2001/01/15	2 uur
Opzoeken van foto's om in hoofdstuk 2 te plaatsen.	2001/01/17	3 uur
Verbeteren en nalezen Thermodynamica van Bjorn.	2001/01/22	2 uur
Zoeken naar praktisch stuk voor de GIP.	2001/02/03	3 uur
Laatste keer alles verbeteren en controleren.	2001/02/12	2 uur
Zoeken naar informatie voor inleiding.	2001/02/18	3,5 uur
Maken van de inleiding.	2001/02/26	2 uur
Beginnen met het praktisch gedeelte.	2001/04/30	2 uur
Verderwerken aan het praktische.	2001/05/04-05/06	10 uur
Afwerken van het praktische (schilderen...)	2001/05/07-05/09	5 uur
Samenkomen met Bjorn. Verbeteringen aanbrengen, presentatie bekijken, figuren zoeken en het praktische bekijken.	2001/05/26	4 uur

