

Wjbenga info sheet 2:

Veilig werken met CO₂

1. INLEIDING

De afgelopen jaren zijn er veel installaties gebouwd met CO₂ als koudemiddel. Met name industriële koude-installaties, maar de laatste jaren ook steeds meer in de commerciële,- en klein koeling. Naast de technische aspecten bij de realisatie van deze installaties speelt ook de veiligheid een grote rol.

Veiligheid is de mate van afwezigheid van potentiële oorzaken van een gevaarlijke situatie of de mate van aanwezigheid van beschermde maatregelen tegen deze potentiële oorzaken. Er zijn een aantal punten die aandacht verdienen wanneer kooldioxide gebruikt wordt als koudemiddel. Wanneer deze punten in acht worden genomen tijdens ontwerp, bouw, inbedrijfstelling en de bedrijfsperiode van de installatie dan kan CO₂ veilig en succesvol als koudemiddel worden ingezet.

2. EIGENSCHAPPEN CO₂

Koolstofdioxide (ook bekend onder de namen koolzuur, kooldioxide of R744) is een molecuul dat uit één koolstof en twee zuurstofatomen wordt samengesteld. De chemische formule CO₂ wordt meestal gebruikt om koolstofdioxide aan te duiden. Ook wordt vaak de term koolzuur gebruikt, feitelijk is dat onjuist omdat koolzuur eigenlijk een andere benaming is voor waterstofcarbonaat, dat ontstaat door toevoeging van CO₂ aan water. CO₂ is een natuurlijke stof waarvan de concentratie in onze lucht ca 0,04% (400 ppm) bedraagt. De MAC (Maximaal Aanvaardbare Concentratie) waarde bedraagt 5.000 ppm. In de gasvormige fase is CO₂ circa 1,5 maal zwaarder dan lucht. Als koudemiddel (R744) is CO₂ geclassificeerd als niet giftig, niet corrosief, heeft een ODP (ozone depletion potential) van 0 en een GWP (global warming potential) van 1.

Onder 5,2 bar (-55°C), het trippe punt, gaat vloeibaar CO₂ over in vaste stof (koolzuursneeuw). Komt de druk weer boven deze waarde dan zal de vaste stof direct weer overgaan in vloeistof. Het volume van vast kooldioxide is kleiner dan van de vloeistof, hierdoor is er geen gevaar dat componenten of leidingen deformeren door uitzetting. Boven 73,5 bar (+31°C), het kritische punt, is er geen vloeistoffase van CO₂ meer mogelijk. Transkritische installaties operen in dit gebied.

3. ONTWERP VAN CO₂ INSTALLATIES

CO₂ installaties zijn in drie groepen te verdelen, te weten:

- Subkritische systemen met CO₂ als koudemiddel met compressie
- Subkritische systemen met CO₂ als koudedragers zonder compressie (brine)
- Transkritische compressie systemen

De ontwerpdrukken van CO₂ systemen liggen bij subkritische koel,- en vriessystemen, afhankelijk van het ontwerp, tussen de 25 en 64 bar. Bij transkritische systemen worden ontwerpdrukken tot 120 bar gehanteerd. Voor het ontwerp dient rekening gehouden te worden met de EN-378 voor koelinstallaties en warmtepompen, de CE-PED en de eventuele Algemene Plaatselijke Verordeningen (APV). Wanneer in het primaire systeem

gebruik gemaakt wordt van een ander koudemiddel, bijvoorbeeld NH₃ of een synthetisch koudemiddel, dan gelden daarvoor meestal nog aanvullende regels.

Over het ontwerp van CO₂ installaties is meer te vinden in de IOR Veiligheidsrichtlijn voor CO₂ waarvan een Nederlandse vertaling verkrijgbaar is bij Wibenga B.V.

In deze richtlijn wordt aandacht besteed aan veiligheid en lekkages.

Daarnaast is sinds 2013 de Nederlandse Praktijkrichtlijn 7601, toepassing van kooldioxide als koudemiddel in koelsystemen en warmtepompen, beschikbaar bij de NVKL en het Nederlands normalisatie instituut.

4. DE INVLOED VAN EEN VERHOOGDE CO₂ CONCENTRATIE OP HET MENSELIJK LICHAAM.

Wanneer de meest gangbare koudemiddelen worden beschouwd zijn er, wat betreft de invloed op het menselijk lichaam en de veiligheid, een aantal elementaire verschillen.

- NH₃ (R717) Sterk ruikend en giftig.
- CFK, HFK Reuk en smaakloos en bij kortstondige blootstelling niet giftig.
- Koolwaterstoffen Brandbaar / Explosief
- CO₂ (R744) Reuk en smaakloos, heeft in hoge concentraties een directe invloed op de ademhaling

Er is een onderscheid tussen zuurstofgebrek en een verhoogde concentratie CO₂ in de atmosfeer. Vermindering van het bewustzijn als gevolg van zuurstofgebrek (onder de 15%) vindt vaak plaats

zonder dat de betrokken personen dit opvalt. Bij een percentage van ca 10% zuurstof kan opeens

bewusteloosheid optreden. Beneden de 6 tot 8% zuurstof treedt de dood binnen enkele minuten in, tenzij dit proces tijdig door beademing kan worden omgekeerd. Slechts twee keer inademen in een zuurstofloze atmosfeer veroorzaakt direct bewusteloosheid waarna de dood zeer snel kan intreden. Om deze reden zijn halogenen als blusmiddel bij brand ook niet meer toegestaan.

Om de invloed van CO₂ op onze ademhaling te begrijpen zal eerst het principe van onze ademhaling worden toegelicht. Normaal gesproken bevat onze ingeademde lucht 21% zuurstof en 0,04% kooldioxide en de uitgeademde lucht 17% zuurstof en 4% kooldioxide. Het lichaam neemt dus zuurstof op en geeft kooldioxide af. De mate waarin dit gebeurt wordt geregeld aan de hand van onze pH. Voor het goed functioneren van diverse functies van het lichaam (oa. de hersenfunctie) is het essentieel dat de pH (zuurgraad) van ons lichaam binnen zeer nauwe grenzen stabiel is (de normale pH bedraagt 7,4). De gevolgen van de verandering van de pH zijn een metabole acidose (pH < 7,35) of een respiratoire alkalose (pH > 7,45). Om de zuurgraad van het bloed binnen deze nauwe grenzen te houden heeft het lichaam twee belangrijke middelen tot zijn beschikking. De snelle methode is het aanpassen van de ademhaling. Door sneller te ademen stijgt de zuurgraad van het bloed en door langzamer te ademen daalt de zuurgraad. De langzame methode gaat via de nieren.

De uitwisseling van CO₂ door ademhaling is afhankelijk van het partiële drukverschil. De druk van onze omgeving wordt gevormd door de afzonderlijke partiële drukken van zijn componenten (met name stikstof, zuurstof, argon en kooldioxide). Bij een atmosferische druk van 760mm Hg en een concentratie van 0,04% CO₂ is de partiële druk 0,0004 x

760 mm Hg = 0,3 mm Hg. In onze bloedsomloop neemt de hoeveelheid kooldioxide toe wat resulteert in een toename van de partiële druk tot uiteindelijk 40 mm Hg in de haarvaten van onze longblaasjes (alveolen). Hierdoor ontstaat er een drukverschil tussen de ingeademde lucht enerzijds en de haarvaten anderzijds en zal er door de capillaire werking van onze longen kooldioxide worden afgegeven aan de ingeademde lucht. Met betrekking tot zuurstof werkt het mechanisme andersom. De partiële druk van de ingeademde lucht is hoger dan de partiële druk in de haarvaten waardoor zuurstof wordt opgenomen.

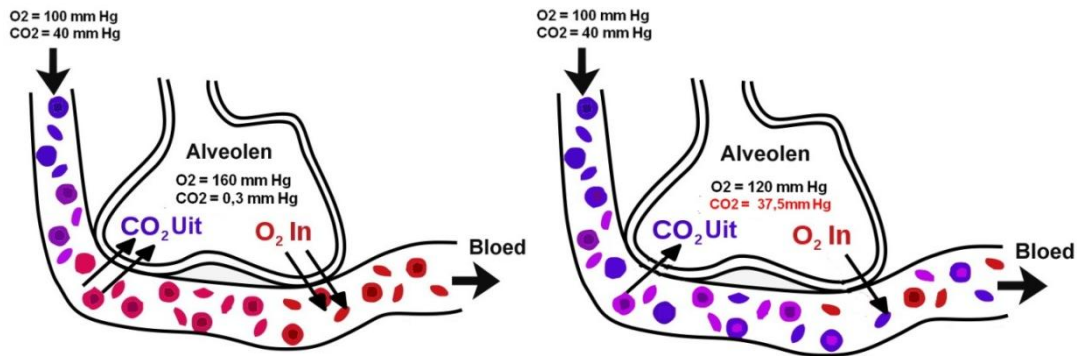


Fig 1. Partieel drukverschil bij normale atmosfeer Fig 2. Partieel drukverschil bij een verhoogde CO₂ concentratie.

Stijgt de concentratie kooldioxide in onze omgeving naar 5% (50.000 ppm) dan zal de partiële dampdruk 37,5 mm Hg bedragen. De kooldioxide kan het lichaam moeilijk verlaten wat op zijn beurt resulteert in een toenemende zuurgraad (Ph daalt). Het lichaam reageert hier onmiddellijk op door de ademhaling te versnellen met het doel de zuurgraad weer in evenwicht te brengen. Deze tekenen (zwaardere ademhaling, drukkend gevoel op de borst, hoofdpijn) zijn herkenbaar en dienen als een duidelijke waarschuwing.

Een verhoogde concentratie synthetisch koudemiddel levert weliswaar een lagere zuurstofconcentratie op maar het lichaam reageert hier anders op. De ademhaling wordt immers aangepast aan de zuurgraad, niet aan het zuurstofniveau. In tabel 1 staan de effecten van de verschillende kooldioxide niveaus op het menselijk lichaam.

CO ₂ %	O ₂ %	N ₂ %	Invloed op het menselijk organisme.
0,04	21	79	Het natuurlijke aandeel in de lucht.
0,5	20,9	78,6	5000ppm = MAC-waarde.
tot 2,5	20,5	77	Toename van het ademvolume 50 tot 100%.
2,5-4	20,5-20,2	77-75,8	Versterkte en verdiepte ademhaling. Na 30 tot 60 minuten blootstelling: hoofdpijn, hartkloppingen, verhoging van de polsslag, opwinding, duizeligheid en neiging tot flauwte.
4-7	20,2-19,5	75,8-73,5	Toename van het ademvolume tot 300%. Vergiftigingsverschijnselen na 30 minuten. Hoofdpijn, duizeligheid, zweten.
7-10	19,5-18,9	73,5-71,1	Ernstige ademnood; bewusteloosheid treedt snel in. Overlading van het bloed door CO ₂ , met dodelijke afloop binnen vier uur.
10-20	18,9-16,8	71,1-63,2	Verlamming van levensbelangrijke centra binnen seconden.
>20	<16,8	<63,2	Snel intredende dood.

(O₂- en N₂-afname in een verhouding van 1:4)

Tabel 1. Effecten van kooldioxide niveaus op het menselijk lichaam (bron: Linde Gas).

Om (levens)bedreigende niveaus van CO₂ te krijgen moet er in één keer heel veel CO₂ kunnen ontsnappen. Daarnaast is CO₂ ca 1,5 x zwaarder dan lucht waardoor de hoogste concentratie, soms zichtbaar als een witte deken, laag bij de grond aanwezig zal zijn. Het is zaak bij (zichtbare) lekkages niet te bukken en op te passen bij het betreden van lager gelegen of gesloten ruimten. Na blootstelling aan een hoge concentratie CO₂ is frisse lucht de beste remedie, het lichaam zal snel de overtollige kooldioxide afvoeren. Wanneer er sprake is van bewusteloosheid zullen uiteraard andere maatregelen genomen moeten worden. Het is goed om bedrijfshulpverleners (BHV) bij bedrijven met een CO₂ installatie van de verschijnselen van kooldioxide vergiftiging op de hoogte te brengen en een noodplan op te stellen.

Het voorgaande moet niet verward worden met de bekende koolmonoxide (CO) vergiftiging door onvolledige verbranding, wat iets heel anders is en een langdurige negatief effect heeft op het menselijk lichaam.

5. MAATREGELEN TER VOORKOMING VAN CO₂ VERGIFTIGING

Om CO₂ vergiftiging te voorkomen moeten de machinekamer en ruimtes waar mensen werken uitgevoerd worden met een CO₂ detectie en signalering. Detectie punten moeten laag bij de grond geplaatst worden. Wat betreft de regels rondom CO₂ detectie en de niveaus bestaan er een tweetal richtlijnen.

NPR 7601 - 2013

Alarmeringswaarden:

Detectiesystemen voor koudemiddelen behoren te worden geïnstalleerd in machinekamers voor koudemiddelen met ODP > 0 of GWP > 0 indien de systeemvulling meer dan 25 kg is (NEN-EN 378-3+A2).

Het detectiesysteem behoort te zijn voorzien van een laag en een hoog niveau. Het lage niveau behoort een concentratie van 9 000 mg/m₃ (wettelijke grenswaarde) of lager te kunnen waarnemen. Het hoge niveau behoort een concentratie van 50 000 mg/m₃ (AGW) of lager, afhankelijk van de risicoanalyse, te kunnen waarnemen.

Locatie van detectoren:

Omdat kooldioxide zwaarder is dan lucht behoren detectoren op laagste punten en dicht bij de grond te worden geplaatst.

Aantal detectoren:

Ten minstens één detector behoort dicht bij de grond te worden geïnstalleerd in elke machinekamer of beschouwde verblijfsruimte en/of in de laagste ondergrondse ruimte.

EN 378:

Gasdetectie is verplicht bij een vulling van meer dan 25 kg. De maximale alarmwaarde bedraagt 19.500 ppm

RICHTLIJN "IOR Veiligheidsrichtlijn voor CO₂":

Gasdetectie wordt in de machinekamer en de procesruimte waarin CO₂ gebruikt wordt aanbevolen .

Aanbevolen alarmwaarden:

- Vooralarm: 5.000 ppm
- Hoofdalarm: 10.000 ppm

Eventuele afzuiging dient eveneens bij de grond plaats te vinden. Daarnaast is het voor onderhouds,- en bedieningspersoneel aan te raden een persoonlijke CO₂ detector te dragen tijdens de werkzaamheden aan de installatie. Het is aan te bevelen daarnaast ook een O₂ detector te dragen. Het alleen werken aan de installatie in besloten ruimtes of op tussenplafonds kan zeer risicovol zijn en moet worden voorkomen.



Fig 3. Een CO₂ lekkage naar de atmosfeer

6. INTERNE LEKKAGES TUSSEN DE VERSCHILLENDE KOUEMIDDELEN

Naast lekkages naar de omgeving kunnen er ook lekkages binnen de installatie plaatsvinden. Er ontstaan bij een interne lekkage dan wel geen directe gevaren voor de mens maar de gevolgen voor de installatie kunnen verstrekkend zijn. Bij een lekkage tussen CO₂ en een ander koudemiddel zal er in de meeste gevallen CO₂ naar de andere zijde lekken (van hoge druk naar lage druk).

Wanneer er primair gebruik gemaakt wordt van een synthetisch koudemiddel zal er een nieuw "koudemiddel" worden gevormd. Dit is herkenbaar aan uitval op hoge druk, het niet meer in overeenstemming zijn van de verzadigingstemperatuur met de bijbehorende druk en een teruglopende capaciteit. Het nieuwe mengsel is niet eenvoudig meer te scheiden en afvoer en vervanging van het primaire koudemiddel is de enige remedie.

Wanneer CO₂ zich vermengt met NH₃ ontstaat er ammoniumcarbonaat dat zich als een wit zout in de NH₃ installatie afzet. Ventielen kunnen blokkeren, filters in het NH₃ systeem raken verstopt en de capaciteit loopt terug door blokkades in het leidingsysteem. In het geval van een grote lekkage moeten de NH₃ en de olie afgevoerd worden en zal het NH₃ systeem inwendig gespoeld moeten worden. In sommige gevallen is dit mogelijk door verwarming, waardoor het zout weer uiteenvalt. In extreme gevallen zal het systeem gespoeld moeten worden met water.



Fig 4. Gevolgen van een CO₂/NH₃ lekkage

De zouten gevormd door NH₃ en CO₂ tasten koolstofstaal, gietstaal en roestvrijstaal niet aan (bron Stork FDO). De secundaire (CO₂) zijde van de installatie zal in de meeste gevallen niet aangetast worden aangezien de druk hier meestal hoger is dan aan de primaire zijde.

Om eventuele risico's op vervolgschade te beperken kan al in de ontwerpfase gekozen worden voor het opsplitsen van het primaire systeem in 2 of meer afzonderlijke circuits. Iets wat tot op heden al enkele keren is voorgeschreven in het bestek.

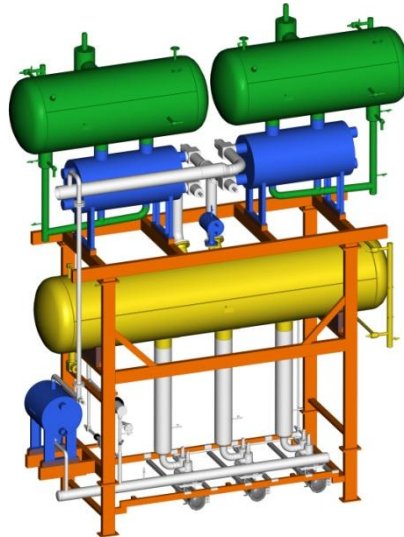


Fig 5. Opsplitsing primair systeem in twee circuits

7. GEVAREN DOOR VLOEISTOFINSLUITING

Vloeistofinsluiting kan ontstaan door service werkzaamheden of ontwerpfouten. Ingesloten vloeistof neemt warmte op uit de omgeving waardoor het volume toeneemt. Deze toename geeft een drukverhoging die kan resulteren in vervorming of scheuren van leidingen of componenten. De volumetoename (thermische uitzettingscoëfficiënt) is bij CO₂ ca. 4 x groter dan bij NH₃. Vloeistofhoudende delen die ingeblokt kunnen raken moeten voorzien worden van een tegendruk onafhankelijk ontlastorgaan dat is uitgelegd op de maximale werkdruk. Bij service werkzaamheden moet altijd eerst de vloeistof worden verwijderd waarna het deel ingeblokt mag worden.

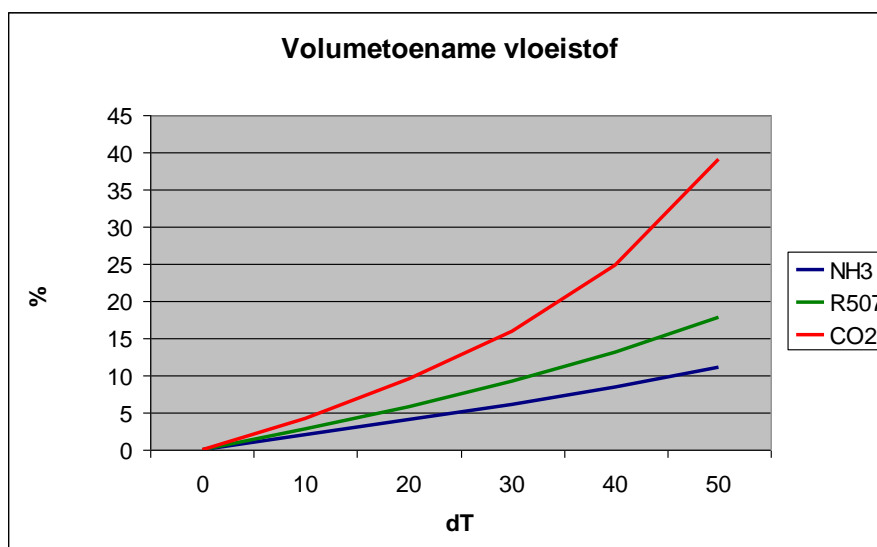


Fig. 6 Volumetoename van vloeistof

8. ONGEWENSTE DRUKSTIJGING BIJ STILSTAND

Door een stroomstoring, tijdelijke uitbedrijfname of machinebreuk kan een installatie (ongewenst) stil komen te staan. Wanneer er onvoldoende opslag van koude in het product aanwezig is (vriescel) zal de temperatuur van de CO₂ oplopen en kan de maximale ontwerpdruk van de installatie worden overschreden en door de veerveiligheid CO₂ worden afgeblazen. Om dit tegen te gaan kan de installatie worden uitgevoerd met een noodkoeling. Deze noodkoeling bestaat uit een spiraal of kleine warmtewisselaar in de gasruimte van het CO₂ vloeistofvat of afscheider en is aangesloten op een separate koelunit werkend met bijvoorbeeld propaan. Eventueel kan deze noodkoeling worden aangesloten op een noodaggregaat zodat ook bij stroomuitval de werking gegarandeerd kan worden. Over het algemeen kan volstaan worden met een noodkoelvermogen tussen de 1 en 3 kW, afhankelijk van de instraling die afgevoerd moet worden.

9. VOCHT

Het verleden heeft geleerd dat het merendeel van de storingen aan CO₂ installaties veroorzaakt worden door water (ijs) in het systeem. Het besef dat een CO₂ koelsysteem en water slecht samengaan is ondertussen bij de meesten doorgedrongen. Er zal hier verder niet worden ingegaan op de gevolgen van vocht maar wel op het voorkomen van vocht tijdens de diverse fasen van de totstandkoming van de installatie. Om een goede werking te garanderen mag het watergehalte in de CO₂ niet boven de 10 ppm liggen. Deze waarde is ondertussen ook terug te vinden op diverse specificatie bladen van R744 van de gassenleveranciers. De CO₂ in de bulk van de gassenleverancier voldoet meestal aan deze eis. Wat er uiteindelijk in de CO₂ installatie terecht komt is in veel gevallen niet bekend. In de diverse schakels is in het verleden nogal eens wat misgegaan of bijna misgegaan. Vulslangen worden tijdens het gebruik koud. Na het afkoppelen condenseert er water in de koude slang. Wordt de slang na het vullen niet verwarmd en gedroogd dan bestaat het gevaar dat bij een volgende vulling water in het systeem komt.



Fig. 7 Water in een vulslang

Het verdient de aanbeveling te vullen over een filter/droger. Deze moet standaard in elke CO₂ installatie aanwezig zijn en dient voldoende groot geselecteerd te zijn. Na het vullen moeten de drogerstenen voor de eerste maal vervangen worden.

Tijdens de bouw van de installatie moet er behalve schoon ook droog worden gebouwd. Worden er koude ruimten aangekoppeld dan moet er altijd van de warme naar de koude ruimte geïnstalleerd worden. Leidingdelen en appendages in koude ruimten of buitenopstelling moeten zolang mogelijk afgedopt blijven om het condenseren van vocht hierin te voorkomen.

Na de bouw dient zorgvuldig gevacumeerd te worden, waarbij in acht genomen moet worden dat vacumeren niet altijd drogen is. Minimaal dienen de (oude) STEK regels gehanteerd te worden. Het vacumeren dient rustig te verlopen zodat het water de tijd heeft om te verdampen (eventueel moet warmte worden ingebracht). Breken van het vacuüm dient te gebeuren met droge stikstof.

10. SLOTWOORD

Bij veiligheid wordt snel gedacht aan de directe gevaren voor de mens. Deze gevaren kunnen ook indirect ontstaan, klimaatverandering vormt een serieuze bedreiging voor onze veiligheid. Hierdoor zal in de toekomst het ethische aspect van de installatiekeuze steeds zwaarder gaan wegen. Gelukkig maakt het huidige beleid de keuze voor natuurlijke koudemiddelen als NH₃ en CO₂ een stuk eenvoudiger.

Binnen de industriële koudetechniek speelt duurzaamheid een steeds grotere rol, het gebruik van synthetische koudemiddelen past moeilijk binnen deze visie. De nieuwste synthetische koudemiddelen hebben meestal nog steeds een aanzienlijke GWP en zullen zeer waarschijnlijk, binnen niet al te lange tijd, ook worden uitgefaseerd. Het aantal toepassingen van CO₂ wordt steeds breder en CO₂ heeft ondertussen bewezen een goed en veilig alternatief te zijn. Het aantal installaties dat ondertussen succesvol in bedrijf is genomen is hiervan het bewijs.

Versie 2, 19-10-2013 JS