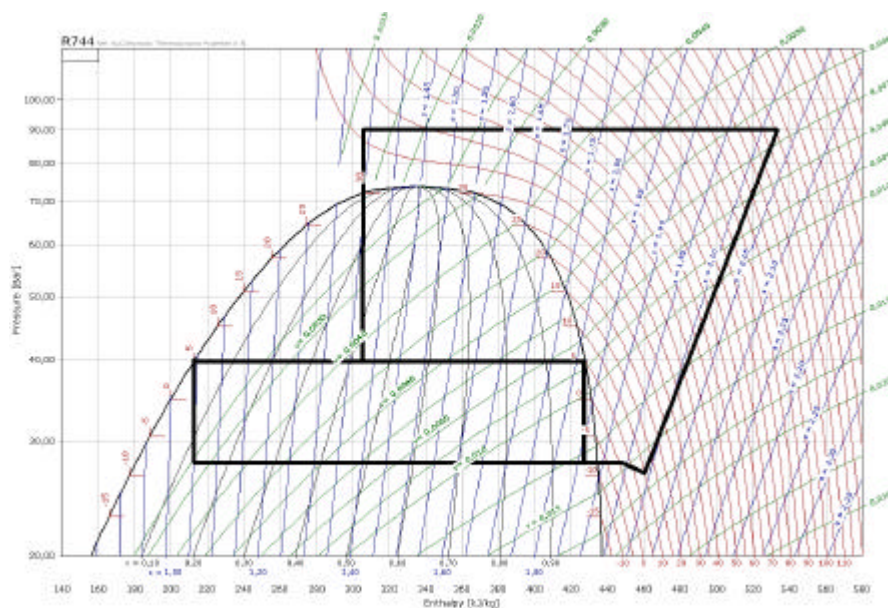
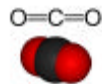


Statusrapport **CO₂** als **primaire** koudemiddel in supermarkten



Datum :
22-01-2007

Auteur :
ing. R.Jans

Projectnummer :
CS7-0608-021

Versie : Definitief + Commentaar deskundigen

t.a.v. :
Dhr M.Dieleman

Inhoudsopgave :

0.	Inleiding.....	3
0.1.	Overzicht Europese wetgeving aangaande HFK's:	3
0.1.1.	Beperking HFK door belastingheffing op basis van GWP:	3
0.1.2.	Beperking van de toegestane inhoud:.....	3
0.1.3.	Beperking van HFK - lekkage door controle op kwaliteit:.....	3
0.2.	CO ₂ - een bijdrage aan de lange termijn oplossing !? :	4
1.	De voor- en nadelen van CO ₂ als <i>koudemiddel</i> t.o.v. NH ₃ als koudemiddel :.....	5
1.1.	De voor- en nadelen van het CO ₂ /CO ₂ concept t.o.v. NH ₃ /CO ₂ :	5
1.2.	Exploitatie / Prijsniveau.....	5
1.3.	CO ₂ emissie:.....	5
2.	CO ₂ congres in Londen op 17 januari 2006.....	6
3.	Conceptvergelijkingen.....	6
3.1.	NH ₃ /CO ₂ concept:	7
3.2.	CO ₂ /CO ₂ concept:	8
3.3.	R404A DX concept (Referentie) :	11
3.4.	TEWI berekeningen (Total Equivalent Warming Impact):	12
4.	Potentiële besparingen voor het supermarktsegment.....	13
4.1.	Marktsituatie:	13
4.2.	Potentiële besparingen op de CO ₂ emissie:	13
5.	Vertaling van de gerapporteerde 'Zwitserse resultaten' m.b.t. de gemiddelde jaar COP naar de Nederlandse situatie (KNMI gegevens).....	14
5.1.	COP berekeningen Coolsultancy:	15
6.	Warmteterugwinning.....	16
6.1.	Energieverbruik bij diverse installatieconcepten :.....	17
7.	Duurzame energie.....	18
7.1.	Bodemkoude (koeling in zomerperiode van de gaskoeler).....	18
7.2.	Aquifer ten behoeve van CO ₂ kringloop:.....	18
8.	Effect van de omvang (m ²) VVO/BVO op het CO ₂ /CO ₂ concept.....	20
9.	Verbeteropties.....	20
10.	Conclusies en aanbevelingen	21
11.	Literatuurlijst.....	22
12.	Bijlagenoverzicht:	22
13.	Bijlage I Kringloopoverzicht van de diverse concepten.....	23
14.	Bijlage II Verslag Brainstorm.....	24
15.	Bijlage III Commentaar H van der Ree.....	28

0. Inleiding.

Deze rapportage behandelt een aantal aspecten rondom een voor Nederland nieuwe technologie (CO_2/CO_2) en is met name bedoeld om te laten zien wat de status hiervan is. **SenterNovem** is met name geïnteresseerd in wat er in de Europese landen om ons heen gebeurt. De hoofdstukindeling en verdere detaillering in deze rapportage is conform de offerte aan SenterNovem van 07-02-2006. Dit ter excuus aan de lezer.

0.1. Overzicht Europese wetgeving aangaande HFK's:

Er zijn diverse strategieën te onderscheiden waarmee de Europese landen de toepassing en emissies van HFK's willen beperken. In grote lijnen zijn deze in drie hoofdgroepen te verdelen :

0.1.1. Beperking HFK door belastingheffing op basis van GWP:

	Specifieke maatregelen				
	€/ton CO_2 eq	R134a	R404A	R744 – CO_2	R717 – NH_3
Denemarken	15.6	17.5 €/kG	51.0 €/kG	tax free	tax free
Noorwegen	18.5	24.0 €/kG	60.2 €/kG	tax free	tax free

0.1.2. Beperking van de toegestane inhoud:

	Specifieke maatregelen		
Zweden	Indirect 50 kG	LT 30 kG	MT 20 kG
Luxemburg	= 100 kG HFK	= 100 kG R717 en/of R744	
Denemarken	= 10 kG HFK		
Zwitserland	= 80 kG Koudedragers		

0.1.3. Beperking van HFK - lekkage door controle op kwaliteit:

Europa :

Zoveel mogelijk beperken van HFK-emissies, geen verbodsbepalingen. Regelgeving voor het terugwinnen en recyclen van producten welke HFK's bevatten. Opleidingseisen voor personen.

Nederland :

Zoveel mogelijk beperken van HFK-emissies, geen verbodsbepalingen. Geen regelgeving strenger dan de Europese wetgeving.

Frankrijk :

Men onderzoekt een regeling om de emissie van HFK's te verminderen. Belastingheffing op producten welke HFK's bevatten wordt nader onderzocht. In de nabije toekomst geen verbod op het gebruik van HFK's.

Duitsland :

In september 2002 heeft het ministerie van Milieubeheer een voorstel gedeponerd om te komen tot een HFK-reductie, daar waar het gebruik van natuurlijke koudemiddelen technisch tot de mogelijkheden behoort. Dit onderwerp wil Duitsland harmoniseren met de Europese wetgeving.

Oostenrijk :

Algeheel verbod op het gebruik van HFK's (per 01-01-2008) ??

0.2. CO₂ - een bijdrage aan de lange termijn oplossing !? :

De laatste jaren heeft CO₂ als koudedragers aan belangstelling gewonnen in combinatie met het natuurlijke koudemiddel NH₃ voor de opwekking. Indien we het totale concept met natuurlijke koudemiddelen willen invullen zijn er voor de opwekking in principe drie opties voorhanden :

o **Ammoniak (R717)**

Alhoewel thermodynamisch een uitermate gunstig koudemiddel, kleven er toch een aantal bezwaren aan de toepassing hiervan in met name de supermarktomgeving. Supermarktorganisaties zijn over het algemeen huiverig m.b.t. de eventuele (negatieve) publiciteit bij calamiteiten. Of dit terecht of onterecht is doet binnen deze rapportage niet ter zake. Maar ook binnen het ministerie van VROM zijn de voor- en tegenstanders moeilijk op één lijn te krijgen. Het aspect milieu is hierbij veelal conflicterend met het aspect veiligheid.

o **Brandbare koudemiddelen (Hydro Carbons, zoals propaan, butaan etc.)**

Ook deze koudemiddelen worden over het algemeen gekenmerkt door goede thermodynamische eigenschappen maar hebben nog meer dan NH₃ een slechte reputatie m.b.t. veiligheid. Sommige compressorfabrikanten beperken hierbij de garantie vanwege angst voor claims. (vervolg schade)

o **Nieuwe Technologie CO₂ (R744) als koudemiddel (CO₂/CO₂)**

Het is dus eigenlijk een logische stap om te kijken of het mogelijk is bovenstaande oplossingen te vermijden door het toepassen van CO₂ als koudemiddel. De aspecten giftigheid, brandbaarheid en explosiegevaar zijn niet van toepassing op dit koudemiddel, waarbij een kanttekening moet worden gemaakt bij het aspect giftigheid omdat CO₂ de plaats van O₂ kan innemen waardoor uiteindelijk toch een gevaarlijke situatie kan ontstaan. Dit risico is echter door het gebruik van detectieapparatuur in combinatie met ventilatievoorzieningen tot een minimum te beperken. Deze aspecten spelen natuurlijk ook al een rol bij CO₂ als koudedragers. De veiligheidsrichtlijn **IOR / R744**, welke door Dhr. Wijbenga uit het Engels is vertaald, kan hierbij als leidraad fungeren.

1. De voor- en nadelen van CO₂ als koudemiddel t.o.v. NH₃ als koudemiddel :

Voordelen :

- o Vermijden van NH₃. (en alle specifieke NH₃ wetgeving hieromtrent: CPR13- 2).
- o Zuigercompressoren met NH₃. Luchtgekoeld toepasbaar tot max. 37 °C.
- o Geen olieafscheiders noodzakelijk. (Fabrikant afhankelijk ?!)
- o Aanzienlijk kleinere leidingdiameters noodzakelijk (besparing op prijs en inhoud).

Nadelen :

- o Basiskringloop is m.b.t. energieverbruik aanzienlijk slechter.
- o Hogere ontwerpdrukken (CO₂ transkritisch).
- o Beschikbaarheid van compressoren (beperkte range beschikbaar).
- o Aanwezigheid van kinderziektes met name bij de compressoren.
- o Nog relatief weinig ervaringen beschikbaar.

1.1. De voor- en nadelen van het CO₂/CO₂ concept t.o.v. NH₃/CO₂ :

Voordelen :

- o WTW optie geeft meer mogelijkheden (transkritisch , gaskoeler).
- o Minder ruimtebeslag voor machineruimte (m² en valhoogte voor CO₂ pomp).
- o Geen aparte CO₂ pomp(en) voor de koelobjecten noodzakelijk.
- o Minimum condensatietemperatuur +10 °C.
- o Zuigercompressoren mogelijk (NH₃ luchtgekoeld vereist schroefcompressoren).
- o Systeem creëert automatisch hogere zuiggasoververhitting (compressor eis).
- o Geen extra temperatuurtrap noodzakelijk (cascade condensor).
- o Minder koudemiddelvulling.

Nadelen

- o CO₂ DX systeem is ongunstiger dan CO₂ pompsysteem (koelrendement).
- o Componenten nog maar beperkt beschikbaar.

1.2. Exploitatie / Prijsniveau

In dit stadium is het bijzonder lastig een reële prijscalculatie op te zetten voor een CO₂ / CO₂ concept. Dit heeft te maken met het feit dat er door een aantal marktpartijen b.v. (Linde & Bitzer) gezamenlijk ontwikkelingsinspanningen zijn gedaan. Om de ontwikkelingsvoorsprong te behouden zijn afspraken gemaakt omtrent de vrijgave van compressoren voor andere marktpartijen. Er kunnen wel complete **compressorpacks** geleverd worden door partijen welke nu ervaringen hebben opgedaan, maar de prijsstelling hiervan is natuurlijk gebaseerd op het terugverdienen van de investeringen welke met deze ontwikkelingen gemoeid zijn geweest. De prijs wordt pas reëel indien de "gewone" koeltechnisch installateur in staat is om de compressoren los in te kopen en hiervan vervolgens zelf een "compressorpack" te assembleren.

1.3. CO₂ emissie:

Zie hoofdstuk 3.4

2. CO₂ congres in Londen op 17 januari 2006.

De belangrijkste conclusies uit het in januari van dit jaar gehouden CO₂ congres, georganiseerd door het **RAC** (refrigerating and air conditioning magazine) zijn in willekeurige volgorde :

Dr.Rainer Jakobs (Consultant for R & AC) (Duitsland):

- ✍ CO₂ is ***not*** the alternative refrigerant for small scale applications but it is additional choice.
- ✍ CO₂ – Technology has strong advantages for Domestic Hot Water Heat Pumps.

Dr.Andy Pearson (Director Star refrigeration) (Schotland):

Why will CO₂ be used ?

- ✍ Lowest risk / least hassle solution.
- ✍ Lower cost of ownership.
- ✍ Combined heating and cooling.
- ✍ Better system efficiency for secondary systems.
- ✍ There may be no alternative

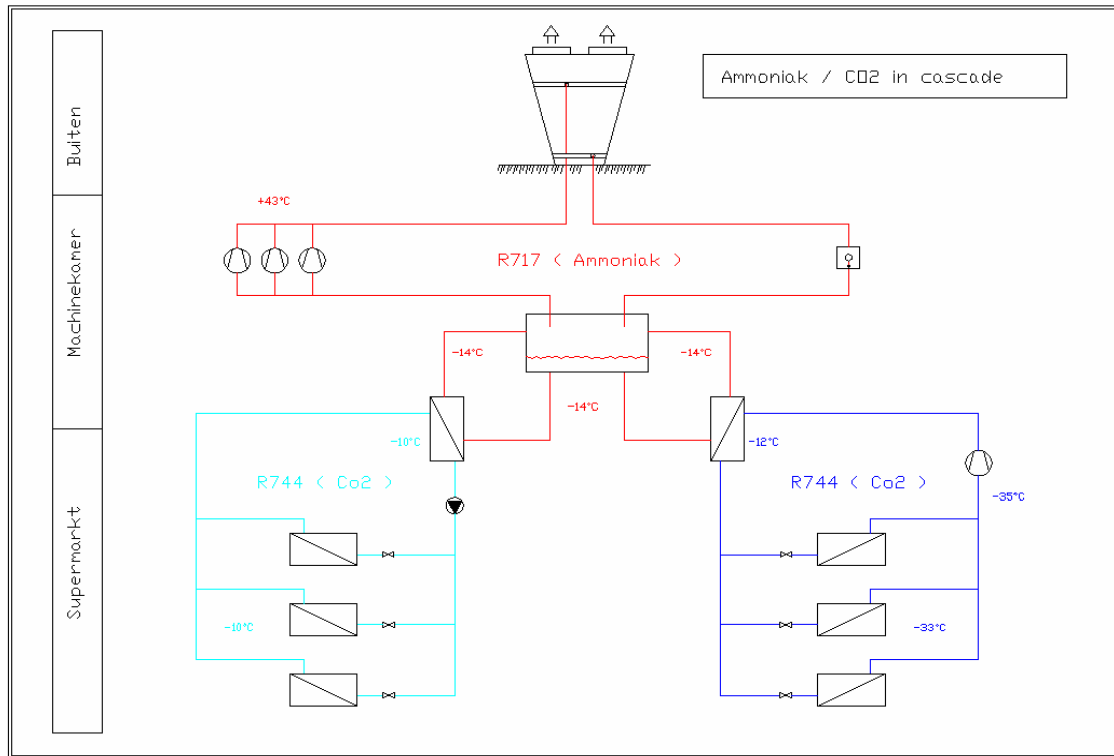
Herman Renz (Director Bitzer) (Duitsland):

- ✍ Transcritical CO₂ applications are still in development phase.
- ✍ Require completely different system technology & control.
- ✍ Is no general solution for the substitution of HFC's.

3. Conceptvergelijkingen.

In dit hoofdstuk worden drie verschillende concepten met elkaar vergeleken. Het concept NH₃ / CO₂ wordt aan de hand van het meest recentelijk gerealiseerde project bij DEEN/Purmerend doorgerekend omdat hiervan de nodige gegevens beschikbaar zijn. (Haalbaarheidsonderzoek van adviesburo Bruin) Het concept CO₂ / CO₂ wordt verder toegelicht aan de hand van supermarkten welk zowel in Zwitserland als in Luxemburg gerealiseerd zijn. Het R404A concept wordt als referentie-installatie beschouwd.

3.1. NH₃/CO₂ concept:



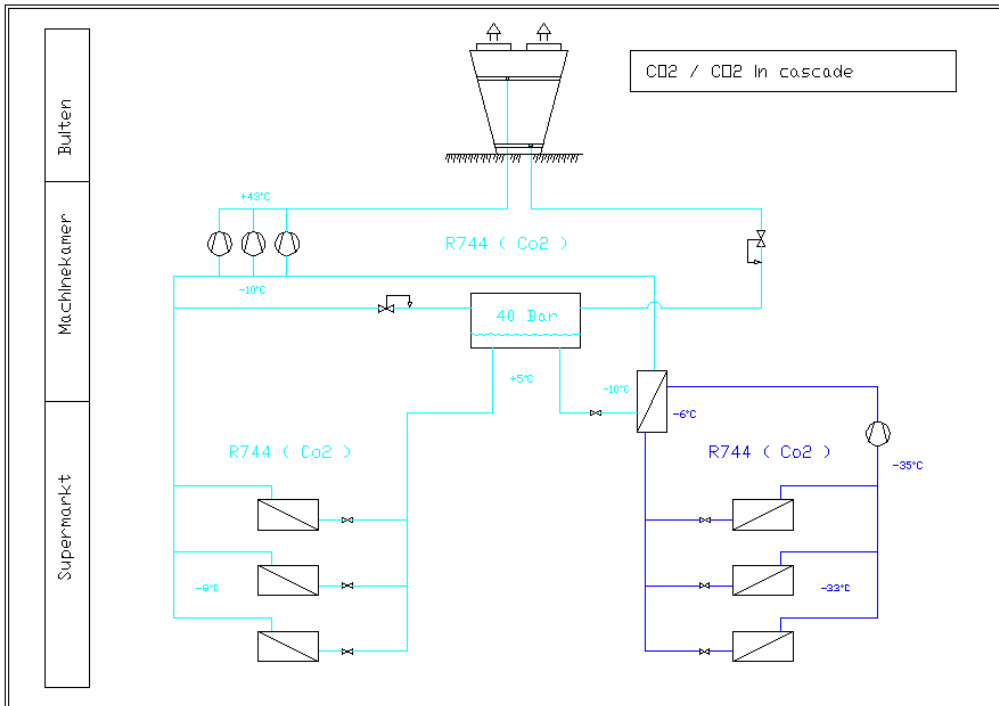
Dit systeem is als zodanig bij twee supermarkten in Nederland uitgevoerd. Het eerste systeem bij C-1000 Zoetelief in Bunschoten en het tweede systeem bij het Deen filiaal Weidevenne in Purmerend. Van deze projecten zijn door twee verschillende partijen rapportages opgesteld waaruit de belangrijkste conclusies zijn overgenomen en weergegeven in onderstaande tabel.

Item	C-1000 Bunschoten	Deen Purmerend
Rapportage	TNO	Adviesburo Bruin
Datum	november - 2004	mei - 2006
VVO oppervlakte supermarkt. (m ²)	796	1627
Koelcapaciteit (kW)	60,5	113,5
Vriescapaciteit (kW)	10,7	19,5
Meerinvestering (€)	112.458,-	116.050,-
Energiebesparing per jaar (kWh/jr)	25.000	66.290
Energiebesparing per jaar (€/jaar)	1.750,-	4.456,-
Andere besparingen – Frequentieregelaars	-	516,-
Andere besparingen – Koudemiddellekkage (€ 80,-/kg)	1.000,-	-
Andere besparingen – Besparing op STEK	3.000,-	-
Besparing broeikasgassen in ton CO ₂ eq/jr	70,4	73,7
Totale jaarlijkse kosten (A * I – B) (€/jr)	-/- 10.264	-/- 11.553
Kosteneffectiviteit € / ton CO ₂ eq/jr	145	156

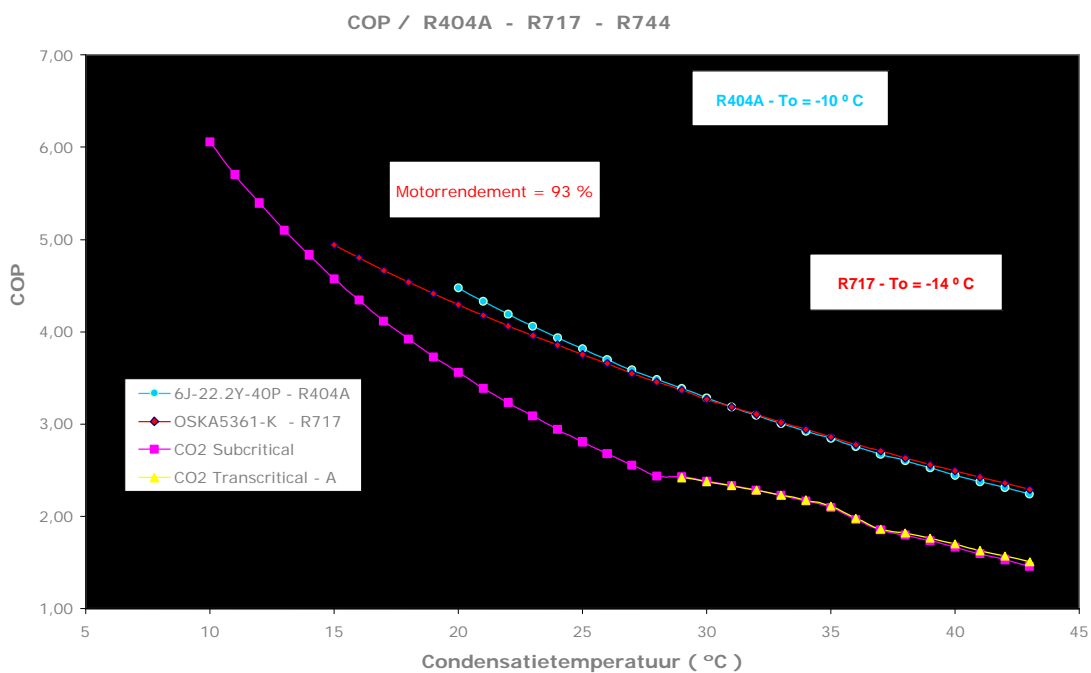
Tabel 1

A = Annuïteit = 0,1424 **I** = Investering **B** = Baten (jaarlijkse energiebesparing + andere besparingen)

3.2. CO₂/CO₂ concept:



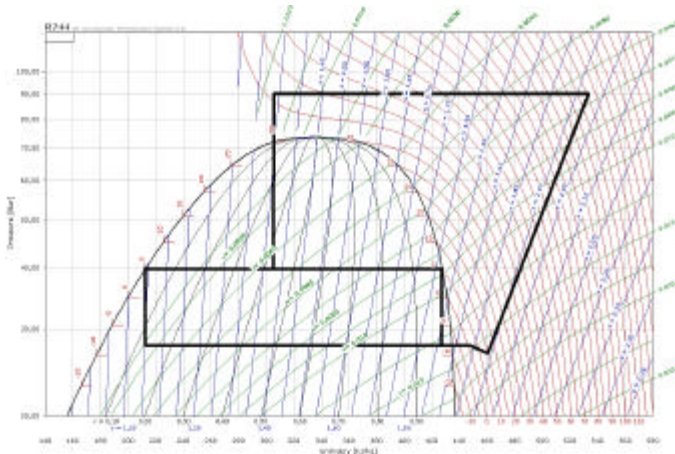
Bovenstaand is het principeschema weergegeven van het concept met CO₂ als koudemiddel. De grafiek uit 3.1 is aangevuld met het COP verloop van CO₂ als koudemiddel.



CO₂ transcritisch-A is voorzien van een vloeistof/zuiggas warmtewisselaar waardoor het rendement marginaal verbetert tijdens de transkritische fase.

Onderstaand nog enige aspecten van dit voorsnog ongebruikelijk koudemiddel, te weten:

A. Veiligheid :

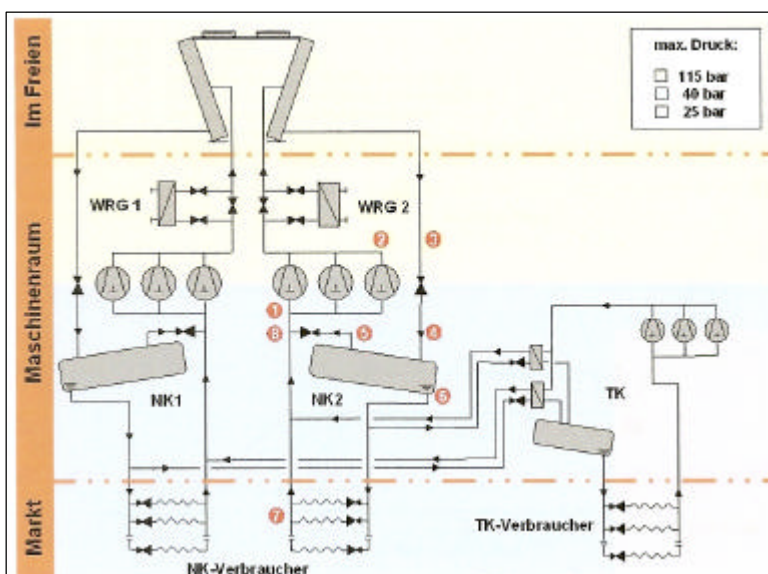


De kritische temperatuur van CO₂ is relatief laag, te weten +31,06 °C. (7.38 MPa) Dit betekent dat het niet mogelijk is om bij temperaturen hoger dan deze kritische waarde het middel vloeibaar te maken. Gezien de luchttemperaturen welke in Nederland optreden, variërend tussen -10 °C in de winter en +35 °C in de zomer met een enkele uitschieter tot 39 °C (zomer 2003) zal het compressieproces bij omgevingstemperaturen boven de 22 °C zogenaamd **transkritisch** verlopen.

Het vloeibaar maken verloopt dan in twee fasen, in eerste instantie zal middels een gaskoeler de CO₂-damp teruggekoeld worden, waarna via drukverlaging de vloeibare fase weer wordt verkregen. Afhankelijk van het ontwerp van de toegepaste apparatuur verloopt dit proces aan de hogedrukszijde bij een druk van 8 tot 9 MPa. Dit zijn natuurlijk wezenlijk andere drukken dan welke wij in de huidige HFK-situatie (2.5 MPa.) gewend zijn. Gedurende een groot gedeelte van het jaar kan het proces echter subkritisch verlopen, waarbij de kringloop vergelijkbaar is met die van de traditionele koudemiddelen. Alhoewel de drukken hoog zijn is het voordeel van R744 dat er kleine diameters benodigd zijn. Voor een systeem van 50 kW koelcapaciteit bij -10 °C volstaat een persleiding met een binnendiameter van +/- 15 mm ! De zuigleiding (25 mm) kan eventueel nog verder beperkt worden door meerdere parallelle leidingen in het ontwerp op te nemen. De vloeistofleiding voor dit systeem zou +/- 10 mm bedragen. In het kader van de PED betekent dit dat het leidingwerk als artikel 3, lid 3 wordt bestempeld ! Hierboven is een voorbeeld van een simpele ééntrapskringloop weergegeven. (Tool C.7/TU- Denmark).

Het vloeibaar maken verloopt dan in twee fasen, in eerste instantie zal middels een

gaskoeler de CO₂-damp teruggekoeld worden, waarna via drukverlaging de vloeibare fase weer wordt verkregen. Afhankelijk van het ontwerp van de toegepaste apparatuur verloopt dit proces aan de hogedrukszijde bij een druk van 8 tot 9 MPa. Dit zijn natuurlijk wezenlijk andere drukken dan welke wij in de huidige HFK-situatie (2.5 MPa.) gewend zijn. Gedurende een groot gedeelte van het jaar kan het proces echter subkritisch verlopen, waarbij de kringloop vergelijkbaar is met die van de traditionele koudemiddelen. Alhoewel de drukken hoog zijn is het voordeel van R744 dat er kleine diameters benodigd zijn. Voor een systeem van 50 kW koelcapaciteit bij -10 °C volstaat een persleiding met een binnendiameter van +/- 15 mm ! De zuigleiding (25 mm) kan eventueel nog verder beperkt worden door meerdere parallelle leidingen in het ontwerp op te nemen. De vloeistofleiding voor dit systeem zou +/- 10 mm bedragen. In het kader van de PED betekent dit dat het leidingwerk als artikel 3, lid 3 wordt bestempeld ! Hierboven is een voorbeeld van een simpele ééntrapskringloop weergegeven. (Tool C.7/TU- Denmark).



Door het toepassen van een klep met een vaste differentie blijft de ontwerpdruk van het leidingwerk aan de lagedrukszijde (in de supermarkt) beperkt tot 40 Bar.

De regeling van de koudemiddeltoevoer naar de verdampers kan met 'traditionele' EEV (elektronische expansieventielen) plaatsvinden, welke geschikt zijn voor deze hogere ontwerpdruk.

Principeschema CO₂ direct expansie systeem zoals uitgevoerd door Linde, Zwitserland.

B. Energieverbruik :

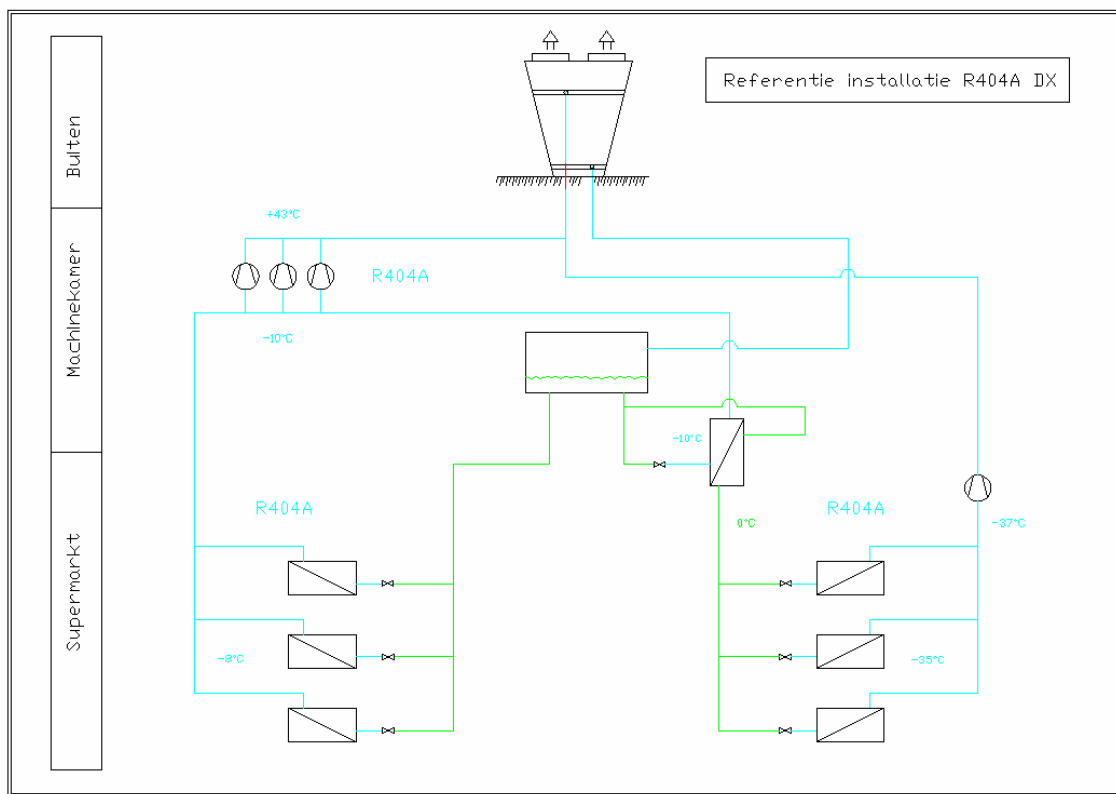
Een tweede nadeel is het slechtere rendement van de CO₂basiskringloop indien dit vergeleken wordt met R717 en zelfs met R404A. Er is dus met name aandacht nodig voor het verhogen van het rendement van de toegepaste CO₂ kringloop. Een voordeel is echter dat de minimum condensatietemperatuur tot +10 °C verlaagd kan worden. Zelfs bij deze lage waarden is er voldoende drukverschil beschikbaar voor de expansieventielen. Ook de compressoren hebben geen beperking (benodigd minimum drukverschil kleppen) zoals bij R404A wel het geval is.

C. Oliehuishouding :

Gezien de kleine massa- en volumestromen is een optimalisatie van het aantal verdampercircuits raadzaam. Dit om achterblijven van olie in de verdamper, als gevolg van lage gassnelheden, te voorkomen. POE olie biedt de beste mogelijkheden, waarbij echter aandacht besteedt moet worden aan de filterspecificaties. Van belang is CO₂ toe te passen met een laag aandeel H₂O, omdat er anders, op plaatsen waar expansie plaatsvindt, ijsvorming kan optreden welke zorgt voor een blokkade van de koudemiddelstroom. In Zwitserland, project Wettingen, was oorspronkelijk rekening gehouden met de noodzaak van traditionele olieafscidders, deze zijn echter gedurende de testperiode niet noodzakelijk gebleken. Het eerstvolgende project in Luxemburg is dan ook niet meer uitgevoerd met olieafscidders.

3.3. R404A DX concept (Referentie) :

Belangrijk bij energiebesparingsberekeningen rond alternatieven is de keuze van het referentiesysteem. In naar schatting 70 % van de situaties wordt, anno 2006, een boosterconcept of een afgeleide variant hiervan, (monoflow) met een platenwisselaar voor het onderkoelen van de vloeistof voor de diepvriesmeubelen, met R404A als koudemiddel toegepast. Standaard is verder dat alle verticale koelmeubelen zijn voorzien van rolgordijnen welke gedurende de nachtsituatie automatisch, of met de hand, worden gesloten. De compressoren (zuiger) zijn van het type semi-hermetisch, discus of energetisch gelijkwaardig hieraan.



Voor het referentiesysteem is gerekend met het monoflow concept = de Referentie.

3.4. TEWI berekeningen (Total Equivalent Warming Impact):

In plaats van een complete TEWI berekening op te zetten is hierna volstaan met de berekening van het reductiepotentieel CO₂ eq per jaar zoals ook wordt aangehouden in de ROB subsidieaanvragen.

Studie NH ₃ – CO ₂ VVO = 1627 m ²	NH ₃ / CO ₂		CO ₂ / CO ₂		R404A = Referentie	
	R717	R744	R744	R744	MT	LT
Ontwerp Qo (kW)	113,5	19,5	113,5	19,5	113,5	19,5
Pompvermogen CO ₂ (kW)	2,0	0	0	0	0	0
Cascade condensor (kW)	24,1	0	25,3	0	0	0
Totaal ontwerpcapaciteit	139,6	19,5	138,8	19,5	113,5	19,5
REC kWh.e/jr	147.327	25.233	166.542	33.392	134.619	58.378
Condensor/pomp kWh.e/jr	12.825	4.380	15.347	-	9.738	-
Totaal opwekking	189.765		215.281		202.735	
Energie index %	94		106		100	
DEC kWh.e/jr	64729	59719	64729	59719	64729	59719
Totaal meubelen	124.448		124.448		124.448	
Totaal supermarkt	314.214		339.729		327.183	
Energie index %	96		104		100	

Tabel 2

De toegepaste kringloopparameters van de diverse concepten zijn weergegeven op **Bijlage I**

Het CO₂ reductiepotentieel gebaseerd op het energieverbruik van de koudeopwekking is in onderstaande tabel weergegeven.

Studie NH ₃ – CO ₂ VVO = 1627 m ²	NH ₃ / CO ₂		CO ₂ / CO ₂		R404A = Referentie	
	R717	R744	R744	R744	MT	LT
Koelmiddelinhoud (KG)	60	300	210		300	
GWP	0	1	1	1	3750	
Lekkage %/jr	5	5	5	5	5	5
Directe emissie ¹	0,0		0,01		56,3	
Indirecte emissie ²	115,8		131,3		123,7	
Totale emissie ¹	115,8		131,3		180,0	
Reductie emissie ¹	64,2		48,7		0,0	
	35,7 %		27,0 %		0 %	

Tabel 3

¹ ton CO₂-eq/jr door lekkage. ² 0,61 kg CO₂-eq/kWh door energieverbruik.

4. Potentiële besparingen voor het supermarktsegment.

4.1. Marktsituatie:

Aan de hand van de gegevens van de Distrifood formuleposter 2005 heb ik een berekening gemaakt van het aantal winkels en het bijbehorende gemiddelde VVO (m²) in Nederland. Hierbij heb ik de winkels met een VVO = 200 m² niet meegerekend. De Deli XL winkels van Albert Heijn met een gemiddeld VVO van 3800 m² heb ik apart vermeld in tabel 2 omdat deze wezenlijk afwijken van de gemiddelde situatie in Nederland. Dit overzicht is verder gemaakt vóórdat de verkoop van de Laurus winkels (Konmar en Edah) bekend is geworden. Dit heeft echter alleen een verschuiving van marktaandeel teweeg gebracht en vooralsnog zal het totale winkelbestand hierdoor niet significant wijzigen.

Supermarktorganisatie	Aantal winkels	VVO m ²	
	n	Gemiddeld	Totaal
Albert Heijn	706	1125	794.250
Laurus	726	903	655.700
Schuitema	472	828	390.816
Discounters	667	587	391.625
Superunie	1386	649	899.375
Totaal	3957	791	3.131.766

Tabel 4

Supermarktorganisatie	Aantal winkels	VVO m ²	
	n	Gemiddeld	Totaal
Albert Heijn Deli XL	4	3800	15200

Tabel 5

4.2. Potentiële besparingen op de CO₂ emissie:

Er zijn in Nederland dus ± 3950 winkels met een VVO > 300 m². Het gemiddelde VVO bedraagt 791 m². Uitgaande van een "levensduur" van 8 jaar voor een winkelformule worden er per jaar circa 500 winkels omgebouwd. Het scenario zou er als volgt uit kunnen zien :

2006	0	winkels
2007	2	winkels
2008	10	winkels
2009	50	winkels
2010	100	winkels (20% van de jaarlijkse ombouw)

5. Vertaling van de gerapporteerde 'Zwitserse resultaten' m.b.t. de gemiddelde jaar COP naar de Nederlandse situatie (KNMI gegevens).



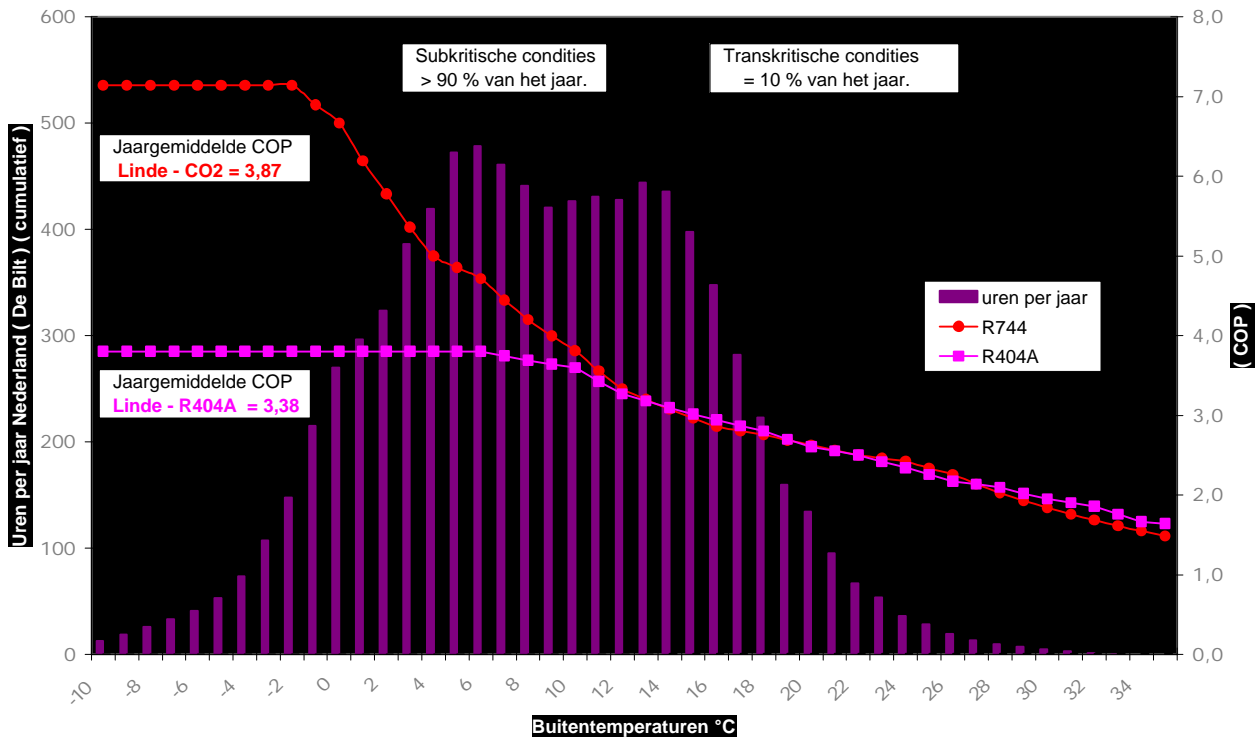
In december 2005 heb ik een bezoek gebracht aan de COOP te Wettingen in Zwitserland. Deze supermarkt is door Linde Kältetechnik uitgevoerd met een transkritisch CO_2/CO_2 systeem. De supermarkt is een onderdeel van een winkelcentrum met een grote parkeergarage. De machinekamer is ondergebracht in een afgesloten gedeelte van deze parkeergarage. De persgasleidingen (aanvoer- en retourleiding) uitgevoerd in RVS 304 lopen over een afstand van zeker 80 meter door deze parkeergarage naar de gaskoeler, op het dak van het winkelcentrum. Van dit project heb ik de belangrijkste technische specificaties ontvangen (zie tabel 7)

Cascade CO_2/CO_2	Koeling	Vries
Compressoren (Bitzer)	2 * 6 type 4HC4-20K	1 * 5 type 2HC-3.2K
Ontwerp buitentemperatuur	34 °C	34 °C
Ontwerp To en To / Tc	-9 °C	-36 °C / -6 °C
Ontwerp Pc	115 bar	40 bar
Ontwerpcapaciteit	2 * 161 kW	58 kW
Koudemiddelvulling	2 * 400 kG	70 kG
Gaskoeler / Cascade condensor	Cu/Al - 472 kW	PW 71 kW
WTW tapwaterverwarming	90 kW	
WTW ruimteverwarming	280 kW	

Tabel 6

Van dit concept heeft Linde ook gegevens ter beschikking gesteld welke men heeft gebruikt om het concept te vergelijken met een traditioneel R404A DX systeem. Deze grafiek, natuurlijk gebaseerd op de Zwitserse klimatologische condities, heb ik omgezet naar de Nederlandse situatie aan de hand van gegevens van het KNMI, locatie De Bilt en is hierna weergegeven. Voor alle duidelijkheid, ik heb hierbij de COP waarden overgenomen welke door **Linde** zijn gehanteerd. Discussie omtrent betrouwbaarheid hiervan wordt in hoofdstuk 5.1. gevoerd.

Vergelijk COP berekening R744 en R404A (Linde)

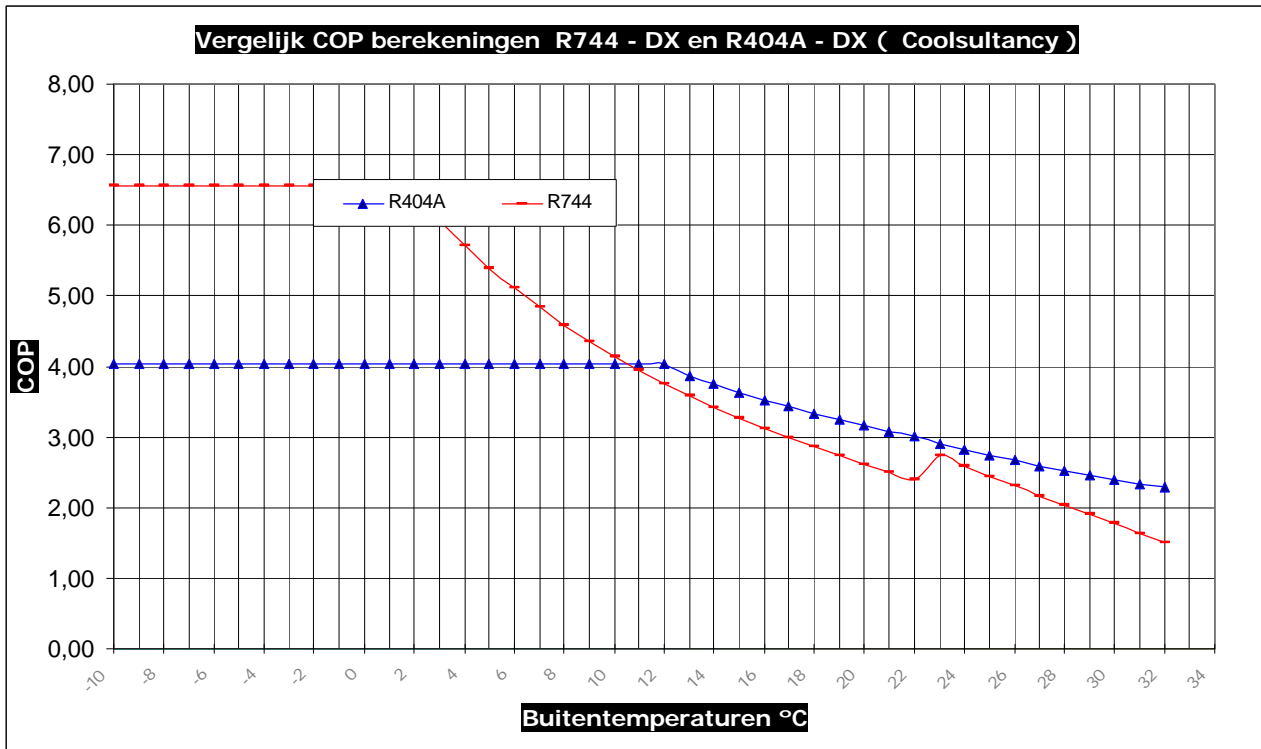


5.1. COP berekeningen Coolsultancy:

Om bovenstaande grafiek te kunnen produceren dienen de volgende berekeningen uitgevoerd te worden:

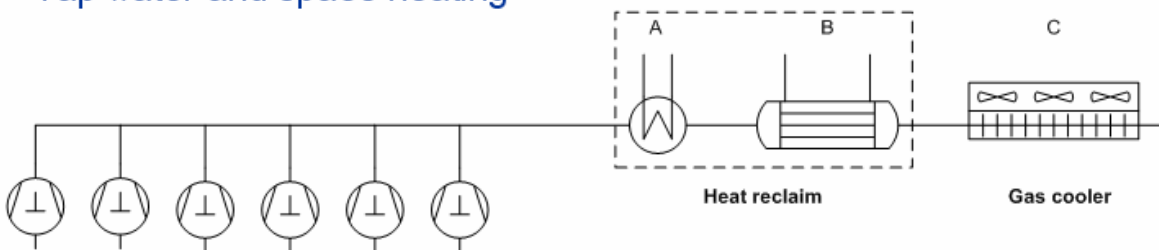
- Bij een bepaalde buitentemperatuur hoort een bepaalde binnentemperatuur.
- Binnentemperatuur bepaalt de deellastsituatie van de gekoelde objecten.
- Belasting (deellast) van de koelmachines bepalen.
- Condensatietemperatuur bepalen (bij subkritische situaties).
- Uittrede gaskoeler bepalen (bij transkritische situaties).
- Carnotrendement bepalen aan de hand van het koudemiddel en kringloop.
- COP bepalen.

Hieruit blijkt dat de COP niet direct aan de buitentemperatuur gekoppeld kan worden, maar afhankelijk is van vele specifieke projectgegevens. De COP is wel direct aan de condensatietemperatuur, cq. gaskoelertreedetemperatuur bij het transkritische proces, te koppelen, alhoewel dan ook een aanname van diverse procesvariabelen plaats moet vinden. (Zie de grafiek in Hoofdstuk 3.1)



6. Warmteterugwinning.

Tap water and space heating



A Tap water

Coaxial heat exchanger
 Design capacity: 280 W/kW cooling capacity
 CO₂ inlet temperature: 106 °C
 CO₂ outlet temperature: 72 °C
 H₂O Inlet temperature: 57 °C
 H₂O Outlet temperature: 70 °C

B Space heating

Shell and tube heat exchanger
 Design capacity: 900 W/kW cooling capacity
 CO₂ inlet temperature: 72 °C
 CO₂ outlet temperature: 37 °C
 H₂O inlet temperature: 23 °C
 H₂O outlet temperature: 37 °C

C Gas cooler / condenser

Fin and tube
 Design capacity: 236 kW

Bron : Linde project Luxemburg

Tijdens de transkritische cyclus kan op zeer effectieve wijze warmte uit het proces worden teruggewonnen. Zie hiervoor het voorgaande principeschema van Linde welke men zo heeft uitgevoerd bij een project in Luxemburg. Door het in serie schakelen van de diverse warmtewisselaars kan tapwater gemaakt worden van ± 70 °C. Daarbij kan tegelijkertijd warmte voor een laagtemperatuur verwarmingssysteem worden afgestaan. De eventueel overtollige warmte wordt daarna via de, op dat moment zwaar overgedimensioneerde, gaskoeler afgevoerd waarbij een iets hogere COP gerealiseerd wordt.

6.1. Energieverbruik bij diverse installatieconcepten :

Installatieconcept	NH ₃ / CO ₂		CO ₂ / CO ₂		R404A	
	R717	R744	R744	R744	MT	LT

	Standaard		
Elektraverbruik (kWh/jr.)	314.214 (2.586 GJ)	339.729 (2.796 GJ)	327.184 (2.693 GJ)
Gasverbruik (m ³ /jr.)	35.000 (1.108 GJ)	35.000 (1.108 GJ)	35.000 (1.108 GJ)
Tapwater (m ³ /jr.) ^{1]}	520 (17 GJ)	520 (17 GJ)	520 (17 GJ)
Totaal primair verbruik	3.711 GJ	3.921 GJ	3.818 GJ
Index primair verbruik	97	103	100

	Met WTW		
Elektraverbruik(kWh/jr.)	342.308 (2.817 GJ)	351.891 (2.896 GJ)	362.059 (2.980 GJ)
Gasverbruik (m ³ /jr.)	1.100 (35 GJ)	1.500 (47 GJ)	0 (0 GJ)
Tapwater (m ³ /jr.)	520 (17 GJ)	0 (GJ)	520 (17 GJ)
Totaal primair verbruik	2.869 GJ	2.943 GJ	2.997 GJ
Index primair verbruik	76	77	79
Overschot Dag / Nacht		848 / 101 GJ	1277 / 249 GJ

	Met WTW en aquifer		
Met WTW + Aquifer		347.694 (2.862 GJ)	
Gasverbruik (m ³ /jr.)		\pm 1.500 (47 GJ)	
Tapwater (m ³ /jr.)		0 (GJ)	
Totaal primair verbruik		2.909 GJ	
Index primair verbruik		76	

Tabel 7

Notes : ^{1]} Gebaseerd op 200 liter / dag 12°C - 70 °C

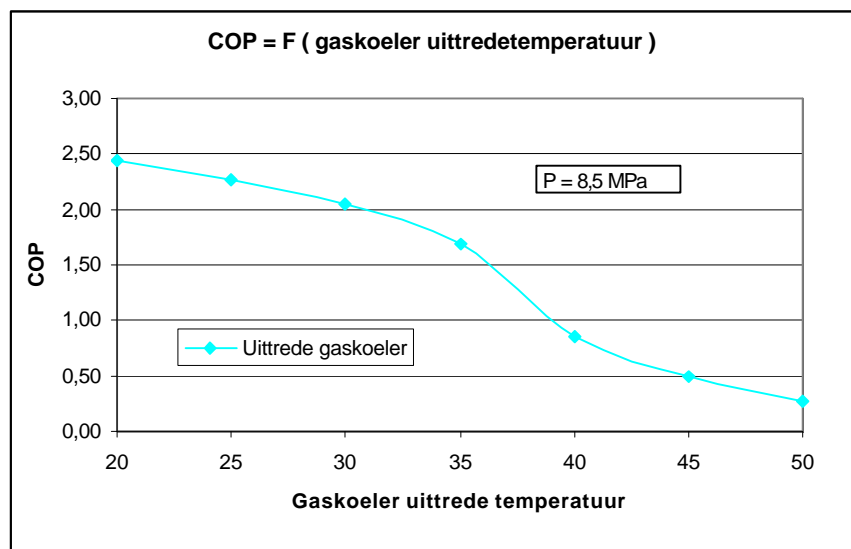
7. Duurzame energie.

7.1. Bodemkoude (koeling in zomerperiode van de gaskoeler)

De energiebalans van een doorsnede supermarkt in Nederland heeft een overschot bij extreem hoge buitentemperaturen en een licht tekort bij extreem lage buitentemperaturen (en dan nog alleen in de nachtsituatie) waardoor ik geen mogelijkheden zie om enige vorm van bodemwarmte toe te passen. Of het moet zijn om het tekort ingeval van gebruik van koeling voor andere toepassingen aan te vullen.

7.2. Aquifer ten behoeve van CO₂ kringloop:

Door toepassing van een aquifer met een capaciteit van = 10 m³/h kan op een simpele manier het rendement van de transkritische CO₂ kringloop verbeterd worden. De COP van de transkritische CO₂ kringloop is zeer sterk afhankelijk van de gastemperatuur. Door het nakoelen van het CO₂ gas uit de gaskoeler, met gekoeld water uit koudeopslag in de bodem, kan met relatief geringe capaciteit de COP aanzienlijk verbeterd worden.



In onderstaande tabel zijn ter indicatie enige berekeningen uitgewerkt:

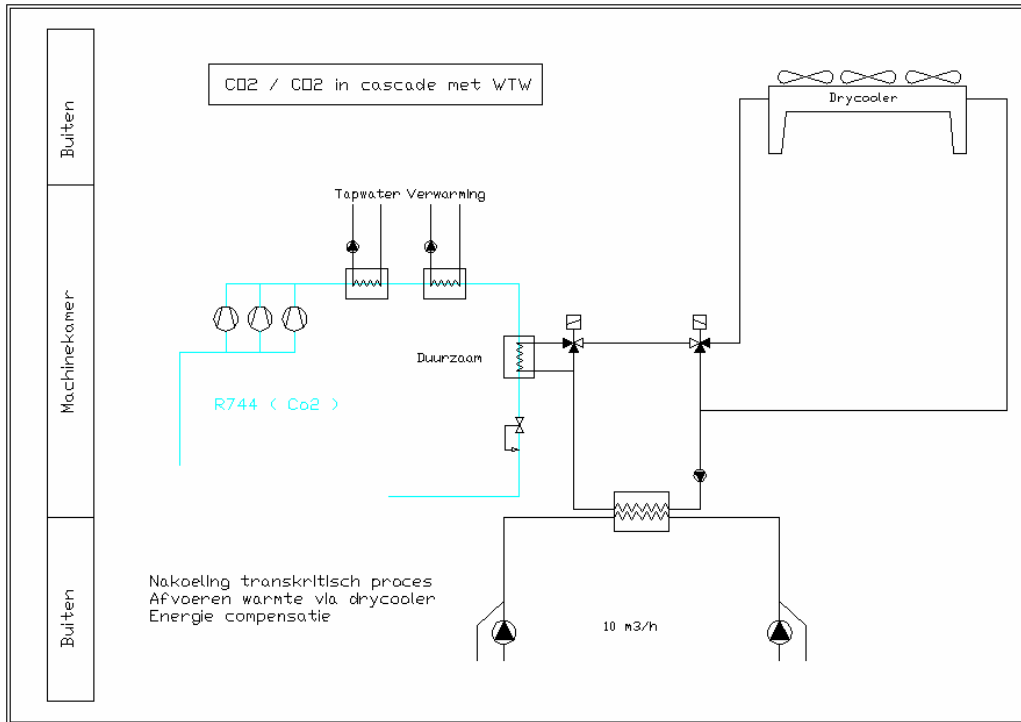
Buitentemperatuur	COP 1	Gaskoeler	Gekoeld water ^{1]}	COP 2 ^{2]}
32 °C	1,57	70 kW	97 kW	2,95
26 °C	1,99	129 kW	38 kW	2,95
20 °C	2,51	149 kW	18 kW	2,95

Tabel 8

Notes : ^{1]} Bronwater temperatuurtraject 10 – 20 °C ^{2]} Gaskoeler uittredetemperatuur 15 °C

De warmte welke middels dit proces in de Aquifer wordt gestopt kan in de winter worden gecompenseerd d.m.v. een drycooler, het zogenaamde 'koude laden', of er moet behoefte zijn aan extra warmte waarbij een warmtepomp kan zorgen voor het 'koude laden'. Dit laatste heeft natuurlijk de voorkeur.

Ook is het mogelijk een optimalisatie berekening te maken om te komen tot de meest economische dimensionering van gaskoeler en warmtewisselaar waar het bronwater doorheen wordt gevoerd.



Principe schema voor het gebruik van bronwater in combinatie met een drycooler.

8. Effect van de omvang (m²) VVO/BVO op het CO₂/CO₂ concept.

De projecten welke in de ons omringende landen zijn gerealiseerd sluiten aardig aan bij de Nederlandse marktsituatie. De capaciteiten variëren hierbij van 20 kW LT tot 320 kW MT. Voor de Nederlandse 'gemiddelde' situatie zijn de gewenste capaciteiten zoals weergegeven in onderstaande tabel. Dit geldt voor CO₂-gaskoeling aan de buitenlucht.

	LT (vries)	MT (koeling)
Supermarkt formule I	10	60
Supermarkt formule II	15	90
Supermarkt formule III	20	120

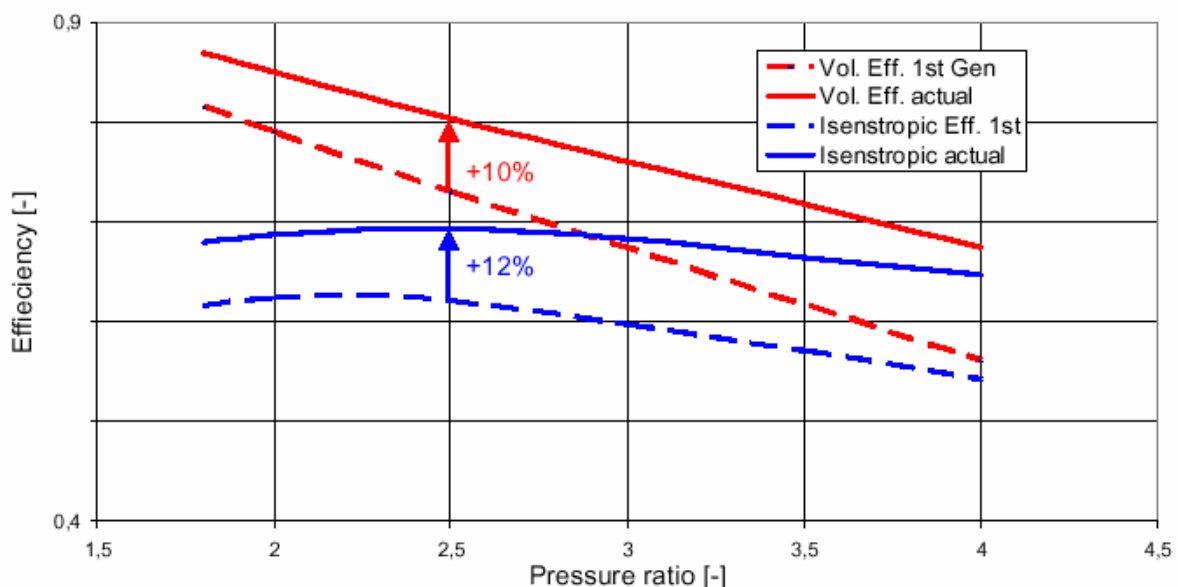
Tabel 9

Met name de LT capaciteiten liggen in Nederland over het algemeen lager dan bij de ons omringende landen. Er zijn echter fabrikanten die in deze kleine capaciteitsrange kunnen voorzien waarbij toch minimaal twee compressoren worden toegepast.

Opgemerkt wordt dat de potentiële energiebesparing met CO₂ ten opzichte van R404 juist bij de LT ligt. Denk aan de voordelen die bij vrieshuizen worden behaald. Blijkbaar is NH₃ /CO₂ of CO₂ /CO₂ hierdoor een minder gunstig concept bij supermarkten (ten opzichte van R404).

9. Verbeteropties.

- 2^{de} generatie compressoren verbetering volumetrisch en isentropisch rendement.
- Expander (TU Dresden C-dig presentatie 22/23 september 2005) (haalbaarheid ?)
- Persgas / Zuiggas warmtewisselaar tijdens transkritisch bedrijf. (marginaal)
- Booster concept i.p.v. cascade.
- Optimalisatie van de werkdruk tijdens transkritisch bedrijf. (regelstrategie)
- Complexe geoptimaliseerde CO₂ -cycle.



Tabel 10 (Bron Bitzer / Londen Jan - 2006)

10. Conclusies en aanbevelingen

- De gemiddelde gevraagde MT en LT (koel –en vriescapaciteiten) zijn in Nederland aan de kleine kant om de meerinvesteringen in natuurlijke koudemiddelen puur op basis van energievoordeel terug te kunnen verdienen.
- Er moet worden aangetekend dat de meerinvesteringen voor beide in Nederland gerealiseerde projecten veel hoger zijn als in het KIKS model voor deze varianten door adviesbureau Verhoef is aangenomen.
- De grootte van de installatie is hierbij schijnbaar niet doorslaggevend omdat beide installaties een meerprijs hebben van circa € 100.000,- terwijl de capaciteiten toch aanzienlijk verschillen.
- In het bijzonder is de verhouding LT versus MT van belang (LT – 15%, MT – 85%), wat sterk in het nadeel is van de CO₂ concepten die hun voordeel boeken bij zeer lage temperaturen.
- Op het eerste gezicht lijken er weinig kritische succesfactoren te vinden die de toepassing van natuurlijke koudemiddelen in supermarkten in Nederland zullen versnellen. De navolgende punten geven hierbij wel mogelijke aanknopingspunten :
- Hoewel het CO₂ / CO₂ concept bij hoge buitentemperaturen zeer lage COP's laat zien wordt dit grotendeels weer gecompenseerd door zeer goede COP's bij lage buitentemperaturen uiteindelijk resulterend in een energieverbruik op jaarbasis welke vergelijkbaar is met de huidige R404A referentie. De TEWI wordt hierbij wel verlaagd door het feit dat het aandeel van de directe emissie nagenoeg nul is.
- Het CO₂ / CO₂ concept biedt wel mogelijkheden indien er naast de koeling ook een aanzienlijke warmtebehoefte bestaat. Dit is zeker het geval bij supermarkten. Hier is een duidelijke trend waarneembaar naar de toepassing van WTW waarbij met name vloerverwarming door veel supermarkt organisaties wordt toegepast. In deze situatie is het concept op basis van primair energieverbruik vergelijkbaar met het Ammoniak / CO₂ concept terwijl mag worden aangenomen dat het prijsniveau substantieel lager zal zijn.
- Het CO₂ / CO₂ concept biedt de mogelijkheid om op eenvoudige wijze gelijktijdig warmte op verschillende temperatuurniveaus te creëren. (bv. tapwater en ruimteverwarming) zonder dat dit ten koste gaat van de efficiëntie.
- Tijdens de laatste IKK gehouden in Neurenberg (okt. 2006) viel te constateren dat inmiddels meerdere gerenommeerde compressorfabrikanten met uitvoeringen voor de transkritische kringloop zijn gekomen. Ook op het gebied van warmtewisselaars zijn er inmiddels meerdere spelers actief.
- Verdere kennisontwikkeling en praktijkervaring rond het CO₂ / CO₂ concept is van belang. Hierbij met name kijken naar innovatieve oplossingen rondom de invulling van het WTW gedeelte waarbij eventueel de ""dure" gaskoeler vermeden kan worden.
- Bij volgende demonstratieprojecten met natuurlijke koudemiddelen zijn een aantal zaken van groot belang voor de projectkwaliteit en de mogelijke leereffecten :
 1. Goede haalbaarheidsstudie voorafgaand, waarbij afspraken gemaakt moeten worden om op een eenduidige wijze vast te leggen welke zaken wel of niet worden meegenomen in de bepaling van de kosteneffectiviteit m.b.t. CO₂ reductie.
 2. Uitgebreid systeem voor energie monitoring met een geautomatiseerde dataverwerking ter verificatie van de gehanteerde uitgangspunten.
 3. Hanteren van het juiste referentiesysteem voor de desbetreffende situatie.

11. Literatuurlijst.

Haaf.S	Erste CO ₂ Kalteanlage für normal- und tiefkühlung in einem Schweizer Hypermarkt. (Kälte & Klimatechnik – 2/2005)
Jans.R	R744 (CO ₂) koudedragers of koudemiddel. (RCC – 9A/2004)
G.J van Riessen	Supermarkt koel- en vriesinstallatie met uitsluitend natuurlijke koudemiddelen. Projectnummer 3945 / November 2004
Bruin Bitzer	Haalbaarheidsonderzoek NH ₃ / CO ₂ Cascade Koelinstallaties. 31-05-2006 Def. Refrigerant Report 14. Edition A-501-14

12. Bijlagenoverzicht:

Bijlage I
Bijlage II
Bijlage III

13. Bijlage I Kringloopoverzicht van de diverse concepten.

	NH ₃ / CO ₂		CO ₂ / CO ₂		R404A	
	R717	R744	R744	R744	MT	LT
To vries (verdampers)		-33 °C		-33 °C		-35 °C
Nuttige oververhitting		10 K		10 K		10 K
Drukverlies zuigleiding		2 K		2 K		2 K
T zuiggas		-10 °C		-10 °C		-10 °C
To vries (compressoren)		-35 °C		-35 °C		-37 °C
Tc vries (compressoren)		-12 °C		-6 °C		+43 °C
To koel (verdampers)		-10 °C		- 8 °C	- 8 °C	
Nuttige oververhitting		0 K		10 K	10 K	
Drukverlies zuigleiding		0 K		2 K	2 K	
To koel (cascade ww)	-14 °C	-10 °C	-10 °C	-6 °C		
Nuttige oververhitting	0 K		10 K			
Drukverlies zuigleiding	0 K		0 K			
T zuiggas	-14 °C		+10 °C		+10 °C	
To koel (compressoren)	-14 °C		-10 °C		-10 °C	
Tc koel (compressoren)	+43 °C		+43 °C		+43 °C	

Gebruikte berekeningstools :

Bitzer Selectiesoftware versie 4.1

Coolpack Versie 1.46

14. Bijlage II Verslag Brainstorm

Verslag Brainstorm rond CO₂/CO₂ koeltechniek in supermarkten

- presentatie van het onderzoek door Coolsultancy
- resultaten van de brainstorm (kansen en knelpunten)

Datum en locatie: SenterNovem Utrecht, 31-10-2006

Aanwezig: Rob Jans (Coolsultancy), Ad Bruin (Adviesburo Bruin), Hans Wijbenga (Wijbenga), Gerard Doornbos (Helpman), Sietze van der Sluis (TNO), Jan Gerritsen (Grenco), Maus Dieleman (SenterNovem)

Afwezig: Henk van der Ree

1. Presentatie 'Statusrapport CO₂ als primair koudemiddel' – Coolsultancy

Door Coolsultancy is in 2006 in opdracht van het ROB-programma een verkennende en praktisch inhoudelijke studie uitgevoerd naar de perspectieven van CO₂-koeltechnieken voor supermarkten. Als aanknopingspunten en casus voor het onderzoek is gekozen voor:

- het NH₃/CO₂ demonstratieproject bij de DEEN supermarkt Weidevenne (haalbaarheidsstudie en ontwerp door Adviesburo Bruin; bouw en oplevering zomer 2006).
- Informatie van aantal CO₂-demonstratieprojecten in verschillende Europese landen.

Het Coolsultancy concept-rapport is als voorbereiding voor de brainstorm aan de genodigden ter beoordeling toegezonden.

Als presentatie en toelichting op het rapport gaat Rob Jans in op:

- ☞ Wat is de HFK aanpak (van de overheid) in andere landen binnen de EU?
- ☞ Wat is de HFK aanpak van Nederland?
- ☞ Waarom CO₂ als koudemiddel overwegen?

Drie varianten van systemen worden klimaattechnisch vergeleken (TEWI-bijdrage) m.b.t. energiegebruik en HFK-lekkagebijdrage, uitgaande van de casus DEEN supermarkt:

- R404 dx monoflow meest gangbare systeem in supermarkten in NL (70%)
- NH₃/CO₂ 2x als Demo gerealiseerd (bij C1000 en bij DEEN)
- CO₂/CO₂ ca 25x in buitenland gerealiseerd (oa 8x in Zweden).

Daarnaast worden drie installatiekeuzes voor de supermarkt doorgerekend en vergeleken:

- standaard koelsysteem
- met warmteterugwinning
- met warmteterugwinning en aquifer ('s winters koudeladen in de bodem).

Waarom duikt CO₂ als primair koudemiddel op in supermarkten in diverse EU-landen?

Door het specifieke HFK-beleid in Denemarken en Noorwegen (belasting op HFK's) en in Zweden-luxemburg en Denemarken (beperking van HFK-inhoud of koelvermogen), ontwikkelt zich de aanbodmarkt dienovereenkomstig.

☞ Denemarken	(uitgaande van een belasting van 15.6 € per ton CO ₂ eq)
☞ R134a	17.5 €/kg
☞ R404A	51.0 €/kg
☞ R744-CO ₂	tax free
☞ Noorwegen	(uitgaande van 18.5 € per ton CO ₂ eq)
☞ R134a	24.0 €/kg
☞ R404A	60.2 €/kg
☞ R744-CO ₂	tax free

In het onderzoek worden de prestaties van het Linde-project in Zwitserland vertaald naar de Nederlandse klimaatcondities.

De rapportage schetst de perspectieven en beperkingen van een CO₂/CO₂-systeem voor de Nederlandse supermarkt:

- verbetering van de energie-efficiency is lastig te realiseren (ca nul t.o.v. R404)
- geen verbetering , , , , t.o.v. NH₃/CO₂
- de CO₂-prestatie is met name gunstiger bij de vriesmeubels (-35 °C), minder bij de koelmeubels (-10°C); helaas overheerst in de praktijk de koelvraag (75%)
- verbetering CO₂-reductie (TEWI) 27% t.o.v. R404, maar lager dan NH₃/CO₂
- echter geen taxvoordeel (raming 50 €/j) op deze HFK-reductie
- kans op groter draagvlak voor CO₂ in de markt dan voor NH₃
- kans op kosteneffectiever systemen (t.o.v. NH₃/CO₂)
- warmteterugwinning bij CO₂ biedt prima goede kansen, voor de winkelverwarming en warmtapwater. Interessante optie voor levering van koelwarmte aan derden (hele winkelcentrum en/of max 70-tal woningen)
- bij doorontwikkeling van CO₂-techniek (complexe koelcycli) zijn betere energieprestaties denkbaar.

2. Brainstorm resultaten

De studieresultaten van Coolsultancy zijn bereikt met een eigen rekenmodel, waarbij een supermarkt casus over een heel jaar wordt doorgerekend, uitgaande van de specifieke dag-nacht instellingen (uurlijks). Vragen van Jan Gerritsen en Geert Doornbos betreffen de transparantie van dit rekenmodel en de gehanteerde inputparameters, de resulterende (uurlijkse) waarden en grafieken van de verschillende koude- en warmtevragers, de verschillende warmtebalansen. In hoeverre wijkt het CO₂-systeem van Coolsultancy af van dat van Linde-Wettingen (artikel Kalte und Klima)?

Welk ventilatiemodel is aangenomen voor de winkel (conform Bouwbesluit?), welke vrije ventilatie door open deuren?

De behoefte aan een 'uniform rekenmodel' wordt uitgesproken, als transparant 'vertrekpunt', waarbij op detailniveau recht gedaan kan worden aan de specifieke eigenschappen/koelvoordelen van de verschillende koelsystemen.

Betere energieprestaties voor het CO₂-systeem dan het rapport presenteert (+4 %; bij Linde zou -8% mogelijk zijn) zijn mogelijk als 'scherpere' inputparameters worden gekozen (in de praktijk mogelijk), en de componenten keuze verder wordt geoptimaliseerd voor de CO₂-toepassing. Huidig voorgestelde CO₂/CO₂-koelconcept lijkt nog veel op het standaardstelsel. Een verder ontwikkelings- en optimalisatietraject is daarom zinvol, maximaal gebruik makend van de informatie uit de buitenlandse projecten.

Bij CO₂ zit de complexiteit in het 'effectief' omgaan met de superkritische fase (ook wel transkritisch genoemd) in de gaskoeler, bij hogere buitentemperaturen. Deze komen maar zeer beperkt voor in NL. Moet een CO₂-ontwerp hier wel op uitgelegd zijn? Of kunnen beter andere ontwerpmaatregelen genomen worden om deze bedrijfssituaties te voorkomen, zoals een demi-water sproeier op de condensor bij Linde? En/of kunnen de 'dure' CO₂-gaskoelers veel goedkoper? CO₂ lijkt pas echt interessant te worden indien de mogelijkheden voor het benutten van restwarmte over het gehele jaar worden meegenomen in het vergelijk.

De in het rapport gepresenteerde verhouding tussen de kleinere resulterende koudevraag van de vriesmeubels (-35 °C) en de grotere koudevraag van de koelmeubels (-10°C) blijkt in de supermarkt projecten van de omringende landen in dezelfde mate op te treden. In grote lijnen verschillen supermarkten in de EU landen dus niet. Afgezien van de systeemaanpassingen ten

gevolge van overheidsbeleid (verplichte dagafdekkingen, richtlijnen voor indirecte systemen, beperkingen t.a.v. HFK, verplichte toepassing van warmteterugwinning).

Rob Jan en Jan Gerritsen koppelen hun ervaringen terug van de CO₂-seminar in Londen in januari 2006. Zij en o.a. Hans Wijbenga hebben ook CO₂-supermarkten in ondermeer Zwitserland, Italië en Luxemburg bezocht.

Gememoreerd wordt dat de NH₃-toepassing bij supermarkten een downscaling is van de grotere industriële installaties. Terwijl de CO₂ of butaan toepassingen juist vanuit een opschaling (van huishoud koelkasten, van CO₂-warmtepompen) ontstaan.

Jan Gerritsen verwijst naar marktervaringen van Grenco-Denemarken waar in 2007 max. 10 kg HFK toelaatbaar is.

Geert Doornbos waarschuwt dat de klanten veelal de goedkopere warmtewisselaars bestellen, kleiner dus alleen geschikt voor een groter en ongunstiger temperatuurverschil (>15K). Jan Gerritsen en Rob Jans stellen daar toch andere en betere ervaringen vanuit de markt tegenover. Daarbij spelen zeker ook de eisen (10K tempverschil) volgens de EIA-regeling een dwingende rol. Beter zouden 5K warmtewisselaars zijn. Ook het rapport Aanvulling Bouwwijzer voor koel-vrieshuizen geeft hiervoor duidelijke richtlijnen.

Het vergelijken van typen koeltechniek (R404, NH₃, CO₂), met of zonder gebruikmaking van koudeladen in een aquifer om lagere condensatietemperaturen te bereiken, of juist hogere condensatietemperaturen ten behoeve van warmteterugwinning naar de supermarkt intern of ook naar extern, gaat blijkens de discussies al snel gepaard met zeer veel detailsaspecten, keuzegrootheden en effecten op elkaar, die samen tot uitdrukking komen in energieberekeningen (uurlijks) over een heel jaar.

Indien een CO₂-systeem op warmteterugwinning wordt ontworpen dienen de verschillende warmteafnemers op de verschillende temperaturniveaus (voor Warmtapwater van 10/65 °C, voor CV van 30/35 °C, aquifer van 5/15 °C) er ook werkelijk effectief over het jaar te zijn, anders resteert alleen een duur systeem ('kerstboom'). Ad Bruin verwijst naar het project DEEN, waar de warmtevraag slechts 20 kW, is een totaal van 120 kW koelvermogen.

Bepleit wordt om bij een volgend Nederlands demonstratieproject maximaal gebruik te maken van de kennis en ervaring van ervaren buitenlandse spelers (o.a. Linde). Demonstratieprojecten bewijzen vooral hun ontwikkelingswaarde indien er zeer compleet en betrouwbaar gemonitord wordt.

Rob Jans memoreert dat de EKS-KIKS supermarkt brochure en rekenmethodiek uitgaat van 18-20% meerinvestering in de koelinstallatie. Het beeld van de investeringskosten van de huidige twee NH₃/CO₂ projecten laat een meerinvestering van ca 112.000 € resp. 116.000€ zien. Waarbij Ad Bruin opmerkt dat de meerkosten van het scherp gecalculeerde DEEN project (2x zo groot) 50% lager zijn dan bij de C1000 in Bunschoten.

Hans Wijbenga stelt dat de meerinvestering veel lager kan.

Jan Gerritsen merkt op dat men bij Linde nu al op het R404 prijsniveau zit.

Geert Doornbos meldt dat in Zwitserland 'indirecte' systemen gemaakt kunnen worden zonder meerkosten, door het overgaan van het duurdere solderen van metalen leidingen op het goedkopere lijmen van kunststof leidingen.

Bij Fri-jado wordt op dit moment een indirect koelvriessysteem ontwikkeld (een "model" supermarkt), met CO₂ in het secundaire systeem en (voorlopig nog HFK) R404 in het primaire systeem. Doel is hiermee eerst verdere CO₂ ontwerp- en praktijkervaring op te doen. De overstap TT naar een CO₂/CO₂ of Propaan/CO₂-systeem is dan makkelijker.

Hans Wijbenga en Ad Bruin merken op dat CO₂-meubels veel sneller reageren op temperatuur regelingen.

Ad Bruin wijst op het geluidsnivo ten gevolge van gaskoelers!

3. Conclusies en aanbevelingen

Jan Gerritsen stemt in met de rapportconclusie dat CO₂ als primair koudemiddel in de supermarkte meer kans maakt dan NH₃.

Hij benadrukt de behoefte aan een 'uniform rekenmodel' als transparant 'vertrekpunt', waarbij op detailnivo recht gedaan kan worden aan de specifieke eigenschappen / koelvoordelen van de verschillende koelsystemen. Volgens hem zijn we met elkaar nog sterk zoekende, er lopen allerlei internationale ontwikkelingen.

Geert Doornbos benadrukt eveneens de behoefte aan een 'uniform rekenmodel' als helder uitgangspunt. Hij ziet nog wel verbetermogelijkheden met complexe CO₂-cycli/loops (zie internationale wetenschappelijke artikelen). Hij is pessimistisch over de neiging van de kopers naar goedkopere inefficiëntere warmtewisselaars.

Sietze van der Sluis stelt dat de energie-efficiency verschillen tussen de verschillende koelsystemen zich nog niet erg duidelijk aftekenen, en onvoldoende groot zijn om flinke meerinvesteringen te kunnen terugverdienen; energie-en milieu zijn hier secundaire factoren. Hij stelt als dat de wijze waarop de aanbodmarkt met technische ontwikkelingen reageert op overheidsmaatregelen, een primaire factor van belang is.

Hans Wijbenga onderschrijft de invloed van het overheidsbeleid op de techniek-ontwikkeling en de aanbodmarkt. Hij stelt dat CO₂-transkritische koelsystemen reeds betrouwbare, high-quality systemen opleveren, en dat er bij enkele ontwikkelaars-leveranciers (Linde !) reeds grote ervaring beschikbaar is. Hij stelt dat een perfect voorbereid CO₂/CO₂ demo-project een "must" is voor de komende periode, mits in nauwe afstemming ontwikkeld met ervaren internationale spelers (Linde).

Ad Bruin onderschrijft de noodzaak van een goed uniform rekenmodel.

Rob Jans deelt de genoemde punten. Het verslag zal aangevuld worden met een parameterlijst welke gebruikt zijn als invoer van het rekenmodel. Aan bepaalde zaken kon in deze studie nog onvoldoende worden toegekomen, zoals de (economische) optimalisatie van de CO₂-gaskoeler. Misschien kan de gaskoeler ook weggelaten? Ook de aquifer toepassing (40.00€ ?) om 's zomers de gaskoeler optimaler te kunnen bedrijven, met als doel een optimalere dus goedkopere

koelinstallatie met een hogere energie-efficiency, is nog slechts aangestipt. Verder is energiemanagement is de supermarkt van het grootste belang.

Maus Dieleman tot slot dankt alle aanwezigen voor de open discussie en vakkundige inbreng. Met deze rapportage en (internationale) verkenning naar de CO₂/CO₂-toepassingen in supermarkten en deze brainstormresultaten hebben we met elkaar de actuele stand van zaken kunnen beschouwen.

In 2007 voorziet de ROB-subsidieregeling in volgende aanvragen voor nieuwe supermarkten met klimaatvriendelijke koeling (NH₃/CO₂, of gelijkwaardig), met mogelijke opties als dagafdekking (lagere vraag, kleinere installaties), warmteterugwinning (t.b.v. interne en/of externe warmtebenutting), koudeladen in aquifer (verlaging van gaskoeler- of condensortemperaturen).

15. Bijlage III Commentaar H van der Ree

Jans heeft een aantal zaken m.i. goed uitgezocht. Het nadeel van een state of the art opname is echter dat mogelijk onvolkomen situaties zich kunnen opdringen als normaal. Zo worden in zijn rapport de CO2 systemen in tweetrapsuitvoering (wat prima is) vergeleken met een R404A systeem in een ééntrapsuitvoering, waarbij vanuit het vriesgedeelte in één stap wordt gecomprimeerd naar de omgevingssituatie. Bij toekomstgerichte beschouwingen moet men natuurlijk ook het R404A referentiesysteem de kans geven om zich beter te profileren via tweetraps- en andere, betere voorzieningen.

Wat dit laatste betreft zie je bijvoorbeeld de handicap van het gangbare R404A systeem dat het systeem van de variabele buitentemperatuur maar ten dele profiteert. Dit is te zien in de figuren op pag. 17 en 18. Beneden een graad of 12 buitentemperatuur blijft bij R404A de COP constant, terwijl die, in principe, had kunnen blijven stijgen. Dit euvel komt door de expansiekleppen, maar hiervoor bestaan reeds oplossingen.

Al met al kom ik wederom met een paar conclusies, die in feite dezelfde zijn als die ik je eerder al toezond:

- ? CO2 is op thermodynamische gronden geschikt voor de lage trap in meertraps (cascade) installaties, grote en kleine.
- ? CO2 is, energetisch, niet gunstig in een kringloop in de buurt van het kritieke punt. Zelfs al werkt men subkritiek, wat bij supermarktkoeling voor een groot deel van het jaar het geval kan zijn, dan nog is de COP ongunstig. Transkritiek maakt het erger vanwege de extra thermodynamische verliezen, die gepaard gaan met de warmteafvoer uit de gaskoeler en de verschuivende isenthalp bij de smoring. Voor de transkritieke kringloop is er echter wel perspectief als er sprake is van warmteterugwinning bij een glijdende temperatuur van het op te warmen medium. Dit komt voor bij tapwaterverwarming waar over een flink traject de tapwatertemperatuur zich voegt bij de glijdende temperatuur van de afkoelende CO2 in de gaskoeler. Vandaar dat de tapwaterwarmtepomp met CO2 zich redelijk profileert. Is de warmteterugwinning echter gericht op vloerverwarming dan zien wij weer grote temperatuurverschillen m.b.t. de gaskoeler, m.a.w. veel thermodynamisch verlies. Dan is de CO2 cyclus op hogere temperatuur weer niet gunstig. Dit spreekt tegen de trend naar WTW t.b.v. vloerverwarming, zie pag. 23, rapport Jans, 8^e bullet, wanneer deze trend althans wordt geassocieerd met CO2.
- ? In talloze publicaties ten gunste van CO2 wordt het referentiesysteem te slecht bedeed. Indien alle moeite, geld en kunstgrepen, die CO2 systemen ten deel vallen, aan de referentiesystemen zouden worden besteed (waarvan eerder in dit commentaar enkele voorbeelden), dan blijft CO2 op achterstand (energie/TEWI) in kringlopen die de omgevingstemperaturen raken. Behoudens dus bij WTW bij glijdende temperatuur. Ook al omdat de extra moeite ongetwijfeld zal leiden tot veel lekdichtere HFK units dan de gehanteerde 5%.

Henk van der Ree