

NH₃/CO₂-koelsystemen: Zuiniger en schoner

CO₂ is als koudemiddel terug van weggeweest. Gestimuleerd door een subsidieregeling in het kader van het programma Reductie Overige Broeikasgassen (ROB) kozen inmiddels 14 industriële eindgebruikers voor een CO₂/NH₃-cascadesysteem. Geld was daarbij echter niet de voornaamste overweging. CO₂ is veiliger dan ammoniak, zowel voor de omgeving als voor de gekoelde producten, en aanmerkelijk milieuvriendelijker dan synthetische koudemiddelen. CO₂ is namelijk niet giftig en heeft bij toepassing als koudemiddel een verwaarloosbare broeikaswerking. Paradoxaal genoeg kan juist het bekendste broeikasgas, CO₂, uitstekend worden ingezet om een de milieubelasting door koelsystemen te verminderen.

Arend Koppenol*

De toepassing van CO₂ als koudemiddel is natuurlijk niet nieuw. Tot in de jaren vijftig, toen de synthetische koudemiddelen (de freonen) opkwamen, werd het gas veelvuldig ingezet op koel- en vriesschepen. De synthetische koudemiddelen hebben een hoger rendement, maar met de grootschalige toepassing daarvan ontstonden nieuwe problemen. Door lekkages in koelinstallaties komen deze in de atmosfeer terecht, hetgeen bijdraagt aan de aantasting van de ozonlaag.

Gemiddeld lekt elk jaar 5% van de totale inhoud aan synthetische koudemiddelen in koelinstallaties (HCFK's, HFK's en CFK's) weg naar de atmosfeer [1]. CFK's mogen inmiddels niet meer worden gebruikt en ook HCFK's mogen in nieuwe installaties niet meer worden toegepast. Emissie van HFK's is evenzeer ongewenst. Die hebben een zeer krachtige broeikaswerking, die per gewichtseenheid enkele duizenden malen hoger ligt dan die van CO₂.

Omdat Nederland zich heeft gecommitteerd aan een reductie van CO₂-equivalenten ter grootte van 6% voor de periode 2008-2012, is het beleid van het ministerie van VROM er op gericht de emissie van deze stoffen terug te dringen, in het bijzonder door verbetering van de lek-dichtheid, het ontwerp van systemen met een kleinere koudemiddelinhoud en de toepassing van natuurlijke koudemiddelen, zoals ammoniak en kooldioxide. In samenwerking met de ministeries van EZ en LNV werd het programma Reductie Overige Broeikasgassen (ROB, www.robklimaat.nl) opgezet. Novem is als uitvoeringsorganisatie nauw betrokken bij en totstandkoming en uitvoering van het ROB.

De koudemiddelen op een rij

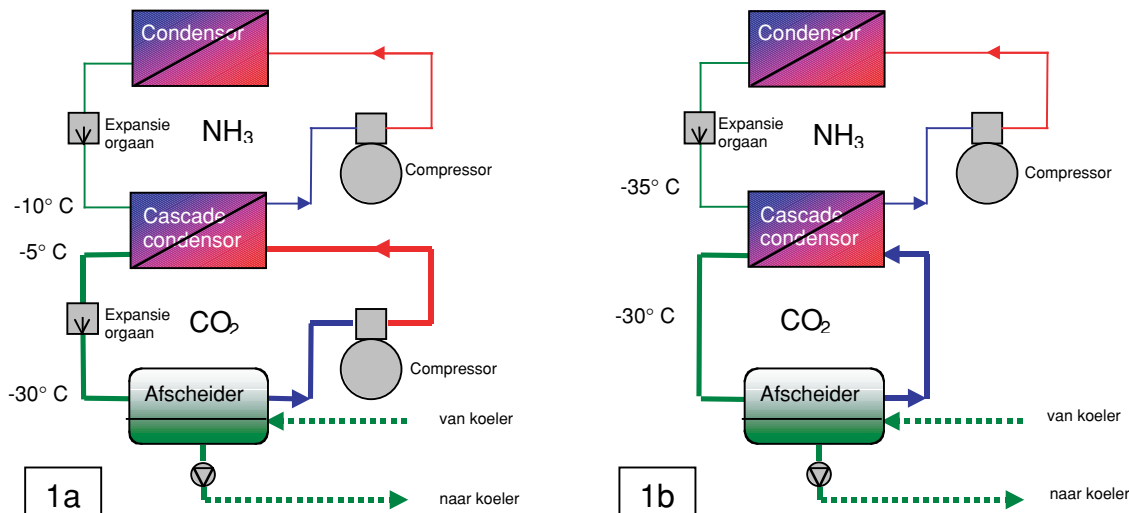
Ammoniak is een koudemiddel met uitstekende thermodynamische eigenschappen, die een hoog rendement van de koelinstallatie mogelijk maken. Veel industriële ondernemers kiezen daarom voor ammoniak als

koudemiddel, maar in sommige gevallen wegen de nadelen zwaarder dan de voordelen. Gebruik van grote hoeveelheden ammoniak kan weerstanden oproepen bij omwonenden. Beperking van de koudemiddelinhoud van het koelsysteem is daarom wenselijk, temeer daar waarschijnlijk nog dit jaar wettelijke eisen aangaande de minimale afstand van ammoniakkoelinstallaties tot woongebieden van kracht zullen worden [2]. Installaties met een inhoud van minder dan 200 kg ammoniak worden bij deze regelgeving buiten beschouwing gelaten.

Ook ten aanzien van de productveiligheid kent het gebruik van ammoniak een belangrijk nadeel. Wanneer de giftige ammoniak in aanraking komt met het product, kan dit niet meer worden gebruikt. Er zijn dus goede redenen om ammoniak zoveel mogelijk buiten de fabriekshal en ver van de producten te houden.

Synthetische koudemiddelen hebben een sterk broeikaseffect en een lagere efficiency dan ammoniakinstallaties.

Fig. 1 Direct en indirect NH₃/CO₂-systeem.



*Drs. ing. A.D. Koppenol, Novem, Utrecht, 030-2393717, a.koppenol@novem.nl.

Tabel 1 Overzicht gesubsidieerde NH₃/CO₂ installaties eind 2002*

Bedrijf	Sector	Toepassing	Koelvermogen (kW)	Installatiebureau
Ardo	Groenteverwerking	Vriesopslag	700	GTI Koudetechniek
Ardo	Groenteverwerking	Invriestunnel	900	GTI Koudetechniek
Cornelis Vrolijk	Visverwerking	Vriesopslag	680	York Inham
Polkamp Meat	Vleesverwerking	Platenvriezer, vries- en koelopslag	3.150	GTI Koudetechniek
Klaas Puul	Visverwerking	Invriestunnel	800	Bort de Graaf
Partner logistics	Koel- en vrieshuizen	Vriesopslag + vriestunnel	1.450	GTI Koudetechniek
Lagemaat	Koel- en vrieshuizen	Vriesopslag + invriestunnel	1.500	Grenco
Frigo Breda	Koel- en vrieshuizen	Vriesopslag	485	GTI Koudetechniek
Kloosterboer Maasvlakte	Koel- en vrieshuizen	Vriesopslag	1.650	GTI Koudetechniek
Cornelis Vrolijk	Visserij	Invriezen en vriesopslag	1.650	York Inham
Van der Made	Aardappelverwerking	Invriezen, vries- en koelopslag	2.000	GTI Koudetechniek
Cool Clear	Logistics Koel- en vrieshuizen	Vriesopslag	720	GTI Koudetechniek
Van Dijk	Koel- en vrieshuizen	Vriesopslag	580	Bort de Graaf
Agrico	Voedingsmiddelen	Koel- en vriesopslag	4.500	Ferguson

* Er zijn ook enkele installaties zonder ROB-subsidie tot stand gekomen. Deze zijn niet in de tabel opgenomen.

R507, bijvoorbeeld, heeft een GWP van 3.800 (Global Warming Potential, het broeikas effect afgezet tegen dat van de uitstoot van 1kg CO₂). Het energieverbruik van R507 ligt beduidend hoger dan dat van een gelijksoortig NH₃-systeem. Daarnaast zijn synthetische koudemiddelen relatief kostbaar.

Kooldioxide is een relatief veilig koudemiddel. Het is niet giftig, niet brandbaar en niet explosief. De belangrijke eigenschappen van CO₂:

- **Het gewicht.** CO₂ is, evenals synthetische koudemiddelen, zwaarder dan lucht. Bij lekkage leidt dit tot verdringing van lucht en ontstaat het risico van verstikking. De maximaal toelaatbare concentratie voor CO₂ ligt echter relatief hoog.

- **De systeemdruk.** Door de hoge druk en soortelijk gewicht van CO₂ is het benodigd debiet van het gas aanmerkelijk kleiner dan dat van de HFK's en de ammoniak. Hierdoor kan het gaszijdige gedeelte van de CO₂-installatie kleiner zijn. De diameter van gasleidingen is tot meer dan de helft kleiner, hetgeen resulteert in lagere kosten voor leidingen,

montage en isolatie. Een kleiner gasdebiet maakt ook minder grote compressoren nodig en de kleinere inhoud compenseert het risico van de hogere druk. Het product van inhoud en druk is lager dan bij ammoniak.

- **Het kritisch punt** ligt voor CO₂ bij 31°C. Bij temperaturen hoger dan 31°C kent CO₂ dus geen vloeistoffase en geen duidelijke faseovergang meer. Een conventionele condensor is dan niet langer inzetbaar, zodat een kringloop met alleen CO₂ voor industriële toepassingen de komende vijf jaar niet reëel is. De druk loopt in zulke toepassingen op tot bijna 100 bar, waardoor in plaats van een condensor een speciale gaskoeler nodig is, die nog wordt ontwikkeld. Er zijn dus innovaties nodig om een acceptabel rendement te bereiken.

- **De druk/temperatuurrelatie** voor CO₂ is dusdanig, dat bij vergelijkbare drukval een veel kleiner temperatuurverschil optreedt dan met ammoniak. Het effect van drukval over lange leidingen of een verdamper is daardoor veel minder uitgesproken. Ter illustratie: bij een temperatuur van -40°C betekent een drukval van 0,1 bar een

temperatuurverschil van 2,5K voor NH₃ en van 0,15K voor CO₂. Per graad temperatuurverschil neemt het energieverbruik met circa 5% toe.

NH₃/CO₂-installaties

In de huidige toepassingen wordt gebruikgemaakt van twee koudemiddelen. CO₂ wordt vanwege de hoge druk alleen in het lagetemperatuurdeel (< circa -10°C) toegepast. In het hogetemperatuurdeel wordt bij voorkeur gebruik gemaakt van NH₃.

Er bestaat onderscheid tussen een direct systeem (figuur 1a) en een indirect systeem (figuur 1b). In verreweg de meeste gevallen wordt gekozen voor een direct NH₃/CO₂-cascadesysteem, met compressoren in het CO₂-deel. De cascadecondensor (zie foto) vormt de verbinding tussen het hogetemperatuurdeel (NH₃) en het lagetemperatuurdeel (CO₂). Vanuit de CO₂-afscheider transporteren pompen de CO₂-vloeistof naar de koelers. In de koelers verdampt een deel van de vloeibare CO₂ en slotsteert keert het mengsel van damp en vloeistof terug in de CO₂-afscheider.

Bij een indirect systeem (figuur 1b) ontbreekt de compressiestap in het CO₂-deel. CO₂ is hier de verdampende koudedragers en het CO₂-deel blijft olievrij.

Ter illustratie zijn indicatieve temperaturen in de schema's opgenomen. Om de koudemiddelvulling zo veel mogelijk te beperken is de cascadecondensor uitgevoerd als een compacte warmtewisselaar. Vaak wordt uit een oogpunt van energieefficiency het warmteoverdragend oppervlak zó groot gekozen dat er slechts een gering temperatuurverschil (circa 3K) tussen NH₃ en CO₂ optreedt.

Milieuaspecten

De broeikasgasemissie is een optelsom van de directe emissie (de lekka-

De cascadecondensor vormt de verbinding tussen het hogetemperatuurdeel (NH₃) en het lagetemperatuurdeel (CO₂).



Tabel 2 Ondersteunde projecten platenvriezers

Bedrijf	Project	Stand van zaken februari 2003
TNO-MEP	Onderzoek prestaties CO ₂ -platenvriezer	Evaluatiefase
Polskamp Meat (zie ook tabel 1)	Demonstratieproject CO ₂ - koel- en vriesinstallatie met horizontale platenvriezer	Doorgaan hangt af van resultaat bij TNO
Grenco	Testinstallatie verticale CO ₂ - platenvriezers met CO ₂ -ontdooisysteem	Onderzoek loopt nog
Ardo	Ombouw bestaande NH ₃ -platenvriezers naar CO ₂ -platenvriezer	Moet nog starten

ge van het koudemiddel) en de indirecte emissie, die samenhangt met het energieverbruik van de installatie. Synthetische koudemiddelen zijn sterke broeikasgassen, die door lekkages in grote hoeveelheden in de atmosfeer terecht komen. Het energieverbruik van een NH₃/CO₂-cascadesysteem ligt al gauw 10 à 15% lager dan dat van een systeem met synthetische koudemiddelen. Het volgende voorbeeld kan de milieuaspecten van de keuze voor NH₃/CO₂-systemen illustreren.

Voor een vrieshuis met een installatie die een koelvermogen van 700 kW heeft en een inhoud van 2 ton HFK-507 bij een bedrijfstijd van 4.000 uur, bedraagt de directe emissie als gevolg van lekkages 0,38 kton CO₂-equivalenten. De indirecte emissie komt jaarlijks uit op 1,06 kton CO₂. De totale emissie bedraagt dus jaarlijks 1,44 kton.

Bij een NH₃/CO₂-systeem in directe emissie als gevolg van lekkages te verwaarlozen vanwege de lage GWP waarde (0 voor NH₃ en 1 voor CO₂). Bij een 15% hogere efficiency bedraagt de indirecte emissie jaarlijks 0,90 kton CO₂. De totale emissie bedraagt daarmee jaarlijks 0,90 kton, circa 40% minder dan bij gebruik van R507.

Het NH₃/CO₂-cascadesysteem heeft ten opzichte van ammoniakinstallaties overigens geen lagere CO₂-emissie, omdat het rendement ongeveer gelijk is.

Toenemend gebruik

De toepassing van CO₂ heeft in korte tijd een grote vlucht genomen. Eind 2002 waren 14 gesubsidieerde installaties gerealiseerd of in aanbouw (tabel 1). Het gaat hierbij om industriële koelinstallaties en een systeem op een trawler, met een koelcapaciteit die varieert van ca. 500 kW tot 4.500 kW.

De nieuwe koelinstallaties met CO₂ zijn vooral gericht op gebruik in grote vrieshuizen van distributiebedrijven en in de voedingsmiddelenindustrie, maar ook in productieprocessen (invriestunnels) wordt deze technologie aangewend, evenals in enkele koelhuizen.

De ervaringen van gebruikers zijn positief. Vanwege de kleinere compressoren en gasleidingen neemt de installatie weinig ruimte in beslag. Het personeel heeft er minder omkijken naar en de onderhoudskosten zijn vergelijkbaar met die van een NH₃-installatie met een overeenkomstige capaciteit. In vergelijking tot synthetische koudemiddelen is bovendien, zoals gezegd, sprake van een substantiële energiebesparing.

Exploitatiekosten

In de kostenbeschouwing moeten naast de aanvankelijke investeringen ook de jaarlijkse energie- en onderhoudskosten worden meegeteld. Daarnaast dient rekening te worden gehouden met het effect van de stimuleringsregeling. De toepassing van het NH₃/CO₂-systeem kent bovendien, op grond van de Energie Investerings Aftrek (EIA), een fiscaal voordeel ter grootte van 10% van de investering in het CO₂-deel.

NH₃/CO₂ versus HFK's

Ten opzichte van installaties met synthetische koudemiddelen bedraagt de meerinvestering van een NH₃/CO₂-cascadesysteem circa 20-50%, afhankelijk van het koelvermogen, het synthetisch koudemiddel en de uitvoering van de referentiesituatie.

Daar staat tegenover dat het energieverbruik van een NH₃/CO₂-cascadesysteem al snel 15% lager uitkomt. Ook in onderhoud is het systeem voordeliger. De terugverdientijd is doorgaans minder dan vijf jaar en de levensduur van industriële koelinstallaties is lang, 20 à 25 jaar, waardoor investeren in een NH₃/CO₂-installatie nog aantrekkelijker wordt.

NH₃/CO₂ versus NH₃

In vergelijking tot installaties met ammoniak pakken de investeringskosten iets hoger uit. Het rendement is bij verdampingstemperaturen van -30 tot -35°C vergelijkbaar, maar bij hogere temperaturen is dat van ammoniakinstallaties groter. De exploitatiekosten ontlopen elkaar niet veel, al zal ammoniak vaak iets goedkoper zijn. Een belangrijk aspect is echter de systeeminhoud. Deze

dient zo klein mogelijk te zijn, en bij toepassing van alleen ammoniak moet de voorschreven afstand tot woongebieden gerespecteerd worden [2].

Andere CO₂-toepassingen

Voor grote vrieshuizen en invriestunnels heeft de toepassing van NH₃/CO₂-systemen haar nut inmiddels bewezen. Er bestaat echter een groot potentieel voor CO₂-toepassing in nog een ander invriesproces, dat van de platenvriezer. Ook in andere sectoren, bij hogere temperatuurniveaus (-15 tot -5°C), kan CO₂ goede diensten bewijzen als (verdampende) koudedragers.

Platenvriezers

In de voedingsmiddelenindustrie wordt de platenvriezer veel gebruikt. De meeste installaties werken nu met NH₃, maar er zijn ook nog platenvriezers die gebruikmaken van R22. Een grote leverancier heeft speciale CO₂-platenvriezers ontwikkeld, die nu door TNO worden getest. Bij goede resultaten zal het vleesverwerkingsbedrijf Polskamp overgaan tot de installatie van horizontale CO₂-platenvriezers. Grenco onderzoekt intussen ontdooisystemen voor platenvriezers. In tabel 2 zijn de gesubsidieerde projecten op een rij gezet.

Supermarkten

Voor de koeling in supermarkten zijn aanmerkelijk kleinere vermogens nodig dan in de industrie. Er is een Good Practice Guidance voor supermarkten in de maak, die al in de ontwerpfasen van een nieuwe koelinstallatie een optimale keuze mogelijk moet maken. Uit de analyses die in dit verband zijn uitgevoerd, volgt onder meer dat voor de megasupermarkt het koudemiddel NH₃, in combinatie met propyleenglycol als koudedragers, aantrekkelijker is dan de standaard koelinstallatie met HFK's, met name vanwege de lagere exploitatiekosten en de verminderde broeikasgasemissie. Bij toepassing van een indirect systeem is de NH₃-inhoud altijd kleiner dan 200 kg en alléén in de machinekamer aanwezig, zodat de nieuwe regelgeving ten aanzien van de nabijheid tot woongebieden niet van toepassing is.

In vergelijking met traditionele koudedragers als glycol en zouten heeft de verdampende koudedragers CO₂ energetisch gezien voordelen, in de vorm van kleine debieten, het uitblijven van opwarming en een goede warmteoverdracht. In onder meer Scandinavië en Frankrijk wordt CO₂-koeling inmiddels in supermarkten toegepast. ■

Referenties

1. Koudemiddelgebruik in Nederland, Nationaal Onderzoek Koudemiddelstromen (NOKS) over 1999, STEK, 2002, De Baedts, E. e.a.
2. Ontwerpbesluit kwaliteitseisen voor externe veiligheid van inrichtingen, Staatscourant nr. 38, 22 februari 2002.