

Door **Titus M.C. Bartholomeus**,

Product- en systeemontwikkelaar bij en DGA van TherMass innovations B.V

'Vriendelijk' nat draaien

Om de compressoren tegen vloeistofslag te beschermen worden afscheiders toegepast. Elke druppel vloeistof die de compressor ingaat is niet gebruikt voor koeling van het product en gaat volledig ten koste van het koudevermogen. Het vloeistofgehalte in het zuiggas zal alleen bij een correcte uitvoering van de afscheider beneden de voor de compressor gewenste concentraties liggen. Gaat men er vanuit dat vele miljoenen geïnvesteerd moeten worden om een koelcompressor enkele procentpunten te verbeteren, is het vreemd dat men bij afscheiders het verlies aan COP van een of meerdere procenten accepteert.

Uit recente ontwikkelprojecten blijkt een verlaging van het vloeistofgehalte tot beneden 100ppm (0,01%) goed mogelijk te zijn. Naast de reductie aan energiegebruik valt te verwachten dat het toepassen van een dergelijke afscheider ook de servicekosten zal verlagen door verminderde slijtage. Dit ingekorte artikel onderzoekt aan de hand van de bestaande literatuur en metingen wat het vloeistofgehalte daadwerkelijk is en van welke factoren dit afhankelijk is. Het oorspronkelijke artikel kan gedownload worden op www.thermass.nl

Maximaal vloeistofgehalte

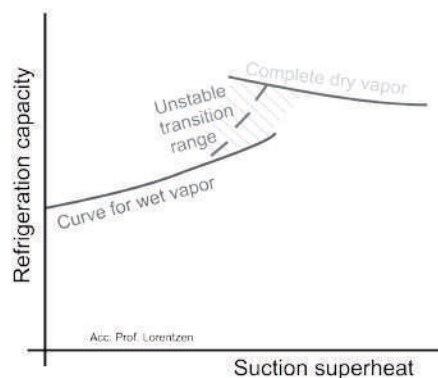
Hoe nat mag het zuiggas zijn voor het de compressor in gaat? Het type compressor bepaalt het maximale vloeistofgehalte. De grote overmaat aan olie benodigd voor de gasafdichting, maakt dat schroefcompressoren veel minder gevoelig zijn voor vloeistof, in het zuiggas dan zuigercompressoren. Het koelen van deze afdichtolie kan dan ook door het direct inspuiten van koudemiddel.

Uit metingen aan bestaande installaties met zuigercompressoren blijkt dat het afscheidend vermogen van de compressorintrede bepaalt wat de maximale vloeistofconcentratie in het zuiggas mag zijn. Voor typische ammoniakcompressoren leidt 0,5-1% niet tot verhoogde slijtage. Bij compressoren die ontwikkeld zijn om de met het koudemiddel meecirculerende olie af te scheiden in de aanzuigsectie is dat meer en wel zoveel dat de isentropische persgastemperatuur

niet onderschreden wordt (natuurlijke koudemiddelen 1,5-2%, andere 2-3%). Het afgescheiden koudemiddel komt in het carter terecht, met alle gevolgen van dien:

- het nog niet verdampte koudemiddel creëert damp in de oliepomp en dat leidt tot cavitatie;
- het niet verdampte koudemiddel en de damp zal de viscositeit van het smeermiddel dramatisch verlagen, wat tot verhoogde slijtage van de lagers leidt;
- ook in het carter vindt de verdamping en dus schuimvorming plaats, wat tot ongewenste extra spatsmering leidt en daarmee tot een verhoogde olieworp.

Of de compressor er nu wel of niet geschikt voor is, het toevoeren van



vloeibaar koudemiddel aan de zuigzijde van een compressor is direct verlies van koelvermogen. Illustratief is dit grafiekje van Lorenzen.

Nattigheid in het zuiggas

Hoe komt die nattigheid terecht in het zuiggas?

Bij expansieventiel geregelde verdamper, moet de oververhitting minimaal 15 Kelvin bedragen om zeker te zijn dat alle nog aanwezige fijne druppels verdampt zijn. Het vloeistofpercentage in het zuiggas, bij geringere oververhittingen, mits stabiel, zal niet tot verhoogde slijtage leiden. Het verlies aan koelvermogen door niet-verdampt koudemiddel, weegt niet op tegen de winst die er behaald wordt doordat er met een hogere verdampingstemperatuur (zuigdruk) gedraaid kan worden.

Bij verzadigd gas, kan er vloeistof ontstaan door schommelingen van de druk. Stijgt de druk door het afschakelen van vermogen, zal de koude pijp wand als condensor gaan functioneren. Door de enorme warmte- en stofoverdracht waarmee dit plaats vindt, ontstaat in extreem korte tijd heel veel vloeistof. Zou je in de zuigleiding kunnen kijken dan zie je een 'water'val de compressor ingaan. Dit zal tot een hevige temperatuur- en smeerdruk daling van de machine leiden. Komt het zuiggas uit een afscheider, dan zal de zuigleiding op afschot (ca. 1%) naar de afscheider gelegd moeten zijn en groot genoeg gedimensioneerd zijn om het terugvloeien van de vloeistof mogelijk te maken. De compressor zal dan op het gasgedeelte van die leiding aangesloten moeten worden, dus op de helft of beter bovenop (in verband met stofzuigerwerking)

Bij afscheiders, bestaat iets als een druppelvrije afscheiding niet, immers heeft ieder type afscheider een rendement.

De hoeveelheid en grootte van de druppels in het zuiggas is afhankelijk van veel factoren:

1. De stoffeïenschappen van het koude-middel.
2. De druppeldiameter is afhankelijk van de stoffeïenschappen en de gassnelheid over de vloeïstof. Bij een correct gedimensioneerde en uitgevoerde natte zuigleiding blijkt een druppelgrootte van 130 µm een goed uitgangspunt. Voor snel sprongsgewijs op- en afstappende installaties, is dat 100 µm.
3. Type en montagepositie natte zuigafsluiters:
 - Een afsluiter waar de gas/vloeïstofstroming over scherpe randen moet, ergo meer drukverlies (lagere kV-waarde), verstuift onnodig veel.
 - Een afsluiter in de natte zuigleiding moet met zijn spindel plat gemonteerd worden om gasinsluiting en daarmee een stotende stroming en excessieve drukverliezen en dus overmatige druppelvorming te voorkomen. Bij correcte inbouw is het drukverlies van een afsluiter in een natte zuigleiding circa twee á drie keer zo hoog als wanneer er enkel gas zou doorstromen. Bij een verkeerde inbouw wordt dit drie tot vijf keer.
 - Afstand afsluiter tot afscheider. Hoe verder weg des te meer tijd de in de afsluiter gevormde druppels hebben om zich tegen de pijpwand af te zetten.
4. Uitvoering afscheiderintrede. Een op het bad blazende straal is ten strengste af te raden, hiermee kan het bad zelfs leeg geblazen worden. De meest basale intrede is een 90°-bocht die bijvoorkeur onder een hoek van 45° met de as naar de romp blaast. De bocht verhoogt het afscheidend vermogen, door richtingsverandering. De meest toegepaste retour is een pijpverdeler, die meestal twee maten groter is dan de retour. Het grote voordeel van deze pijpverdeler is dat de snelheid daarin zo verlaagd wordt

dat een gelaagde stroming ontstaat, waardoor de impuls uit de vloeïstof gehaald wordt. Een nadeel is dat de vloeïstof als een waterval naar beneden stort en gas het bad mee in sleurt. Bij CO₂, dat een klein dichtheïdsverschil heeft tussen gas en vloeïstof, zal het bad hierdoor veel gasbelletjes bevatten, die tot pompproblemen leiden.

5. De insputing werkt periodiek, dat wil zeggen dat de optredende snelheid >4 keer de berekende kan zijn. De insputing produceert het merendeel van de kleinste druppels. Een individuele aansluiting hiervoor en zeker direct op het bad, zal hierom vermeden moeten worden (bij voorkeur twee meter voor vatintrede op de natte zuigleiding monteren).

6. Pomp- of thermo-sifon valleiding direct onder de droge zuigleiding zonder spatplaat voor de gasuittrede. Uit elkaar spattende dampbellen bij drukverlaging initiëren een heleboel naar boven schietende druppels.

7. Overvulde en dan overbelaste koelers verhogen het vloeïstofaandeel in de natte zuigleiding extreem en kunnen tot vloeïstof doorslag leiden.

8. Sterke capaciteitsschommelingen resulteren in overmatige condensatie op de afscheiderwand. De condensaatdruppels vallen in de gasstraal en verstuiven.

Conclusie: hoe hoger de impuls in de vloeïstof, hoe kleiner en dus hoe moeilijker te vangen druppels er zullen ontstaan.

Hoogte vloeïstofconcentratie

Hoe hoog is nu de vloeïstofconcentratie in het zuiggas? Om hier een afschatting van te kunnen maken, worden de literatuur en interpretatie van in het verleden door de auteur verrichte metingen gebruikt.

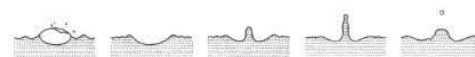
1. Als de dampnelheid over het bad te hoog is, zal er vloeïstof meegesleurd

worden. Dit fenomeen is aan de kust waar te nemen. Als de windkracht boven de 4 Beaufort (>6-7m/s) komt, wordt er schuim van de golf toppen geblazen. De verhouding van de druppelvalsnelheid tot de meesleursnelheid bepaalt de mate van vloeïstofmeename. Is deze <0,1 dan neemt de vloeïstofmeename lineair toe. Daarboven, tot circa 60 procent van de meesleursnelheid, neemt de worp kwadratisch toe. Boven de 60 procent neemt de worp excessief toe (tot de macht acht).

2. De ontwerpregels in de ASHRAE gaan uit van een vloeïstofpercentage van maximaal 1%

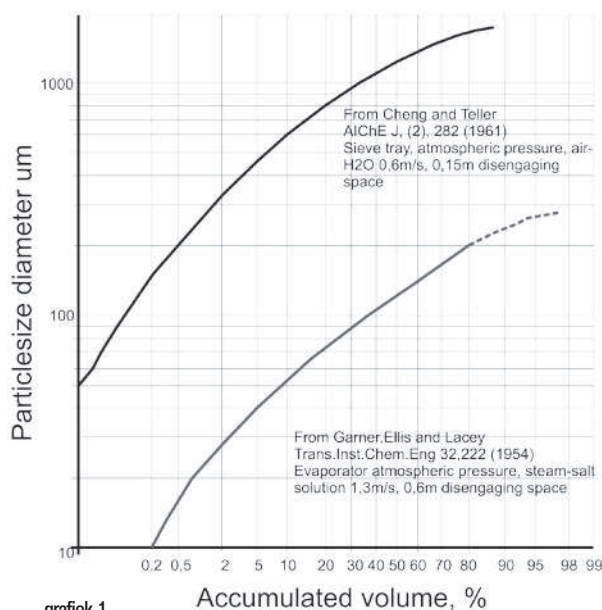
3. In de stoomtechniek wordt gerekend met een 'dryness fraction' tussen de 95 en 98 procent, met andere woorden, er wordt gerekend met 2 à 5% vocht in de 'droge' dampuittrede.

4. Druppels gevormd door het in elkaar klappen van opstijgende dampbellen (Uit Perry's Chemical Engineers Handbook (1999), Hoofdstuk 14 'phase dispersion').

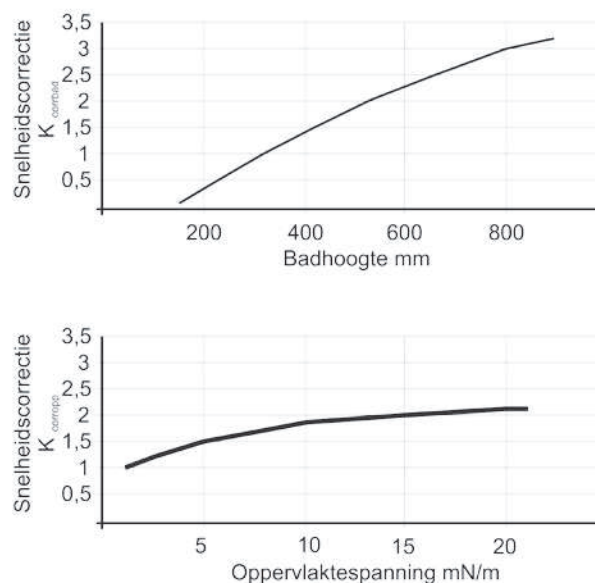


De druppelzwerm die hierdoor ontstaat, wordt gedomineerd door druppels die kleiner of gelijk zijn aan 25 µm. Het gewichtsaandeel in het gas is <0,1 mass%. Uit metingen ((zie grafiek 1 op pagina 42)) aan een zeewaterverdampner blijkt dat het volumeaandeel in de zwerm 1,6 procent bedraagt, dus totale vochtgehalte bedraagt dan 6,25 mass%. Uit de stofwaardes valt dan af te leiden dat de gemiddelde druppelgrootte (d₃₂) die de zwerm vertegenwoordigt 260 µm bedraagt. Met een voor de koeltechniek geaccepteerde druppelgrootte van 130 µm als basis voor afscheiderontwerp, betekent dit een vloeïstofpercentage van $(130/260)^2 \times 6,25\% = <1,56\%$

5. In de Angelsaksische landen en chemie



grafiek 1



Grafiek 2

wordt de volgende formule gebruikt om de druppelvalsneldheid te bepalen:

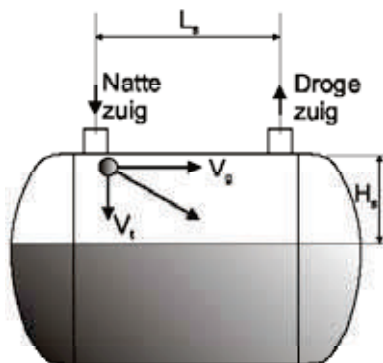
$$v_t = K_{basis} \cdot K_{corrapp} \cdot K_{corrbaud} \cdot K_{corrL} \left(\frac{\rho_l - \rho_g}{\rho_g} \right)^{0,5}$$

Uit ervaring met ijswaterbakafscheiders blijkt bij overschrijding van de druppelvalhoogte van 260 mm dat de compressor ontoelaatbaar nat draait. In het afscheiderontwerpdeel van de ASHRAE-guide mogen de toelaatbare snelheden in verticale afscheiders vergroot worden bij hogere badafstanden dan 300 mm. De oppervlaktespanning van de vloeistof, mits beneden de 20 mN/m reduceert de toelaatbare gassnelheid.

Bij de zeewaterverdamer uit 4, blijkt K_{basis} 0,005 te bedragen. De ammoniakafseparator op de ijswaterbak (to = -5°C) met 260 mm badafstand ($v_t/v_{entr} < 0,1$) is met een 130 µm druppel K_{basis} 2,7 keer zo hoog. Als vuistregel wordt vaak een badhoogte van minimaal 600 mm aanbevolen. In dat geval is het vloeistofpercentage $0,7 \times 1,56\% = 1,1\%$ (zie grafiek 2). Bij de zwaardere koudemiddelen is volgens deze rekenmethodiek het vloeistofaandeel in het zuiggas vele malen hoger, wat mogelijk de verhoogde slijtage van compressoren verklaart. (zie tabel 1 op pagina 43).

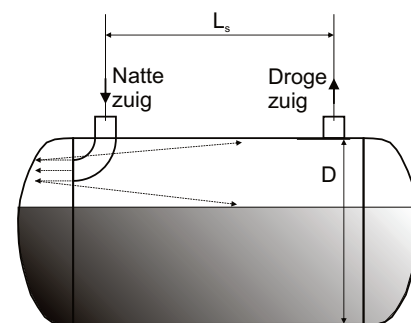
6. Uit recente metingen blijkt bij $L_{sep}/d_{hydr}=4$ het vochtgehalte 0,8% te bedragen. Boven $L_{sep}/d_{hydr}=8$ vindt geen verdere afname plaats

van de vloeistofworp. Bij horizontale afscheiders speelt de horizontale stroming een significante rol op het doorgelaten vloeistofpercentage. De theoretische basis is vrij eenvoudig: de druppels in een horizontale afscheider worden door de gasstroom meegevoerd. De zwaartekracht zal ze naar het onderliggende vloeistofoppervlak dwingen. Hoe groter de druppels, des te eerder ze het vloeistofoppervlak raken en dus afgescheiden zijn.



Als de afscheidlengte L_s door de horizontale snelheid U_g wordt gedeeld, dan wordt de beschikbare valtijd gevonden. Wordt de valhoogte H_s gedeeld door de valtijd, dan wordt de druppelvalsneldheid U_t (voorheen ook v_t genoemd) gevonden. De horizontale gassnelheid U_g moet dus $< U_t \times L_s/H_s$ zijn. Als deze formule in de praktijk wordt gebruikt, leidt dit stevast tot compressorschades. Waarom?

Het gas vormt een gasstraal in de afscheideruimte, waardoor er geen sprake is van een gelijkmatig verdeelde snelheid U_g . Bij een half gevuld vat treedt deze gelijkmatige stroming pas op na vijf vatlengtes. Vanaf daar mag met deze formule worden gerekend.



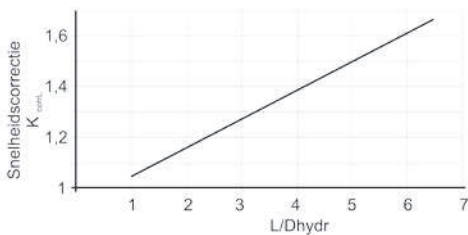
In de praktijk zijn de romplengtes meestal drie tot vijf keer de vatdiameter. Daar over het algemeen tweewegafscheiders toegepast worden, zal de minimale lengte om tot een gelijkmatige gasstroming te komen, laat staan inclusief de genoemde L_s , nooit gehaald worden. Vandaar dat er allerlei noodgrepen toegepast worden:

- uitregentijd > 3 sec., bij beekjessnelheid in natte zuigleiding > 2 sec;
- ASHRAE adviseert de horizontale gassnelheid berekend met bovenstaande formule met een factor twee te reduceren;
- in het GPSA-engineering book is een afscheidlengte correctie opge-

AFSCHEIDERS

Koude & luchtbehandeling **RCC**

nomen. Dus hoe langer de verhouding afscheidlengte tot de hydraulische diameter van de gasruimte, hoe hoger v_t mag zijn.



Conclusie

Uit bovenstaande valt dus af te leiden dat het vloeistofgehalte in het zuiggas naar de compressoren, komend uit een correct ontworpen afscheider >1 massa% bedraagt (Bij de zware koudemiddelen vermoedelijk meer). Dit percentage wordt niet verdampt in de koelers en gaat dus direct ten koste van het koelvermogen. Zouden we een verbeterde afscheiding kunnen realiseren zou dat aan aandrijfvermogen maar ook i.g.v. de zwaardere koudemiddelen aan compressor slijtage kunnen besparen. Hierdoor is er voor het eerst een terugverdientijd te realiseren met een afscheider.

Samenvatting

Het blijkt dat zuigafscheiders, ontworpen conform de nu bekende theoretische kennis, >>1 procent aan vloeistof doorlaten, die direct ten laste gaan van de COP en de levensduur van de compressoren. Doorontwikkeling van afscheidertechnologie naar een vloeistofworp van <0,01 procent (100ppm), zal de bedrijfskosten fors doen laten dalen.

Summary

Suction-separators, designed according to today's theoretical knowledge, have a liquid-carry-over of >>1%, which is a 1 to 1 penalty on COP and reduces compressor life span. Development in separator technology to a liquid carry over level of <0,01% (100ppm), will help reducing total cost of ownership.

to	R717	R134A	R404A	R744
0	1,1	3,3	5,2	7,7 %
-10	1,3	2,8	4,4	6,2 %
-20	1,2	2,3	3,7	5,1 %
-30	1,1	2	3,2	4,2 %
-40	1	1,6	2,7	3,5 %

Tabel 1

Meer informatie:

TherMass Innovations

Senecalaan 21

6135 HS Sittard

T: 06-14 055 671

F: 084-22 30 941

I: www.thermass.nl

E: info@thermass.nl



Javeko b.v.
isolatiesysteembouw

Koel-en vriescellen

- Perfect gebouwd met polyurethaan of polystyreen isolatiepanelen van topkwaliteit
- Compleet programma draai- en schuifdeuren
- Strokengordijnen- en pendeldeuren
- Tevens brandwerende panelen

Goeseelsstraat 25
4817 MV Breda
internet: www.javeko.nl

tel. 076-5720586
fax 076-5729936
e-mail: info@javeko.nl

Koelcellen
Vriescellen