



hoofdgroep

APPARATEN & VOORZIENINGEN

code

E2

Bijlagen

Ir. A.M.G. Pennartz

Inhoudsopgave:

- Bijlage 1: Het combineren van luchtgekoelde condensors en het vloeistofreservoir
- Bijlage 2: Persgasontdooisystemen
- Bijlage 3: Koeltorens
- Bijlage 4: Luchtkoelers

© Stichting Post HBO Koudetechniek, 2014

De totstandkoming van dit lesmateriaal is mede mogelijk gemaakt dankzij financiële bijdragen van OTIB en de Stichting Gustav Lorenzen in het kader van kennisontwikkeling in de Nederlandse koudetechnische sector.

De opleiding Post HBO Koudetechniek wordt georganiseerd door de Stichting Post HBO Koudetechniek. Hierin werken KNVvK, NVKL, UBF-ACA, SOK en docenten samen om een goede opleiding te kunnen bieden. De cursus staat onder toezicht van een onafhankelijke Werkveld Advies Commissie. De lesstof is uit de best beschikbare kennis en kunde samengesteld. De Stichting Post HBO kan niet aansprakelijk gesteld worden voor schade die voortvloeit uit de tijdens de opleiding verstrekte informatie.

Bijlage 1 HET COMBINEREN VAN LUCHTGEKOELDE CONDENSORS EN HET VLOEISTOFRESERVOIR

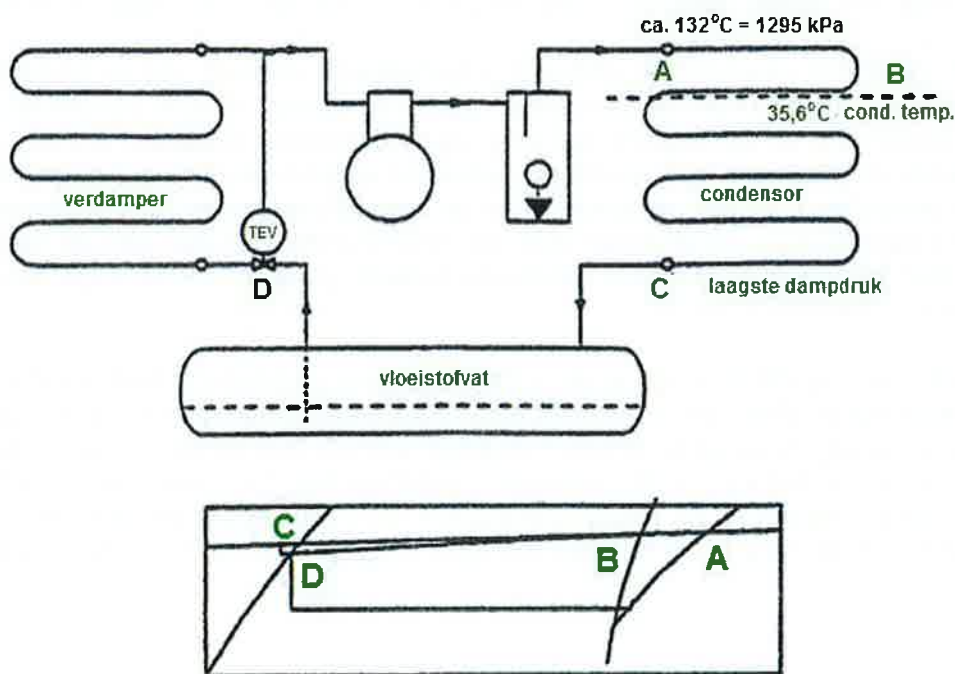
In het Ashrae journal van 1979 stond een artikel over het samenspel van condensors en het vloeistofvat van een koelinstallatie van de heer M.W. Carland. Op een aantal punten onderschrijven we zijn mening, doch op andere punten kunnen we niet meegaan. Het lijkt nuttig het betreffende artikel (cursief gedrukt) puntsgewijs te volgen.

De neiging bestaat om een condensor en het vloeistofvat als twee op zichzelf staande onderdelen te beschouwen zonder de vaste relatie welke tussen deze bestaan, te onderkennen.

Deze componenten dient men echter als één geheel te beschouwen: de condensor is een apparaat waarin condensatie plaatsvindt en het vloeistofvat behoort de tot vloeistof gecondenseerde koelgassen te bevatten. Het condensaat in het vloeistofvat dient dezelfde temperatuur te hebben als het condensaat dat zich aan de uitrede van de condensor bevindt. Pas dan krijgt men een optimale systeemwerking!

Fig. 1 toont een koelsysteem met een vloeistofvat. Hierbij is tevens de cyclus in het Mollier diagram getekend van NH₃. Een condensor condenseert bijv. op 35,6°C en zal een inlaat persdruk hebben van 1295 kPa. Bij punt C (de uitloop van de condensor zal de druk iets lager zijn dan bij punt A. Tevens zal de temperatuur hier het laagst zijn en bij punt C is dus het gebied waar de laagste dampspanning heerst in het condensor-vloeistofsysteem.

Voor een enkelvoudig systeem is dit juist mits men via een ruime valleiding in het vloeistofvat komt. Voor meerdere condensors en bij grotere hoogte verschillen tussen condensors en de receiver zijn drukverschillen tussen de uitrede conditie van de condensor en de conditie in het vloeistofvat mogelijk en soms zelfs gewenst.



Figuur 1 Basisschema van de koelinstallatie

Omdat het vloeistofvat vaak in een warmere machinekamer wordt geïnstalleerd, wordt in de praktijk soms een egalisatieleiding aangelegd tussen de bovenkant van het vloeistofvat en de condensorintrede-aansluiting. dit wordt gedaan met de bedoeling om de gassen uit het vloeistofvat gelegenheid te geven naar de condensor te stromen. Het onjuiste uit deze opvatting blijkt al direkt uit het feit dat de druk bij A groter is dan bij punt C. De stroming door de condensor kan niet op een andere manier worden verkregen.

Bovendien is de temperatuur in het vloeistofvat veel lager dan bij de ingang van de condensor en daarom zullen bij deze wijze van aansluiten van de egalisatieleiding de koudere gassen in het vloeistofvat niet willen opstijgen naar de warmer omgeving bij de persgasaansluiting van de condensor.

Indien er een drukverlies in de condensor optreedt is zelfs een egalisatieleiding over de condensor funest. Het gevolg is dat vloeistof in de condensor achter blijft. Bij het daardoor dalende koelvermogen en dus de interne weerstand valt deze vloeistof daarna soms periodiek uit de condensor in het vloeistofvat.

Alleen indien vast staat dat de vloeistofkolom op de terugslagklep of vloeistofslot meer druk oplevert dan de weerstand in condensor + leidingen + afsluiters is een vereffeningsleiding toegestaan. 2 Meter vloeistofkolom is al gauw noodzakelijk. Een nadeel blijft dat de bereikte nakoeling wordt opgeheven. een voordeel kan zijn dat het met slokken vullen van het vloeistofvat wordt voorkomen en dat eventueel in de receiver aanwezige lucht naar de condensor kan terugstromen. Een automatische ontluchter is hiervoor natuurlijk veel doelmatiger, Het naar de condensor terugbrengen van de aanwezige lucht betekend immers het blijvend verhogen van de condensatiedruk.

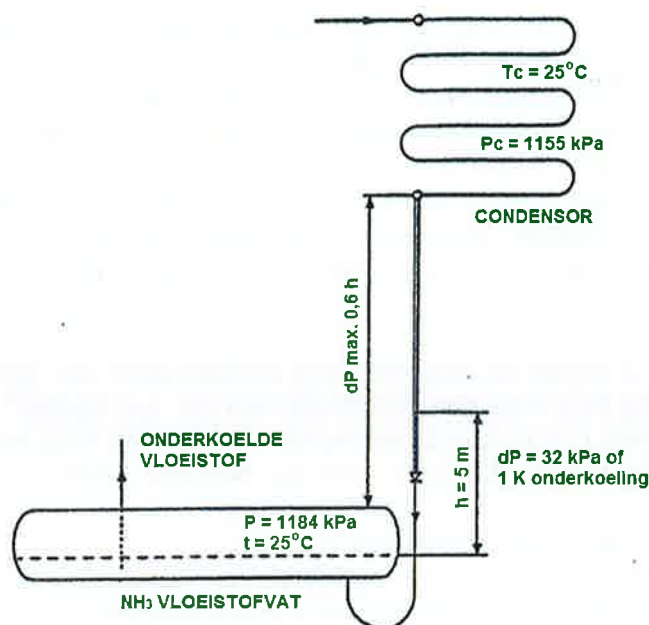
De egalisatieleiding kan echter noodzakelijk zijn als het vloeistofvat warm staat opgesteld zodat de valtemperatuur hoger kan worden dan de condensatietemperatuur.

Aangezien C het koudste punt is van het systeem, is het logisch dat gassen uit het vloeistofvat wel zullen opstijgen naar dit punt C, dus naar de uitlaat van de condensor.

Daarom moet het vloeistofvat zodanig geïnstalleerd worden, dat er ongehinderd vloeistof kan stromen van de condensor naar vat zonder dat de vloeistofleiding tussen condensor en vat ergens vol vloeistof kan komen staan.

De doorlaat en de wijze van montage van deze vloeistofleiding zal hierop moeten worden gebaseerd. In het algemeen kan de aansluitmaat van de condensoruitlaat worden aangehouden en er moet voor gezorgd worden dat het gas uit het vloeistofvat vrij kan ontsnappen naar de condensoruitlaat, zonder vloeistofslot tussen vat en condensor.

Voor een enkelvoudig systeem is dit waar. (Ook voor een condensor met twee verticale of in V-vorm geplaatste blokken die ieder met een eigen valleiding op het vat worden aangesloten, de belasting van deze twee blokken is altijd gelijk). Het condensatiedat door condensatie van de gassen uit het vat in de condensor ontstaat kan nu terugvloeien in het vat. Bij een groot temperatuurverschil tussen condensor en vloeistofvat en geen wezenlijk hogere omgevingstemperatuur bij het vat kan een vloeistofslot echter ook positief werken, zie fig. 2.



Figuur 2 De werking van de wandelstok of terugslagklep in de valleiding

De vloeistofkolom zorgt voor extra druk in het vat zodat een relatieve onderkoeling ontstaat (bij NH_3 veel geringer dan bij R22). De terugslagklep voorkomt het terugdrukken van de vloeistof in de condensor gedurende de stilstand periode van de installatie, en levert dan tevens een "basis" condensordrukregeling bij het starten. (Bij stilstand staat het vat onder de druk behorende bij de omgevingstemperatuur).

Een open valleiding zoals gepropageerd, zal de druk in het vat terugbrengen tot de druk behorende bij de omgevingstemperatuur van de condensor. Ook in de afgaande leidingen vanaf het vat daalt de druk, er ontstaan gasbellen en de vloeistof stroomt terug in het vat. Bij de start moeten deze leidingen weer gevuld worden door het stijgen van de druk in condensor en vloeistofvat. Daardoor zal het gas in de vloeistof-leidingen condenseren voordat de vloeistof de expansieventielen bereikt. Een start procedure met vertraagd inschakelen van de LD beveiliging kan dan noodzakelijk zijn.

Alle condensors zijn zo geconstrueerd, dat de vloeistof aan de uitlaat een zekere onderkoeling heeft. Daardoor is een geringe drukval in de vloeistofleiding van het vat naar het expansieventiel toelaatbaar, zonder dat "flashgas" in de vloeistof voor het expansieventiel optreedt.

Fig. 1, de open vloeistofleiding tussen C en de bovenkant van het vloeistofvat laat het terugstromen van gas vanuit de koudste plaats van de condensors toe, dus ook de vloeistof in het vat blijft onderkoeld.

Als voorbeeld: Als de condensatietemperatuur $35,6^\circ\text{C}$ is en dus de druk 1295 kPa wordt deze in de condensor gereduceerd naar 1292 kPa door drukval in de condensorpijpen. Er treedt bovendien een onderkoeling op van $1,2^\circ\text{C}$ en dan is de vloeistof-temperatuur in het vat $34,3^\circ\text{C}$ behorende bij een druk van 1251 kPa. Hieruit volgt voor de toegestane drukval in de vloeistofleiding naar het expansieventiel $1292 - 1251 = 41$ kPa is. Er is geen rekening gehouden met een temperatuurverandering in deze vloeistofleiding als gevolg van warmtetransmissie.

Dat alle condensors met onderkoeling werken mag worden betwijfeld. Alleen als niet-condenseerbare gassen aanwezig zijn ontstaat er gegarandeerd een verschil tussen condensatiedruk en de vloeistoftemperatuur. Veel luchtgekoelde condensors werken nagenoeg zonder onderkoeling. Het ontstaan van gasbellen tussen vloeistofvat en expansieventiel is dan ook een veel voorkomend probleem, dat met de constructie van fig. 2 enigermate kan worden voorkomen. Hoe men onderkoeling ziet bij het hercondenseren via de valleiding van de condensor is niet duidelijk, temperatuur en druk zijn op dat moment in evenwicht! Alleen t.o.v. de persmanometer op de compressor is enige schijnbare onderkoeling mogelijk!

Bij de oplossing van fig. 2 wordt de onderkoeling bereikt door de "gratis" druk verhoging van de vloeistofkolom. Bij R22 met een dichtheid van ca. $1,2 \text{ kg/dm}^3$ zit hier winst in, bij NH3 met een dichtheid van $0,6 \text{ kg/dm}^3$ belangrijk minder. Bij R22 is de massastroom echter 6x zo groot en het drukverlies door wrijving dus ook groter.

PARALLEL AANGESLOTEN CONDENSORS

De vloeistofafvoer bij parallel aangesloten condensors veroorzaakt in veel installaties grote problemen. Deze problemen worden veroorzaakt doordat geen twee condensors exact dezelfde uitgaande condensatietemperatuur hebben. Zonder juiste aanleg van de vloeistofleidingen zal er een vloeistoftransport van de ene naar de andere condensor plaatsvinden, waardoor onregelmatigheden ontstaan in de vloeistoftoevoer naar het expansieventiel.

De leiding in fig. 3 (zie vergroot detail) is volledig gevuld door de hier noodzakelijke bocht in het horizontale stuk.

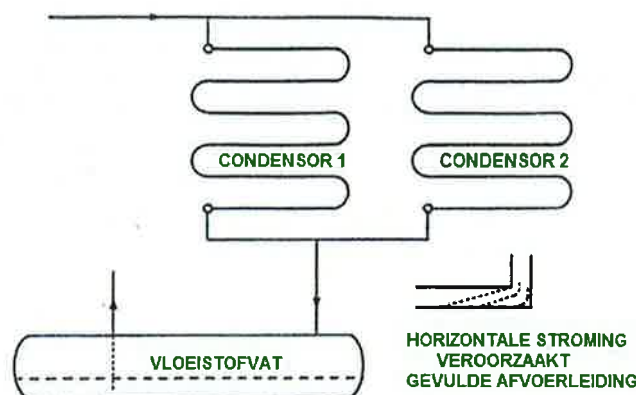


Fig. 3 Het combineren van meerdere condensors via een horizontale verzamelleiding

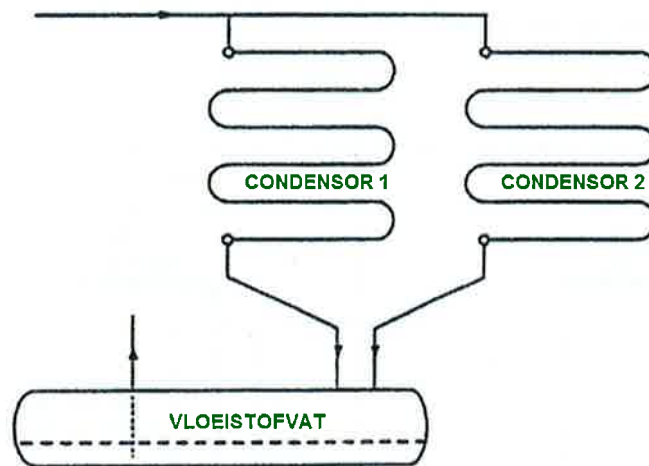
Aangenomen dat de uitgaande temperatuur van condensor 2 lager is dan die van condensor 1, ontstaat een vloeistofstroom van condensor 1 naar 2 en de leiding komt vol vloeistof te staan, waardoor deze als een vloeistofslot functioneert. Condensor 2 zal niet meer doorstromen en raakt "verstopt".

Op dit punt lopen de meningen volledig uiteen, het is juist dat parallel werkende condensors met verschillende condensatiedrukken aan de uittredezijde van de condensor willen gaan werken. Met als gevolg dat vooral bij luchtgekoelde condensors (geringe hoogte per circuit) dit door het opvullen en de daardoor ontstane statische hoogte van deze vloeistof wordt gecompenseerd! Bij toepassing van condensors met veel ruime pijpen boven elkaar is het systeem van fig. 4 misschien nog wel bruikbaar, vooral als de condensors identiek

zijn en de gelijke intrededruk en een zeer geringe weerstand bij de optredende belasting hebben.

In alle andere gevallen is het noodzakelijk om via een vloeistofslot onder elke condensor het ontstane drukverschil buiten de condensor te compenseren. Het verschil in condensatiedruk aan de uittredezijde van de verschillende condensoren blijft dan bestaan, maar wordt dan via het verschil in hoogte van de vloeistofkolom in de "wandelstokken" gecompenseerd. Zo heerst in de verzamelleiding weer dezelfde druk. De vloeistofkolom in de "wandelstok" trekt als het ware aan de uittredezijde van de condensor. Terugslagkleppen, indien noodzakelijk hebben hetzelfde effect als het vloeistofslot in een "wandelstok, maar deze vloeistofsloten moeten dan wel minstens 1 m lager geplaatst worden.

Fig. 4 laat de ideale vloeistofafvoer zien. Horizontale leidingen zijn vermeden, en het afschot van de vloeistofleidingen is zodanig dat voor volledige vloeistofstroom de doorsnede van de afvoerpijpen slechts voor de helft gebruikt wordt. Een vrije uitloop van vloeistof vanuit elk gedeelte van de condensor is thans mogelijk. Fig. 4 laat zien dat elke condensor een aparte vloeistofleiding dient te hebben naar het vloeistofvat.



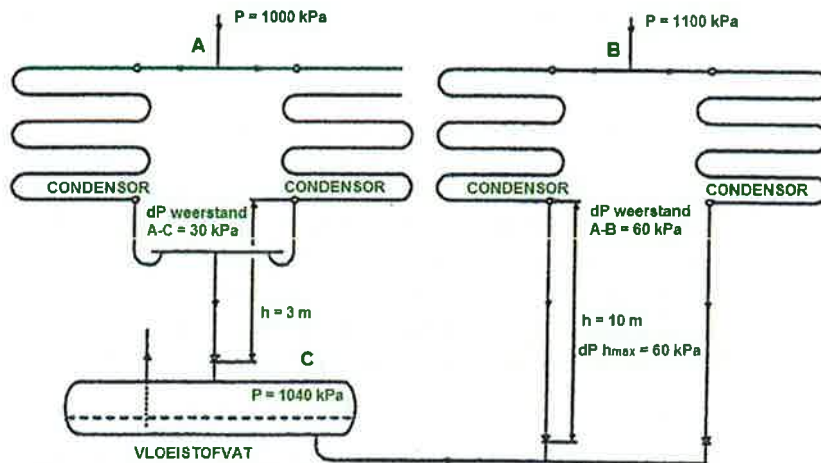
Figuur 4 Het combineren van meerder condensoren via schuinafloppe leidingen

De constructie van fig. 4 is onbruikbaar voor luchtgekoelde condensoren met een gering hoogteverschil over de circuits. Zeker bij condensoren van verschillende constructie zoals later bijgeplaatste condensoren vaak zijn.

Het onderscheid in drukverschillen over de verschillende luchtgekoelde condensoren moet gecompenseerd worden en dit lukt alleen met "wandelstokken" met verticale leidingen boven de terugslagkleppen.

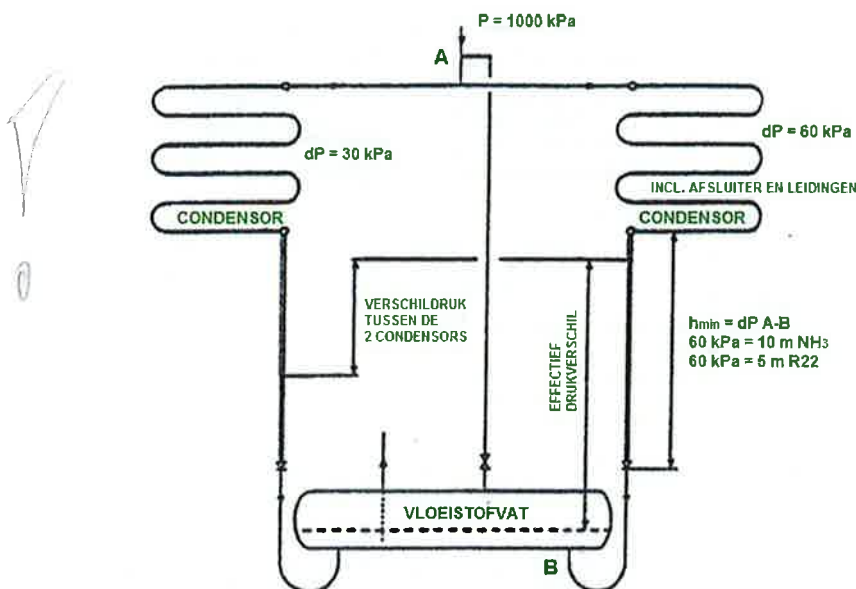
Bij NH₃ systemen met HD vlotters kan men ook elke condensor zijn eigen HD vlotter geven, ook dan worden drukverliezen over de condensoren geëlimineerd!

Alleen bij parallelschakeling van gelijke verdampfcondensoren (grote hoogte blok) of bij een luchtgekoelde condensor met twee verticale of in V-vorm geplaatste lamellen blokken kan de oplossing van fig. 4 goed werken.



Figuur 5 Het combineren van verschillende condensors op een receiver

In de bovenstaande figuur bepaalt de zwaarst belaste combinatie de druk in de receiver. Het lichter belaste systeem past zich aan door het opvullen van de valleiding en eventueel de condensor. De vloeistofkolommen moeten de weerstand in het eigen circuit kunnen compenseren. Zijn deze kolommen echter te kort, dan wordt door opvullen van de lichtst belaste condensor de druk aangepast.

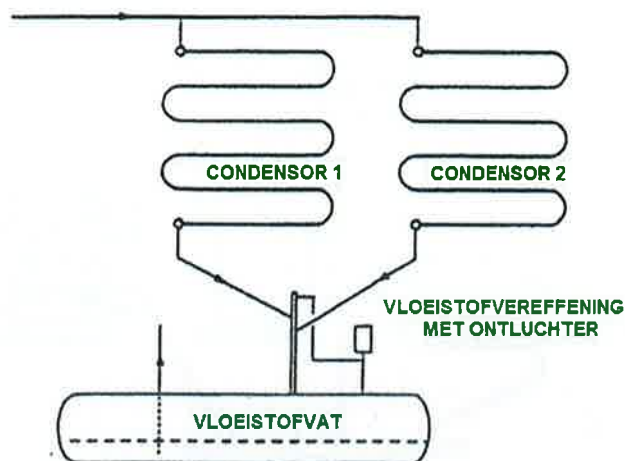


Figuur 6 Het combineren van twee luchtgekoelde en/of verdampingscondensors met een vloeistofvat

In de bovenstaande figuur moeten de condensors:

- of zonder egalisatieleiding en met terugslagkleppen worden uitgevoerd ($h_{\min} \sim 2\text{m}$).
- of met egalisatieleiding en eventueel zonder terugslagkleppen ($h_{\min} \sim \Delta P_{A-B}$).

In de volgende figuur is een oplossing geschetst wanneer later aan een bestaand systeem nieuwe condensors worden toegevoegd.



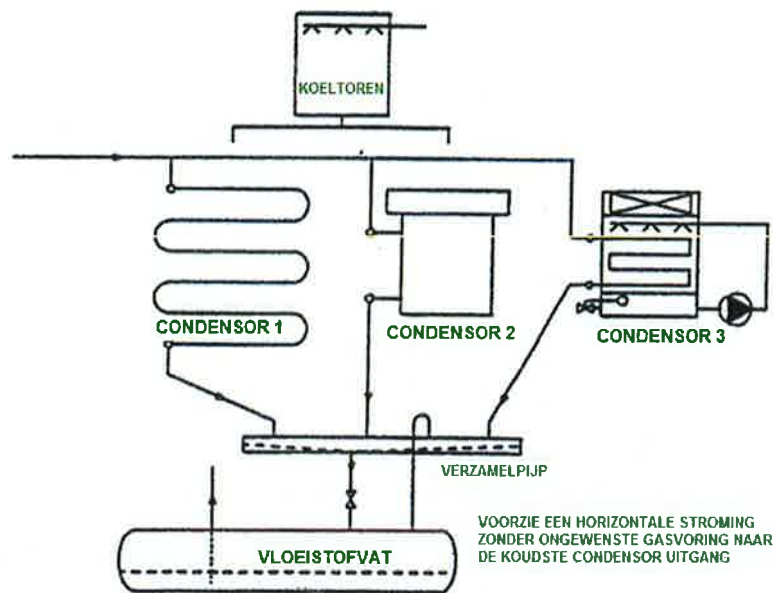
Figuur 7 De aansluiting van een extra condensor op een bestaand systeem

In de vorige figuur dient de maat van de aansluiting op het vat ruim voldoende te zijn voor de totale vloeistofafvoer van alle condensoren. Om er zeker van te zijn dat alle gassen vrij kunnen uitstromen naar het koudste punt is hier nog een egalisatieleiding toegevoegd. De vereffeningsaansluiting moet het terug voeren van koudemiddelgas vanuit de receiver naar de uittredezijde mogelijk maken.

Dit is niet juist!. Stel dat de bestaande condensor een watergekoelde is en de parallel aangesloten condensor een luchtgekoelde met een bepaalde inwendige weerstand. De laatste zal zich opvullen en pas als het drukverlies door capaciteitsdaling is geëlimineerd iets van de onderkoeld vloeistof doorlaten naar het vat. Omdat een watergekoelde condensor nagenoeg geen weerstand heeft wordt de luchtgekoelde condensor bij voorkeur in serie met de watergekoelde condensor geplaatst. Met een voldoende lange "wandelstok" is parallel schakelen potentieel wel mogelijk.

Een grote enkelvoudige condensor met veel parallel geschakelde leidingen zal veel inwendige "verstoppings" verschijnselen vertonen en een slechte vloeistofafvoer, indien een horizontale leiding wordt toegepast.

De horizontale leiding zal zich opvullen, warme gassen uit het vloeistofvat zoekende naar de koudste omgeving zullen de vloeistofstroming in het horizontale gedeelte nog meer afremmen. De vloeistof zal zich nu ook ophopen in de "header" en vloeistofuitstroming verhinderen uit een deel van de parallel liggende circuits. Een goed afschot van de vloeistofleiding alsmede een juiste doorlaat, gebaseerd op vloeistof en 'X' gas zal deze problemen oplossen.



Figuur 8 Meerdere parallel geschakelde condensors van verschillende constructie

Voorals er reële verschillen in drukverlies in de verschillende condensors zijn, dan zijn de oplossingen volgens fig. 5 en fig. 6 beter.

Deze figuur is juist. Eerst een flink stuk omlaag en dan een "wandelstok" (of terugslagklep) en dan pas een horizontaal gedeelte. Hoewel in een systeem met slechts één condensor de schuin aflopende ruime valleiding (afgezien van mogelijke startproblemen) een prima oplossing is.

Deze zogenaamde "open afvoer" is tevens de meest simpele en effectieve manier voor het afvoeren van niet condenseerbare gassen. In diepvriesinstallaties die werken beneden de atmosferische druk kan gemakkelijk lucht in het systeem komen.

In dit "open afvoer" systeem komt de lucht terecht in het vloeistofvat (waar immers de druk iets lager is dan bij de ingang van de condensor) en kan tijdens het bedrijf door een ontluichtingsafsluiter worden verwijderd. In elk systeem waar een vloeistofslot is gebruikt in de leiding van condensor naar vat blijven niet condenseerbare gassen in de condensor, waardoor het condensatie-oppervlak wordt verkleind. Daardoor zal een veel hogere persdruk ontstaan dan in het zogenaamde "open leiding" systeem.

Bij het ontluichten op het vloeistofvat wordt de druk daar verlaagd en stroomt de lucht dus gedeeltelijk opgelost in het vloeibare koudemiddel door naar het vat. Bij toepassing van een automatische ontluichter op het vloeistofvat zal, doordat de druk in het vat nu de "echte" evenwichtsdruk wordt, ook de lucht uit de condensor door het vloeistofvat heen in het vat gedrukt worden en van daaraf via de ontluichter ook gedurende de stilstand periode van de compressor uit het systeem verdwijnen. De Grasso Automatische Ontluichter is hier op zijn plaats. Niet of met de hand ontluichten veroorzaakt de eerder genoemde problemen. Installaties met meerdere parallel aangesloten condensors vereisen een reductie in condensoroppervlak gedurende de winterperiode teneinde voldoende verschilddruk te houden over het expansieventiel. Fig. 8 toont een systeem waarbij de verzamelleiding is geconstrueerd waarop alle vloeistofleidingen zijn aangesloten. Uiteraard dienen alle vloeistofleidingen weer ontworpen te zijn voor 50% vloeistof en gas doorlaat en dient ook

het horizontale verdeelstuk het totale vloeistof-gasmengsel in deze verhouding te kunnen doorlaten.

Expansieventielen in NH₃-installaties komen bij ons zelden voor. De vloeistofverdeling in luchtkoelers is nog steeds een probleem, alleen in verdamers zonder parallel geschakelde circuits dus zonder verdeel problemen functioneren goed. Bij buismaat 22*1,5 mm kan tot 30 kW door één leiding, bij de buismaat 25*1,7 mm kan tot 40 kW door één leiding.

Het op druk houden van het vloeistofvat is praktisch dus allen nodig in R22-installaties. De parallelschakeling volgens fig. 8 geeft bij luchtgekoeld condensors met een geringe circuithoogte gegarandeerd problemen!. Het is mogelijk dat het in verticale "Shell and Tube" condensor in combinatie met verdampingscondensors (met een relatief grote circuithoogte) werkend met NH₃ soms nog wel goed gaat. Maar ook een zwaar belaste verdampingscondensor heeft een inwendige weerstand en zal dus opvullen.

Overigens is het uitschakelen van ventilatoren bij luchtgekoelde condensors zolang de belasting niet te ver terugvalt een veel eenvoudiger methode om de condensatiedruk aan te passen.

Dit ontwerp laat het toe dat een of meer condensors onder optimale condities werken, terwijl de ventilatoren afgeschakeld zijn en eventuele watertoevoeren gesloten. Als we over verdampingscondensors praten is dit misschien wel juist, in combinatie met luchtgekoelde condensors zeer zeker niet.

Als slotconclusie merken we op dat de condensor wordt gebruikt om het koudemiddel te condenseren en het vloeistofvat dient om de, onder diverse omstandigheden benodigde werkvulling op te slaan.

Dit is waar voor systemen met expansieventielen en lagedrukregelingen, maar niet bij toepassingen van HD vlotters, want dan slaan we de "werkvulling" in de LD afscheider op. Het vloeistofvat dient de temperatuur te hebben, die heerst bij de vloeistofuitgang van de condensor om het systeem zo gunstig mogelijk te laten werken. Open-afvoerleidingen zorgen voor een lager condensatietemperatuur, elimineren problemen van parallel aangesloten condensors en garanderen de beste afscheiding van niet condenseerbare gassen, welke eenvoudig te verwijderen zijn tijdens het in bedrijf zijn van de installatie.

Deze uitspraak is beslist onjuist. Voor condensors zonder inwendige weerstand gaat het wel op. Een automatische ontluchter voorkomt de accumulatie van lucht en of niet-condenseerbare gassen in condensors en vloeistofvat.

Het hele artikel ademt de sfeer van. NH₃-installaties met watergekoelde ketelcondensors en een deel van de ingenomen standpunten is alleen juist als het gaat over condensors zonder of nagenoeg zonder inwendige weerstand.

Het is wel duidelijk dat men zich bij het combineren van condensors en vloeistofvat goed moet realiseren hoe zich de vloeistof zal gedragen. Leidingdiameters, de manier van aanleggen en apparatuur tussen condensor(s) en vloeistofvat hebben evenals temperatuurverschillen tussen de condensors en het vloeistofvat grote invloed op het gedrag van het geheel. Het zich per geval goed realiseren hoe de vloeistof zich vermoedelijk zal gedragen kan veel ellende achteraf voorkomen.

Bijlage 2 PERSGASONTDOOISYSTEMEN

2.1 Ontdooisystemen voor R22-koelinstallaties

2.1.1 Inleiding.

In verband met de hoge eisen, welke aan de veiligheid van koelinstallaties moeten worden gesteld, zijn ontdooisystemen aangepast.

PM1 afsluiters hebben minder dan 20 kPa openingsweerstand en zijn daarom, door de lagere kostprijs en door de eenvoudiger bediening dikwijls doelmatiger dan PML-kleppen. Ook bij een ejecteurvat functioneert een persgasontdooisysteem goed.

2.1.2 Veiligheidseisen bij ontdooien met persgas.

Het ontdooien geschiedt in vrieshuizen meestal automatisch door het openen en sluiten van magneetkleppen.

Hierbij ontstaat het gevaar van het opsluiten van vloeistof in de verdamper. Hierdoor ontstaat bij het beëindigen van de ontdooicyclus het gevaar van vloeistofexplosies door het plotseling verlagen van de druk in de verdamper. De expanderende vloeistof zal in de zuigleiding schieten en kan zo vloeistofslag in de leidingen veroorzaken. Het is dan ook belangrijk ervoor te zorgen dat aan het einde van het ontdooiproces zo min mogelijk condensaat in de verdamper aanwezig is en de druk in de verdamper tot 100 kPa boven de zuigdruk wordt verlaagd voordat de hoofdzuigafsluiter weer wordt geopend.

2.1.3 Het ontdooiproces.

Van een te ontdooien koeler wordt de zuigafsluiter gesloten, de vloeistoftoevoer gestopt en de persgastoevoer geopend.

In de verdamper condenseert gedurende het ontdooien koudemiddel welke via een smooropening, een hoge druk vlotter of een drukregelaar naar de natte zuigleiding of naar de lagedruk vloeistofleiding wordt afgevoerd.

Bij toepassing van een drukregelaar voor het afvoeren van het condensaat dient deze te worden afgesteld op een condensatiedruk (in de koeler) van 5 - 10 °C.

Indien de druk in de persgastoevoer daalt, onder de waarde waarop de drukregelaar opent, dan wordt de koeler opgevuld en ontstaat het gevaar van vloeistofslag (en daardoor leidingbreuk) bij het openen van de zuigleiding van de koeler na het ontdooien.

Het is derhalve noodzakelijk om in plaats van een drukregelaar een vast ingestelde smooropening toe te passen en deze kleiner dan de halve diameter van de persgastoevoerafsluiter te kiezen.

Het is bovendien noodzakelijk ervoor te zorgen dat de persgasleiding voor het openen van de magneetklep niet gevuld is met vloeibare koudemiddel. Dit kan bereikt worden door het monteren van een HD-vlotter aan het einde van deze persgas-leiding.

Om het verlies aan koude van deze warme leiding tegen te gaan kan ook aan het begin van deze leiding een gezamenlijke magneetklep worden gemonteerd. Deze wordt alleen geopend zolang er een van de koelers wordt ontdooid.

Het is aantrekkelijk om bij R22 de persgassen aan de intrede zijde van de koeler via de verdeelkop in te spuiten zodat het gehele oppervlak van de koeler gelijktijdig ontdooid.

2.1.4 Dimensionering van ontdooisystemen.

Voor vrij in een vriesopslagcel opgehangen verdamper, zonder luchtzijdige afsluiters moet gedurende het ontdooien voldoende persgas aanwezig zijn. Bij voorkeur moet dit overeenkomen met 4x het koelvermogen van de te ontdooien koeler. Het absoluut minimum is 2x het koelvermogen van de te ontdooien koeler. In het laatste geval dient gedurende het ontdooien de persdruk geregeld te worden op 1200 kPa (overeenkomend met ca. 30 °C). Voor de dimensionering van de magneetafsluiters rondom een met persgas te ontdooien koeler rekenen op:

Bij het gekozen circulatievoud:

ΔP zuigleiding 1 a 2 K of 5 kPa bij -40 °C respectievelijk 10 kPa bij -10 °C.

ΔP vloeistofafsluiter 20 - 100 kPa.

Bij het gekozen vermogen voor ontdooien:

ΔP pers-gas-afsluiter 100 - 200 kPa.

ΔP aftapafsluiter als vloeistof-afsluiter 100 - 400 kPa.

2.1.5 Drukverliezen in magneet-afsluiters.

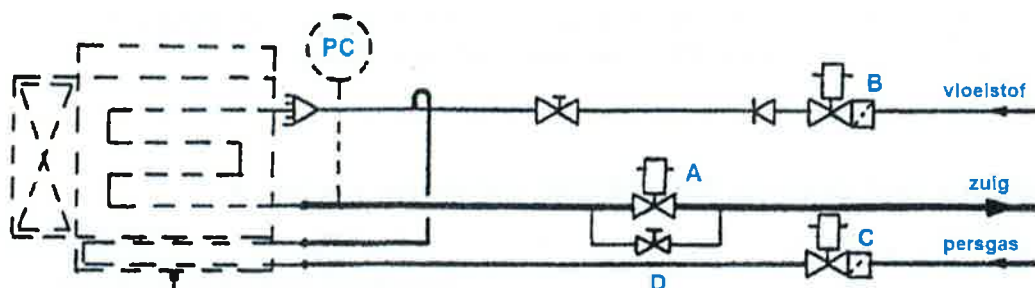
In zuigleidingen is het minimum openingsdrukverlies in de "Danfoss" hoofd-afsluiters, PM1 + EVM, 7 - 14 kPa. Bij R22 en -10 °C verdampingstemperatuur komt dit overeen met 0,6 - 1,2 K. Bij R22 en -40 °C verdampingstemperatuur komt dit overeen met 1,5 - 3 K. Dit is meestal ontoelaatbaar zodat hiervoor een positief opende afsluiter geselecteerd moet worden. Bijvoorbeeld PM1 + EXT + EVM bedient vanaf de pompdruk of een PML-afsluiter.

De drukverliezen worden door de fabrikanten opgegeven voor droog zuiggas. Voor nat zuiggas zijn deze nagenoeg evenredig met de wortel uit het circulatievoud. Dus bij $n = 1,25$, $\Delta P = 1/1,25 \times \Delta P$ droog zuiggas.

In vloeistofmagneetkleppen neemt de drukval toe met het kwadraat van de massastroom. Door een EVR 3 passeert een koelvermogen van 10 kW bij een drukverlies van 5 kPa of 20 kW bij een drukval van ca 200 kPa.

2.1.6 Voorbeelden dimensionering ontdooisystemen.

CENTRALE R22-installatie pompsysteem (fig. 1) met lekbakspiraal met voldoende doorlaat.



Figuur 1. Schema ontdooisysteem één koeler met voldoende inwendige weerstand, met verdeelkop, lekbakspiraal in serie.

Rekenen met een circulatievoud van $n = 1,25$.

R22 verdamper:

$Q_0 = 25$ kW bij $t_o = -40$ °C en $t_{c_{min}} = 20$ °C.

PM1 40+EXT+EVM+CVH :

$\Delta P = 7$ kPa (1,5 K) of PML 40, $\Delta P = 4$ kPa (0,8 K)..

EVR 6 :

$\Delta P = 30$ kPa ($n = 1,25$).

EVR 25 :

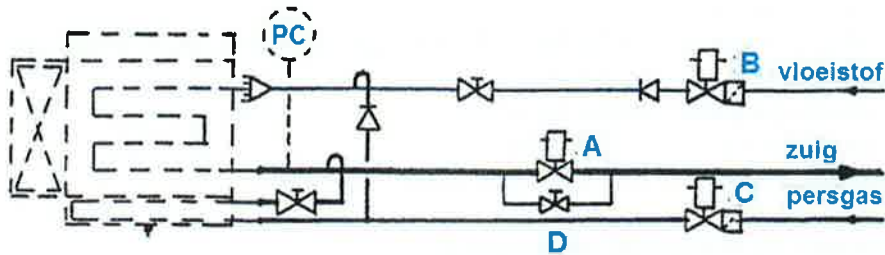
100 kW = 0,55 kg/s; $\Delta P = 170$ kPa.

DS 6 :

0,55 kg/s vloeistof; $\Delta P = 400$ kPa.

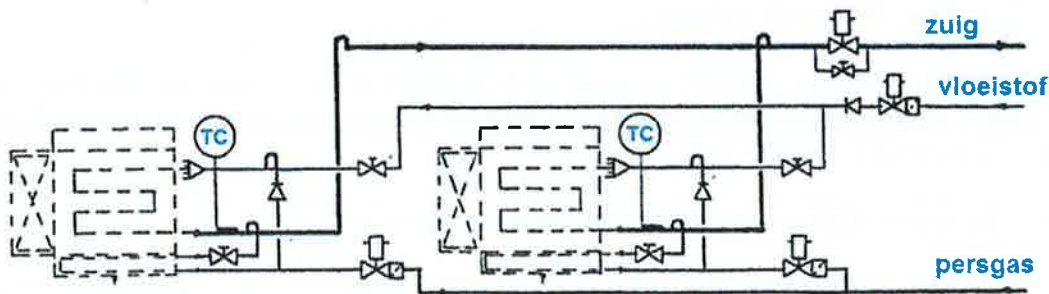
De weerstand in de vloeistofverdeler en verdeelleidingen is dan gedurende het koelen lager, bijvoorbeeld 10 - 30 kPa, dan bij droge verdamping (geen "flash"-gas). Gedurende het ontdooien is de weerstand hoger, nl. 100 - 200 kPa.

Is de weerstand in de lekbakspiraal te groot dan moet deze parallel aan de koeler ontdooit worden (zie figuur 2).



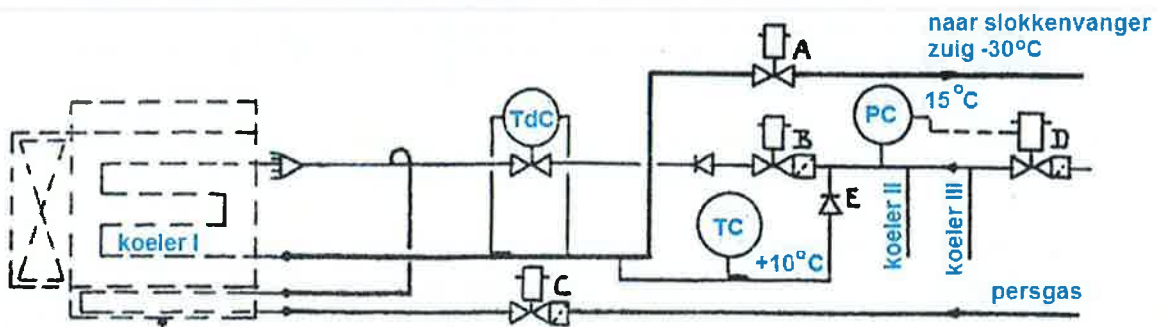
Figuur 2 Schema ontdooisysteem één koeler met voldoende inwendige weerstand, lekbakspiraal parallel ontdooit.

Indien twee koelers van een R22-pompsysteem gelijktijdig ontdooit worden moet met terugslagkleppen het stromen van vloeistof door de lekbakken worden voorkomen (zie figuur 3).



Figuur 3 Ontdooisysteem voor twee koelers met verdeelkop en lekbakspiraal met veel weerstand.

2.1.7 Ontdooien met persgas R22 DROGE expansie, zie fig. 4.

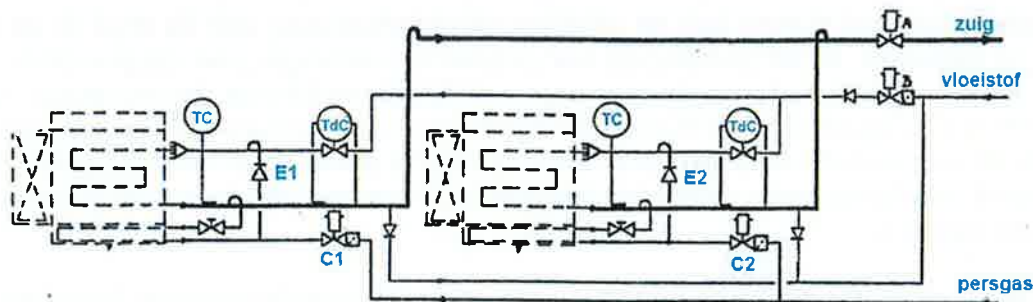


Figuur 4 Ontdooisystemen voor R22 koeler met verdeelkop en thermostatisch expansieventiel in een vriesinstallatie.

3 koelers van 25 kW bij $t_o = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_i = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- A. PM1 40 + EVM: $\Delta P = 10\text{ kPa}$ (1,5 K).
- B. EVR 10: voor expansieventiel
- C. EVR 20: 50 kW; 0,28 kg/s, $AP = 150\text{ kPa}$
- D. EVR 20: 75 kW centrale vloeistofleiding
- E. Terugslagklep : Castell 3120/22M, 50 kW, $\Delta P = 10\text{ kPa}$.

2.1.8 Ontdooien R22 droge verdamping R22.



Figuur 5 Ontdooischema droge-verdamping R22 met twee koelers, lekbak parallel.

De magneetklep "C" moet dubbel uitgevoerd worden om onderlinge beïnvloeding van de thermostatische expansieventielen te voorkomen. Evenals terugslagklep "E". De druk in de gezamenlijke vloeistofleiding wordt verlaagd door een magneetklep en pressostaat in deze leiding of door een "condensordruk-regeling" (zie figuur 5).

Bij directe expansiesystemen is de weerstand in de thans toegepaste verdeelkoppelen meestal ook bruikbaar voor het verdelen over de verschillende circuits. De weerstand in verdeler en verdeelleidingen is gedurende het vriezen 20 - 50 kPa en gedurende het ontdooien hoger, namelijk circa 100 kPa.

Er is een zogenaamde slokkenvanger noodzakelijk ter bescherming van de compressor tegen vloeistofslag en er moeten tenminste 2 koelers in bedrijf zijn om één koeler te kunnen ontdooien, (respectievelijk 2 x 2 koelers in bedrijf om 2 koelers gelijktijdig te ontdooien).

In figuur 4 wordt gedurende het ontdooien de hoofdvloeistof-toevoer-magneetklep "D" gesloten. Op deze manier verdampt de gecondenseerde vloeistof uit de ontdooide verdampers I in de verdampers II en III welke in bedrijf zijn.

Daalt de vloeistofdruk onder 800 kPa (+15 °C), dan wordt via de pressostaat (PC), magneetklep "D" geopend en na gestegen te zijn tot 900 kPa (+20 °C) weer gesloten. Voor koeltoepassingen $t_o = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ pressostaat (PC) open bij +10 °C en sluit bij +15 °C. Eventueel kan men een condensordrukregeling gedurende het ontdooien toepassen op de intredezijde van de condensor. In te stellen op minimaal $P_c = 1000\text{ kPa}$.

Een alternatief voor het sluiten van de centrale vloeistoftoevoer, om de druk in de vloeistofleiding te verlagen, is het gedurende het ontdooien verhogen van de persdruk. Aan de intredezijde van de condensor met een drukverschilklep, bijvoorbeeld Danfoss PM3 + CVPP

+ EV, waarbij de EVM-klep de PM openstuurt gedurende normaal bedrijf en de CVPP zorgt voor een verschil in druk van 200 - 300 kPa. Dit gedurende het ontdooien.

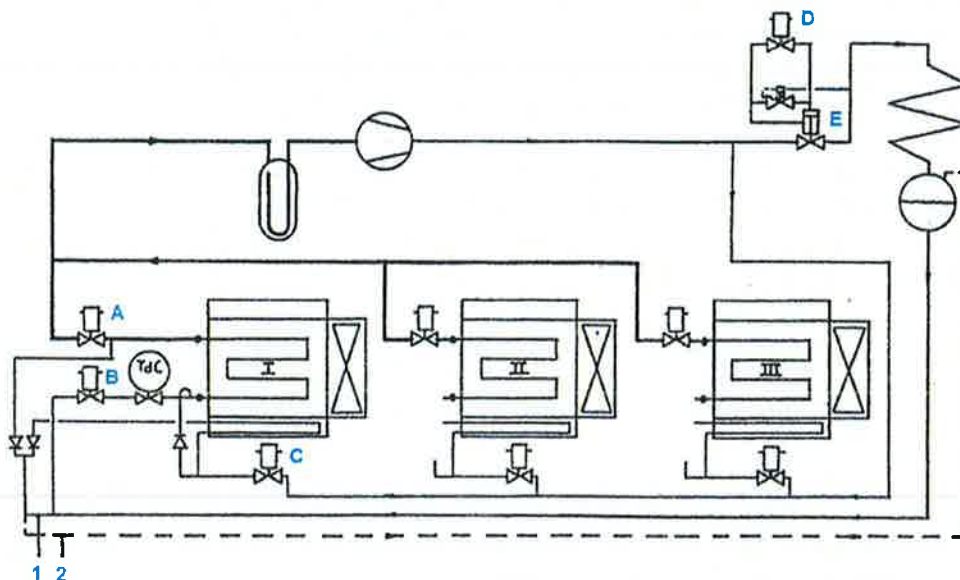
In figuur 4 wordt gedurende het ontdooien de hoofd-vloeistof-toevoer magneetklep "D" gesloten. Zodoende verdampt de gecondenseerde vloeistof uit de ontdooide verdampers I verdampt. Dit in de in bedrijf zijnde verdampers II en III.

Daalt de druk onder 800 kPa (+15 °C) dan wordt via pressostaat (PC) magneetklep "D" geopend en na het stijgen van de druk tot 900 kPa (+20 °C) weer gesloten.

Voor koeltoepassingen, to = -10 °C, pressostaat (PC) open bij + 15 °C en gesloten bij +15 °C. Eventueel een condensor-druk-regeling gedurende het ontdooien toepassen. Dit op de intredezijde van de condensor en in te stellen op minimaal P, = 1000 kPa.

Een alternatief voor het sluiten van de centrale vloeistoftoevoer, om de druk in de vloeistofleiding te verlagen, is het gedurende het ontdooien verhogen van de persdruk. Dit aan de intredezijde van de condensor met een drukverschilklep, bijvoorbeeld: Danfoss PM 3 + CVPP + EV, waarbij de EVM-klep de PM open stuurt gedurende normaal bedrijf en de CVPP zorgt voor een drukverschil van 200 - 300 kPa gedurende het ontdooien. Dit systeem wordt ook bij ejecteursystemen toegepast. Voor een voorbeeld bij directe expansie, zie figuur 6.

Het vloeistofvat moet bij het begin van het ontdooien voldoende vloeistof bevatten om de tijd dat er nog geen condensaat uit de ontdooiende koeler beschikbaar komt te overbruggen en dus de actieve koeler te voeden. Voor twee koelers van 25 kW is dit circa 0,3 kg/s.



Figuur 6. Ontdooischema droge verdamping met condensatie-drukregeling voor drukverschil voor het leegdrukken van de verdampers.

Wanneer de totale ontdooitijd circa 10 min. is zal na circa 5 min. condensaat beschikbaar komen en dus is de minimum vulling van het vloeistofvat bij de start van het ontdooien 90 kg of 75 l.

Voor een tweetrapsinstallatie moet bovendien de tussen-inspuiting in takt blijven zolang er geen condensatie in de condensor plaatsvindt. Dit kan 10 min. zijn. Hiervoor is nodig 15 kW of 0,1 kg/s of 60 kg R22 respectievelijk 50 l.

Dus naast de normale vloeistof vatvulling voor het opvangen van variaties in de koelers en condensors is nog 125 l extra vloeistof extra nodig voor het ontdooien.

Voor het ontdooien van koeler I gaan de afsluiters "A", "B" en "D" open. Van de koelers II en III zijn dan "A" en "B" open en "C" dicht. De drukregelaar "E" houdt de persdruk 200 kPa boven de condensordruk (PM3 CVPP).

De gecondenseerde vloeistof uit de ontdooide verdamper kan in de vloeistofleiding of terug naar het vloeistofvat gebracht worden. In het laatste geval zijn gasbellen in de vloeistofleiding uitgesloten.

1. Vloeistof terug in de vloeistofleiding.
2. Vloeistof terug naar vloeistofvat.

2.2 Ontdooisystemen voor NH₃-installaties

2.2.1 Inleiding.

In verband met de hoge eisen, welke aan de veiligheid van koelinstallaties moeten worden gesteld, zijn ontdooisystemen aangepast.

PM1 afsluiters hebben minder dan 20 kPa openingsweerstand en zijn daarom, door de lagere kostprijs en door de eenvoudiger bediening dikwijls doelmatiger dan PML-kleppen. Ook bij een ejecteurvat functioneert een persgasontdooisysteem goed.

2.2.2 Veiligheidseisen bij ontdooien met persgas.

Het ontdooien geschiedt in vrieshuizen meestal automatisch door het openen en sluiten van magneetkleppen.

Hierbij ontstaat het gevaar van het opsluiten van vloeistof in de verdamper. Hierdoor ontstaat bij het beëindigen van de ontdooicyclus het gevaar van vloeistofexplosies door het plotseling verlagen van de druk in de verdamper. De expanderende vloeistof zal in de zuigleiding schieten en kan zo vloeistofslag in de leidingen veroorzaken. Het is dan ook belangrijk ervoor te zorgen dat aan het einde van het ontdooiproces zo min mogelijk condensaat in de verdamper aanwezig is en de druk in de verdamper tot 100 kPa boven de zuigdruk wordt verlaagd voordat de zuigafsluiter wordt geopend.

2.2.3 Het ontdooiproces.

Van een te ontdooien koeler wordt de zuigafsluiter gesloten, de vloeistoftoevoer gestopt en de persgastoevoer geopend.

In de verdamper condenseert gedurende het ontdooien koudemiddel welke via een smooropening, een hoge druk vlotter of een drukregelaar naar de natte zuigleiding of naar de lagedruk vloeistofleiding wordt afgevoerd.

Bij toepassing van een drukregelaar voor het afvoeren van het condensaat dient deze te worden afgesteld op een condensatiedruk (in de koeler) van 0 - 15 °C.

Indien de druk in de persgastoevoer daalt, onder de waarde waarop de drukregelaar opent, dan wordt de koeler opgevuld en ontstaat het gevaar van vloeistofslag (en daardoor leidingbreuk) bij het openen van de zuigleiding van de koeler na het ontdooien.

Het is derhalve noodzakelijk om in plaats van een drukregelaar een vast ingestelde smooropening toe te passen en deze kleiner dan de halve diameter van de persgas-toevoer-afsluiter te kiezen.

Het is bovendien noodzakelijk ervoor te zorgen dat de persgasleiding voor het openen van de magneetklep niet gevuld is met vloeibare koudemiddel. Met het oog op een zo klein mogelijke NH_3 -inhoud van de gehele installatie. Dit kan bereikt worden door het monteren van een HD-vlotter aan het einde van deze persgasleiding.

Om het verlies aan koude van deze warme leiding tegen te gaan kan ook aan het begin van deze leiding een gezamenlijke magneetklep worden gemonteerd. Deze wordt alleen geopend wanneer een van de koelers wordt ontdooid.

Indien de koeler koudemiddelzijdig voldoende weerstand heeft is het aantrekkelijk om bij NH_3 de persgassen aan de intrede zijde van de koeler via de verdeelkop in te spuiten zodat het gehele oppervlak van de koeler gelijktijdig ontdooid.

Standaard NH_3 -koelers hebben echter dikwijls een te geringe weerstand, zodat dan alleen de klassieke methode van persgastoevoer aan de zuigzijde van de koeler functioneert.

Het afvoeren van het vloeibare koudemiddel uit de verdamper via een HD-vlotter naar de natte zuigleiding is ook een oplossing welke vloeistofslag bij het omschakelen voorkomt. Een HD-vlotter per koeler is kostbaar, en centrale HD-vlotter vereist extra voorzieningen.

2.2.4 Dimensionering van ontdooisystemen.

Voor vrij in een vriesopslagcel opgehangen verdamper, zonder luchtzijdige afsluiters moet gedurende het ontdooien voldoende persgas aanwezig zijn. Bij voorkeur moet dit overeenkomen met 4x het koelvermogen van de te ontdooien koeler. Het absoluut minimum is 2x het koelvermogen van de te ontdooien koeler. In het laatste geval dient gedurende het ontdooien de condensatietemperatuur te regelen op tenminste 25 °C.

Voor de dimensionering van de magneetafsluiters rondom een met persgas te ontdooien koeler rekenen op:

Bij het gekozen circulatievoud:

ΔP zuigleiding 1 a 2 °K of 5 kPa bij -40 °C respectievelijk 10 kPa bij -10 °C.

ΔP vloeistofafsluiter 20 - 50 kPa.

Bij het gekozen vermogen voor ontdooien:

ΔP persgasafsluiter 100 - 200 kPa.

ΔP aftapafsluiter als vloeistof-afsluiter 100 - 400 kPa.

2.2.5 Drukverliezen in magneet-afsluiters.

In zuigleidingen is het minimum openings-drukverlies in de "Danfoss" hoofdafsluiters, PM1 + EVM, 7 - 14 kPa. Bij NH_3 en -10 °C verdampingstemperatuur komt dit overeen met 0,5 - 1 °K. Bij NH_3 en -40 °C verdampingstemperatuur komt dit overeen met 2 - 4 K. Dit is meestal ontoelaatbaar zodat hiervoor en positief opende afsluiter geselecteerd moet worden. Bijvoorbeeld Danfoss type PML of een PM1 waarbij de stuurdruk vanaf de vloeistofpompleiding genomen moet worden.

De drukverliezen worden door de fabrikanten opgegeven voor droog zuiggas. Voor nat zuiggas zijn deze nagenoeg evenredig met de wortel uit het circulatievoud.

Dus bij $n = 1,25$, $\Delta P = \sqrt{1,25} \times \Delta P$ droog zuiggas.

In vloeistof-magneetkleppen neemt de drukval toe met het kwadraat van de massastroom. Door een EVRA 3 passeert een koelvermogen van 33 kW bij een drukverlies van 35 kPa of 100 kW bij een drukval van ca 300 kPa.

Voorbeelden dimensionering ontdooisystemen.

CENTRALE NH₃-installatie (fig. 7 en 8) cirkulatievoud $n = 2,5$. Rekenen met een cirkulatie-voud van $n = 2,5$.

NH₃ verdamper: Q₀ = 25 kW bij t_o = -40 °C en t_{cmin} = 20 °C.

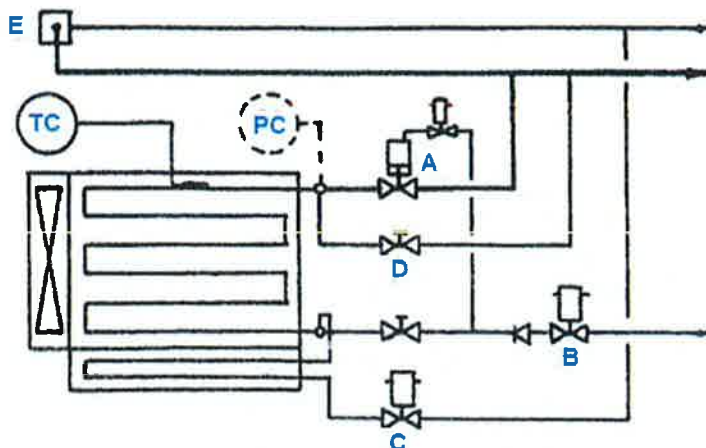
- A. PM1 40+EXT+EVM+CVH : $\Delta P = 2 \text{ kPa}$ (0,5 K) of PM1 40 + EVM, $\Delta P = 8 \text{ kPa}$ (2 K) of PML 32, $\Delta P = 2 \text{ kPa}$ of 0,5 K.
- B. EVRA 10 : $\Delta P = 7 \text{ kPa}$ ($n = 2,5$).
(EVRA 3 bij $n = 2,5$, $\Delta P = 100 \text{ kPa}$).
- C. EVRA 20 : $100 \text{ kW} = 0,083 \text{ kg/s}$; $\Delta P = 100 \text{ kPa}$.
- D. EVRA 3 of vaste smooropening
massastroom $0,07 \text{ kg/s}$; $\Delta P = 300 \text{ kPa}$. Bij $\Delta P = 500 \text{ kPa}$ is de maximale gasdoorlaat $0,01 \text{ kg/s}$. Dit overeenkomend met een potentieel koelvermogen verlies van ca 10 kW aan het eind van het ontdooi-proces.

NH₃ verdamper, Q₀ = 100 kW bij -10 °C en t_{cmin} = 20 °C.

- A. PM1 40 + EVM : $\Delta P = 10 \text{ kPa}$ (1 K).
- B. EVRA 15 : $\Delta P = 20 \text{ kPa}$ $n = 2,5$.
- C. PM1 + EV : 400 kW , $0,31 \text{ kg/s}$ $\Delta P = 1000 \text{ kPa}$.
- D. EVRA 10 of vaste smooropening
de massastroom $0,31 \text{ kg/s}$; $\Delta P = 150 \text{ kPa}$. Bij $\Delta P = 500 \text{ kPa}$ een maximale gasdoorlaat $0,064 \text{ kg/s}$ overeenkomend met een potentieel koelvermogenverlies van ca. 70 kW . (tussen 3 en 10 mm is geen magneetklep beschikbaar. Een vaste smooropening van 6 mm betekent een drukverlies van 300 kPa rep. een koelvermogenverlies van 20 kW).

NH₃ verdamper, Q₀ = 100 kW bij -30 °C en t_{cmin} = 20.

- A. PM1 65 + EXT : $\Delta P = 4 \text{ kPa}$ (0,7 K). of PM1 65 + EVM, $\Delta P = 8 \text{ kPa}$ (1,5 K).
- B. EVRA 15 : $\Delta P = 20 \text{ kPa}$. ($n = 2,5$)
- C. PM1-32 + EVM : 400 kW ; $0,31 \text{ kg/s}$, $\Delta P = 100 \text{ kPa}$.
- D. EVRA 10 of vaste smooropening.
massastroom $0,031 \text{ kg/s}$; $\Delta P = 150 \text{ kPa}$. Bij $\Delta P = 500 \text{ kPa}$ een maximale gasdoorlaat van $0,064 \text{ kg/s}$ overeenkomend met een potentieel koelvermogenverlies van ca 70 kW (eveneens via een vaste smooropening van 6 mm te beperken tot ca. 20 kW).



- A - zuigafsluiter PM1+Ext+E~CVH
- B - vloeistofafsluiter
- C - persgasafsluiter
- D - vereffeningsafsluiter
- TC- ontdooi-beëindigingsthermostaat
- PC- vrijgave pressostaat

E - hoge drukvlotter, hardt persgas.
beëindigt de oog

Figuur 7. Ontdooisysteem voor NH₃ koeler met voldoende weerstand, persgas onderin.

Toelichting bij figuur 7:

A) Beëindigen d.m.v. een thermostaat.

Zodra de tijdfunctie het startcommando geeft voor het ontdooien, worden de ventilatoren gestopt en zowel vloeistofafsluiter "B" als zuiggasafsluiter "A" gesloten

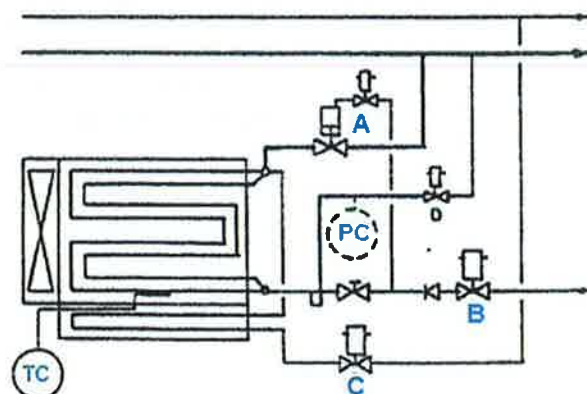
De drukvereffeningsafsluiter "D" staat open of wordt geopend. Tevens wordt de persgasafsluiter "C" geopend. Is de verdamper opgewarmd, dan beëindigt de thermostaat het ontdooien. Voor alle zekerheid wordt dit bovendien via een tijdfunctie gedaan. De persgasklep "C" wordt gesloten en via de vereffeningsafsluiter "D" wordt de koeler afgezogen totdat de druk voldoende is gedaald voor het weer openen van de zuigafsluiter "A".

Het wachten op de drukdaling kan via een tijdfunctie of met een extra pressostaat geregeld worden. Het aanhangend water wordt in deze wachttijd, mede door het afzuigen via de drukvereffeningsleiding bevroren zodat het wegblazen van waterdruppels bij de start van de ventilatoren wordt voorkomen.

B) Beëindigen op tijd.

Hierbij moet de tijd altijd zo lang gekozen worden dat de koelers onder de on-gunstigste omstandigheden volledig ontdooien. De werking is zoals hiervoor omschreven. De tijdstelling moet zorgvuldig worden vastgesteld.

- A. Zuigafsluiter PM1+EXT+EVM
- B. Vloeistofafsluiter
- C. Persgasafsluiter
- D. Drukvereffeningsafsluiter
- PC- Eventuele drukschakelaar voor het openen van de zuigafsluiter na het ontdooien, nadat de verdamperdruk tot ca 100 kPa boven de nominale zuigdruk is gedaald.
- TC- Ontdooibeëindigings-thermostaat



Figuur 8 Ontdooisystemen voor NH₃ koeler met weinig inwendige weerstand, persgas bovenin.

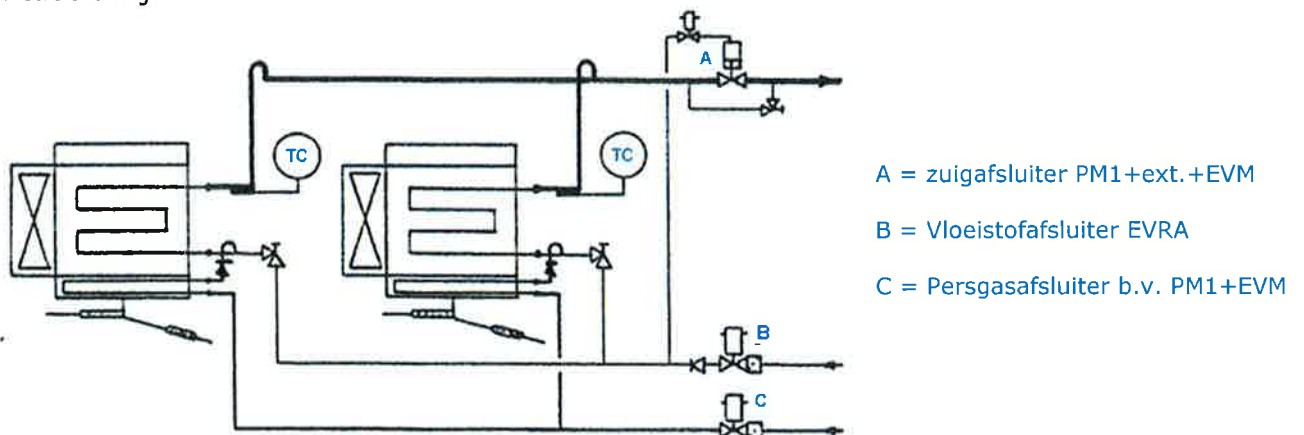
ALGEMEEN:

Ontdooien via de lekbakspiraal is alleen mogelijk wanneer het noodzakelijke ontdooivermogen door deze spiraal kan worden toegevoerd bij een drukverlies in de lekbak kleiner dan 100 kPa. Anders moet de lekbakspiraal parallel aan het lamellenblok ontdooit worden. Bij meerdere koelers in een ruimte, zoveel mogelijk koelers tegelijkertijd ontdooien, b.v. volgens figuur 9.

Is er voldoende persgas aanwezig, dan kan men max. 1/3 van het aantal koelers tegelijkertijd ontdooien.

Om te zorgen dat voor het ontdooien voldoende persgas beschikbaar is, moet eventueel extra koelvermogen ingeschakeld kunnen worden samen met de verdamper van andere vriesopslagruimten.

Bij meerdere koelers gelijktijdig ontdooien, elke koeler één ontdooithermostaat. Indien gezamenlijk tussen één stel afsluiters gemonteerd, dan wachten tot de beide koelers ontdooit zijn.



Figuur 9. Ontdooien van twee koelers met voldoende inwendige weerstand.

