

Grasso tweetrapszuigercompressoren met individuele cilinderschakeling

Titus

M. C. Bartholomeus

Senior Development Engineer,
Grasso Products b.v.

Tweetrapscompressie, wanneer?

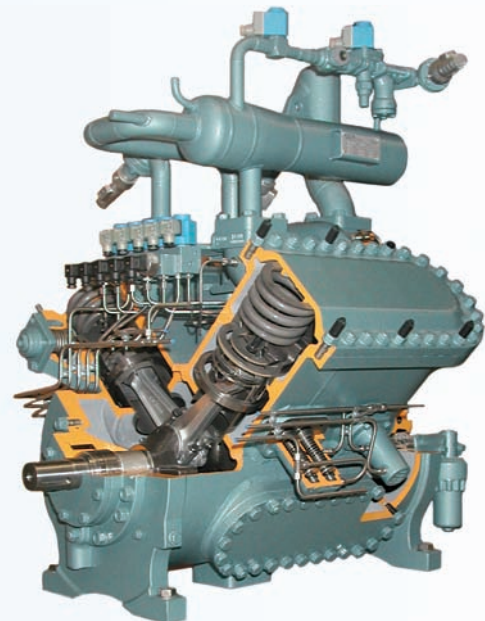
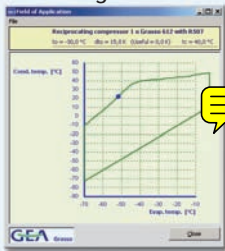
In principe zijn er twee hoofdredenen om voor 2-trapscompressie te kiezen:

1. Als de 1-trapscompressie-conditie buiten het toepassingsgebied van de betreffende compressor valt.

Bij de synthetische koudemiddelen is de drukverhouding bepalend. Het 'Toepassingsgebied'-scherm uit het Grasso selectieprogramma Comsel in afbeelding 1 maakt dit inzichtelijk. Hoe hoger de drukverhouding, des te langer duurt de compressieslag, des te minder tijd is er voor de perskleppen om te openen. Boven een bepaalde drukverhouding is de openingstijd van de persklep te kort om het gecompriëerde gas af te voeren.

Bij het natuurlijke koudemiddel ammoniak (R717) is de persgastemperatuur bepalend. Dit wordt veroorzaakt door de isentropen-coëfficiënt κ (kappa) van 1,3 (lucht $\kappa = 1,4$). Een te hoge persgastemperatuur ($> 170\text{ °C}$) is nadelig voor de levensduur van de perskleppen, smeeroilie en het koudemiddel zelf. Bij de zware kou-

Afbeelding 1

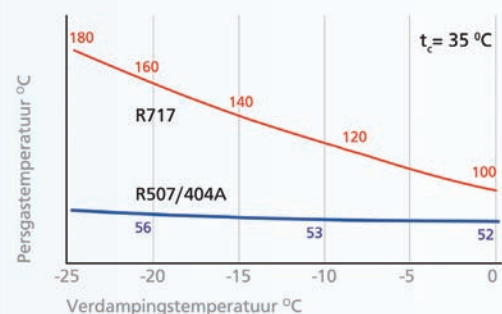


Opengewerkte Grasso 4210 zuigercompressor met B-koeler

demiddelen zoals R507/404A met een kappa van 1,1 treedt een te hoge persgastemperatuur zelfs bij vriesprocessen niet op; zie afbeelding 2.

Bij de meeste koelprocessen ligt het verschil tussen de condensatie- en verdampingstemperatuur ($t_c - t_o$) beneden de 45K, waardoor een te hoge persgastemperatuur nauwelijks of geen rol speelt. In afbeelding 3 is een schermafdruk te zien uit het Grasso selectieprogramma Comsel van de 6-cilindercompressor type Grasso 12, met het koudemiddel ammoniak, bij $t_o = -10\text{ °C}$ en drie verschillende condensatietemperaturen t.w. 35 °C, 40 °C en 45 °C.

Naast de kappa-waarde van het gas speelt ook de interne machineopwarming een grote rol.



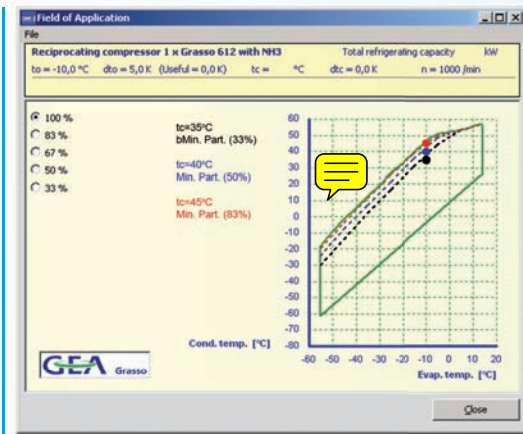
Afbeelding 2

Inleiding

Dit artikel geeft meer inzicht in het toepassen van 2-trapszuigercompressoren in installaties voor vriestoeepassingen (-15 °C tot -55 °C) met als doel een kosten technisch optimaal systeem te ontwerpen op het gebied van energie, investering en onderhoud. 2-trapsbedrijf voor zuigercompressoren is al snel interessant bij relatief hoge verdampingstemperaturen, ook al zijn de machinelimieten bij 1-trapsbedrijf nog niet bereikt. De extra investeringskosten resulteren al snel in een middel om geld te besparen door de geringere energiekosten en de lagere onderhoudskosten. Deze voordelen wegen vooral zwaarder bij deellast en variabele condities.

Summary

Dit artikel geeft meer inzicht in het toepassen van 2-trapszuigercompressoren in installaties voor vriestoeepassingen (-15 °C tot -55 °C) met als doel een kosten technisch optimaal systeem te ontwerpen op het gebied van energie, investering en onderhoud. 2-trapsbedrijf voor zuigercompressoren is al snel interessant bij relatief hoge verdampingstemperaturen, ook al zijn de machinelimieten bij 1-trapsbedrijf nog niet bereikt. De extra investeringskosten resulteren al snel in een middel om geld te besparen door de geringere energiekosten en de lagere onderhoudskosten. Deze voordelen wegen vooral zwaarder bij deellast en variabele condities.



Afbeelding 3

Hierdoor is het deellastbedrijf beperkt of zelfs niet meer mogelijk. Dit is in afbeelding 3 terug te vinden. Indien dit niet gewenst is of als het temperatuurverschil nog verder toeneemt, moet bij ammoniak over worden gegaan op 2-trapscompressie.

2. De tweede reden om voor 2-trapscompressie te kiezen is wanneer het 1-trapsrendement te laag wordt.

De koudefactor, of 'coefficient of performance' (C.O.P.), staat voor de verhouding koelcapaciteit t.o.v. opgenomen vermogen (Q_o/P_{as}). Een zuigercompressor is een 'volumeverplaatser'. Zoals in elke constructie, zijn ook hier toleranties noodzakelijk voor fabricage en werking. Tussen de zuiger en het kleppendecksel zal uiteraard altijd een positieve speling aanwezig zijn.

De ruimte die hierdoor ontstaat heet *schadelijke ruimte* en wel omdat het hierin aanwezige restgas tijdens de aanzuigslag eerst moet expanderen. Hoe hoger de drukverhouding, des te meer gas er zal moeten expanderen, des te later er aangezogen kan worden. Het werkelijk aangezogen volumedebiet is daardoor een deel van het slagvolume. De verhouding aangezogen volume tot slagvolume wordt uitgedrukt in het volumetrisch rendement. Bij dalende verdampersdruk en gelijkblijvende condensordruk zal het aangezogen volumedebiet dus afnemen. Daar de gasdichtheid ook afneemt met de druk, zal het massadebiet en dus de koelcapaciteit meer dan evenredig afnemen.

Het compressievermogen P_c neemt af naarmate de verdampingstemperatuur daalt.

Ook dit is weer afhankelijk van het massadebiet, wat tegengewerkt wordt door de met de drukverhouding exponentieel stijgende persgasenthalpie. De wrijvingsverliezen P_w blijven echter gelijk. Daardoor daalt het opgenomen vermogen $P_{as} = P_c + P_w$ veel minder hard dan de koelcapaciteit,

wat de fors afnemende koudefactor Q_o/P_{as} bij stijgende drukverhouding verklaart.

Tweetrapscompressie, wat levert het op?

Om de nadelen van een groot drukverschil tussen t_c en t_o te voorkomen, kan men het compressieproces in meerdere trappen laten plaatsvinden. Voor koeltechnische processen volstaan twee trappen. Het door de lagedrukcilinders aangezogen gas wordt samengeperst. Dit kleinere volume wordt door de hogedrukcilinders verder gecomprimeerd, zodat duidelijk zal zijn dat het slagvolume van de lagedrukcilinders groter moet zijn dan dat van de hogedrukcilinders.

Door toepassing van 2-traps compressie:

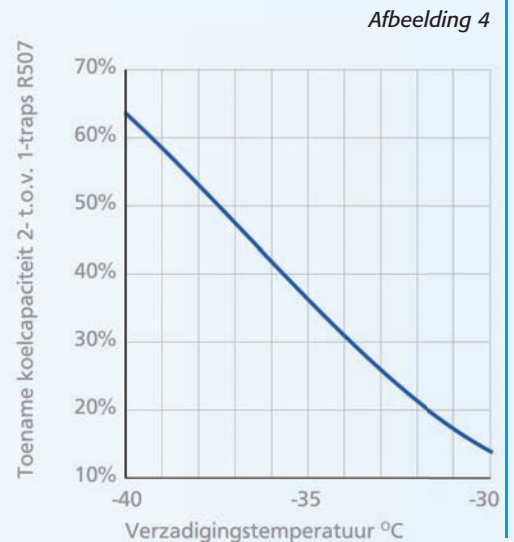
- *stijgen bij de synthetische koudemiddelen de koelcapaciteit en het rendement van een compressor*
- *bij het natuurlijke koudemiddel ammoniak nemen het rendement en de levensduur van de compressor toe.*

Kijken we eerst naar het effect van 2-trapscompressie bij de synthetische koudemiddelen, in dit geval R507/404A.

In industriële installaties wordt naast het natuurlijke koudemiddel ammoniak, R507/404A het meest toegepast. Dit koudemiddel wordt als een typisch 1-traps koudemiddel gezien. Bij synthetische koudemiddelen is de invloed van condensaatonderkoeling enorm. Het toepassen van een zuiggas/condensaatwarmtewisselaar is dan ook heel effectief, ca. 0,5% per graad condensaatonderkoeling. Bij een 2-traps koelsysteem met condensaatonderkoeling kan het condensaat veel verder onderkoeld worden. Bijvoorbeeld bij Grasso systeem-B tot ca. 10K boven de tussendruk-verzadigings-temperatuur.

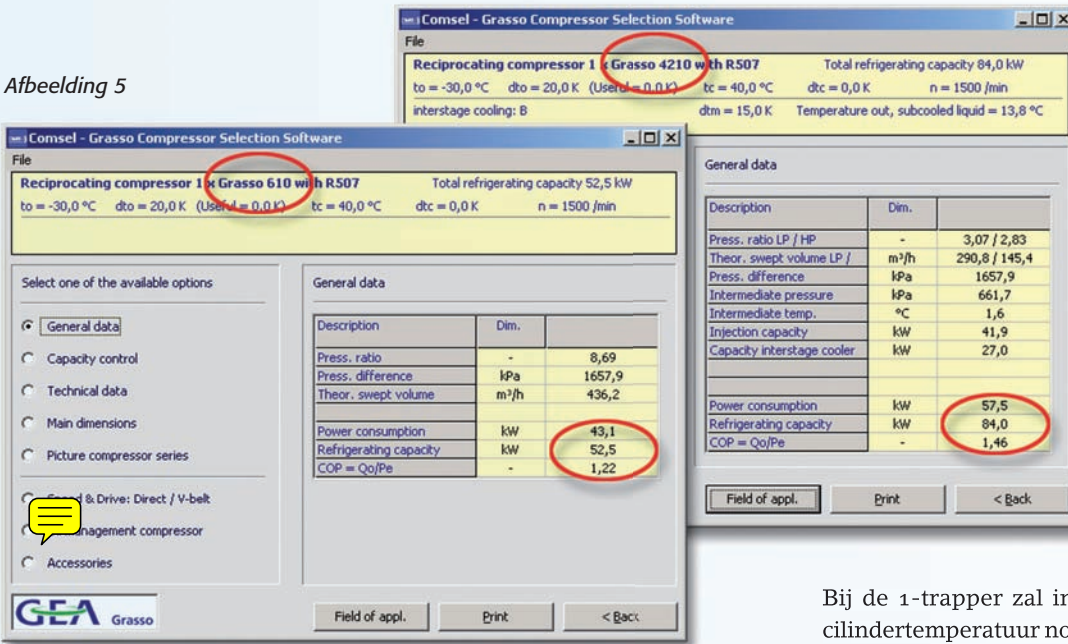
De toename van de koelcapaciteit die uit dezelfde compressor valt te halen is enorm, wat in afbeelding 4 is te zien.

Ter verdere illustratie dienen de schermafdrucken op de volgende pagina uit het Grasso selectieprogramma Comsel. Het betreft hier een 6-cilinder Grasso 10 compressor 1-traps en 2-traps (afbeelding 5) met tussenkoel-



Afbeelding 4

Afbeelding 5



steem B. (Uitvoering als de afbeelding bij het begin van dit artikel.)

Dankzij de enorme toename in koelcapaciteit zal, ondanks het extra benodigde tussenkoelsysteem, een 2-traps- R507/404A-aggregaat goedkoper uitvallen dan een '1-trapper', in zowel aanschaf als gebruik. Dit is in de grafiek (afbeelding 6) voor verschillende slagvolumes af te lezen. Het effect van 2-trapscompressie bij ammoniak blijft in feite beperkt tot het verlagen van de persgastemperatuur.

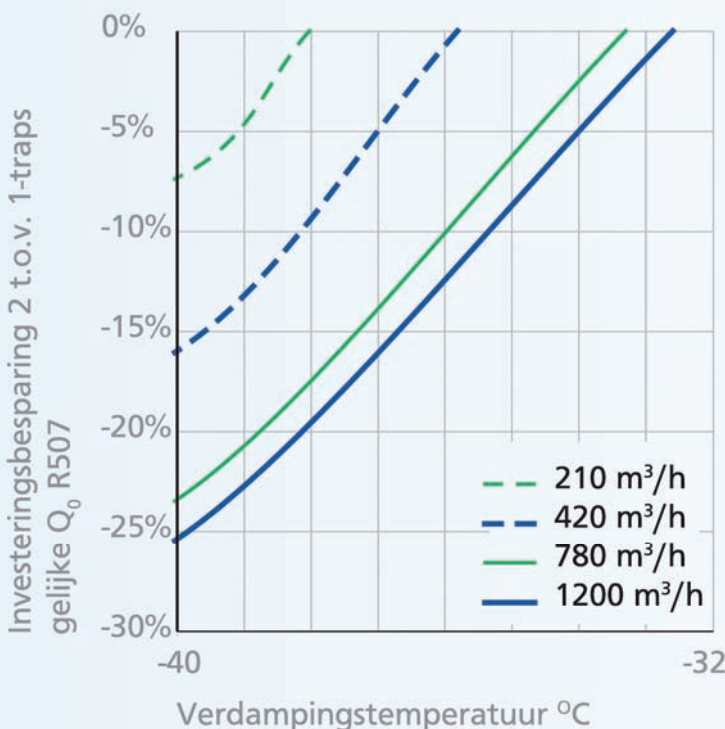
Zoals al eerder beschreven, zal bij stijgend

temperatuursverschil $t_c - t_o$ (feitelijk de drukverhoging p_c / p_o) de persgastemperatuur steeds verder toenemen. In tabel 1 is een 6-cilinder Grasso 12 compressor 1- en 2-traps doorgerekend voor die condities waar 1-trapsbedrijf nog net gaat. De C.O.P. is voor beide gelijk. De koelcapaciteit neemt bij gelijk totaal slagvolume wel 10-20% af.

Bij de 1-trapper zal in deellast de individuele cilindertemperatuur nog verder toenemen. Hierdoor zit er aan de minimum deellast een beperking. Door het toepassen van 2-trapscompressie in dit gebied zakt de persgastemperatuur met ca. 50 K. Hierdoor geldt er voor de 2-trapper geen deellastbeperking. De levensduur van de onderhoudsgevoelige delen zal hierdoor toenemen. Bij hoge persgastemperaturen bestaat de olie-worp hoofdzakelijk uit oliedamp; hierdoor zal het olieverbbruik van een 2-trapper veel lager uitvallen. Dit resulteert in een beter installatierendement.

Een 1-trapscompressor uitgevoerd als 2-trapper, d.w.z. inclusief opgebouwd tussenkoelsysteem, is ca. 30% duurder. Compenseren we de ingeboete koelcapaciteit, dan stijgt dit investeringsverschil tot ca. 50%. Het mag duidelijk zijn dat door de veel geringere onderhoudskosten en het beter installatierendement deze meerinvestering snel terugverdiend zal zijn.

Afbeelding 6



t_o ($t_c = 35$ °C)	Q_o 1-traps kW	Q_o 2-traps kW	T_{pers} in vollast 1-traps °C	T_{pers} 2-traps °C	Min. deellast 1-traps %	Reductie in olieverbbruik 2- t.o.v. 1-traps
-13	366	294	135	90	50	25%
-15	330	272	142	93	50	40%
-17	296	252	149	96	67	50%
-19	264	233	157	100	100	70%

Vergelijken we nu het effect van beide koudemiddelen in dezelfde 2-trapscompressor (Grasso 4210, 1470rpm), dan levert ammoniak ca. 10% minder koelcapaciteit maar vraagt R507/404A daar ca. 45% meer energie voor ! (zie Tabel 2)

Tabel 2

t_e ($t_c = 35$ °C)	Q_o R717 kW	Q_o R507 kW	COP R717	COP R507/404a
-15	149.1	x	3.21	x
-20	122.3	122.8	2.81	1.95
-25	98.7	104.1	2.43	1.79
-30	79.3	87.4	2.14	1.64
-35	62.5	72.9	1.87	1.49
-40	47.2	59.9	1.58	1.35

x = Buiten het toepassingsgebied (tussendruk te hoog)

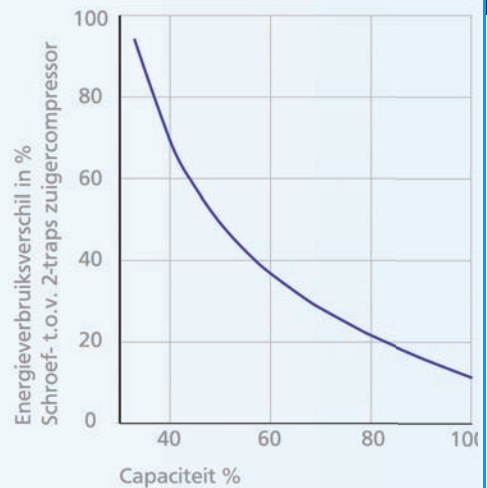
Ammoniak -15 °C tot -25 °C een 'grijs' gebied voor zuigercompressoren?

Grasso 2-trapszuigercompressoren zijn zodanig geconstrueerd en geconfigureerd, dat ze ook goed toepasbaar zijn met het natuurlijke koudemiddel ammoniak, in het hogere zuig'druk'-gebied tussen de -15 °C en -25 °C, een gebied dat nu wordt gedomineerd door schroefcompressoren. Dat dit tot een slagvolume van ca. 1800 m³/h een kostbaar misverstand is, zal hierna worden toegelicht.

1. Een schroefcompressor met eco en variabele Vi levert bij gelijk zuigzijdig slagvolume meer koelcapaciteit, maar vraagt daar onevenredig meer energie voor. Een schroefcompressor heeft door zijn constructie een hoger volumetrisch rendement, waardoor er een hogere koelcapaciteit bij gelijk slagvolume wordt verkregen. Het isentropisch rendement van een schroefcompressor ligt lager dan dat van een zuigercompressor, wat resulteert in een hoger energieverbruik.
2. In deellast neemt het relatieve energieverbruik van een schroef t.o.v. een zuigercompressor verder toe. Zie afbeelding 7. Hierbij zijn we uitgegaan van volumeverhoudingen passende bij de condities: $t_e/t_c = -35/+35$ °C.
3. Het olieverbbruik van een standaardtweetraps-

zuigeraggregaat (<4 ppm) ligt een veelvoud lager dan dat van een standaard-schroefcompressoraggregaat (ca. 15 ppm). Dit resulteert in minder vervuiling en dus een hoger rendement van de installatie.

4. De aanschafprijs van een schroefaggregaat met economiser ligt tot een slagvolume (zuigzijdig) van ca. 1200 m³/h ruim 45% hoger dan een zuigeraggregaat met systeem-B tussenkoeler. Boven dit slagvolume neemt het verschil af, om bij ca. 1800 m³/h om te slaan naar het voordeel van het schroefaggregaat. Dit omdat dan meerdere zuigeraggregaten parallel geschakeld moeten worden.
5. De onderhoudsintervallen van een zuigercompressor zijn weliswaar intensiever maar de daadwerkelijke kosten vallen een stuk lager uit.
6. Om traploos te kunnen regelen met de zuigercompressor, is een frequentieregelaar een uitstekende oplossing. De meerinvestering voor een frequentieregelaar zal snel worden terugverdiend. Dit zal in een van de volgende artikelen nader worden toegelicht.



Afbeelding 7

wordt vervolgd

Volgende maand gaan we wat meer in detail kijken naar de selectie van de juiste 2-trapscompressor voor de installatie en wordt ingegaan op het Grasso tussenkoelsysteem- B.

Mocht u reacties, vragen en/of opmerkingen over dit artikel hebben of m.b.t. het artikel van volgende maand, dan kunt u contact opnemen met:

- Grasso Products b.v.
tel.: (073) 62 03 782
Heleen van Hout
hvhout@grasso.nl

Alle artikelen kunt u terugvinden op de Grasso site:

www.grasso-global.com > News&Events > Latest News.'

