

Wijbenga info sheet 40:

Cascadesystemen deel 1

Inleiding

Koelsystemen waarbij in verschillende druktrappen van verdamperdruk naar condensordruk wordt gecomprimeerd, noemen we meertrapskoelsystemen. Als deze trappen van elkaar zijn gescheiden door een warmtewisselaar, spreken we van een cascadekoelsysteem. In dit eerste deel van een tweeluik gaan we hier op in.

Cascadekoelsystemen worden onder andere toegepast voor koeling op lagere temperatuur, bijvoorbeeld onder $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Hierbij wordt gebruikgemaakt van koudemiddelen die geschikt zijn voor de druktrap. Cascadesystemen kunnen ook worden gebruikt om koudemiddelen te scheiden van producten of ruimten. Een voor deze toepassing vaak gebruikte combinatie is NH_3/CO_2 . Op de werkvloer worden NH_3/CO_2 -systemen waarbij de CO_2 als koudedragers wordt gebruikt, ook vaak cascadesystemen genoemd, maar strikt genomen zijn ze dat niet. Bij deze systemen wordt de CO_2 niet in druk verhoogd om te condenseren. Dit zijn systemen met een verdampend koudemiddel als koudedragers.

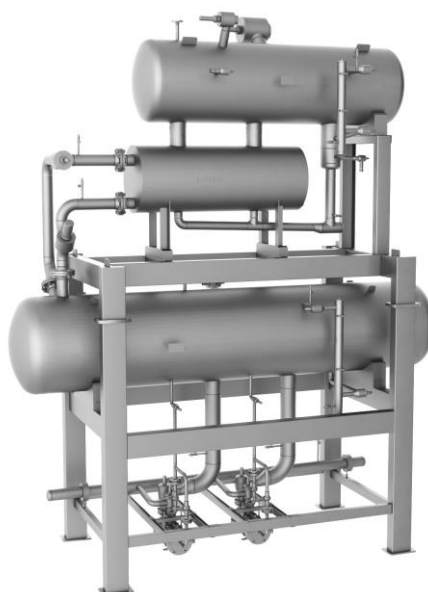
Waarom cascade?

Over het algemeen wordt cascade toegepast om de best geschikte koudemiddelen voor de toepassing te combineren.

- Bij een lagetemperatuur-toepassing zal het koudemiddel dat geschikt is voor de lagetemperatuur-druktrap vaak een erg hoge druk nodig hebben om te condenseren bij omgevingstemperaturen, terwijl het koudemiddel geschikt om te laten condenseren bij omgevingstemperaturen erg ijl zal zijn of een erg lage druk zal hebben om de lage temperatuur te kunnen creëren. Een mogelijke combinatie is bijvoorbeeld R290 in de hogedruk-trap en R170 (ethaan) in de lagedruk-trap.
- Bij een NH_3/CO_2 -koelsysteem wordt vaak voor cascade gekozen om het ammoniakvolume te beperken of om dit koudemiddel binnen de machinekamer te houden. Bijvoorbeeld vanwege vergunningen of omwille van veiligheidsredenen.
- In chemische processen kunnen cascadesystemen mogelijk voorkomen dat bij lekkage het koudemiddel in combinatie met het te koelen medium een ernstige chemische reactie teweeg brengt.

Waarom geen cascade?

- De warmtewisselaar eigen aan een cascadestelsel maakt dat er een temperatuur-verschil zal zijn tussen de druktrappen. Hoe groter dit temperatuurverschil, hoe nadeliger dit zal zijn voor de energie-efficiëntie.
- Een cascadestelsel voegt extra complexiteit toe aan de installatie
- Een interne lekkage van de warmtewisselaar kan verregaande gevolgen hebben. NH_3 en CO_2 reageren met elkaar, wat resulteert in zogenaamde carbomaten.



Afb. 1 Voorbeeld van cascade met shell and plate

Ammoniak/CO₂-cascadespompssystemen

Dit artikel gaat verder in op ammoniak/CO₂-cascadespompssystemen. Dit type cascade is de laatste vijftien jaar steeds vaker toegepast, vooral in de Benelux en met name bij grotere koelsystemen van boven de 1MW. Regelgeving en veiligheidsoverwegingen hebben hier grote invloed op gehad.

- Mogelijke bezwaren tegen een installatie met enkel ammoniak:
 - Bij verdampingstemperaturen lager dan -33 °C zal een ammoniakinstallatie in het vacuüm werken.
 - Een relatief grote ammoniakinhoud.
- Redenen om geen installatie met enkel CO₂ te bouwen kunnen zijn:
 - Om CO₂ te kunnen condenseren bij hogere omgevingstemperaturen zal een CO₂-installatie transkritisch moeten draaien. Op die momenten is de stroomopname hoog. De vermogensaansluiting voor de koelinstallatie moet hier voldoende groot voor zijn.
 - Een industrieel cascadesysteem heeft doorgaans een beter rendement.
 - Hoewel er steeds grotere CO₂-compressoren komen, moeten vaak veel compressoren worden geïnstalleerd om het benodigd koelvermogen te genereren.

Drie typen systemen

Algemeen kunnen we drie vaak gebruikte typen onderscheiden

1. Shell and tube met variant spraycooler

- Vaak zware en grote apparaten.
- Kunnen met tussencircuits gebouwd worden als bescherming tegen schade bij interne lekkage, maar hebben dan hoger temperatuurverschil.

2. **Shell and plate**

- Gelast en onderhoudsvrij.
- Compact.

3. **Plate and frame**

- De toepassing van pakkingen maakt dat deze niet als onderhoudsvrij kunnen worden beschouwd.
- Kans op interne lekkage is klein.
- Complete opbouw vraagt meer hoogte.

Om een installatie energetisch zo gunstig mogelijk te laten werken, is een klein temperatuurverschil wenselijk. Vaak wordt bij het ontwerp gestreefd naar een verschil van 3 tot 5K. Als de installatie in bedrijf is, is de maximale capaciteit vaak niet nodig. Idealiter wordt naar een zo klein mogelijk temperatuurverschil gestreefd waarbij de NH_3 -verdampingstemperatuur wordt afgestemd op de CO_2 -condensatietemperatuur. Als een installatie naar verwachting slechts korte periodes in vollast werkt, kan in de ontwerpfase worden gekozen om op een groter temperatuurverschil te selecteren. Voor een temperatuurverschil tussen NH_3 en CO_2 van 3K tegenover 5K is een veel groter warmtewisselend oppervlak nodig.



Afb. 2 Voorbeeld van cascade met plate en frame

Opstelling van cascadekoelsysteem

1. **NH_3 -zijdig (verdampend)**

Bij een cascadeswisselaar met een afzonderlijke afscheider kan de wisselaar ofwel thermosiphon of met een pomp worden gevoed. Bij thermosiphon zal de wisselaar onder of naast de afscheider moeten worden geplaatst. Met een pomp zijn er minder beperkingen van plaatsing, maar is wel een pomp nodig.

2.

3. **CO₂-zijdig (condenserend)**

Deze zijde kan ook thermosiphon aangesloten worden, waarbij het CO₂-gas vanuit een reservoir omhoog naar de wisselaar stroomt en onderaan de wisselaar als condensaat de wisselaar weer verlaat. Een andere optie is dat het persgas van de compressoren direct de wisselaar instroomt. Bij persgas direct naar de cascade is het van belang te controleren of de condities overeenkomen met de maximale werkingscondities van de wisselaar.

Hoge ontwerpdruk

De kostprijs in acht nemend, is het wenselijk om de ontwerpdruk laag te houden. CO₂ heeft een hogere werkdruk dan de meeste andere koudemiddelen. Voor de cascadowisselaar zijn aan de CO₂-zijde ontwerpdrukken tussen de 40 en de 63 Bar gangbaar. Vanwege het risico dat bij uitval van de NH₃-installatie de CO₂-druk te hoog wordt, kan gekozen worden om een noodkoeling te installeren.

Versie 1, 3-7-2023 GB