

# Transkritische CO<sub>2</sub>-klimaatinstallatie voor kaasopslag

Bij kaasboerderij 'De Groote Voort' wordt de opslagruimte sinds kort gekoeld en verwarmd met CO<sub>2</sub> - een unicum binnen de kaassector. De transkritische CO<sub>2</sub>-klimaatinstallatie is tot stand gekomen vanuit een Innovatie Prestatie Contract waarin MKB-bedrijven onder begeleiding van een penvoerder (in dit geval de KNVvK) samenwerken en waarbij innovatie, samenwerking en kennisoverdracht centraal staan.

**D**it Innovatie Prestatie Contract is een initiatief van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, die deze samenwerking afhankelijk van een aantal voorwaarden belooft met een subsidie. In dit geval ging het om het ontwerpen en installeren van een koelinstallatie met het natuurlijke koudemiddel CO<sub>2</sub> die gebruikt wordt voor de rijping en opslag van natuurkorstkaas. Kaasboerderij Remeker in Lunteren was hierin geïnteresseerd. De eigenaar, Jan Dirk van de Voort, is vooruitstrevend op het gebied van innovatie en het gebruik van natuurlijke en/of herbruikbare materialen. Hij vond in PS Koeltechniek & Klimaatbeheersing de ideale partner om dit project te realiseren, mede door het feit dat ing. Nico Doorn, project engineer van het in Deventer gevestigde koeltechnische installatiebedrijf, in de geconditioneerde kaasopslag een uitstekende nationale en internationale reputatie heeft opgebouwd. De gewenste natuurlijke rijping van natuurkorstkazen in de proeftuin van De Groote Voort/Remeker wordt gerealiseerd met een zeer hoge luchtvochtigheid en milde luchtbeweging, met gebruikmaking van natuurlijke processen en materialen en door optimalisatie van economische impact.

## Doelstelling

De doelstelling was om een CO<sub>2</sub>-transkritisch koelsysteem te bouwen dat qua werking identiek zou zijn aan een conventionele HFK-installatie. Bekend is dat PS Koeltechniek & Klimaatbeheersing veel kennis en ervaring heeft in het ontwerpen, leveren en installeren van NH<sub>3</sub>/CO<sub>2</sub>-pompsystemen, maar bij de start van dit project was het bedrijf in mindere mate vertrouwd met CO<sub>2</sub>-transkritische koelinstallaties. Nu de installatie inmiddels geruime tijd in bedrijf is en zijn functionaliteit heeft bewezen, loopt de onderneming echter voorop op dit gebied.



Niels Wesselink (links) en ing. Nico Doorn (rechts) van PS Koeltechniek & Klimaatbeheersing.

## Waarom CO<sub>2</sub>?

CO<sub>2</sub> is uit oogpunt van milieu en veiligheid een natuurlijk en duurzaam koudemiddel met hoge volumetrische capaciteit, hoge persgastemperaturen en drukken en met een efficiënte warmteoverdracht. Het wordt al geruime tijd toegepast in supermarktinstallaties, in de industrie en voedingsdetailhandel. Het tast bij eventuele lekkage de ozonlaag niet aan en heeft in vergelijking met traditionele HFK-koudemiddelen tot 4.000 keer minder invloed op de opwarming van de aarde (broeikas effect). Omdat CO<sub>2</sub> reukloos is, zwaarder is dan lucht en lucht



De compact samengebouwde CO<sub>2</sub>-installatie met op de achtergrond de gaskoeler.

verdringt vanaf het laagste niveau, wordt er vanwege de veiligheid detectieapparatuur geïnstalleerd. In transkritische modus is het een uitstekend koudemiddel voor het verwarmen van tapwater, het biedt een hoog rendement in warmteterugwinning en heeft een laag energiegebruik. Ook in subkritische modus is het warme gas uitstekend te gebruiken voor het verwarmen van de lucht in de luchtbehandelingskast. Gelijktijdig koelen en verwarmen munt dan uit in hoge efficiëntie. De eigenschappen van CO<sub>2</sub> hebben tot gevolg dat vanwege het geringe slagvolume de compressoren, leidingdiameters en warmtewisselaars kleiner zijn in vergelijking met HFK-installaties. Normale materiaalsoorten blijven gewoon toepasbaar. Wel worden door de hoge

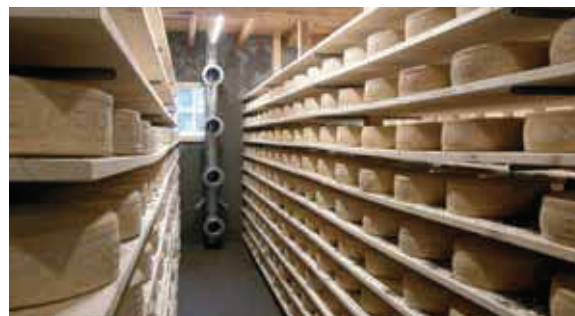
re druk speciaal hiervoor ontworpen compressoren toegepast.

### Kritische temperatuur CO<sub>2</sub>

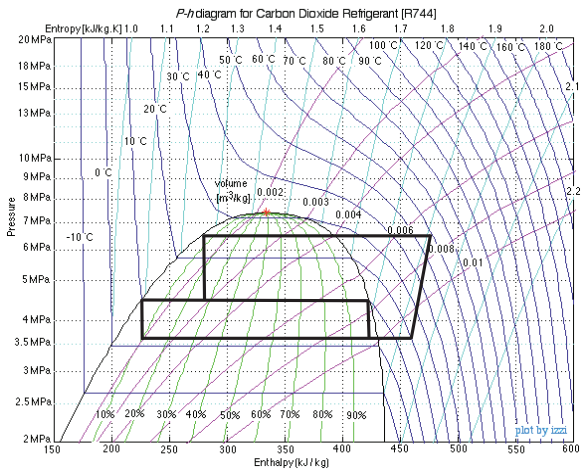
De kritische temperatuur van CO<sub>2</sub> is met 31,1°C relatief laag. Dit betekent dat het niet mogelijk is om bij temperaturen hoger dan deze kritische temperatuur het koudemiddel vloeibaar te maken. Gezien de luchttemperaturen, welke in Nederland optreden gemiddeld variëren tussen -10°C in de winter en +35°C in de zomer, zal het compressieproces bij omgevingtemperaturen bij hogere temperaturen zogenaamd transkritisch (zie Log p-h diagram CO<sub>2</sub> transkritisch) verlopen. Het vloeibaar maken verloopt dan in twee fasen, in eerste instantie zal mid-

## FYSISCHE EIGENSCHAPPEN VAN CO<sub>2</sub>

Moleculair gewicht (kg/kmol): 44,01  
 Dichtheid gas (kg/m<sup>3</sup> bij 1,013 bar en 0°C): 1,977  
 Dichtheid vloeistof (bij -20°C) (kg/dm<sup>3</sup>): 1,03  
 Relatieve dichtheid (lucht = 1 bij 0°C) (-): 1,529  
 Sublimatiepunt (°C) (K): -78,5 respectievelijk 194,7  
 Kritische temperatuur (°C) (K): 31,1 respectievelijk 304,2  
 Dampdruk bar bij -20°C): 19,7



Kaasopslag met luchtuitblaassysteem op vier niveau's tussen de stellingen

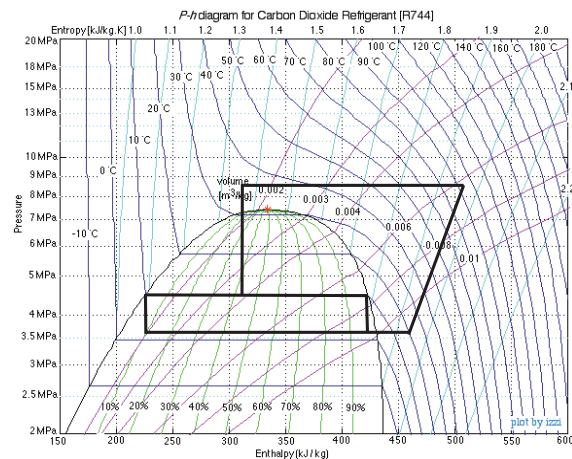


Subkritische kringloop, persdruk 67 bar, tussendruk 45 bar, zuigdruk 37 bar.

dels een gaskoeler de CO<sub>2</sub>-damp teruggekoeld worden, waarna via drukverlaging de vloeibare fase weer wordt verkregen. Afhankelijk van het ontwerp en de optredende omgevingstemperatuur zal bij +35°C de druk wel 90 bar bedragen. Dit zijn wezenlijk andere drukken dan die optreden (25 bar) aan de hogedrukzijde van een HFK-installatie. Gedurende een groot gedeelte van het jaar kan het proces wel subkritisch (zie Log p-h diagram CO<sub>2</sub> sub-kritisch) verlopen waarbij de kringloop vergelijkbaar is met die van de traditionele koudemiddelen.

### Opslagcapaciteit kaas

De totale opslagcapaciteit bedraagt 6.000 natuurkorstkazen die verdeeld zijn over begane grond met 3.500 stuks en op de verdieping met 2.500 stuks. Het gewicht van elke kaas bedraagt bij begin van



Transkritische kringloop, persdruk 86 bar, tussendruk 45 bar, zuigdruk 37 bar.

de opslag circa 12 kg. De kazen worden geconditioneerd tijdens het rijpingsproces door handhaven van een luchtconditie van 16°C en 90% RV. Het terugverdienmodel voor deze investering wordt bepaald door de beperking van het gewichtsverlies en de kwaliteit van de kaas.

### Warmteproductie en bevochtiging

De ventilator in de LBK zorgt echter altijd voor warmte-inbreng in de ruimte, en ook metabolisme in de kazen zorgt voor warmteproductie, hoeveel is niet bekend. In de afgelopen weken is er niet verwarmd, maar alleen gekoeld. Het inbrengen van vocht, middels schoon grondwater uit de zandondergrond, vindt plaats in de kaasopslag op de begane grond, via de sleuven in de vloer onder de kaasstellingen. In deze regio (Lunteren) is

## GEBOUWISOLATIE

Het gebouw van de proeftuin voor natuurlijke kaasrijping is geïsoleerd met BioFoam. Dit is een nieuw gepatenteerd isolatiemateriaal dat vergelijkbaar is met EPS (geëxpandeerd polystyreen). Het ziet er qua structuur hetzelfde uit en heeft vrijwel dezelfde eigenschappen als EPS. Het grote verschil is dat EPS geproduceerd wordt van polymeren die op fossiele grondstoffen (eindig materiaal) gebaseerd zijn. De grondstof voor BioFoam bestaat uit biopolymeren, die gemaakt worden van plantaardige grondstoffen zoals planten (oneindig materiaal). BioFoam is hiermee de eerste schuimisolatie die gemaakt wordt van een biologisch basismateriaal. Dit heeft tot gevolg dat BioFoam, net zoals EPS, hergebruikt kan worden. Daarnaast is het ook biologisch afbreekbaar en bij hoge

temperaturen onder invloed van vocht en bacteriën industrieel composteerbaar. BioFoam is in vrijwel alle bouwtoepassingen duurzaam en langdurig te gebruiken. Veel producteigenschappen van BioFoam zijn vergelijkbaar met EPS zoals: uitstekende isolatiewaarde, het is drukvast, licht van gewicht, vochtongevelig, gemakkelijk verwerkbaar, niet schadelijk voor de gezondheid, bestand tegen ongedierte, schimmels en bacteriën, duurzaam, recyclebaar, vormvrijheid. Op de isolatie is aan beide zijden een dampremmende folie aangebracht. Door deze goede isolatie is verwarming in het kaaspakhuis alleen noodzakelijk als het buiten echt koud wordt en er temperaturen onder nul graden Celsius optreden. Het aantal uren dat dit echt voorkomt in Nederland is relatief zeer gering.





er sprake van een opwaartse druk van het kwelwater in de Gelderse Vallei, waarvan dankbaar gebruik wordt gemaakt om een hoge luchtvochtigheid in de kaasopslag te realiseren. Als extra is een watersproei-installatie aangebracht, die de vloer in de be- ganegrondopslag, indien noodzakelijk, kan bevochtigen.

### Luchtbehandelingskast

Kaaspakhuizen hebben een zuur milieu, daarom is er door PS Koeltechniek & Klimaatbeheersing gekozen voor een luchtbehandelingskast opgebouwd uit RVS 304 panelen, die zijn voorzien van biofoam isolatie materiaal (zie foto). De warmtewisselaars in deze LBK zijn daarom vanwege dat zure milieu uitgevoerd met RVS 304 pijpen en aluminium lamel-



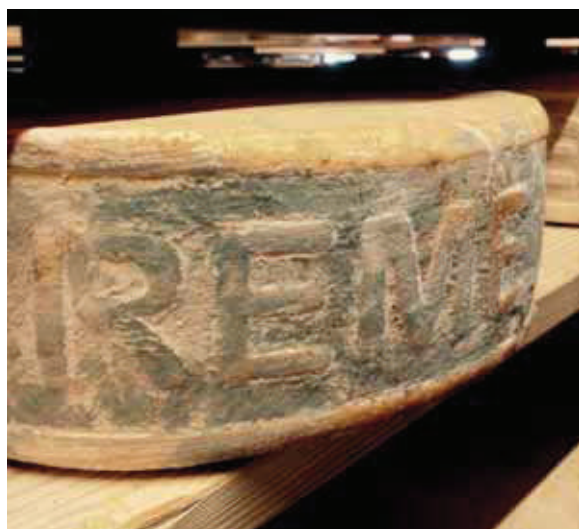
Luchtbehandelingskast, opgebouwd uit RVS-panelen.

## NATUURKORST EN GEURONTWIKKELING

De meeste kaas die verkocht wordt, heeft een met plastic gecoate kaaskorst die de kaas afsluit van de buitenwereld. Tijdens het langer bewaren (rijpen) van de kaas, ontstaan er geurstoffen in de kaas doordat het vet, eiwit en lactose dat uit de melk afkomstig is wordt afgebroken. Hoe langer de kaas rijpt, hoe meer afbraak er plaatsvindt en hoe meer geurstoffen er gevormd worden. Hierdoor is de smaak van oude kaas sterker dan de smaak van een jongere kaas (smaak wordt voor een belangrijk deel door geurstoffen bepaald). Maar in plaats van in een met plastic gecoate kaaskorst, kan kaas ook een natuurlijke korst krijgen. Bij Remeker wordt hiervoor gebruikt gemaakt van ghee; ghee is melkvet waaruit het vocht verwijderd is, en wat op de buitenkant van de kaas wordt gesmeerd.

Nu is er bij Wageningen Universiteit onderzoek gedaan wat een dergelijke natuurkorst doet met de

ontwikkeling van de geurstoffen van de kaas tijdens rijping (zie foto). Uit dit onderzoek blijkt dat kaas met een natuurkorst een complexere samenstelling heeft van geurstoffen. Deels komt dit doordat de rauwe melk waarvan de kaas gemaakt wordt meer geurstoffen bevat, wat waarschijnlijk komt door het voer (vooral kruiden) dat de koeien krijgen. Een ander deel van de geurstoffen die specifiek aanwezig waren in de Remeker-kaas komen uit de ghee die als natuurkorst gebruikt wordt, maar ook door stoffen die door schimmels gevormd worden die op deze natuurkorst groeien. In de komende jaren moet uit verder onderzoek blijken of de verandering die heeft plaatsgevonden, waarbij de kaasrijping onder beter gecontroleerde omstandigheden gaat plaatsvinden (hoge relatieve luchtvochtigheid, lage luchtstroom, constante temperatuur), een invloed heeft op de ontwikkeling van geurstoffen tijdens kaasrijping.



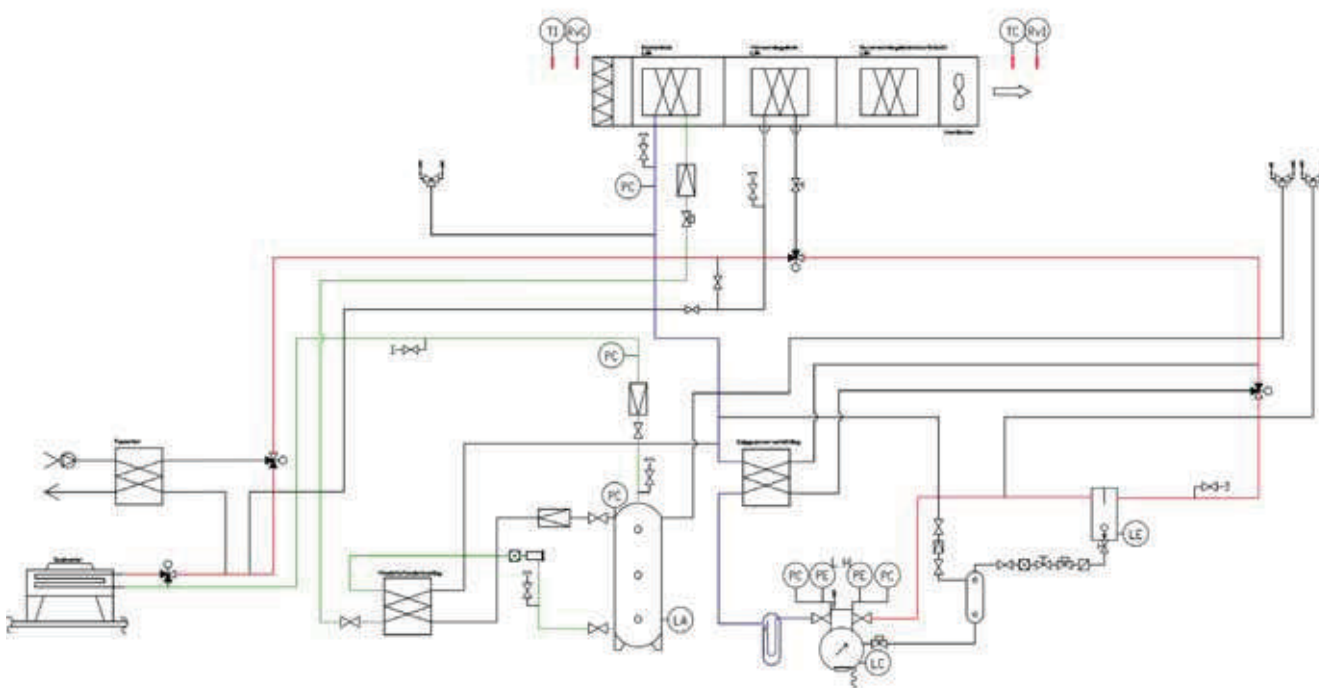
Dr. ir. Kasper Hettinga, Universitair Docent Zuivelkunde aan de Wageningen Universiteit, geeft uitleg,



De CO<sub>2</sub>-installatie met rechts de gaskoeler.

len. De luchtkanalen zijn vervaardigd van gegalvaniseerde spiralobuis, die niet zijn geïsoleerd. Voor het onderhouden van de gewenste conditie in het kaas-pakhuis van 16°C en 90% RV is de LBK bij intrede retourlucht vanuit de kaasopslag voorzien van een filtersectie klasse F7, een koelersectie DX/CO<sub>2</sub> met

een koelvermogen van 17,5 kW, een verwarmingssectie 20 kW (op basis van warmteterugwinning of wtw uit het CO<sub>2</sub>-gaskoelercircuit) en een ventilatorsectie met een 4 kW elektromotor voorzien van handinstelbare toerenregeling met behulp van een frequentieregelaar. De luchtverplaatsing bedraagt,



Koeltechnisch schema van de klimaatinstallatie.



13.000 m<sup>3</sup>/h. De afmetingen zijn l x b x h = 4500 x 1650 x 1500 mm. De LBK staat opgesteld op de zolder in de nok van het kaaspakhuis.

### Luchtverdeling

Om een gelijkmatige temperatuur in de kaasopslag te realiseren wordt de lucht verdeeld en met milde snelheid ingeblazen in het pakhuis. Er zijn regelbare inblaasopeningen in het systeem aangebracht en er wordt per verdieping op vier niveaus (zie foto) geconditioneerde lucht het pakhuis ingeblazen. De retourlucht wordt via de paden en aanwezige openingen en luiken in de tussenvloeren tussen de begane grondopslag, verdieping en zolder door de LBK aangezogen.

## REMEKER KAAS

De Remeker kaas wordt gemaakt op de boerderij 'De Groote Voort' in Lunteren. De naam is ontleend aan de weilanden die omzoomd zijn met eikenbomen. Er zijn honderd Jersey-koeien op de boerderij aanwezig. Dit zijn mooie kleine bruine koeien, met grote even bruine ogen. De Jersey is een eigenwijze koe en ze geeft extra dikke melk.

In de kaasmakerij wordt om de dag de rauwe melk verwerkt tot kaas. Doordat de melk door eigen medewerkers wordt verwerkt komt de bijzonderheid hiervan tot uiting in de natuurkorst kaas. De kazen worden gerijpt in het natuurkaaspakhuis zodat de smaak zich langzaam kan vormen. Kaas van drie maanden oud noemt men Remeker Pril, kaas van achttien maanden oud Remeker Ryp en de twaalf maanden gerijpte kaas noemt men Olde Remeker. Bij 'De Groote Voort' kan men in de winkel en ook via de webwinkel Jersyveles en Remeker kaas kopen.



De Jersey koeien.

### Klimaatinstallatie

De installatie is in overleg met de opdrachtgever/eigenaar ontworpen om in eerste instantie een ruimtetemperatuur van 16°C en 90% RV te realiseren. Afhankelijk van de droogte en kwaliteit van de kaas kan de luchtconditie naderhand worden bijgesteld kunnen worden. De koelinstallatie is ontworpen door ing. Nico Doorn van PS Koeltechniek & Klimaatbeheersing en opgebouwd uit hoofdcomponenten zoals in het koeltechnisch schema op de vorige pagina is aangegeven. De installatie zal grotendeels subkritisch werken bij  $T_c = 28^\circ\text{C}$  maar bij hoge omgevingstemperatuur overgaan in transkritisch bedrijf met een gasuittredetemperatuur van 35°C bij een omgevingstemperatuur van 30°C. De CO<sub>2</sub>-compressor heeft een koelvermogen van 17,5 kW bij +3°C verdampings- en +35°C gasuittredetemperatuur. Het opgenomen vermogen bedraagt 6,8 kW. De compressor is voorzien van een frequentieregelaar die wordt gestuurd op basis van zuigdruk. De installatie is verder voorzien van een gaskoeler, een platenwarmtewisselaar voor het benutten van de oververhitting door middel van flashgas en een platenwarmtewisselaar ten behoeve van oververhitting door middel van heetgas, een platenwarmtewisselaar voor warmwater-bereiding (het warme water wordt gebufferd in een voorraad-tank), een luchtkoeler met elektronisch expansieventiel en een wtw-condensor/gaskoeler geplaatst in de luchtbehandelingskast. De platenwarmtewisselaars en de wtw-condensor zijn voor de vereiste nauwkeurige regeling elk voorzien van een modulerend driewegventiel. De koelinstallatie wordt geregeld met gebruikmaking van ADAP-KOOL apparatuur, de LBK en de ruimtetemperatuur en RV door middel van klimaatregelapparatuur van Webeasy. De actuele situatie, de instellingen en programmering kunnen vanaf elke computer worden benaderd middels een internetprotocol. ■

#### Over de auteur

De auteur is redactioneel coördinator van de KNVvK-beleidsgroep MarCom en technisch adviseur van de redactie van RCC K&L

#### Meer informatie

PS Koeltechniek Deventer B.V.  
T: 0570 – 624784  
E: [ndoorn@ps-koeltechniek.nl](mailto:ndoorn@ps-koeltechniek.nl)  
I: [www.ps-koeltechniek.nl](http://www.ps-koeltechniek.nl)

De Groote Voort/Remeker  
I: [www.remeker.nl](http://www.remeker.nl)