

Olie, alleen voor het smeren! (deel 1)



door:
Titus M.C. Bartholomeus,
Senior Development Engineer,
Grasso Products b.v.

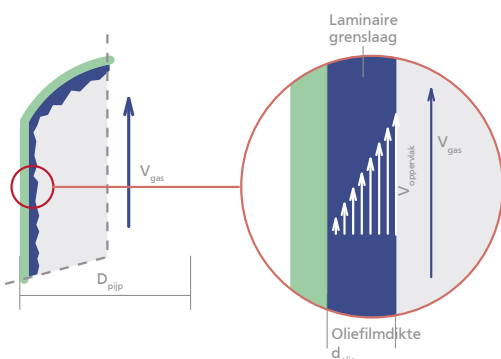
Inleiding

Koelcompressoren worden allemaal, op een enkele speciale toepassing na, met olie gesmeerd. Een vervelend bijverschijnsel daarvan is, dat er met het gecompriëerde gas resten olie in zowel damp- als vloeibare vorm de installatie in gaan. Deze olie zal de aanwezige warmtewisselaar vervuilen waardoor het rendement en de werking negatief beïnvloed worden. In een tweedelig artikel worden enkele gedachten geopperd hoe door eenvoudige installatie en/of componentaanpassingen, de olieconcentratie significant verlaagd en dus de werking en rendement van de koelinstallatie verhoogd kunnen worden.

Als olie in de warmtewisselaars terecht komt zal deze zich daar gaan afzetten. Het vervuilde oppervlak en laagdikte zijn afhankelijk van het lokaal optredend stromingspatroon.

- In condensorpijpen van een luchtgekoelde of verdampingscondensor zal de vloeistof en dus ook de olie over het onderste deel van de pijpen stromen. Doordat de olie hier relatief warm is en dus een nog acceptabele viscositeit heeft, zal de olielaagdikte beperkt blijven. Het overgrote deel van de omtrek kan toch nog benut worden voor condensatie, zodat de vloeibare olievervuiling hier een geringe rol speelt. De mogelijk aanwezige oliedamp, praktisch enkel bij ammoniak, zal net als het koudemiddelgas tegen het vrije oppervlak gaan condenseren en de ruwheid van de pijp wand opvullen. Het capaciteitsverlies bedraagt daarmee ca. 1,5%/µm. Anders gezegd, bij de gebruikelijk geselecteerde condensoren resulteert de oliedampfilm in een toename van de condensatietemperatuur van ruim 2K. Dit betekent een C.O.P. afname van ruim 4%. Zaak om het oliedampgehalte laag te houden dus.
- Bij verdamping in pijpen bepaalt het met verdampend koudemiddel benatte pijpdeel hoofdzakelijk de totale warmteoverdracht. De koelerbelasting is bij voorkeur zo te kiezen, dat er ringstroming optreedt.

Figuur 1. Oliefilm opbouw in stijgleiding



In de hierbij geplaatste schets is aan de hand van de grenslaagtheorie getracht de theoretisch de oliefilm opbouw bij ringstroming te verklaren (zie fig.1)

1. $V_{\text{oppervlak}} = \delta_{\text{olie}} \cdot \frac{\tau}{\eta_{\text{olie}}}$	δ_{olie}	oliefilmdikte (m)
	η_{olie}	dynamische viscositeit (Pa.s)
2. $V_{\text{olie}} = \frac{V_{\text{oppervlak}}}{2}$	τ	schuifspanning (N/m ²)
	d_{pijp}	pijpdiameter (m)
3. $\tau = c_w \cdot \frac{\rho_{\text{gas}}}{2} \cdot (v_{\text{gas}})^2$	V_{olie}	gem. oliesnelheid in de laminaire grenslaag (m/s)
	$c_w, \xi_{\text{pijp}}, \lambda_{\text{pijp}}$	verschillende stromingsweerstand definities
4. $c_w = \frac{\xi_{\text{pijp}}}{4}$	$\rho_{\text{gas}}, \rho_{\text{olie}}$	soortelijke massa van het gas - resp. olie (kg/m ³)
5. $\frac{\xi_{\text{pijp}}}{\text{meter}} = \frac{\lambda_{\text{pijp}}}{d_{\text{pijp}}}$	v_{gas}	gassnelheid (m/s)
	ppm _{olie}	massaconcentratie van de olie in het gas
6. $\text{ppm}_{\text{olie}} = \frac{m_{\text{olie}}}{m_{\text{gas}}} \cdot 10^6$	$m_{\text{olie}}, m_{\text{gas}}$	massastroom olie resp. gas (kg/s)
7. $m_{\text{olie}} = \pi \cdot d_{\text{pijp}} \cdot \delta_{\text{olie}} \cdot V_{\text{olie}} \cdot \rho_{\text{olie}}$		
8. $m_{\text{gas}} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{\text{pijp}})^2 \cdot v_{\text{gas}} \cdot \rho_{\text{gas}}$		

Door formule 1 t/m 8 te herleiden kunnen we de oliefilmdikte berekenen;

$$\delta_{\text{olie}} (\mu\text{m}) = 2 \cdot d_{\text{pijp}} (\text{m}) \cdot \left(\frac{\text{ppm}_{\text{olie}} \cdot v_{\text{olie}} (\text{cSt})}{\lambda_{\text{pijp}} \cdot v_{\text{gas}} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)} \right)^{0,5}$$

Voorbeeld:

wat is de gemiddelde oliefilmdikte in een DX-verdamperpijp, bij een olieconcentratie van 100ppm? Inwendige pijpdiameter 19 mm, $\lambda_{\text{pijp}} = 0,035$ (typisch voor industriële pijp), verdampingstemperatuur -10°C, koudemiddel NH₃, viscositeit van minerale 68er olie 1000cSt. Ringsnelheid halverwege dus bij X=0,5 (m.b.v. Stromingskaart Hbb4 uit VDI Waermeatlas) bedraagt 13 m/s. (Inwendige warmteoverdracht ca. 3000W/m²K) De berekende oliefilmdikte wordt daarmee 18µm en verminderd de inwendige warmteoverdracht met ruim 25%.

Is een verdamper niet conform de stromingskaart uitgelegd, dan kan er gelaagde stroming optreden. Omdat dan alleen het onderste pijpdeel benat is en zich daar ook de olie afzet, zal het duidelijk zijn dat de impact van olievervuiling hierdoor onevenredig groot is. Door het oliegehalte in de verdamper te beperken, neemt de olielaag op het onderste deel van de pijp af. In dit deel stroomt het verdampende koudemiddel dat nu meer warmtewisselend oppervlak aangeboden krijgt. Er zal nu meer koudemiddel gaan verdampen met als gevolg dat de massastroomsnelheid toeneemt. De hogere snelheid zal ervoor zorgen dat de olielaagdikte nog verder afneemt enz. enz. Een reductie van 50% in olieconcentratie heeft een 30% dunnere oliefilm tot gevolg, echter door het hiervoor beschreven verschijnsel t.w. de verhoging van de massastroomsnelheid, zal de filmdikte en dus vervuilinginvloed met meer dan 50% afnemen. Dit betekent bij de gebruikelijke verdamper een toename van de verdampingstemperatuur van ruim 2 K en daarmee een C.O.P. toename van 8%. In de open literatuur (o.a. ASHRAE) worden veel hogere C.O.P. verliezen genoemd door olieconcentratie.

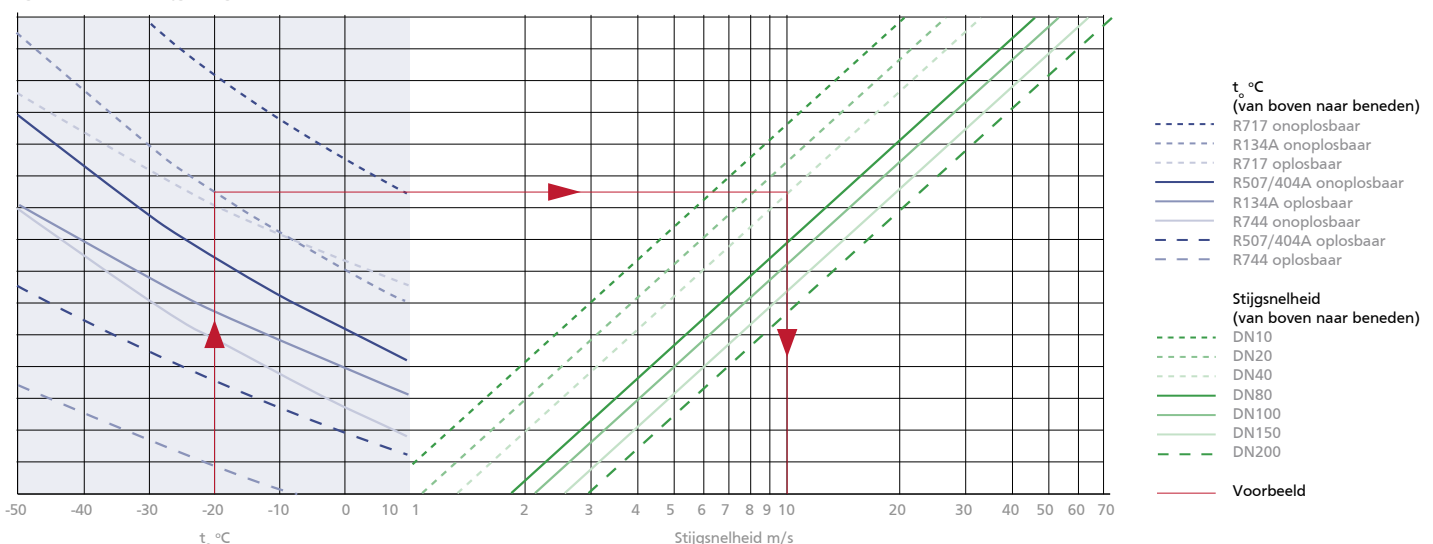
Dit probleem treedt ook op in platenwarmtewisselaars. Daar zal door de hogere belasting en het onrustige stromingskarakter in elk kanaaltje de uiteindelijke olielaagdikte wel geringer zijn, maar juist door die hogere belasting is de invloed van de dunnere olielaag op de totale warmteoverdracht, minimaal gelijk aan die bij de andere warmtewisselaars, en dus niet te verwaarlozen.

Hoe kunnen we de vervuilende invloed van de smeeroilie in de koelinstallatie verminderen?

1. Door te kiezen voor smeeroilie die volledig oplost in het koudemiddel in combinatie met een correct functionerende olieterugvoer.
2. En met niet oplosbare olie:
 - door het kiezen van een compressor met laag oliegebruik*,
 - door het toepassen van een hoog rendement olieafscheider,
 - door het toepassen van een persgaskoeler voor de olieafscheider, bij hoog oliedampgehalte en/of
 - door gebruik te maken van een olie met lage dampspanning en hoge molmassa*,
 - door het vloeistofvat zo in te richten dat olie zich kan afzetten, en teruggevoerd kan worden naar de compressor(en), bij 2-trapsinstallaties geldt dat ook voor het tussenvat(en).
 - Door het regelmatig aftappen van de olie al dan niet automatisch.

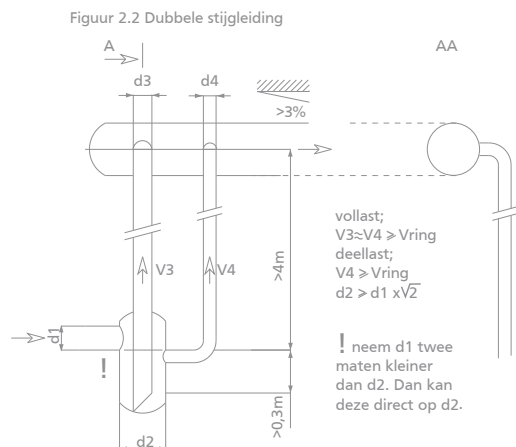
*Zie ook het artikel; Oliemanagement voor zuigercompressoren, Koude&Luchtbehandeling jaargang 95, nr. 11 2002

Figuur 2.1 Minimale stijgleiding snelheden



1. Olieterugvoer bij koudemiddeloplosbare olie;

Het ontwerp van directe expansie (DX)-systemen is erop gebaseerd dat de olie terug komt via de zuigleiding(en). Dit werkt op het principe dat de snelheid(impuls) van het gas zo hoog is, dat de aanwezige vloeistof in een film langs de pijpwand meegesleurd wordt. Dat gaat ten koste van drukverlies en dus energie. Wordt er ver in deellast teruggestapt kan er niet ongestraft gebruik gemaakt worden van dit stromingsverschijnsel, daar dit bij vollast tot te grote verliezen zal leiden. Hierom wordt in dit soort situaties gebruik gemaakt van sifons en dubbele stijgleidingen (zie fig.2.2).



Bij lage gassnelheid loopt het sifon vol, waardoor de doortocht boven het oliebad afneemt en de snelheid toeneemt. De lokaal hogere snelheid zorgt ervoor dat er een slok olie meegesleurd wordt. Dit principe lukt enkel als de te overwinnen hoogtes beperkt zijn, bijvoorbeeld aan de uitrede van verdamper of bij een u-buis in slokkenvangers. Moeten er grotere hoogtes overwonnen worden, gebruikt men dubbele stijgleidingen waarbij het volgende sifon de dickere stijgleiding afsluit. De snelheid in de dunnere leiding kan dan voldoende toenemen dat er weer ringstroming ontstaat. De gasstroom zal vloeibaar koudemiddel en volledig oplosbare olie meenemen als;

- er geselecteerd wordt op een vollast-drukverlies van 0,01K/m,
- de horizontale leidingen aflopend gelegd worden (>3%)
- er voor deellast dubbele stijgleidingen worden voorzien.

Voor deels- en niet oplosbare oliën wil dit nog lukken tot verdampingstemperaturen van resp. -5/-10 en -20°C voor resp. R134A, R717 en R507/404A als we een vollast-drukverlies toestaan van 0,02K/m.

Als het leidingwerk niet optimaal is uitgevoerd en de olie gedurende deellast achterblijft, wordt vaak onnadenkend bijgevoerd om de carters op peil te houden. Bij vollast kan dan veel meer olie terug komen als er in de carters past, met grote schades door olieslag tot gevolg. Omdat het wijzigen van leidingwerk of niet gaat door tijdsdruk of eenvoudigweg erg duur is, wordt als lapmiddel de installatie periodiek gedurende een bepaalde tijd op vollast gezet. Dit sluit overvulling van de carters niet uit en is bij temperatuurgevoelige koelprocessen ongewenst. Een oplossing is dan het inbouwen van een hoog rendement olieafscheider.

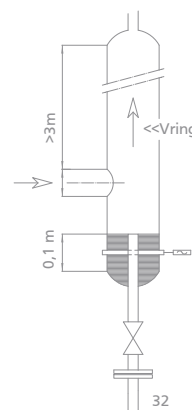
Wat de restviscositeit van de olie is die uit de verdamper komt, is afhankelijk van de oplossingsgraad van de betreffende olie en de olieconcentratie in de installatie.

Voorbeeld:

Olieworp compressor(en) 100 ppm. Dampgehalte na expansieventiel $X=0,2$, daarmee neemt de olieconcentratie in de vloeistof toe naar $100/(1-0,2)=125$ ppm. Aan het eind van de verdamper zit meestal nog 1% vloeistof, dus daarvan is dan de olieconcentratie $(0,8/0,01)*125=10.000$ ppm=1%. Zelfs bij een vloeistofconcentratie aan de verdamperuitrede van 1 promille blijft de restviscositeit van het mengsel nog zo laag dat het gas het mengsel gemakkelijk meeneemt.

In de ringstrominggrafiek (zie fig.2.1) is voor onoplosbare en oplosbare oliën de minimale snelheid passend bij het koudemiddel, verdampingstemperatuur en pijpdiameter te vinden voor stijgleidingen. Horizontale leidingen moeten onder afschot van >3% verlegd worden. Bij lage verdampingstemperaturen zijn de benodigde drukverliezen om de olie door het gas terug te laten brengen te hoog en zal er naar andere oplossingen gezocht moeten worden. Een mogelijkheid is om alle verdamperuitredes aan te sluiten op een lager liggende verzamelleiding en deze te laten uitkomen in een overgedimensioneerde stijgleiding (zie fig.3). Het lager liggen van de horizontale verzamelleiding (header) is nodig om terugstromen van olie in afgeschakelde koelers te voorkomen. Door het eerste deel (ca. 3 m) van deze stijgleiding op een vollastsnelheid uit te leggen die ruim beneden de ringsnelheid ligt zal al de olie in de dom opgevangen worden. Het eronder gemonteerde olieretoursysteem kan de uitgedampte olie dan terug naar het compressorcarter pompen.

Figuur 3 Vloeistof afscheidende stijgleiding



Gewend aan de olieterugvoer bij DX via de zuig, wordt bij pompcirculatie en badverdampers (FX)-systemen de uitrede van het olieretour-systeem (zie fig.9.0 t/m 9.3 in deel 2 van dit artikel in volgende uitgave) ook meestal op de zuigleiding aangesloten.

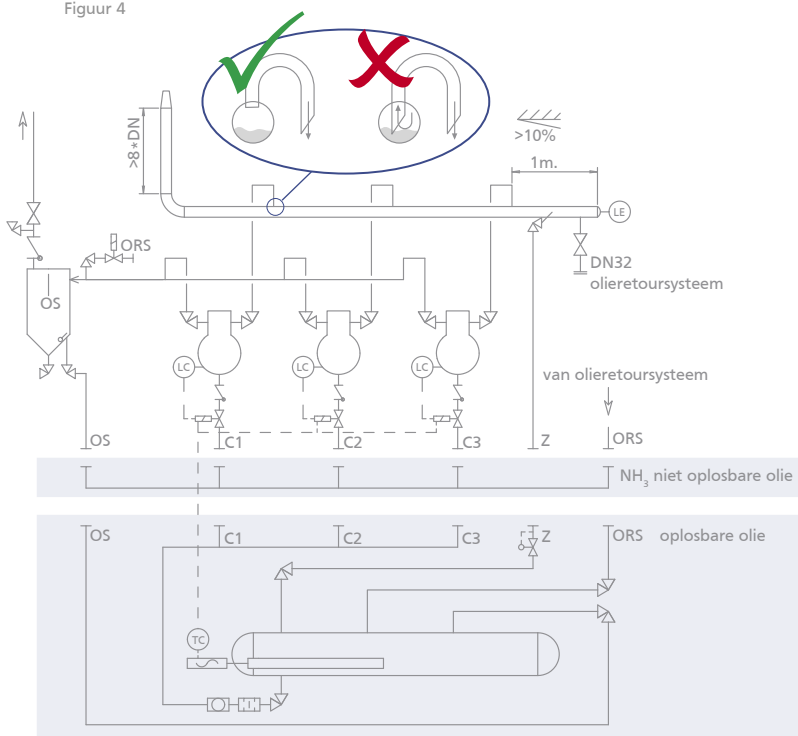
Bij beide systemen komt de olie niet terug in dezelfde afgemeten hoeveelheid als het door de compressoren uitgeworpen wordt, maar in slokken. Deze slokken ontstaan door accumulatie-effecten in de installatiecomponenten en leidingen. Is de compressor niet voorzien van een vloeistofafscheidende aanzuigsectie, zal de vloeistof de zuigkleppen treffen. Kleppen worden ontworpen op hoge gassnelheden t.w. ca. $0,3 \times \text{Mach}$ ($> 300 \text{ km/h}$), daarmee zal duidelijk zijn hoe desastreus de invloed is van binnentredende vloeistof. Bij hermetische compressoren is het drukvat uitgevoerd als slokkenvanger. Bij semi-hermetische compressoren slingert de sneldraaiende motor de intredende vloeistof uit de gasstroom. Bij commerciële en licht industriële compressoren is er in het aanzuigdeel een slokkenvanger opgenomen, of wordt er via het carter aangezogen. Industriële compressoren zijn vaak vanwege olieverbod en warmtehuishouding (ammoniak) van dit soort oplossingen verstoken, en bepaalt de grootte van de aanzuigsectie of er nog een deel van de aangezogen vloeistof afgescheiden wordt. Bij een ammoniakcompressor is de

warmtehuishouding en het olieverbod zo belangrijk dat het compressiedeel zo ver mogelijk uit het huis en de zuigkamer zo klein mogelijk gehouden wordt. Een uitstekende warmtehuishouding gaat dus ten koste van de robuustheid tegen het incidenteel aanzuigen van vloeistof. Bij dit soort compressoren moet de uitgedampte olie teruggevoerd worden naar het carter. Het bij het uitdampen vrijgekomen gas moet via de zuig afgevoerd worden en niet via het carter, omdat dat zal leiden tot een verhoging van de carterdruk, met als gevolg een significante stijging van het olieverbod. Hoe bij dit type compressoren de olie teruggevoerd moet worden is in bijgevoegde schetsen (zie fig.4) voor niet- en oplosbare oliën aangegeven.

Bij oplosbare oliën moet er altijd een buffervaatje toegepast worden. Dit vaatje vangt de variabele oliehoeveelheid in de installatie op en zorgt ervoor dat de olie uit de olieafscheider kan uitdampen. Dat laatste omdat de olie in de olieafscheider veel koudemiddel bevat door de hoge druk en relatief lage temperatuur. De persgastemperatuur van de huidige "freonen" is te laag om het oliebad voldoende op te warmen. Een elektrische verwarming is geen optie daar het vermogen onevenredig groot moet zijn om ook maar wat warmte te kunnen overdragen aan het stilstaande oliebad en de warmteafgifte van de relatief grote olieafscheider te kunnen

compenseren. De uitvoering van de zuigverzamelleiding is totaal verschillend als gebruikelijk bij DX-installaties. Deze dient zo groot gekozen te worden dat hier een gelaagde stroming optreedt (neem de snelheid voor de betreffende toepassing van de verticale stijgleiding). De binnenkomende olie zal zich afzetten en door de helling van 10% aan het einde verzamelen. Een ondergebouwd olieretoursysteem zal de olie dan behoefte afhankelijk terugsturen naar de individuele carters. Om bij disfunctioneren van de olierectifier, olieslag te voorkomen zal op ca. 35mm. hoogte vanaf de bodem een maximaal niveaularm gemonteerd moeten worden, die de compressoren stopt.

Figuur 4



Olieterugvoer bij koudemiddel onoplosbare olie;

Zoals al hierboven vermeld is het zaak om bij onoplosbare oliën te kiezen voor een compressor of compressor/olieafscheider combinatie te kiezen met geringe olieworp. Bij kleine systemen zoals chillers in combinatie met een compressor met geringe olieworp kan de olieafscheider meestal vervallen. Bij grotere systemen is de vervuiling van de uit het verdampersysteem terug te voeren olie van dien aard (vliegroeft, lasslak, straalstof, verbrande olie en andere residuen alsook water) dat daarmee de compressoren beschadigt zouden worden en olieterugvoer is dus niet toegestaan. Bij deze systemen moet de olieworp zo gering mogelijk gehouden worden. Grasso Products heeft daarvoor een olieafscheiderlijn ontworpen die het doorgelaten vloeistofaandeel met een veelvoud beperkt. Gebruikelijke rendementen van de in de markt aanwezige, op zwaartekracht gebaseerde, olieafscidders (dus zonder coalescingelementen) liggen rond de 80%, de huidige Grasso OS serie heeft een rendement van ca. 95% (zie bijgevoegde rendementsgrafieken fig.5.1 en 5.2) Met andere woorden er wordt $20/5=4$ x zo weinig olie doorgelaten. Het uittrede vloeibare deel is daarmee zo klein geworden dat feitelijk enkel nog de hoeveelheid oliedamp een rol van betekenis speelt in de olieworp. De selectie gebeurt op basis van de massastroomdichtheid ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$) betrokken op de volledige inwendige diameter, gecorrigeerd met een koudemiddel gerelateerde correctiefactor Crefr. In de grafieken is te zien dat de lichtere gassen over een groter gebied hun hoge rendement vast houden. Door de interne stroming te verbeteren kan de belasting fors verhoogd worden, bij voor de lichtere gassen gelijkblijvend- en voor de zware gassen verbeterd rendement.

In de volgende uitgave wordt deel2 van dit artikel gepubliceerd.

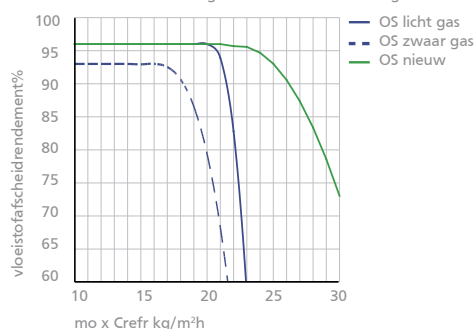
- Grasso Products b.v.
Jan-Pieter Habraken
Tel: 073 6203 845
jphabraken@grasso.nl

Alle artikelen kunt u terugvinden op de Grasso site: www.grasso-global.com > News&Events > Latest News.



Grasso 1212(E) package

Figuur 5.1
rendementen huidige OS en doorontwikkeling



Figuur 5.2

