



Laan van Westenenk 501
Postbus 342
7300 AH Apeldoorn

www.mep.tno.nl

T 055 549 34 93
F 055 549 32 01
info@mep.tno.nl

TNO-rapport

R 2002/704

**Garnalen invriezen met een ammoniak-CO₂
vriesinstallatie**

Datum	December 2002
Auteurs	Ir. S. Lobregt
Projectnummer	32573
Novem projectnummer	0375-01-01-07-003
Trefwoorden	— overige broeikasgassen — garnalen invriezen — CO₂ koelinstallatie
Bestemd voor	Novem B.V. Postbus 8242 3503 RE Utrecht

Aan dit project is in het kader van het Besluit milieusubsidies, regeling milieugerichte technologie een subsidie verleend uit het programma Reductie Overige Broeikasgassen 2001, dat gefinancierd wordt door het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. Novem beheert dit programma.

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst. Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Samenvatting

Klaas Puul & Zoon b.v. te Volendam heeft voor het invriezen van garnalen geïnvesteerd in een ammoniak/CO₂ koelinstallatie. Deze investering is zowel een alternatief voor een cryogene invriestunnel als voor een vriesinstallatie met R404A. Bij de investering is rekening gehouden met het aansluiten van een nog te bouwen vriescel op de koelinstallatie. CO₂ wordt gebruikt als twee-fasige koudedrager. Het primaire koudemiddel is ammoniak.

De koelinstallatie is gebouwd door Bort de Graaf koel- en klimaattechniek. De vriestunnel is van FrigoScandia. De aanpassingen ten opzichte van conventionele tunnels liggen in de specifiek voor CO₂ ontworpen luchtkoelers. De pijpdiameter (gaszijdig) is gehalveerd, het aantal insputingen is minder en de afpersdruk is verhoogd van 28 naar 40 bar. De installatie is begin 2002 in bedrijf gesteld en heeft tot juli 2002 400 draaiuren gemaakt. De opstart en de productieperiode zijn zonder problemen verlopen.

De installatie functioneert naar tevredenheid van Klaas Puul & Zoon b.v.. De totale vriescapaciteit bedraagt ca. 800 kW waarvan ruim 200 gereserveerd is voor de toekomstige vriescel. De vriestunnel heeft een capaciteit van 5-7 ton product per uur. De CO₂ verdampt op -36°C in de tunnel. De verdampingstemperatuur van ammoniak blijkt 1 à 2 graden lager.

Belangrijkste voordelen van het systeem zijn:

1. Kleine ammoniakinhoud volledig beperkt tot systeemonderdelen in de machinekamer en de condensor.
2. Hoge energie-efficiency.
3. Milieuvriendelijk koudemiddel.
4. Geen olie in de CO₂ kringloop.

In de tabel is de ammoniak-CO₂ installatie vergeleken met de oorspronkelijke situatie en een koelinstallatie op basis van R404A.

	Cryogeen	R404A	NH ₃ /CO ₂
Energiegebruik	6,4 mln kWh elektra equivalent per jaar	0,82 mln kWh	0,760 mln kWh elektra per jaar
(Energie)kosten	400.000 Euro	50.000 Euro	46.000 Euro
Koudemiddellekkage	n.v.t.	250 kg / jaar	Nihil
Koudemiddel kosten	n.v.t.	3.500 Euro	Nihil
CO ₂ equivalent	4,0 kiloton / jaar	1,5 kiloton / jaar	0,46 kiloton / jaar
CO ₂ reductie NH ₃ /CO ₂	89%	70%	
Kosten STEK en andere inspecties	nihil	12.000 Euro	1.000 Euro
Investeringskosten	0	1,1 mln Euro	1,2 mln Euro

Terugverdientijd ammoniak/CO₂ t.o.v. cryogeen = 3,4 jaar

Terugverdientijd ammoniak/CO₂ t.o.v. R404A = 7 jaar

Summary

Klaas Puul & Zoon b.v. Volendam invested in an ammonia/CO₂ refrigeration system for freezing shrimps. The investment is an alternative for a cryogenic nitrogen freeze tunnel or a compression cycle with R404A. In the near future a cold store will be connected on the same CO₂ system. CO₂ is used as an evaporating secondary refrigerant. Ammonia is used in the primary circuit.

The refrigeration system is built by Bort de Graaf koel- en klimaattechniek. Frigoscandia supplied the freeze tunnel. The only adaptation was a design of the air coolers. The number of injections in the air cooler is reduced, the diameter of the gas side of the cooler has been halved and instead of 28 bars a design pressure of 40 bars was used. The commencement of operations was in February 2002. The system made about 400 production hours up to July 2002. The start up and the production period have been without any problems.

Klaas Puul & Zoon is satisfied with the system. The overall refrigeration capacity is about 800 kW, including a reserve of 200 kW for the cold store. The freeze tunnel has a capacity of 5-7 ton / hour. The CO₂ evaporates at -36°C inside the tunnel. The evaporation temperature of ammonia is 1 to 2 degrees below the CO₂ temperature.

The main advantages of the system are:

1. Small volume of ammonia and the ammonia is concentrated in the machine room and the condenser.
2. High energy efficiency.
3. Environmental friendly refrigerants.
4. The secondary system is without oil.

The table below is a survey of the ammonia-CO₂ system with the original cryogenic freezer and a refrigeration system with R404A.

	Cryogenic	R404A	NH ₃ /CO ₂
Energy use	6,4 mln kWh electra equivalent a year	0,82 mln kWh	0,76 mln kWh electra a year
Energy costs	400.000 Euro	50.000 Euro	46.000 Euro
Refrigerant leakage	-	250 kg / year	Nil
Refrigerant costs	-	3.500 Euro	Nil
CO ₂ equivalent	4,0 kiloton / year	1,5 kiloton / year	0,46 kiloton / year
CO ₂ reduction	89%	70%	
NH ₃ /CO ₂			
Inspection costs (STEK et al)	nihil	12.000 Euro	1.000 Euro
Investment	0	1,1 mln Euro	1,2 mln Euro

Pay back period ammonia/CO₂ regard to cryogenic = 3,4 year

Pay back period ammonia/CO₂ regard to R404A = 7 year.

Inhoudsopgave

Samenvatting / Summary	2
1. Inleiding	6
2. Opzet van het project	8
2.1 Doelstelling	8
2.2 Oorspronkelijke situatie	8
2.3 Uitvoering	8
3. Beschrijving resultaten	14
3.1 Gedemonstreerde technologie	14
3.2 Milieuvoordelen	15
3.3 Economische aspecten	17
3.4 Toepasbaarheid	17
3.5 Kennisoverdracht	18
4. Conclusies en aanbevelingen	19
4.1 Conclusies	19
4.2 Aanbevelingen	19
5. Verantwoording	20
Bijlage 1 Presentatie Bort de Graaf	
Bijlage 2 Wijbenga, J., <i>Milieuvriendelijke vriestunnel met CO₂ bij Puul – Volendam</i> , Koude & Luchtbehandeling juli 2002.	
Bijlage 3 Meetwaarden opstart	

1. Inleiding

Achtergrond, milieu- en/of milieutechnologieprobleem

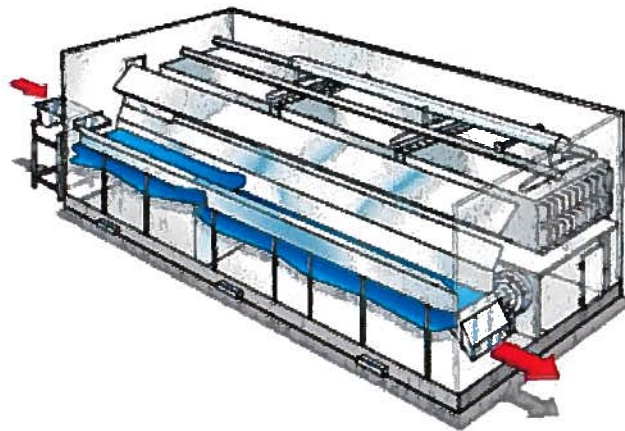
Klaas Puul & Zoon b.v. is een leverancier van garnalen en diverse andere zeeproducten. Invriezen van garnalen is een seizoensgebonden activiteit. De vangst loopt het hele jaar door. De aanvoer fluctueert echter sterk. Indien meer wordt aangevoerd dan de dagversmarkt vraagt, wordt de overcapaciteit ingevroren. Klaas Puul & Zoon b.v. gebruikte daarvoor een stikstofunnel. Door een toenemende productie ontstond behoefte aan extra invriescapaciteit.

Cryogeen (stikstof) invriezen versus mechanisch invriezen is bij fluctuerende productie een afweging tussen gebruikskosten en investeringskosten. De kosten voor het cryogeen (stikstof) invriezen zijn primair gelegen in de stikstofprijs. Gassenleveranciers bieden de tunnels tegen aantrekkelijke voorwaarden aan. Voor mechanische installaties zijn de investeringskosten beduidend hoger, de gebruikerskosten (lees energierekening) is daarentegen tot een factor 10 lager.

De investeringskosten van mechanisch invriezen kunnen verminderd worden door te kiezen voor goedkopere koelinstallaties op basis van HFK's en kleinere luchtkoelers. Nadeel van deze keuze is dat de exploitatiekosten toenemen (lekkage, STEK, extra energiegebruik) en bij kleine luchtkoelers de indroogverliezen stijgen.

HFK's (R404A en R507) worden in de Nederland veel gebruikt als koudemiddel voor vriestoepassingen. Deze koudemiddelen zijn echter sterke broeikasgassen en hebben beduidend mindere thermodynamische eigenschappen dan ammoniak en CO₂.

FrigoScandia heeft een CO₂-invriestunnel ontwikkeld. CO₂ wordt bij Klaas Puul & Zoon b.v. ingezet als tweefasige (verdampende) koudedragers. De CO₂ temperatuur ligt enkele graden boven de ammoniaktemperatuur. Door de gunstige druk/temperatuurverhouding leidt de drukval in de leidingen nauwelijks tot een lagere verdampingstemperatuur. Voor de installatie betekent dat een hoog rendement. Ook is de pompenergie gering. Bij een eventuele lekkage is CO₂ niet schadelijk voor het product. CO₂ heeft een relatief hoge MAC-waarde en is goed te detecteren. Het risico voor personeel is tot een minimum beperkt. Verder is de gebruikte CO₂ van natuurlijke origine en leidt lekkage niet tot een extra milieubelasting. Samengevat is CO₂ een zuinig, milieuvriendelijk en veilig invriesconcept.



Frigoscandia FlowFREEZE M (www.fmcfoodtech.com)

Samenwerking met derden

In het project wordt samengewerkt met onderstaande subcontractanten:

- Bort de Graaf Koel- en Klimatechniek
- Frigoscandia Equipement Division
- TNO-MEP

Overzicht indeling rapport

Hoofdstuk 2 geeft een beschrijving van het doel, de uitgangssituatie en de uitvoering van het project. In hoofdstuk 3 zijn de resultaten weergegeven. De resultaten omvatten zowel de ervaringen met de nieuwe technologie als de prestaties in milieu- en kostenopzicht. In hoofdstuk 4 zijn de conclusies en aanbevelingen opgenomen.

2. Opzet van het project

2.1 Doelstelling

Demonstreren dat CO₂ een energiezuinig, milieuvriendelijk en veilig koudemiddel is voor invriesprocessen. In combinatie met ammoniak ontstaat een hoogwaardig alternatief voor vriessystemen met synthetische koudemiddelen (HFK's) en voor cryogene invriesapparatuur.

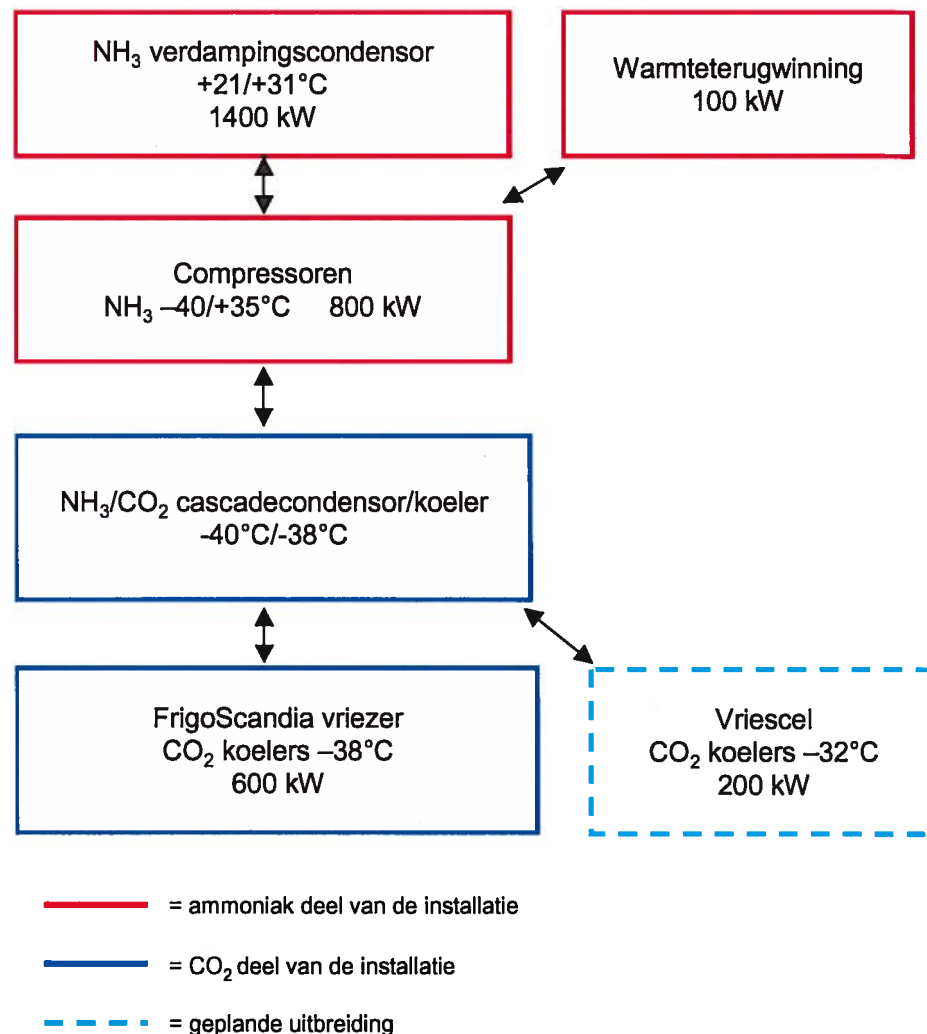
2.2 Oorspronkelijke situatie

Klaas Puul & Zoon b.v. vroomde de garnalen in met vloeibare stikstof. Deze vloeibare stikstof verdampt op een temperatuur van bijna -200°C. De garnalen komen direct in contact met de verdampende stikstof. Hierdoor is de invriessnelheid zeer hoog. Een tweede voordeel is dat de investeringskosten in een cryogene vriezer relatief laag zijn. De enige kosten zijn de aanschaf van de stikstof. Door een toenemende productie wordt echter de keuze voor mechanisch invriezen economisch interessant. Ammoniak is voor Klaas Puul & Zoon b.v. om (product)veiligheidsredenen niet acceptabel. Een systeem met synthetische koudemiddelen leidt tot een lagere investering, maar tot extra exploitatiekosten (energie, koudemiddel, STEK-controle etc).

Tijdens de oriënterende gesprekken over verschillende invriesmogelijkheden (eind 2000) presenteerden TNO en GTI Koudetechniek de eerste resultaten over CO₂ als koudemiddel. Klaas Puul & Zoon b.v. en zijn koelinstallateur Bort de Graaf Koel- en Klimaattechniek hebben zich in de mogelijkheden van CO₂ verdiept en met FrigoScandia een positief advies uitgebracht aan de directie van Klaas Puul & Zoon b.v..

2.3 Uitvoering

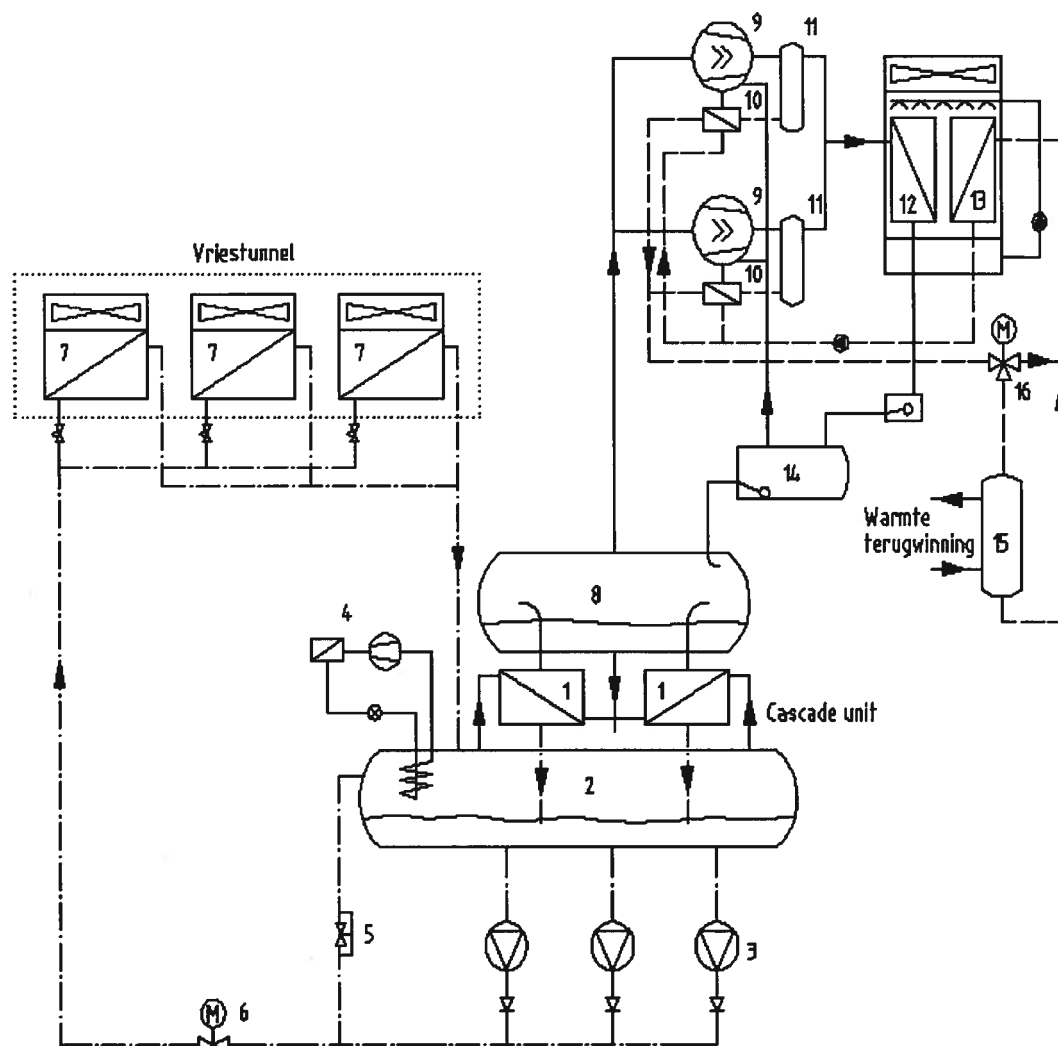
Bort de Graaf heeft op basis van de op dat moment bekende informatie over CO₂ een offerte uitgebracht voor het bouwen en in bedrijf stellen van een CO₂ koelinstallatie. Het concept is als blokschema weergegeven:



In het acquisitietraject heeft FrigoScandia onderzoek verricht naar het optimaal invriezen van garnalen. Op basis van dit onderzoek is een CO₂ invriezer ontworpen. Dit betekent dat de luchtverdeling in de vriezer en over de warmtewisselaars gebaseerd is op de specifieke stoffeigenschappen van CO₂ (goede warmteoverdracht, kleine pijpdiameters, weinig koudemiddelcircuits en separaat ontdooisysteem). De extra eisen aan de luchtkoelers leiden tot een meerinvestering op de vriestunnel van enkele procenten. Het ontdooien van de koelerblokken in de tunnel vindt plaats met perslucht. De rijp op de lamellen wordt met een zeer hoge luchtsnelheid verwijderd. Bij stilstand komt de tunnel op omgevingstemperatuur en wordt gereinigd.

De benodigde vriescapaciteit voor de invriesinstallatie bedraagt 600 kW. Daarmee wordt 5 ton garnalen per uur ingevroren. De garnalen komen de vriezer in op een temperatuur van +2°C. Na de vriezer is de kerntemperatuur -18°C

Klaas Puul & Zoon b.v. verwacht over twee jaar een nieuwe vriescel te gaan bouwen. Deze vriescel zal aangesloten worden op de CO₂ installatie. Hiertoe is een extra capaciteit van 200 kW geïnstalleerd. Deze extra capaciteit leidt in de eerste fase tot een kleiner temperatuurverschil over de warmtewisselaars (tussen 1 en 2 K) een daarmee een nog betere energie-efficiency.



Installatieschema Bort de Graaf

1. Cascadecondensor Q-Plate Vaterus Cap. 400 kW NH₃ -41°C / CO₂ -38°C
2. CO₂ afscheider Witt 800 kW bij -38 Max. 2900L
3. CO₂ pomp Witt HRP-5050-EA
4. Stand-by koeling (noodkoeling) Maneurop 2,8 kW bij -35°/+40°C
5. Hansen overstortventiel
6. 2-weg klep Kornwestheim MV5311
7. Frigoscandia verdampers
8. NH₃ afscheider Witt 800kW bij -41°C Max.1200 liter
9. Schroefcompressoren Grasso Alpha B3BR en Grasso RB-3BH
10. Oliekoelers Grasso glycol/water cap. 267 kW en 92 kW (warmteterugwinning)
11. Olieafscheider Grasso
12. Verdampingscondensor Evapco 1371 kW. LSCB 345 NH₃ circuit
13. Glycolcircuit t.b.v. compressor warmteterugwinning
14. Open economizer Witt ECO/HR-3B-3
15. Glycolvat t.b.v. warmteterugwinning
16. 3-weg mengklep Kornwestheim MV5221

De koudegebruikers (vriestunnel en toekomstig vrieshuis) zijn aangesloten op een centrale ammoniak/CO₂ koelinstallatie. De ammoniakinhoud is uit veiligheids-overwegingen geminimaliseerd tot ca. 700 kg. De ammoniak beperkt zich tot de machinekamer en de verdampingscondensor. Een verdere reductie van de ammoniakinhoud is mogelijk door in plaats van de verdampingscondensor een koeltoren met watergekoelde condensor te selecteren.

De CO₂ inhoud van het koelsysteem bedraagt ca. 2.800 kg. De koudemiddelinhoud voor een 100% ammoniak systeem zou ca. 4.000 kg geweest zijn. Voor R507 zou zelfs een inhoud van 5.000 kg noodzakelijk zijn geweest.

CO₂ wordt gebruikt als twee-fasige koudedragers. Dit heeft het voordeel dat in het CO₂ gedeelte van de installatie geen olie zit. Olie in koelsystemen betekent veelal een extra temperatuurval/weerstand over de warmtewisselaar, wat resulteert in een extra energiegebruik.

De warmteterugwinning wordt gebruikt voor opwarmen van reinigingswater. Bij de bouw van het vrieshuis wordt de warmte ook aangewend om de luchtkoelers in het vrieshuis te ontdooien.

Het koeltechnisch concept is door Bort de Graaf opgezet en besproken met GTI Koudetechniek en Wijbenga b.v.. Om de veiligheid maximaal te waarborgen is besloten om naast het ammoniakgedeelte ook het CO₂ gedeelte te bouwen conform de Richtlijn CPR 13-2. TNO-MEP heeft de inspectie uitgevoerd.

Odink & Koenderink hebben het Motor Control System geleverd, Hatulec Emus de schakelkast en Isolust heeft de isolatie verzorgd.



Foto Ammoniakafscheider met daaronder ammoniak/CO₂ cascade condensers.

3. Beschrijving resultaten

3.1 Gedemonstreerde technologie

Klaas Puul & Zoon b.v. heeft gedemonstreerd dat CO₂ goed functioneert als indirecte verdampende koudedragers. Door in de primaire koudemiddelkringloop ammoniak te gebruiken wordt tegen een minimale ammoniakinhoud een hoge energie-efficiency bereikt en wordt het gebruik van broeikasgassen voorkomen.

Gedurende de eerste weken is proefgedraaid. Hierbij zijn de regeltechniek en de veiligheidsvoorziening gecontroleerd en op basis van de eerste resultaten geoptimaliseerd. Tijdens het opstarten en inregelen hebben zich geen problemen voorgedaan. Na het inregelen doorloopt de vriesinstallatie elke keer dezelfde procedure. Zolang instellingen niet veranderd worden, is het energiegebruik alleen afhankelijk van de condensatietemperatuur, welke fluctueert met de buitentemperatuur. De opstartmetingen zijn daarmee representatief voor de totale productieperiode.

Wijbenga en Bort de Graaf hebben op 28 februari een productiesessie doorgemeeten. Er is een warme start gemaakt en er zijn indicatieve metingen uitgevoerd. De meetresultaten zijn opgenomen als bijlage.

De vriestunnel staat bij aanvang op een temperatuur van 11°C. De druk van de CO₂ in de afscheider bedraagt 12,9 bar (-33°C). Net voor het inbrengen van product wordt de ammoniakcompressor gestart, direct gevolgd door de eerste CO₂ pomp. Door het grote temperatuurverschil tussen de CO₂ (-33°C) en de nog warme vriestunnel (+11) is de koelcapaciteit groot. Tijdens het inregelen is de optimale CO₂ dosering uitgedacht zodanig dat de drukken binnen de gestelde veiligheidswaarden blijven.

Nadat de lucht in de tunnel is afgekoeld, neemt de CO₂-druk af en kan de hoeveelheid ingebrachte CO₂ vergroot worden. Na circa 3 minuten is de CO₂ flow 50% van de verwachte eindvraag en wordt de tweede CO₂ pomp bijgeschakeld. Deze opstartprocedure wordt elke keer dat de productie wordt opgestart herhaald. Als in de toekomst het vrieshuis in bedrijfgesteld is, is altijd een koudebuffer aanwezig. De opstartprocedure wordt dan aangepast en de noodkoeling kan worden uitgeschakeld.

De metingen van 28 februari zijn gestart op ca. 9.30 uur en beëindigd om ca. 16.30 uur. De meetwaarden zijn afkomstig van de meetopnemers in de koelinstallatie welke voor het regelen van de installatie worden gebruikt. De hele meetperiode bleef het temperatuurverschil tussen de ammoniak en de CO₂ beperkt tot 1 à 2 K. Dit is zuiniger dan de ontwerpwaarde van 3 K, maar gezien het ontbreken van koelvraag van het vrieshuis conform verwachtingen. De luchttemperatuur in de tunnel ligt 2 tot 6K boven de CO₂ temperatuur en komt overeen met de verwachtingen.

Uit de metingen aan de installatie blijken de temperatuurverschillen over de Q-plate (NH_3/CO_2) en de luchtkoelers in de tunnel klein te zijn. Elke graad extra temperatuurverschil resulteert in een toename van het energiegebruik met 3%. Het goed functioneren bij kleine temperatuurverschillen is essentieel voor de hoge energie-efficiency.

Na de inregelperiode hebben er geen veranderingen plaatsgevonden aan de programmering van koelinstallatie. De start, de productie en het schakelgedrag van de compressoren zijn gelijk gebleven. De vele bezoekers hebben op de manometers en het uitleesscherm van de PLC dit kunnen constateren.

De koelinstallatie heeft in de eerste vier maanden ca. 400 draaiuren gemaakt. De onderhoudswerkzaamheden waren:

- Vervangen oliefilter ammoniakcompressoren na 100 draaiuren, conform voorschrift compressorfabrikant.
- Controleren puntzeef voor de CO_2 -pompen op vervuiling. Dit is niet aangetroffen.
- Bij ontluchten is geen lucht in het systeem aangetroffen.

Sinds februari 2002 is geen koudemiddel bijgevoegd. Dit geldt zowel voor het ammoniak als voor het CO_2 gedeelte.

Bij een standaardproductie blijven de meetwaarden binnen de gestelde setpoints en zijn overeenkomstig de opstartmetingen. De installatie blijkt echter ook goed in staat om productiepieken oplopend tot 140% op te vangen. Het energiegebruik neemt dan wel toe. Van deze pieken zijn geen energiecijfers bekend. Zoals uit de metingen blijkt heeft de compressor nog een extra capaciteit van 12%. Tevens zal het temperatuurverschil over de cascadecondensor oplopen met ca 0,5K (25-50% extra capaciteit). Het temperatuurverschil over de luchtkoeler zal eveneens stijgen met 2 tot 3K. Gezamenlijk resulteert dat in een verlaging van de efficiency met 5 tot 10%.

Omgekeerd geldt dat bij minder productie of bij een product dat minder koude behoeft, de verdampingstemperatuur stijgt en daarmee de energie-efficiency toeneemt.

3.2 Milieuvoordelen

Bij een ontwerp van een koelsysteem op basis van synthetische koudemiddelen (R404A) zou voor het invriesinstallatie van Klaas Puul (tunnel + toekomstig vrieshuis) koudemiddelinhoud van ca. 5.000 kg nodig zijn geweest. Bij een lekpercentage van 5% koudemiddel per jaar¹ komt jaarlijks 250 kg koudemiddel in het mili-

¹ "Koudemiddelverbruik in Nederland. Rapportage op basis van Nationaal Onderzoek Koudemiddelstromen. Nulmeting over 1999". STEK. Utrecht 16 juli 2001.

eu. 1 kilogram R404A heeft een CO₂ broeikasequivalent van 3,8 ton CO₂. 250 kg geeft dan een jaarlijkse uitstoot van bijna 1 kiloton CO₂. Omgerekend naar elektragebruik is dat 1,6 mln kWh per jaar (uitgangspunten ROB¹).

Tot vorig jaar werd per ton garnalen bij Klaas Puul & Zoon b.v. ca. 750 kg stikstof verbruikt. In het project 390620/0071 Campina IJshardingstunnel van het programma TIEB, uitgevoerd door Novem, is het specifieke energieverbruik voor 1 kg stikstof gesteld op 1,3 kWh. Met dit uitgangspunt is het specifieke elektragebruik voor het invriezen van garnalen in de oorspronkelijke situatie 975 kWh per ton.

Oude situatie

Productietijd:	1320 uur per jaar
Totaal jaargebruik:	6.435.000 kWh elektragequivalent

Nieuwe situatie:

Opgenomen vermogen	Ventilatoren tunnel	155 kW
	Condensor	26 kW
	Compressor	398 kW
	Totaal	579 kW per 5 ton / uur
Specifiek energieverbruik:	0,116 kWh / kg	
Totaal jaargebruik:	766.000 kWh	

Naast de emissie van koudemiddel is een tweede effect het extra energieverbruik door de energetisch matige prestaties van deze HFK-koudemiddelen. Het jaarlijkse energieverbruik voor het invriezen is berekend op ongeveer 0,77 mln kWh per jaar. De energiebesparing van 10% op de compressoren (ca 50.000 kWh elektragebruik) geeft een CO₂ reductie van 30 ton CO₂ per jaar. Ter onderbouwing van de energiebesparing de c.o.p.'s (uit selectiesoftware van Grasso) van dezelfde compressoren bij ammoniak en R404A:

Zomer	NH ₃ (-40/+35) c.o.p.	= 1,6	Winter (-40/+20) c.o.p.	= 2,2
	R404A (-39/+35) c.o.p.	= 1,4	Winter (-39/+20) c.o.p.	= 2,1
	Besparing	= 12,5%		= 5%

Een systeem volledig gebaseerd op ammoniak als koudemiddel aangeboden (ca. 4.000 kg inhoud). Dit systeem is uit (product)veiligheidsoverwegingen voor Klaas Puul & Zoon b.v. geen optie.

¹ Er zijn een groot aantal verschillende omrekenfactoren van kWh elektragebruik naar CO₂ uitstoot. In dit rapport worden de uitgangspunten van het programma ROB gehanteerd.

	Cryogeen	R404A	NH₃/CO₂
Energiegebruik	6,4 mln kWh elektra equivalent per jaar	0,82 mln kWh	0,76 mln kWh elektra per jaar
Koudemiddellekkage	n.v.t.	250 kg / jaar	Nihil
Koudemiddel kosten	n.v.t.	3.500 Euro	Nihil
CO ₂ equivalent	4,0 kiloton / jaar	1,5 kiloton / jaar	0,46 kiloton / jaar
CO ₂ reductie	89%	70%	
NH ₃ /CO ₂			

3.3 Economische aspecten

Voor Klaas Puul & Zoon b.v. geeft dit voor het invriezen het volgende exploitatie-overzicht:

	Cryogeen	R404A	NH₃/CO₂
Energiegebruik	6,5 mln kWh elektra equivalent per jaar	0,82 mln kWh	0,76 mln kWh elektra per jaar
(Energie)kosten	400.000 Euro	50.000 Euro	46.000 Euro
Koudemiddellekkage	n.v.t.	250 kg / jaar	Nihil
Koudemiddel kosten	n.v.t.	3.500 Euro	Nihil
CO ₂ equivalent	4,0 kiloton / jaar	1,5 kiloton / jaar	0,46 kiloton / jaar
Kosten STEK en andere inspecties	nihil	12.000 Euro ¹	1.000 Euro
Investeringskosten	0	1,1 mln Euro	1,2 mln Euro

Terugverdientijd ammoniak/CO₂ t.o.v. cryogeen = 3,4 jaar

Terugverdientijd ammoniak/CO₂ t.o.v. R404A = 7 jaar.

3.4 Toepasbaarheid

Klaas Puul & Zoon b.v. verwacht over twee jaar op de nieuwe productielocatie ook een nieuwe vriescel te bouwen. Deze zal aangesloten worden op de CO₂ vriesinstallatie. Op andere productielocaties wordt gebruik gemaakt van synthetische koudemiddelen. In totaal is dat 1300 kg R22 en 700 kg overige synthetische koudemiddelen. Afhankelijk van de bedrijfsactiviteiten en de technische staat van de verschillende installaties zullen de synthetische middelen op termijn vervangen door ammoniak en CO₂.

¹ De STEK-gerelateerde kosten zijn ca. de helft van het opgevoerde bedrag (4.000 Euro). Indien echter sprake is van lekkage en deze opgespoord en verholpen worden stijgen de kosten sterk. Hiervoor is een inschatting gemaakt van 8.000 Euro. Deze kosten vallen buiten een standaard contract, zijn wel STEK-gerelateerd en worden veelal over het hoofd gezien.

3.5 Kennisoverdracht

Op 6 juni heeft de NvvK haar jaarlijkse ledenvergadering gehouden in Volendam en hebben de ca. 100 bezoekers de ammoniak/CO₂ installatie bezichtigd. Bort de Graaf heeft op deze bijeenkomst een presentatie gegeven welke als bijlage is bijgevoegd. Ing. J. Wijbenga heeft voor het blad Koude & Luchtbehandeling een artikel over het concept geschreven. Dit artikel is opgenomen als bijlage. Daarnaast is in diverse bladen in de voedingsmiddelenindustrie en enkele regionale bladen aandacht besteed aan het systeem.

Op 3 juli heeft in het kader van een internationale CO₂ conferentie bij TNO (C-dig) een excursie naar Klaas Puul & Zoon b.v. plaatsgevonden. Bezoekers kwamen o.a. uit Finland, Zwitserland, Japan en UK.

Klaas Puul & zoon b.v., Bort de Graaf en Frigoscandia hebben een groot aantal geïnteresseerden (waarschijnlijk al meer dan 200) de installatie laten bezichtigen.

4. Conclusies en aanbevelingen

4.1 Conclusies

1. De CO₂-reductie van dit project bedraagt 3,5 kiloton ten opzichte van cryogeen invriezen (89%) en 1,1 kiloton ten opzichte van een synthetisch koudemiddel (70%)
2. De economische terugverdientijd van de investering bedraagt 3,4 jaar ten opzichte van cryogeen invriezen en 7 jaar ten opzichte synthetisch koudemiddel. CO₂ functioneert conform verwachting als twee-fasige koudedrager.
3. De ontwerpdruk voor de luchtkoelers is verhoogd van 28 naar 40 bar. Hiermee wordt energie bespaard bij de noodkoeling en kan de installatie na stilstand beheerst worden opgestart.
4. Uit metingen is gebleken dat CO₂ goed functioneert met zeer kleine temperatuurverschillen over de warmtewisselaars.
5. Zowel tijdens de in bedrijfstelling als het eerste half jaar productie hebben zich geen problemen voor gedaan.
6. In het eerste halfjaar is er geen koudemiddel gelekt.

4.2 Aanbevelingen

Binnen de EnergieInvesteringsaftrekregeling wordt ammoniak/CO₂ fiscaal gestimuleerd. Dit betreft echter alleen installaties met CO₂ compressoren. Het systeem zoals gedemonstreerd bij Klaas Puul & Zoon b.v. valt buiten deze fiscale steun. CO₂ als twee-fasige koudedrager is energetisch gelijkwaardig aan een concept met CO₂ compressoren. De overheid zou door een wijziging van de EIA-tekst de markt-introductie van CO₂ als twee-fasige koudedrager bespoedigen.

5. Verantwoording

Naam en adres van de opdrachtgever

Novem B.V.

Programma Reductie overige Broeikasgassen

Project 0375-01-01-07-003

Postbus 8242

3503 RE UTRECHT

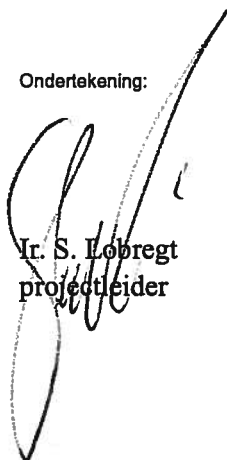
Namen en functies van de medewerkers

Namen van instellingen waaraan een deel van het onderzoek is uitbesteed

Niet van toepassing

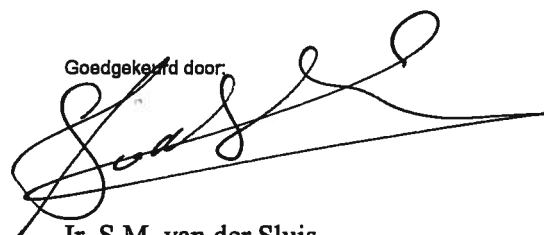
Datum waarop, of tijdsbestek waarin, het onderzoek heeft plaatsgehad

Ondertekening:



Ir. S. Lohregt
projectleider

Goedgekeurd door:



Ir. S.M. van der Sluis
afdelingshoofd

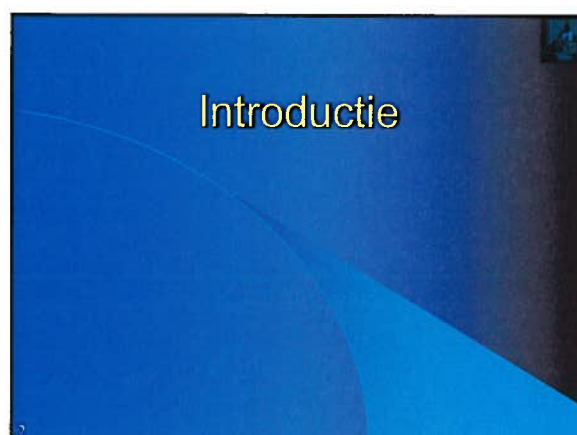
Bijlage 1 Presentatie Bort de Graaf

Bort de Graaf

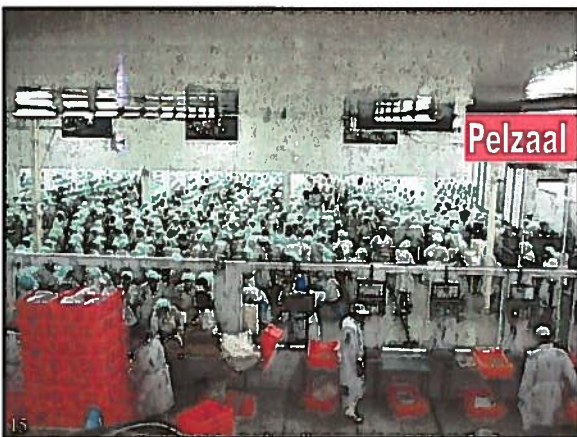
Koel en Klimaattechniek bv

Zuidwenk 78d
Postbus 249
3750 GE Spakenburg

Telefoon : 033-2984889
Telefax : 033-2986639
E-mail : info@bortdegraaf.nl
Website : www.bortdegraaf.nl







Onderwerpen

- Installatie – systeemkeuze
- Werking installatie
- Specifieke kenmerken CO₂
- Aandachtspunten CO₂

16

Installatie - systeemkeuze

17

GWP broeikaseffect

- De impact op het broeikaseffect van 1 kg R404a is gelijk aan 3800 kg CO₂

18

Subsidie ministerie van VROM

- ROB - reductie overige broeikasgassen
- Uitvoering NOVEM
- Stimeek regeling NUON

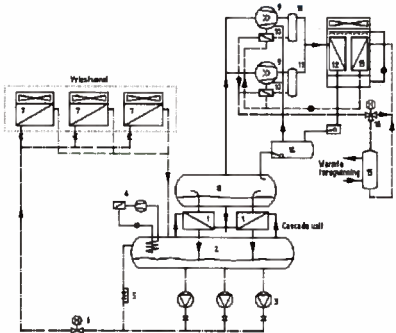
Verzorgd door TNO

19

Werking installatie

20

Werkingsschema van het systeem

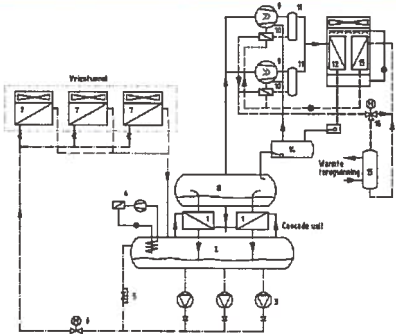


21



22

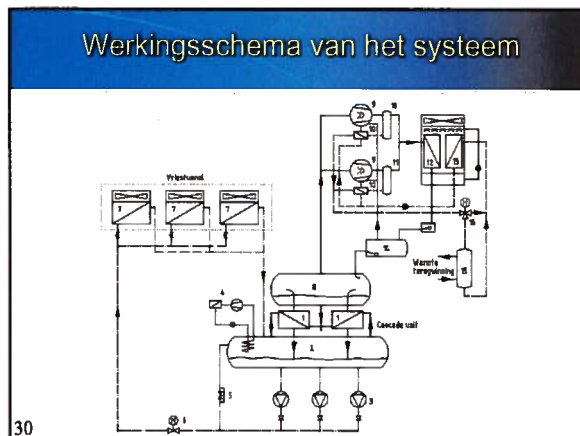
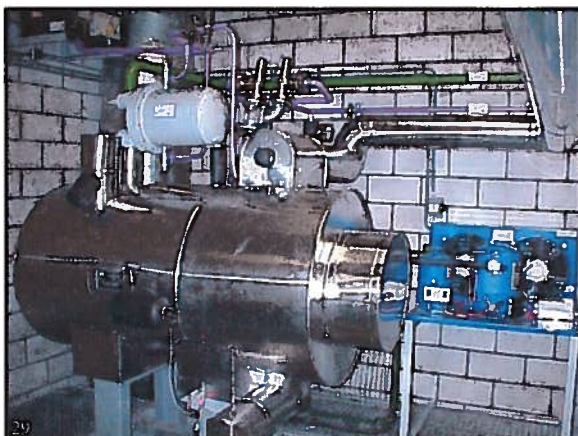
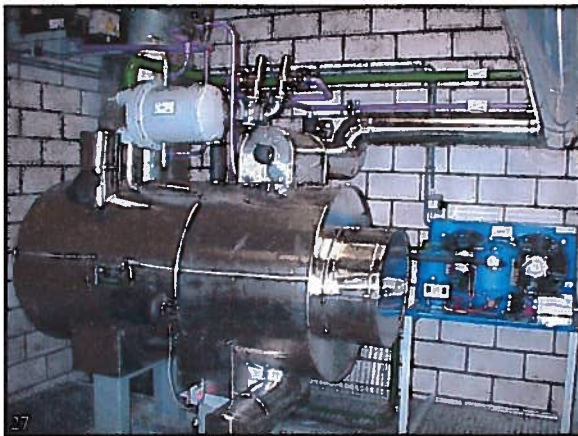
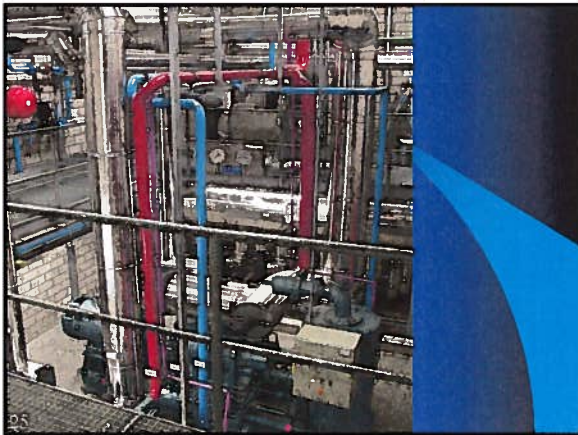
Werkingsschema van het systeem

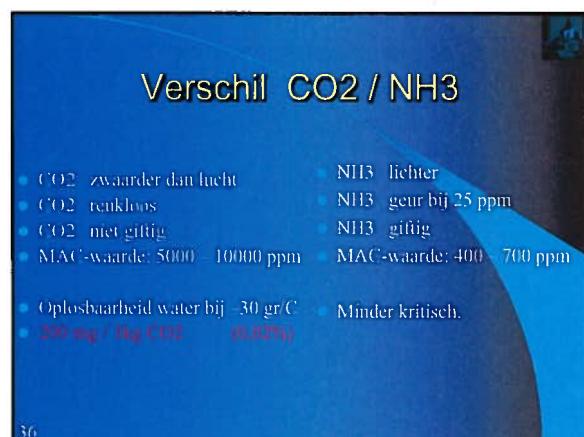
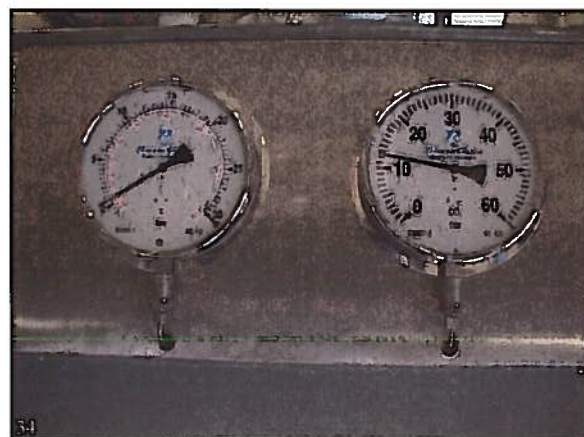
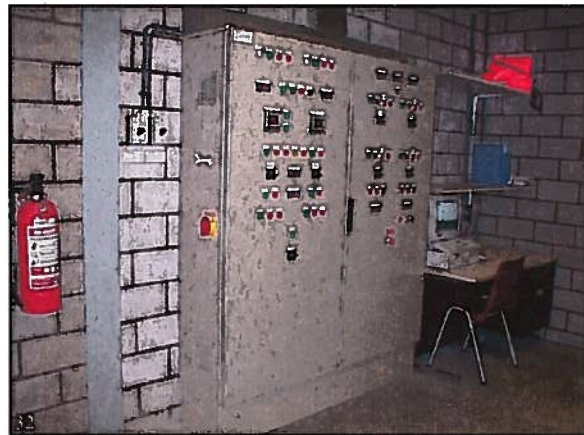


23



24

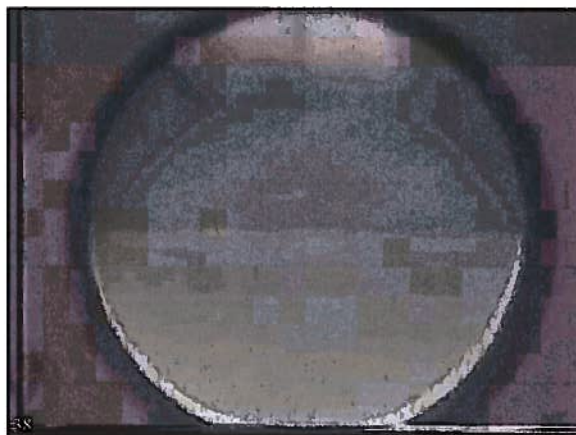




CO2 triplepoint!?

- Tripelpunt $-56.6\text{ gr/C} - 5.18\text{ bar a}$
- Sublimatiepunt $-78.9 - 0.918\text{ bar a}$

37



Aandachtspunten CO2

- Ontwerpdruk installatie 40 bar
- Tripelpunt bewaken
- Laag afzuigen
- Installatie zeer droog opleveren
- Vullen vanuit vacuum gasvormig tot boven tripelpunt
- Eerste vulling zowel vloeistof als gasvormig (drukbeheersing)
- Afblaasveiligheden aan het einde van de afblaasleiding

40



De installatie is gekeurd door TNO, zowel NH3 als CO2

42



**Bijlage 2 Wijbenga, J., Milieuvriendelijke vriestunnel met CO₂
bij Puul – Volendam, Koude & Luchtbehandeling
juli 2002**

Milieuvriendelijke vriestunnel met CO₂ bij Puul - Volendam



Ing. J. Wijbenga

Ingenieurs- en Handelsburo
Wijbenga B.V.

Samenvatting

Bij Klaas Puul & Zn. B.V. in Volendam is recentelijk een vriestunnel in bedrijf gesteld met een opmerkelijke koudecentrale en koudedragers. Het betreft, als eerste systeem in Nederland, een koudesysteem met CO₂ als verdampende koudedragers op industriële schaal. (CO₂ als koudemiddel wordt reeds gebruikt). Als koudemiddel wordt NH₃ toegepast. Hierdoor is een koudesysteem gerealiseerd met natuurlijke koudemiddelen waarbij de NH₃-inhoud beperkt kon blijven.

Summary

At Klaas Puul & Zn. B.V. (a large shrimp-processing factory at Volendam, The Netherlands) recently a tunnel freezer has put in operation, with a remarkable refrigeration installation and coolant. It is the first system in the Netherlands with CO₂ as evaporating cooling medium on a industrial scale. (CO₂ as a refrigerant is known already.) As refrigerant NH₃ is applied. It is a installation with natural refrigerants and a limited amount of NH₃.

Inleiding:

Klaas Puul & Zn. B.V. is één van de grootste garnalenpel- en handelsbedrijven in Europa. Het bedrijf is gevestigd in Volendam en heeft een eigen pellerij in Marokko. Het bedrijf beschikt in Volendam en Edam over eigen koel- en vriesopslag. Tot voor kort werden garnalen met een stikstoftunnel ingevroren. Begin 2001 werd het plan opgevat om de invriescapaciteit uit te breiden.

Met de huisinstallateur, Bort de Graaf te Spakenburg, werd het systeem uitgewerkt. Nu staat er een milieutechnisch en energetisch verantwoord en vooruitstrevend systeem wat zeker navolging zal vinden. Dit project werd om deze redenen ondersteund door het Ministerie van VROM door middel van het ROB-programma wat uitgevoerd wordt door Novem; het project kwam eveneens in aanmerking voor de Stimekregeling van NUON en Groenfinanciering.

Systeemkeuze

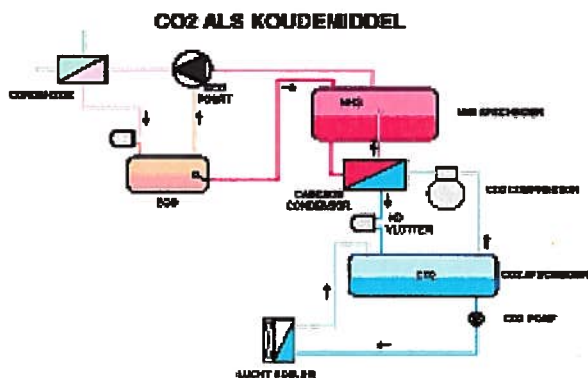
Om de garnalen (en ook andere kleinere producten) snel in te kunnen vriezen werd gekozen voor een Frigoscandia-vriestunnel met het FloFreeze-principe. De producten worden door een koude luchtstroom omspoeld en door trillingen door de tunnel getransporteerd. De benodigde invriescapaciteit is 5-7 ton/uur. Hiervoor was een koudesysteem nodig met een vermogen van 800 kW, inclusief de geplande uitbreiding met een vriescel, bij een verdampingstemperatuur van -36 °C.

In de meeste gevallen worden de tunnelkoelers verbonden met een NH₃-pompsysteem waardoor de luchtkoelers relatief klein kunnen blijven t.o.v. koelers met directe expansie of met een koudedragers. In dit geval is hier om een aantal redenen van afgeweken. Enkele redenen worden in dit artikel onder de aandacht gebracht omdat die ook voor andere bedrijven van belang kunnen zijn.

Keuze van het koudemiddel

Op het moment dat de systeemseisen ingevuld moesten worden, waren enkele belangrijke ontwikkelingen op het gebied van koudemiddelen aan de gang. De belangrijkste waren:

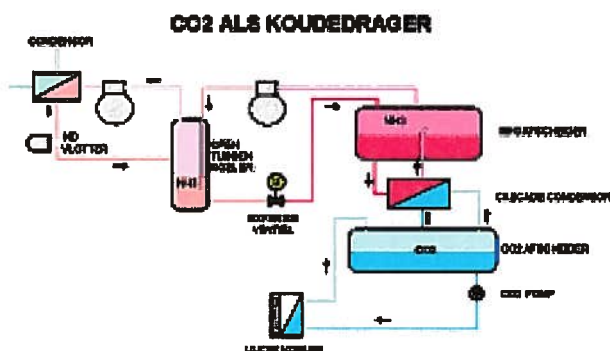
- De vulling van koudemiddelen moet zoveel mogelijk beperkt worden. De synthetische koudemiddelen zijn duur, NH₃ wordt meer en meer geaccepteerd als de vulling niet te groot is.
- NH₃ is als natuurlijk koudemiddel ook interessant voor een 'groene' uitstraling van het bedrijf.
- Een grote NH₃-vulling zou de nodige weerstand oproepen bij de naaste omgeving van het bedrijf en de vergunningverlenende instanties.
- Vervangers voor NH₃ zijn te vinden bij de synthetische koudemiddelen zoals R507, R410 etc. Het energiegebruik hiervan ligt beduidend hoger dan van een gelijksoortig NH₃-systeem, zie tabel IV. De dure synthetische koudemiddelen maken daarnaast vaak een aanmerkelijk deel van de projectkosten uit.
- Ter vervanging van een koudemiddel zou een moderne koudedragers gebruikt kunnen worden. Deze koudedragers vragen om grote leidingdiameters en relatief veel pompvermogen. Energie wordt uitgewisseld via voelbare warmte. Daardoor ontstaan grotere temperatuurverschillen en zijn grotere warmtewisselaars in de tunnel nodig dan met een verdampend koudemiddel. De warmte-overdracht is meestal slechter dan bij een verdampend koudemiddel. Een warmtewisselaar tussen de koudedragers en NH₃ zou sowieso noodzakelijk zijn.
- Voor een systeem met CO₂ als koudemiddel zijn compressoren nodig die geschikt zijn voor de hogere optredende drukken. Deze compressoren geven olie af aan de CO₂ waarvan al-



Schema 1: systeem met CO₂ als koudemiddel

tijd een deel in de verdamper terecht komt. (olievrije compressoren zijn kostbaar). Er waren nog weinig geschikte compressoren op de markt, ervaringen met de oliehuishouding waren schaars. De warmte wordt uitgewisseld met latente warmte.

- Bij een systeem met CO₂ als verdampende koudedragers (verder koudedra-



Schema 2: systeem met CO₂ als koudedragers

ger) wordt de warmte uitgewisseld met latente warmte zoals bij een koudemiddel-systeem. Er is geen temperatuurverschil van het medium in de verdampers, de verdamper blijft t.o.v. een NH₃-systeem nagenoeg gelijk. De leidingdiameters en het benodigde pompvermogen zijn kleiner dan bij de vloeistof-koudedragers. Het grote voordeel is dat het CO₂-systeem olie vrij blijft.

- In diverse Europese landen werden reeds systemen gebouwd met CO₂ als koudemiddel of als verdampende, koudedragers, meestal op kleinere schaal of voor een hogere temperatuur.

In Nederland was bij TNO-MEP een testinstallatie gestart, in samenwerking met GTI-Koudetechniek, Goedhart, Wijbenga e.a., met CO₂ als koudedragers die in een later stadium omgebouwd kan worden naar een systeem met CO₂ als koudemiddel. Enkele grotere industriële systemen waren gepland en stonden kort voor de realisatie.

Kenmerken van systemen met CO₂

- CO₂ is, evenals NH₃, een natuurlijk product, is niet direct giftig, niet explosief en niet brandbaar. De optredende drukken liggen bij identieke temperaturen hoger dan bij de gebruikelijke koudemiddelen.
- De zuigleiding van CO₂ kan veel kleiner zijn dan bij NH₃ of andere koudemiddelen. Bij Puul is de centrale zuigleiding voor NH₃ bij

- Het temperatuurverschil bij drukdaling, b.v. als gevolg van leidingweerstand, is bij CO₂ veel kleiner dan bij andere koudemiddelen, zie tabel II. Een deel van het benodigde temperatuurverschil over de cascadecondensor wordt daardoor 'goed' gemaakt door het lagere temperatuurverschil over de zuigleiding van CO₂ t.o.v. NH₃.
- CO₂ is zeer goedkoop, zie tabel III voor de relatieve prijs, maar het vraagt om een hogere ontwerpdruk van het systeem, de benodigde componenten die hieraan voldoen zijn op de markt beschikbaar.

Om het risico van onbekende technieken zoveel mogelijk te beperken is gekozen voor een NH₃/CO₂ cascade-systeem met CO₂ in het lage temperatuurgebied en NH₃ in het hoge temperatuurgebied. (Er kan hier niet gesproken worden over lagedruk- en hogedruksysteem omdat dit bij de gekozen middelen omgekeerd is aan wat hieronder als gangbaar wordt verstaan.) De alom bekende systeemkennis van NH₃ wordt hier gecombineerd met een minder bekende CO₂-techniek waaraan geen onbekende olietechniek is

Tabel I: ontwerpdruk van een systeem t.o.v. de verzadigingstemperatuur

Koudemiddel	Ontwerpdrukken			
	PS16	PS25	PS40	PS64
	Verzadigingstemperatuur °C			
R717/NH ₃	44	60	80	102
R744/CO ₂	-24	-9	7	25
R22	45	64	86	
R404A/R507	36	55		
R410	26	41	63	
R290	50	73		

-40°C DN 300 terwijl de CO₂-zuigleiding bij -36°C slechts DN 100 is. De zuiggashoeveelheid bij NH₃ is 3.200 m³/h en bij CO₂ is dit 300 m³/h bij 800 kW, exclusief expansiegas.

toegevoegd. Op deze wijze kon een systeem ontwikkeld worden met uitsluitend natuurlijke koudemiddelen en met zoveel mogelijk bekende technieken. Bort de Graaf heeft samen met compo-

Tabel II: temperatuurverschil bij diverse drukverschillen in de zuigleiding.

Koude- middel	Drukverschil, Δp in kPa					
	10	15	20	10	15	20
	bij T _o = -10°C			bij T _o = -40°C		
	temperatuurverschil					
R22	0,83	1,25	1,64	2,09	3,33	4,55
R404A/R507	0,27	0,41	0,54	1,63	2,51	3,38
R410	0,48	0,71	0,95	1,29	1,94	2,59
R717/NH ₃	0,86	1,31	1,75	2,72	4,26	6,00
R744/CO ₂	0,13	0,20	0,27	0,37	0,41	0,54

Tabel III: relatieve kostprijs van enkele koudemiddelen

Koude- middel	relatieve prijs in %			
	per kg	SG bij 20°C kg/liter	per liter	
R22	300	1,210	363	595
R404A	950	1,078	1024	1680
R507	920	1,067	981	1610
R134a	570	1,224	697	1142
R744/CO ₂	30	1,050	32	52
R717/NH ₃	100	0,610	61	100

Bij het bepalen van de kostprijs moet erop gelet worden dat er in 'kg' wordt berekend terwijl in 'liter' wordt gevuld.

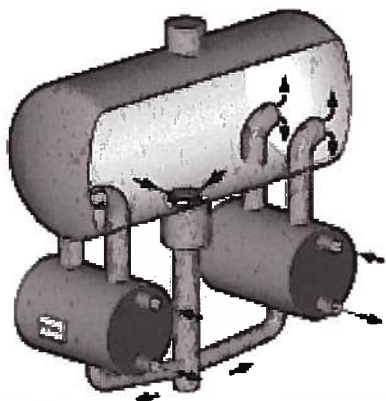
nentenleveranciers het systeem verder uitgewerkt waarbij GTI-Koudetechniek B.V. in het begin 'over de schouders' heeft meegekeken en de toen reeds met de proefinstallatie opgedane kennis heeft ingebracht. De proefinstallatie was op het moment van beslissen en uitwerken de enig werkende CO₂-installatie in Nederland. In het totale project heeft TNO-MEP de veiligheidsinspecties en de subsidie-verzorging uitgevoerd.

Beschrijving van het systeem

Zoals hiervoor reeds genoemd, wordt het hart van het systeem gevormd door een NH₃/CO₂-cascadesysteem met CO₂ als verdampende koudedragers, zie principe-schema 2.

Het systeem bij Puul is opgebouwd uit:

1. een FloFreeze-vriestunnel. De lucht-koelers in de tunnel hebben een ontwerpdruk van 40 bar zodat tijdens b.v. het opstarten de maximale systeemdruk niet snel een beperking vormt. Ook tijdens een stroomstoring zou de druk, door warm product in de tunnel, tijdelijk te hoog kunnen oplopen waardoor CO₂ afgeblazen zou moeten



Afbeelding 1: de NH₃-afscheider met cascadecondensors

2. een CO₂-afscheider met CO₂-pompen. Dit zijn in principe standaard koudemiddelpompen die geschikt zijn voor een systeemdruk van 40 bar. In de vloeistofleiding tussen pompen en tunnel is een motorgestuurd regelventiel geplaatst. Dit ventiel wordt via een regelaar aangestuurd die via een drukzender in het NH₃-systeem voorkomt dat de tunnelcapaciteit hoger kan worden dan de beschikbare compressorcapaciteit. Hierdoor wordt de drukstijging aan de CO₂-zijde beperkt gehouden.

3. een noodkoelsysteem met R404A, op de CO₂-afscheider, met een vermogen van ca. 2 kW. Tijdens stilstand van het hoofdsysteem wordt hiermee de CO₂-druk begrensd. Doordat nog geen vriescellen op het systeem zijn aangesloten kan nog geen gebruik gemaakt worden van de 'koudebuffer' van de opgeslagen producten om bij stilstand de systeemdruk binnen de perken te houden
4. Q-plate cascadecondensors, geschikt voor NH₃-natuurlijke circulatie. De NH₃ verdampt aan de mantelzijde terwijl de CO₂ tussen de platen condenseert. Het betreft volledig gelaste platen-warmtewisselaars, geschikt voor een systeemdruk van 40 bar. Het temperatuurverschil tussen NH₃-verdamper en CO₂-condensatie bedraagt ca. 3K.

worden. (40 bar komt bij CO₂ overeen met +7°C, zie tabel I). Dit ontwerpcriterium heeft zich inmiddels in de praktijk bewezen. Het ontdooisysteem wordt gevormd door het speciale Frigoscandia-systeem met 'perslucht' en door luchtontdooing. Een waterontdooisysteem is voorzien maar is niet in gebruik.

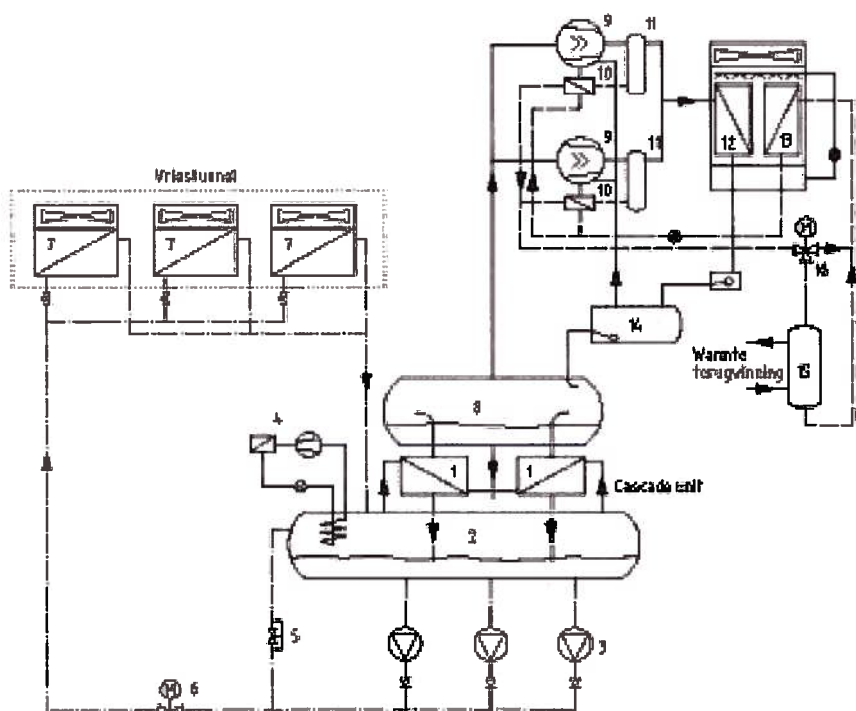
5. een NH₃-afscheider, direct verbonden met de platenwarmtewisselaars en voorzien van een, voor NH₃, standaard olie-aftapsysteem. Afbeelding 2 geeft een impressie van de genoemde delen 2 t/m 5 inclusief de open economiser.
6. twee stuks Grasso-schroefcompressoren, $\frac{1}{3} + \frac{2}{3}$ verdeeld over de belasting. De compressoren zijn ontworpen tussen -40°C en 35°C met open economiser. De oliekoelers voeren de warmte af via een warmte-terugwindsysteem of, als dit de warmte niet kan gebruiken, via een extra blok in de verdampingscondensor. Hierdoor gaat zo min mogelijk nuttige energie verloren en wordt de koudemiddelvulling beperkt t.o.v. een systeem met NH₃-gekoelde oliekoelers. In tabel IV wordt een overzicht gegeven van COP-waarden tussen ver-



Afbeelding 2: opstelling van het CO₂ vat met pompen en cascadecondensors met afscheider (foto WITT)

schillende compressiesystemen. Hieruit blijkt dat er energiezuiniger systemen mogelijk zijn maar deze hebben weer andere nadelen waarop hier niet verder wordt ingegaan. Interessant is het verschil tussen gelijksoortige systemen met NH₃ of R507.

7. een verdampingscondensor/gesloten koeltoren. Binnen dezelfde omkasting is een condensorblok voor de NH₃ en een warmtewisselaar voor het koelen van glycol t.b.v. de oliekoelers geplaatst. Verdere beperking van de NH₃-vulling was mogelijk geweest door een koeltoren of een gesloten koeltoren toe te passen samen met een water- of glycolgekoelde NH₃-condensor. Hiervoor is in dit geval niet gekozen, mede i.v.m. het extra benodigde temperatuurverschil.



Verklaring van de cijfers:

- 1: cascadecondensers
- 2: CO₂ reservoir/afscheider
- 3: CO₂-pompen
- 4: noodkoeling

- 5: drukverschilregelventiel
- 6: motorgestuurd opstartregelventiel
- 7: vriestunnelkoelers
- 8: NH₃-afscheider
- 9: NH₃-compressoren
- 10: glycolgekoelde oliekoelers

- 11: olieafscheider
- 12: condensorblok
- 13: glycolkoelblok
- 14: open economiser met HD-vlotters
- 15: buffertank voor warmteopslag
- 16: driewegregelventiel voor glycol

Schema 3: werkingsschema van het gerealiseerde systeem

Er is geen rekening gehouden met frequentieregeling van de compressoren. Als de verdampingstemperatuur daalt van -36°C naar -40°C (door de ontwerp- ΔT over de cascadecondensor) dan neemt het energiegebruik met 13% toe ([93-81]/93) voor een systeem met een open economiser. Zie hierbij ook de opmerking bij tabel

II. Bij deellast kan de afname van de COP gedeeltelijk beperkt worden door een stijging van de verdampingstemperatuur. De CO₂-temperatuur kan tijdens deellast hoger zijn en de ΔT over de cascadecondensor kan kleiner zijn. De getallen zijn op basis van door Grasso verstrekte gegevens uitgewerkt.

Tabel IV: overzicht van COP-waarden bij verschillende condities

Overzicht COP-waarden	Capaciteit 100%		Capaciteit 70%	
	COP	%	COP	%
systeem +35/-36°C				
NH ₃ -tweetrapsysteem	1,98	100	1,84	93
NH ₃ -schroefcompressor met open economiser	1,84	93	1,56	79
R507-schroefcompressor met open economiser	1,71	86	1,42	72
Systeem +35/-40°C				
NH ₃ -tweetrapsysteem	1,76	89	1,64	83
NH ₃ -schroefcompressor met open economiser	1,60	81	1,40	71
R507-schroefcompressor met open economiser	1,52	77	1,25	63

Uiteindelijk systeem

Schema 3 geeft de opbouw van de uiteindelijk geplaatste installatie weer. Het systeem is eenvoudig van opbouw, elektronica is tot het uiterste beperkt evenals het aantal bewegende delen. Hierdoor kunnen onderhouds- en bedrijfskosten laag blijven. Naast natuurlijke koudemiddelen vinden de stromingen tussen CO₂-afscheider + cascadecondensor / verdampers + NH₃-afscheider langs natuurlijke weg plaats.

Inbedrijfstelling

Medio maart 2002 is het systeem zonder noemenswaardige problemen in bedrijf gesteld. Dit klinkt gemakkelijk en risicoloos. Echter mede door uitvoerig overleg tijdens het project tussen alle betrokken partijen en het feit dat de opdrachtgever voldoende realisatietijd beschikbaar stelde kon dit resultaat worden bereikt. Het systeem voldoet ruimschoots aan de verwachtingen en werkt bij een NH₃-verdampingstemperatuur van -41°C en een CO₂ condensatie/verdampingstemperatuur van -38°C overeenkomstig de ontwerpcondities. Er is een project gerealiseerd wat richtingwijzend voor de toekomst is met uitsluitend natuurlijke koudemiddelen. □

Deelnemers in het project / componenten

Opdrachtgever

Klaas Puij & Zn. B.V., Volendam

Architect

Architectenbureau Schilder

Installateur

Bort de Graaf Koel- en
Klimaattechniek B.V., Spakenburg

Toeleveranciers:

TNO-MEP

Veiligheidsinspecties en subsidies

Grasso N.V.

NH₃-schroefcompressoren

Frigoscandia

Vriestunnel

Wijbenga B.V.

Q-plate/Vahterus cascadecondensers

WITT-CO₂-pompen, 40 bar

WITT-drukventielen, economiser

Hamapo B.V.

Evapco verdampingscondensor

Odink & Koenderink B.V.

Motor Control Center (M.C.C.)

Hatulec Emüs B.V.

Schakelkast

Isolust B.V.

Isolatiewerken

Bijlage 3 Meetwaarden opstart

Puul meting garnalentunnel

