

Inleiding comfortkoeling en luchtbehandeling

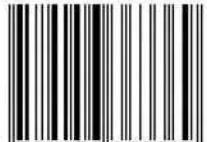
Luchtbehandelingstechniek 7

978 90 5636 336 9



verdiep | verbreed | verander

ISBN 978-90-5636-336-9



9 789056 363369 >



Inleiding comfortkoeling en luchtbehandeling

Luchtbehandelingstechniek 7

978 90 5636 336 9





Dit is een uitgave van Kenteq.

© **Kenteq 2006**

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

De uitgever kan niet aansprakelijk worden gesteld voor persoonlijke of materiële schade, veroorzaakt door onjuistheden in deze uitgave.

978 90 5636 336 9

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Koeltechniek	5
2.1	Drukken, temperaturen en SI	5
2.2	Log-p-h diagram	5
2.3	Koeltechnische begrippen	11
2.4	De koude-installatie	13
2.5	Koudemiddelen en olie	26
3	Luchtbehandeling	31
3.1	Mollierdiagram voor vochtige lucht	33
3.2	VERAC-koellastberekening	40
3.3	Ventilatie	42
3.4	Geluid	47
3.5	Apparatuur t.b.v luchtbehandeling	51
4	Luchtbehandelingssystemen	61
4.1	Centrale systemen	62
4.2	Decentrale systemen	71
5	Montage en onderhoud	81
5.1	Luchtbehandeling	81
5.2	Koudetechniek	86
6	Oefenvragen	95
	Trefwoordenregister	103



1 Inleiding

Doelgroep

De leerstof is in eerste instantie opgezet voor leerlingen in het reguliere beroepsonderwijs, binnen de sector installatietechniek.

Deze leerlingen maken kennis met het begrip airconditioning. Dit is geen nieuw onderwerp binnen de installatietechniek. Al eerder is het begrip behaaglijkheid binnen de installatietechniek onder de aandacht gebracht. Zo willen we komen tot een totale aanpak van alles wat met klimaatbeheersing en comfort te maken heeft.

De leerstof is ook bestemd voor VERAC-leden. Zij vertegenwoordigen de bedrijven die airconditioningapparatuur op de markt brengen.

Binnen de werktuigkundige installaties komt airconditioning als techniek voor comfortkoeling steeds meer voor. Deze techniek zal in combinatie met comforteisen, naast de bestaande toepassingen in kantoren en gebouwen, ook op de particuliere markt worden toegepast.

Leerdoelen

Als u dit boek goed heeft bestudeerd beschikt u over de volgende kennis en vaardigheden:

- Kennis van eenvoudige installaties voor comfortkoeling met een maximum koelvermogen van 25 kW voor directe koeling en 10 kW voor indirecte koeling.
 - Kennis van het koelproces en de natuurkundige aspecten die zich binnen het proces afspelen.
 - U kent de hoofdcomponenten en de regeltechnische aspecten
 - U bent bekend met koudemiddelen en hun kenmerken.

- Kennis van eenvoudige luchtbehandelingsinstallaties
 - Inzicht in de werking van de installatie en de feitelijke behandeling van de lucht.
 - Kennis van natuurkundige toepassingen en verschijnselen zoals verwarmen, koelen, bevochtigen en ontvochtigen.
 - Kennis van de achtergronden en uitgangspunten in verband met comforteisen

- Berekenen en dimensioneren van luchtbehandelingsinstallaties en transportsystemen van lucht.
 - Kennis van plaatsing van apparatuur om een zo goed mogelijk klimaat in een ruimte te verkrijgen
 - Kennis van een zo optimaal mogelijke toepassing van deze apparatuur in relatie met het energieverbruik.

Opbouw lesstof

De lesstof is opgebouwd uit 6 hoofdstukken, met per hoofdstuk een onderwerp en voorbeelden. Na elk hoofdstuk is er een oefentest om uw kennis te testen. De lesstof is door middel van tekeningen uitgevoerd die verduidelijking geven van situaties en inzicht verschaffen in technische uitvoering.

Ook voor natuurkundige aspecten zijn illustraties opgenomen, zoals het log-p-h-diagram en de grafieken en tabellen voor koudemiddelen.



2 Koeltechniek

Airconditioningapparatuur passen we toe voor de koeling van kantoren, woningen, ziekenhuizen, computerruimten, studio's en dergelijke. De eisen aan het te conditioneren binnenklimaat hangen sterk af van de toepassingen en de comfortwensen van personen in de ruimten. Airconditioning als techniek bevat:

- verwarmen, koelen, bevochtigen en ontvochtigen;
- reinigen van de lucht door middel van o.a. filteren.

In dit hoofdstuk werken we het koelen van de lucht uit met daarvoor toegepaste koude-installaties.

Koeling vindt vrijwel altijd plaats met behulp van elektrisch aangedreven compressoren. De compressor vormt samen met de condensor, de verdamper en het expansieorgaan de hoofdonderdelen vormen van de koude-installatie. De apparatuur moet op de juiste plaats en wijze worden opgesteld en ingeregeld. Hierdoor wordt het energieverbruik, zoals de fabrikant het opgeeft, zo goed mogelijk benaderd en werkt de airconditioner goed. Door regelmatig onderhoud van gekwalificeerde technici blijft de installatie onder optimale conditie werken. Daardoor wordt de levensduur verlengd en neemt het energieverbruik niet toe. Bovendien signaleer je bij regelmatig onderhoud vroegtijdig een mogelijke kans op lekkage, waardoor de emissie van het koudemiddel niet voorkomt of beperkt blijft.

2.1 Drukken, temperaturen en SI

Internationaal is overeengekomen om eenheden weer te geven volgens het SI-stelsel.

Begrip	SI	Toelichting
temperatuur	°C	als gemeten/te bereiken temperatuur (= Celsius)
	K	(zonder °- teken) voor temperatuurverschillen (= Kelvin)
druk	Pa	Pascal
	Bar	(1 bar = 105 Pa of 100.000 Pa of 100 kPa)
	P _{abs}	gewerkt wordt met absolute drukken d.w.z. gerekend vanaf het absolute nulpunt
	P _e	effectief = overdruk, gerekend vanaf ca. de omgevingsdruk op zeeniveau (d.w.z. het absolute nulpunt + 1 bar)

Afbeelding 1. Tabel SI-stelsel

2.2 Log-*p-h* diagram

Het log-*p-h*-diagram wordt ook vaak aangeduid als *h log p*-diagram. In dit boek gebruiken we de term log-*p-h*-diagram.

Bij de ons omringende lucht op zeeniveau van ca. 1 bar kookt water bij ongeveer 100 graden Celsius. Wordt er gekookt op een hoger niveau bijv. in de bergen dan blijkt dat water een kooktemperatuur heeft dat lager is dan 100 graden Celsius. Dit is bijvoorbeeld 95 graden Celsius.

Hieruit blijkt dat er een verband bestaat tussen druk en temperatuur van kokend water. De druk boven het water bepaalt de kooktemperatuur.

log-*p-h*-diagram

enthalpie

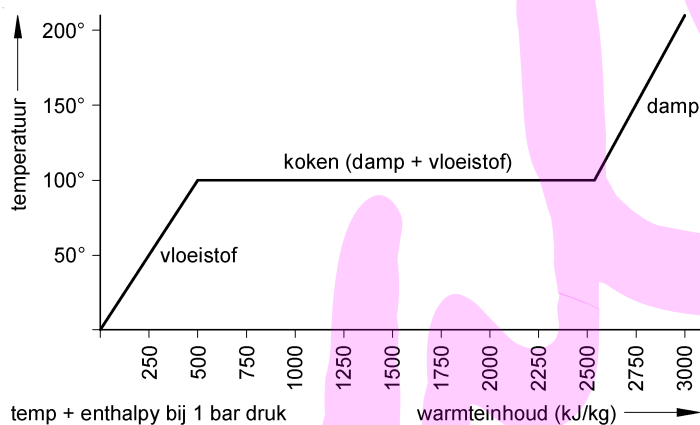
Een stof heeft per kilogram een bepaalde hoeveelheid warmte-inhoud, ook wel enthalpie genoemd. De enthalpie kun je uitzetten in een grafiek. Door lijnen samen te voegen wordt hierin een diagram zichtbaar.

Water

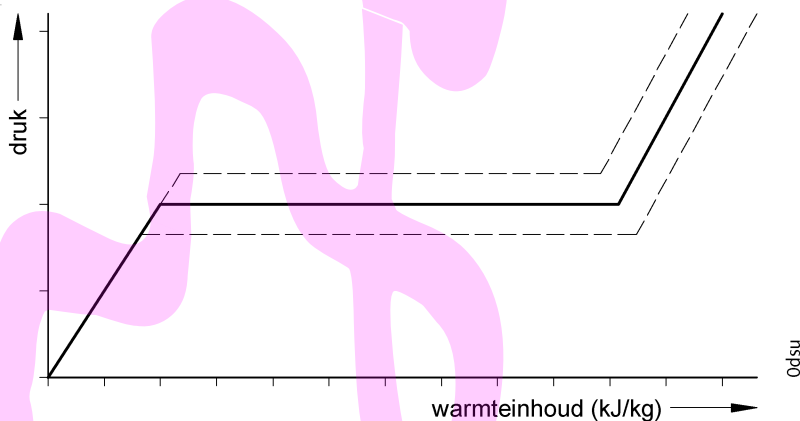
Het log- p - h -diagram geeft de warmte-inhoud aan van het koudemiddel, waarbij de druk logaritmisch is uitgezet. Om dit te verduidelijken lichten we eerst het temperatuur- en enthalpiediagram van afbeelding 2 toe.

De temperatuur loopt hierbij evenredig op met de warmte-inhoud of enthalpie. Bij 100 graden Celsius begint het water te koken. De temperatuur blijft constant maar de warmte-inhoud neemt toe.

Bij een hogere of lagere druk gebeurt hetzelfde, maar nu begint het water te koken bij een hogere, respectievelijk lagere temperatuur (met streeplijn aangegeven in afbeelding 3).



Afbeelding 2. temperatuur enthalpiediagram van water bij één druk



Afbeelding 3. druk enthalpiediagram van water

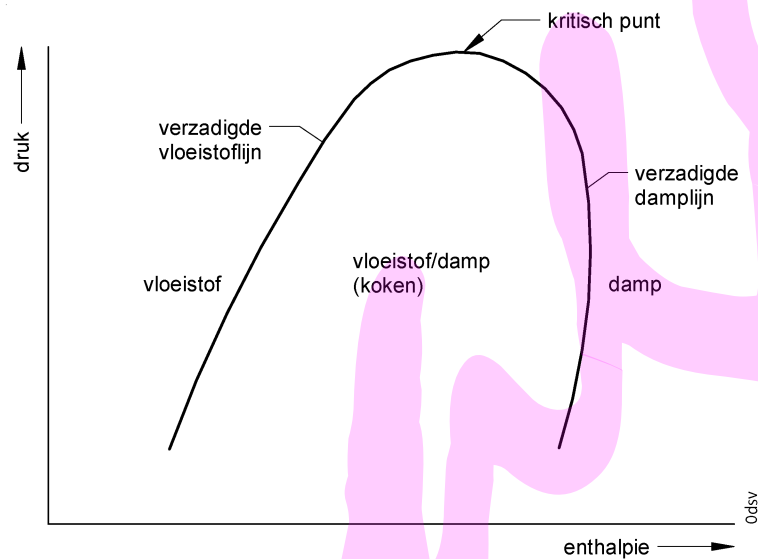
Als we afbeelding 2 en afbeelding 3 omwerken in een druk/enthalpie-diagram ontstaat een diagram zoals aangegeven in afbeelding 4. In dit diagram is de scheiding tussen het vloeistof en verzadigde dampgebied een horizontale lijn.

Verzadiging

Een verzadigde vloeistof is een vloeistof die net begint te koken (verdampen). Verzadigde damp ontstaat wanneer vloeistof geheel is omgezet in damp. Hierbij blijven druk en temperatuur gelijk. Goed beschouwd is een gas verzadigd zolang deze in contact is met de vloeistof waaruit het gas is gevormd. Een stof in deze gasfase noemen we een damp.

Voorbeeld: een ketel kokend water. De waterdamp boven het water is gasvormig water met dezelfde temperatuur en druk als het water waaruit het is verdampt. Dit verdampen vindt plaats door warmtetoevoer. Zoals we hebben gezien, zal bij het verhogen van de druk een hogere kook- of verdampingstemperatuur ontstaan. Bij het verlagen ontstaat een lagere verdampingstemperatuur. Omgekeerd kan een damp condenseren en tot vloeistof worden gevormd. Dit komt ook voor als een koud raam in de winter nat wordt door het neerslaan van condens uit de omgevingslucht. We spreken dan van condenseren van de waterdamp tot water. Ook hier is weer sprake van dezelfde vaste relatie tussen temperatuur en druk.

We kunnen de verschillende condities van temperatuur en druk met elkaar verbinden. Er ontstaat dan een lijn zoals is aangegeven in afbeelding 4.



Afbeelding 4. Druk-enthalpiediagram.

Links van het linkergedeelte van de lijn is alles vloeibaar en onderkoeld (voor water is dit het water uit de kraan). We noemen deze lijn dan ook de vloeistoflijn. Rechts van het rechtergedeelte van de lijn is alles gasvormig en oververhit; we noemen deze lijn de verzadigde damplijn. Beide lijnen komen bij elkaar in het kritische punt.

Tussen de vloeistoflijn en verzadigde damplijn is er sprake van verdampend (of condensierend) koudemiddel. We noemen dit gebied waar gas en vloeistof gezamenlijk aanwezig zijn het twee-fase- of verzadigingsgebied.

Hoe verder in dit gebied een punt naar rechts ligt - richting verzadigde damplijn - hoe meer gas er aanwezig is.

Een punt in dit gebied ten opzichte van het midden dat meer naar links ligt, zal meer vloeistof bevatten.

De verhouding gas-vloeistof wordt aangegeven in massa-procenten, De aanduiding in het diagram van 0,1 is daarbij 10% damp en 90% vloeistof en de aanduiding 0,2 is 20% damp en 80% vloeistof enz.

In koude-installaties gebruiken we geen water als circulerend middel, maar andere stoffen die in twee fasen circuleren. We noemen deze stoffen koudemiddelen, vanwege deze twee-fase-condities in een werkend compressiekoelsysteem. Er zijn verschillende soorten koudemiddelen, zoals HCFK's en HFK's die je gebruikt in een gesloten koelsysteem. Voor airconditioningtoepassingen zijn dit momenteel de chemische koudemiddelen.

vloeistoflijn

verzadigde damplijn

twee-fase-gebied

Alle koudemiddelen worden aangeduid met de letter R (van Refrigerant) gevolgd door een type aanduiding. Zo is er R22, R134a enz.

Opmerking: CFK's zijn niet meer toegestaan in nieuwe installaties en mogen ook niet meer worden hergebruikt bij reparaties. Het gebruik van HCFK's is nog mogelijk tot bepaalde data (zie verder onder koudemiddelen).

Uit het voorgaande blijkt dat per type koudemiddel het volgende geldt: in verzadigde toestand (waar gas en vloeistof in een overgangsfase zijn) bestaat er een vaste relatie bestaat tussen druk en temperatuur. Hier is sprake van een 2-fase-toestand of een grenstoestand van verzadigde damp

Met andere woorden:

Bij een bepaalde temperatuur behoort 'een koudemiddelafhankelijke' druk en omgekeerd.

Voorbeelden zijn:

De druk van R22 die hoort bij 0°C is 4 bar en bij R134a en 0°C is deze 1,9 bar.
De druk van R22 die hoort bij 0°C is 14 bar en bij R134a en 0°C is deze 9,2 bar.

zeotropisch koudemiddel

Uitzondering zeotropisch koudemiddel

Een uitzondering op deze regel zijn koudemiddelen die bestaan uit een mengsel van meerdere typen koudemiddelen, die zich weer kunnen ontmengen. Dit heet een zogenaamd zeotropisch mengsel.

Voorbeeld: R407C dat bestaat uit een samenstelling van R32, R125 en R134a. Bij dit soort koudemiddelen treedt een temperatuurtraject op (zie hiervoor onder het hoofdstuk Koudemiddelen en olie).

De druk, waarbij de verdamping en condensatie van het koudemiddel plaatsvindt, kun je aflezen op manometers die zijn aangesloten op de installatie. Meestal hebben deze manometers een druk- en temperatuurschaal voor het betreffende koudemiddel. Zodra de koude-installatie van de airconditioner in bedrijf is kun je hierop de condensatie- en verdampingstemperatuur van het systeem aflezen.

koudemiddeltabel of koudemiddelschuif

Ook kun je aan de hand van de verdampingstemperatuur en de condensatietemperatuur de bijbehorende druk aflezen door middel van een koudemiddeltabel of koudemiddelschuif. Daarop staat het verband tussen druk en temperatuur. Deze methode van temperatuurmeting voorkomt onnodig koudemiddelverlies bij metingen aan installaties die geen permanent aangesloten drukmeters hebben. Airconditioningapparatuur is meestal niet met manometers uitgerust.

oververhit gas

Oververhitting

De ingespoten koudemiddeelvloeistof in de verdamper is verdampt bij een nagenoeg constante druk en temperatuur. Daarna zal de koudemiddeldamp in temperatuur stijgen. Dit komt door de toevoer van extra warmte in de verdamper. Soms is er ook extra opwarming in de zuigleiding naar de compressor. De opgewarmde damp heet in deze toestand een 'oververhit gas'. Voorbeeld: in een verdamper verdampt een koudemiddel bij +2 °C en verlaat de verdamper met een oververhitting van 8K (temperatuurverschil uitgedrukt in Kelvin). Het gas dat de verdamper verlaat heeft dan een temperatuur van (+2 +8) = +10 °C.

De oververhitting van het gas is een maat voor de benutting van de verdamper. Te veel oververhitting geeft aan dat de verdamper niet volledig wordt benut. Te weinig oververhitting geeft aan dat er wel goede benutting is, maar dat er te veel vloeistof in de verdamper is met het risico van vloeistofslag in de compressor.

Nakoeling

onderkoelde vloeistof

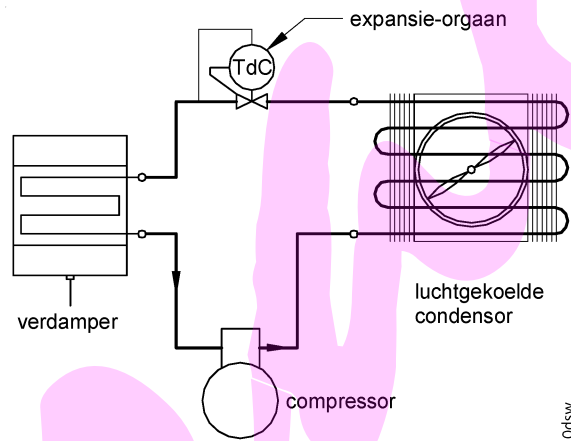
Gasvormig koudemiddel is in de condensor gecondenseerd tot vloeistof bij een constante druk en temperatuur. Als aan de vloeistof nog meer warmte wordt onttrokken door de condensor, gaat de temperatuur van deze vloeistof verder dalen. We spreken dan van nagekoelde of ook wel onderkoelde vloeistof. Voorbeeld: het koudemiddel is volledig gecondenseerd bij + 40 °C en de nakoeling bedraagt 5K. Het vloeibare koudemiddel dat de condensor verlaat heeft dan een temperatuur van (+ 40 °C - 5K) = 35 °C.

Samenvatting

- Zodra vloeistof en gas met elkaar in verbinding staan, is er altijd sprake van een verzadigde toestand.
- Bij verzadigde gassen bestaat een vaste relatie tussen de druk en de temperatuur; deze is alleen afhankelijk van het soort koudemiddel.
- Een gas kan oververhit zijn en niet onderkoeld. Bij koeling van het gas gaat het condenseren.
- Een vloeistof kan onderkoeld zijn en niet oververhit. Bij verhitting verdampt de vloeistof.

koudemiddelkringloop

Theoretische koudemiddelkringloop in het log-p-h-diagram



Afbeelding 5. Koudemiddel-kringloop in een koude-installatie

In de koude-installatie circuleert het koudemiddel in een gesloten systeem. De verdamperdruk en de circulatie van het koudemiddel worden met behulp van een koelcompressor in stand gehouden.

Het koelproces is afgebeeld in een schematische weergave van de koude-installatie in afbeelding 5 en in het log-p-h-diagram van afbeelding 6. De letters A t/m D verwijzen naar de overeenkomstige punten in beide figuren.

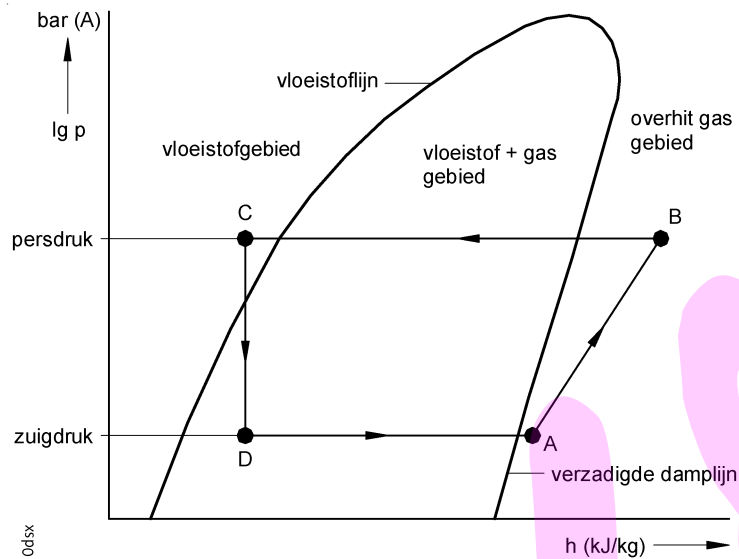
Het vloeibare koudemiddel, afkomstig van de condensor, expandeert in een smoororgaan. Een smoororgaan is een capillair of expansieorgaan. Daarna stroomt het koudemiddel in de verdamper (koeler). In dit smoororgaan (A-B) vindt een drukverlaging plaats zonder verandering van de warmte-inhoud. Tijdens dit expanderen verdampt een deel van het koudemiddel voordat het warmte opneemt in de verdamper. Hierbij daalt de temperatuur van de vloeistof tot de verdampingstemperatuur. Dit verlies aan verdampingswarmte, dat reeds in het expansieorgaan is ontstaan, heet het smoorverlies.

expanderen

smoorverlies

Na insputting in de verdamper (B-C) verdampt vloeibaar koudemiddel tot een damp. Voor deze verdamping is warmte nodig. Deze wordt onttrokken aan de lucht uit de omgeving van de verdamper. Door de lagere verdampingstemperatuur dan de omgeving van de verdamper vindt warmte-

verdampen	<p>overdracht plaats naar de verdampende vloeistof. De verdamper is in dit voorbeeld de luchtkoeler van een airconditioner.</p> <p>Dit verdampen gebeurt onder nagenoeg gelijke druk, de verdampingsdruk.</p>
comprimeren	<p>Het gasvormige koudemiddel uit de verdamper wordt aangezogen door de compressor die het comprimeert (C-D) tot een hogere condensatiedruk en temperatuur.</p> <p>De toegevoerde energie voor de compressormotor wordt tijdens dit comprimeren afgegeven aan het circulerende koudemiddel.</p> <p>Het gecomprimeerde gas is door deze toegevoerde compressie-energie sterk oververhit.</p> <p>Afhankelijk van het soort installatie, het type koudemiddel, het soort compressor en de condensatietemperatuur kunnen hierbij temperaturen van 70 °C tot boven de 110 °C worden bereikt.</p>
condenseren	<p>In de condensor (D-A) wordt het oververhitte gas afgekoeld tot de condensatietemperatuur, waarna het condenseert tot vloeistof. Daarna wordt deze vloeistof verder nagekoeld. Om de vloeistof te kunnen laten condenseren moet warmte worden afgevoerd.</p> <p>De af te voeren warmte wordt daarbij afgegeven aan de omgeving (luchtgekoelde uitvoering) of aan het koelwater (watergekoelde uitvoering). Na dit condenseren begint het koelproces (bij A) opnieuw.</p>
koudefactor	<p><i>COP</i></p> <p>COP staat voor de Engelse benaming Coëfficiënt Of Performance. COP duidt de verhouding aan tussen:</p> <ul style="list-style-type: none">• het koelvermogen (opgenomen in de verdamper)• het compressievermogen (toegevoerde energie) dat de compressor heeft geleverd. <p>Deze aanduiding wordt ook wel koudefactor genoemd.</p> <p>De koudefactor is sterk afhankelijk van het soort koudemiddel en van de drukverhouding tussen de verdamperdruk en de condensordruk. Fabrikanten streven ernaar om de COP zo groot mogelijk te laten zijn, vanwege het daardoor gunstige energieverbruik. Mede vanwege de kleinere koudemiddelvulling bij hoge COP-waarden is het van groot belang dat je bij de werkende installatie een zo gunstig mogelijke COP bereikt. Een goede plaatsing en inregeling van apparatuur helpen hierbij. Is bijvoorbeeld 4 kJ/s warmte opgenomen en is hiervoor 1 kW (kJ/s) energie nodig dan is de COP $4/1 = 4$.</p> <p>De koudefactor is bij toepassing van airconditioning tussen de 3,5 en 4. Door toepassing van systemen met koelwater voor de warmte-afvoer van de condensor in plaats van buitenlucht kan ook in de zomer een hoge COP-waarde gehandhaafd blijven. Daarom worden vaak ook verdampingscondensoren en koeltorens toegepast. Daarbij stroomt in een secundair koelcircuit water door de condensor.</p>



Afbeelding 6. Log-p-h-diagram van koude-installatie

2.3 Koeltechnische begrippen

Koelwater

koelwater

De overheid staat het gebruik van water vrijwel niet meer toe vanwege het steeds dalende grondwaterpeil en een steeds groter tekort aan drinkwater. Daar waar koelwater nog wordt gebruikt, is het toepassen ervan onderhevig aan steeds zwaardere heffingen. Daarom kiest men meestal voor de luchtgekoelde uitvoering of soms voor de combinatie lucht-water met behulp van een koeltoren of verdampingscondensor. Deze laatste combinatie wordt toegepast bij de grotere installaties, niet bij de kleinere airconditioningapparatuur. Voor het verdampen van water is warmte nodig. Wanneer dit wordt onttrokken aan het water, koelt dit dus af. Bij zowel de koeltoren als de verdampingscondensor maak je gebruik van het afkoelend effect van verdampend water.

Vloeistofslag

Vloeistofslag

Vloeistof is niet samendrukbaar en kan bij een onjuist werkende installatie in de compressor komen. Wordt deze vloeistof in de cilinder aangezogen dan ontstaat er aan het einde van de persslag een extreem hoge druk. Daardoor kan de compressor beschadigen. De compressoren zijn wel beveiligd tegen deze situaties door veerbelaste kleppen. Zij kunnen echter de ontstane drukken niet langdurig zonder risico's weerstaan.

nat werken

Nat werken

Indien de compressor een verzadigde damp aanzuigt dan kan er sprake zijn van 'nat' werken, omdat er nog vloeistofdruppels in de damp aanwezig zijn. Als de compressor in een koude omgeving staat, kan bij het comprimeren een deel vloeistof ontstaan die meestal in de compressor nog verder verdampt. Dit nat werken kan uiteindelijk vloeistofslag tot gevolg hebben en moet je dus voorkomen.

Flashgas

Flashgas is gasvorming in de vloeistofleiding. Dit kan ontstaan door een slecht werkende condensor met te weinig nakoeling van de vloeistof. Als de vloeistof op de grens is van verdampen en bij de bestaande vloeistoftemperatuur in druk daalt, ontstaat al enige damp. In zo'n geval spreken we van Flashgas.