

Oliemanagement voor zuigercompressoren

Oil management for reciprocating compressors



Titus M. Ch. Bartholomeus

ontwikkelingsingenieur
afdeling Development and Engineering
Grasso Products B.V.; 's-Hertogenbosch

Inleiding

Ruim 2 jaar geleden is bij Grasso Products B.V. een intensief researchprogramma gestart om een beter inzicht te verkrijgen in het oliegebruik van zuigercompressoren en packages. Vanuit de industrie kwamen meer en meer vragen over oliegebruik. Dit n.a.v. de toenemende populariteit van hydrotreated oliën en de afnemende kwaliteit van minerale oliën. Als antwoord hierop heeft Grasso een oliemanagementprogramma voor zuigercompressoren ontwikkeld. Dit programma verschaft de gebruiker een goed inzicht in het gedrag van olie in de zuigercompressor en het te verwachten oliegebruik.

Metingen en invloedsfactoren

Als eerste werd gemeten aan de grootste Grasso zuigercompressor, de RC12E op 1500 rpm en het koudemiddel ammoniak. Op compressor- en package-niveau, de laatste inclusief het effect van de olieafscheider, zijn de in tabel I aangegeven parameters onderzocht naar het effect op het oliegebruik.

Het blijkt dat de effecten van bovengenoemde parameters niet los van elkaar kunnen worden geëvalueerd, daar verschillende parameters elkaar significant

beïnvloeden. Deze beïnvloeding kan voor het oliegebruik op compressorniveau of package-niveau zelfs totaal verschillend zijn.

Belangrijke invloedsfactoren oliegebruik

In grafiek 1 t/m 4 zijn een aantal significante invloeden voor het verbruik op compressorniveau grafisch weergegeven.

Modelvorming oliegebruik op compressorpackage-niveau

Met compressorpackage wordt bedoeld de samenbouw van verschillende componenten op een rigide frame, zoals compressor, aandrijfmotor, aandrijving, indien van toepassing het tussenkoelsysteem, de benodigde afsluiters en terugslagklep(pen), alsmede de benodigde olieafscidders.

Om een misverstand uit te weg te ruimen: een mechanische olieafscheider is alleen in staat vloeibare olie te vangen, het genoemde afscheidingsrendement kan daarom alleen maar betrekking hebben op het vloeistofrendement. Het opgeven van een totaalrendement is alleen mogelijk indien het aandeel oliedamp bekend is wat in het persgas zit, en daar-

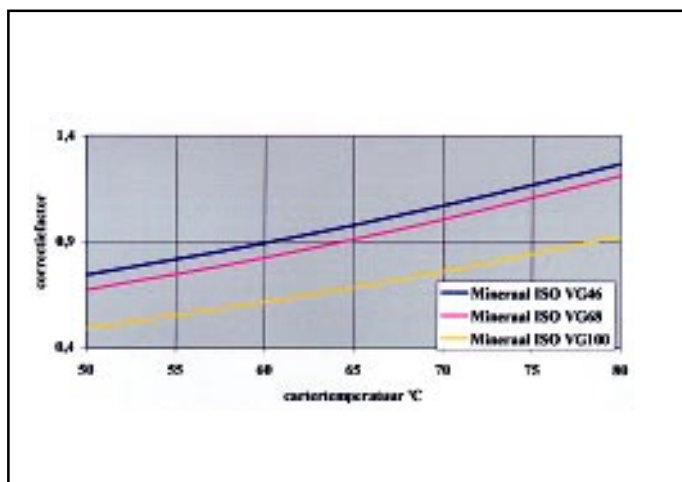
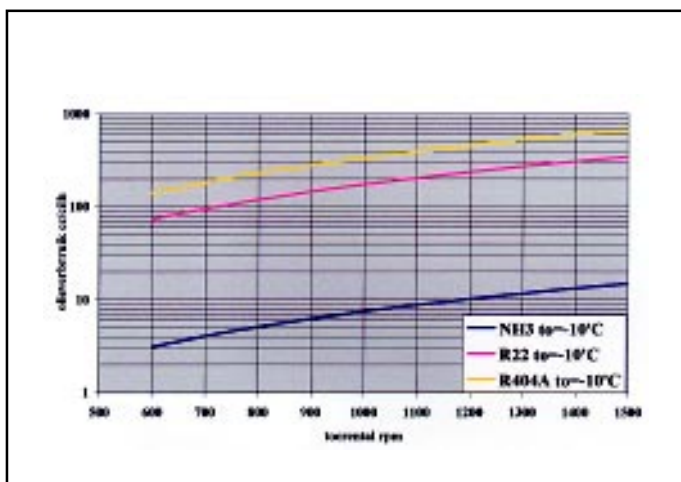
Summary

Analyses show that ammonia reciprocating compressors in operation today are more and more exposed to severe operating conditions. Combined with standard mineral oils this results in unacceptable high oil-consumption of compressor-packages.

Due to this fact, Grasso Products B.V. at 's Hertogenbosch (the Netherlands) started an intensive research-program, under the name 'oil management', to investigate oil consumption on compressor and package level. Oil management stands for: selecting the optimum components and lubricating oils to minimize the oil carry from the compressor package to the refrigeration plant in order to maximize system efficiency. In this brief report the results are presented.

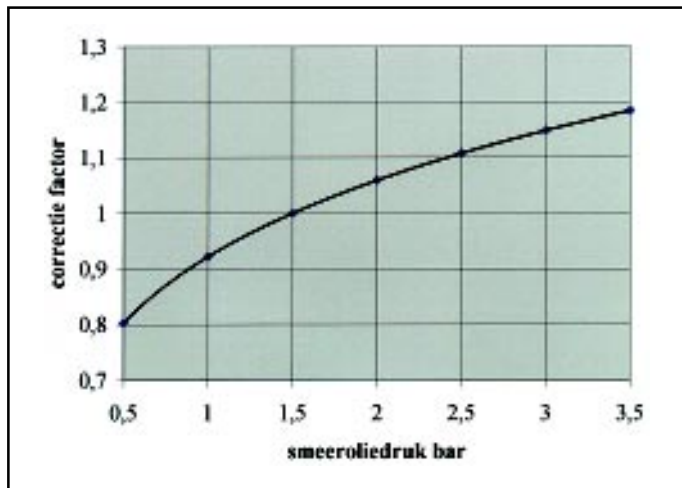
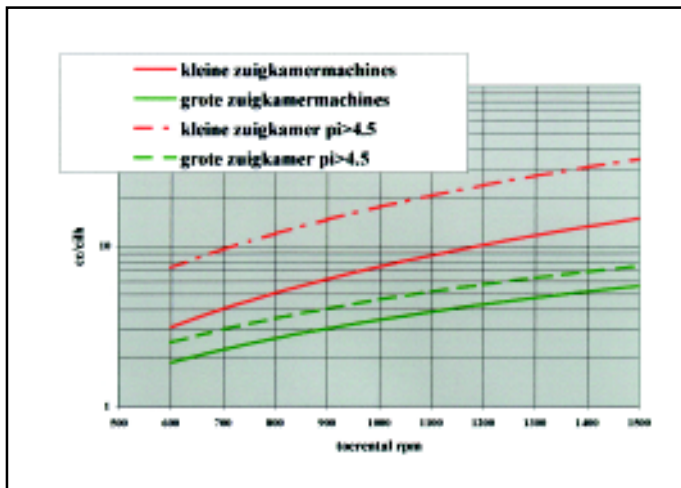
Tabel I

Machinaafhankelijke variabelen	Smeerolieafhankelijke variabelen	Bedrijfsconditieafhankelijke variabelen
toerental	viscositeit	koudemiddel
zuigerveer/ hoonprofielcombinatie	dampspanning	Zuig- en persdruk
compressorconstructie: zuig- perskamer cartervereffening perskleppen	viscositeitsindex	carter(olie)temperatuur als gevolg van ventilatie en temperatuur machiniekamer; persgastemperatuur
vollast cq. deellastbedrijf	molmassa	zuiggasoververhitting
olieniveau	oplosbaarheid	drukverhouding
smeeroliedruk	stabiliteit	drukverschil over zuiger(s)
conditie persklep(pen)	samenstelling	"natheid" zuiggas



Grafiek 1: Olieverbruik als functie van het toerental en dichtheid zuiggas.

Grafiek 2: Correctiefactor olieconsumptie als functie van de olietemperatuur en het olietype.



Grafiek 3: Vollast-olieverbruik als functie van de constructie zuigkamer en drukverhouding.

Grafiek 4: Correctie factor olieconsumptie als functie van de oliesmeerdruk.

in schuilt nu juist het probleem. Een uitermate complex onderdeel van de gedane research betrof het opzetten van een theoretisch dampmodel voor zuigercompressoren en dit te toetsen aan vele praktijkmetingen.

Het persgas treedt met zeer hoge snelheid uit de persklep, bij vol toerental met ca. 0,3 Mach. De meegesleurde olie zal hierdoor verstoven worden tot minuscule druppels en de diverse oppervlakken, die het persdeel uitmaken, nat maken. Het gas wat met hoge snelheid, tijdens iedere uitdrijving, het met oliedruppels benatte oppervlak passeert zal de olie deels vervluchtigen (verdampen).

Hoe snel de olie vervluchtigt, is afhankelijk van de stromingstoestand boven het met olie benatte oppervlak. Om hieraan te rekenen is een analogie gezocht

tussen de stofoverdracht en de warmteoverdracht.

Een van de onderzoekers die hieraan veel werk besteed heeft is Lewis, deze vond de volgende relatie:

$$\sigma = \alpha \cdot (Le^{-n}) / cp$$

daarbij zijn,

- σ het stofoverdrachtsgetal in kg/m^2s ,
- α de convectieve warmteoverdrachtscoëfficiënt boven het vloeistofoppervlak in W/m^2K ,

$$Le = \lambda / (\rho \cdot cp \cdot Dv)$$

- n een constante afhankelijk of het laminaire- resp. turbulente stroming betreft,
- cp de soortelijke warmte van het gas boven het vloeistofoppervlak in J/kgK ,
- λ de warmtegeleidingscoëfficiënt van het gas boven het vloeistofoppervlak

in W/mK en

Dv de diffusiecoëfficiënt van het gas boven het vloeistofoppervlak in m^2/s .

De algemene formule voor vervluchtiging is:

$$W(kg/s) =$$

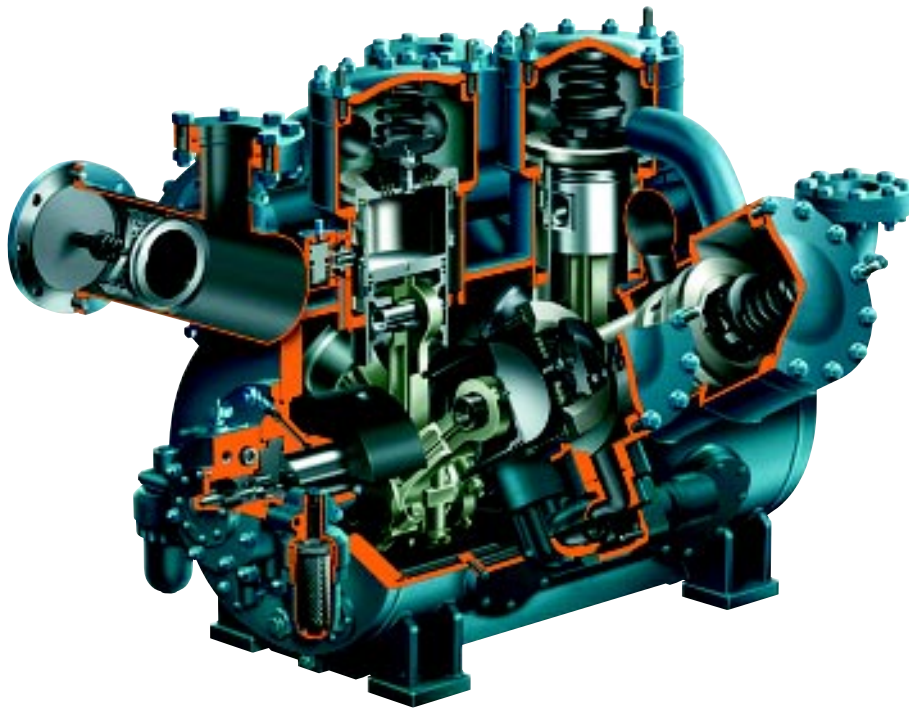
$$\sigma(kg/m^2s) \cdot A_{benat}(m^2) \cdot (x_{sat} - x_{part})$$

in afb. 2 is te zien hoe dit mechanisme functioneert.

- A is het benatte oppervlak en
- x het dampgehalte boven het vloeistofoppervlak c.q. in het gas.

Het dampgehalte boven het vloeistofoppervlak is als volgt gedefinieerd:

$$x_{sat} = [p_{damp} / (p_{totaal} - p_{damp})] \cdot (M_{damp} / M_{gas})$$



Dit wordt in de praktijk met schroefpackages ook vastgesteld, zuigerpackages stellen in deze hoge verwachting teleur.

Waardoor komt dit nu?!

Bij de schroefcompressor wordt een veelvoud aan olie, vergeleken met het koudemiddel dat gecompriemd wordt, door de compressor getransporteerd. Het gas staat dus voortdurend in intensief contact met de olie en zal verzadigd de olieafscheider binnentreden.

Bij de zuigercompressor is het vervluchtigingproces totaal verschillend:

- de overmaat aan cilindersmeerolie benodigd om optimale smering te garanderen is een fractie van het gecompriemde gas,
- het benat oppervlak is klein,
- de vervluchtigingstemperatuur is zeer hoog (ca. persgastemperatuur).

De mate van benetting is afhankelijk van de druppelgrootte, hoe kleiner de druppel des te meer druppels er zijn bij gelijke worp, dus des te meer benetting.

Afbeelding 1: Opengewerkt model van een compressor uit de series RC12E/RC12

waarbij

p_{damp} de dampspanning is van de olielilm,
 p_{totaal} de totaal druk, d.w.z. de optelsom van de persdruk en de oliedampdruk.

Daar deze laatste in verhouding met de persdruk verwaarloosbaar klein is, wordt

$$x_{sat} = (p_{damp} / p_{pers}) \cdot (M_{oliedamp} / M_{gas}).$$

M is de molmassa van respectievelijk de olie en het koudemiddel.

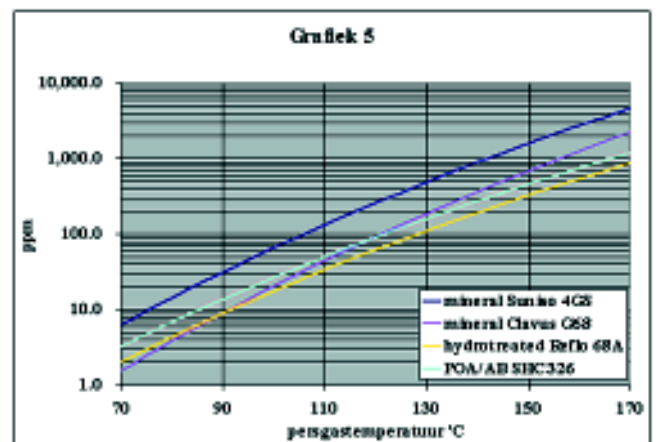
Met deze formule is op eenvoudige wijze af te leiden wanneer het oliedampgehalte hoog zal zijn (zie grafiek 5);

- oliën met hoge dampspanning
- hoge persgastemperaturen
- lage persdrukken
- geringe molmassa van het koudemiddel ($NH_3=17$

R22=86,5
R404a=97,6)

- hoge molmassa van de olie (mineraal en hydrotreated ca 360 en syntheten vanaf 550 tot zelfs 800); echter dit is in de praktijk geen probleem daar dit zonder uitzondering synthetische oliën betreft met van nature zeer lage dampspanningen.

Uit de verzadigde dampgrafiek (Grafiek 5, NH_3 tc=35°C) valt af te lezen dat er forse reducties zijn te halen indien oliën toegepast worden met lage dampspanningen en hoge molmassa's.



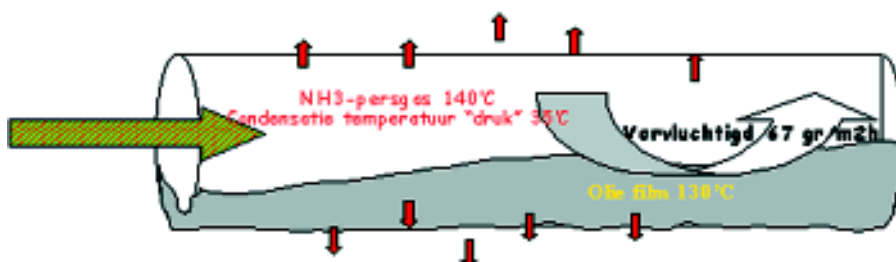
Grafiek 5

De significante grootte van de druppel is conform de formule voor 2-fasenverstuving als volgt te bepalen:

$$d_{50} = \frac{d_{dimensieloos} \cdot d_{nozzle} \cdot \frac{\sigma_{liq}}{\mu_{liq}} \cdot \left(\frac{\rho_{liq}}{\rho_{gas}} \right)^{0.5}}{v_{gas}}$$

Dus een kleine druppel en dus een goede benetting wordt verkregen als;

- de gasuittredesnelheid uit de persklep hoog is, dus bij hoog toerental
- de oppervlaktespanning van de olie laag is (functie van de viscositeit)
- de dichtheid (molmassa) van de olie resp. koudemiddel laag resp. hoog is
- de viscositeit van de olie hoog is.



Afbeelding 2: Vervluchtigingsprincipe in persleiding zuigercompressorpackage

Bij hoge kwaliteitsoliën met lage dampspanning en hoge viscositeitindex *V.I.* ontstaan kleinere druppels waardoor een goede benutting verkregen wordt. Het voordeel van de lage dampspanning wordt daardoor tegengewerkt.

Om te zien hoe dit in de praktijk uitwerkt, zijn in grafiek 6 de oliebruiken van diverse packages naast elkaar gezet.

Deze grafiek verschaft inzicht in:

- Olieverbruik schroefpackages bij een condensatie temperatuur van 25 en 45 graden Celcius. Voor de olieafscheider is een vloeistof afscheidingsrendement van 100% aangenomen. Daar momenteel de meeste schroefpackages van coalescing filterelementen voorzien zijn is dit als aanname bruikbaar.
- Olieverbruik zuigerpackage bij een condensatie temperatuur van 25 en 45 graden Celsius en toepassing van een

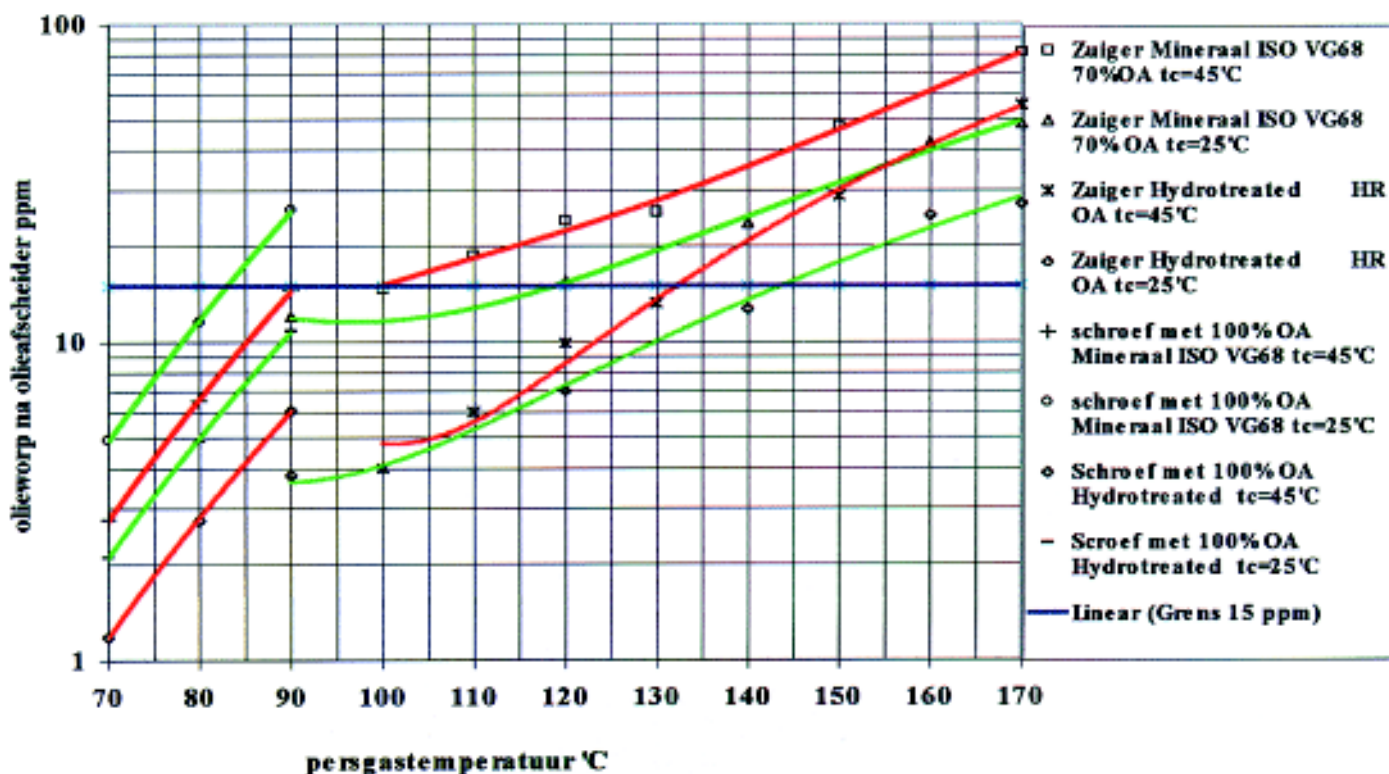
minerale olie. Voor de olieafscheider is een vloeistof afscheidingsrendement van 70% aangenomen. Dit komt overeen met het afscheidingsrendement van gangbare olieafscidders.

- Olieverbruik zuigerpackage bij een condensatie temperatuur van 25 en 45 graden Celsius en toepassing van een hydrotreated olie. Voor de olieafscheider is een vloeistof afscheidingsrendement van 90% aangenomen.

Conclusies

- Met het opgestelde calculatiemodel kan een goede voorspelling gemaakt worden van het oliebruik van zuigercompressoren en packages als functie van compressor-, bedrijfsconditie- en smeerolie-afhankelijke variabelen.
- Het model verschaft inzicht in de wijze waarop olie verdampt in de persleiding na de compressor. Het toepassen van oliën met een lagere dampspanning (met name hydrotreated oliën) levert een significant voordeel op m.b.t. dampvorming t.o.v. het toepassen van minerale oliën. Echter de afname van oliedamp door het gebruik van oliën met een lage dampspanning is minder dan verwacht, dit doordat deze oliën beter verstuiven dan oliën met een hoge dampspanning.
- Een oliebruik lager dan 15 ppm is niet te garanderen bij alle bedrijfscondities. Bij hoge persgastemperaturen zal het toepassen van een olie met een lage dampspanning ook niet altijd toereikend zijn, ook niet indien het afscheidingsrendement van de olieafscheider extreem hoog is (>90%). Er zal dan naar andere oplossingen gezocht moeten worden. Persgaskoeling behoort dan tot de mogelijkheden.

Om uitkomst te bieden in deze complexe materie heeft Grasso Products B.V. het oilmanagementprogramma opgenomen in het Comsel-programma. Dit programma werd o.m. tijdens de I.K.K. in Neurenberg aan de geïnteresseerden voorgesteld.



Grafiek 6