

Hoe *natuurlijk* zijn *natuurlijke* koudemiddelen voor de supermarktbranche ?

How natural are natural refrigerants in the supermarket branch ?

Ing. Rob Jans

Breda

Nadere informatie :

Coolsultancy®
Breda
tel.: (076) 888 35 67
info@coolsultancy.nl

Samenvatting

Het pushen van Ammoniak en het ontbreken van eenduidige, transparante, haalbaarheidsberekeningen zijn de belangrijkste factoren voor het achterblijven van de supermarktbranche m.b.t. de inzet van natuurlijke koudemiddelen. Een transcritical booster CO₂ concept uitgevoerd met een WTW systeem heeft de beste potentie om in de toekomst uit te groeien tot een nieuwe "groene" standaard.

Summary

To push ammonia and the lack of unambiguous, transparent, feasibility calculations are the most important factors for the stay behind of the supermarket branch related to the use of natural refrigerants. A transcritical booster design including heat recovery has one of the best potentials in the near future to develop into a new "green" solution.

1. Inleiding

Waarom komen er geen of nauwelijks geen projecten tot stand met natuurlijke koudemiddelen in de Nederlandse supermarktomgeving? De belangrijkste reden hiervoor is dat de informatie welke beschikbaar is voor deze eindgebruikers, aan de hand waarvan beslissingen genomen moeten worden, niet als betrouwbaar wordt ervaren. Resultaten van studies, rapporten, aanbevelingen en lobbies van zogenaamde deskundigen lopen dermate uiteen dat deze partijen terughoudend blijven. Een aantal voorbeelden van deze zaken in willekeurige volgorde :

- Ongeloofwaardige haalbaarheidsstudies.
- Besparingsberekeningen worden te positief voorgesteld.
- Verificatie van uitgangspunten d.m.v. monitoring blijft vaak achterwege.
- Het pushen van ammoniak.
- Eenmalige subsidieregelingen verbloemen de werkelijke kosten.
- Economische haalbaarheid.

Om meer eenduidigheid te krijgen en betrouwbare informatie te verschaffen zouden de volgende zaken aangepast cq verbeterd moeten worden :

- **Haalbaarheidsstudies** worden vaak niet juist uitgevoerd. Men hanteert de verkeerde uitgangspunten (procescondities, type compressoren en/of rendementen) of deze worden door niet ter zake deskundigen uitgevoerd. Goede haalbaarheidsstudies zijn essentieel, waarbij afspraken gemaakt moeten worden om op een eenduidige wijze vast te leggen welke zaken wel of niet worden meegenomen. Duidelijk vastleggen van inputparameters.
- Hanteren van het juiste referentiesysteem voor de desbetreffende situatie. Je kunt altijd besparingen naar voren brengen. Het is echter zaak de **besparingsberekeningen** af te zetten tegenover het juiste referentiesysteem; dit is het 'beste' in de markt gangbare systeem.

Tabel 1

Item	Project A	Project B
Rapportage / Datum	november - 2004	mei - 2006
VVO oppervlakte supermarkt. (m ²)	± 800	± 1600
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 €/ on CO ₂ eq/jr	145	156

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

• Alhoewel dit punt de nodige discussie zal geven ben ik voorstander van de procedure om een andere partij, dan welke de haalbaarheidsstudie heeft gemaakt, de **monitoring** van het gerealiseerde project te laten doen. Het gebeurt helaas meer dan eens dat ondeugdelijk opgestelde haalbaarheidsstudies nogmaals beloofd worden met de opdracht de eigen onkunde te verifiëren. Nu heerst alom in de markt onduidelijkheid omtrent het effect en de betrouwbaarheid van de gepresenteerde resultaten. Met name in de laatste sessie, welke door het CBL op 28 februari 2007 in Leidschendam georganiseerd werd, is door een aantal grote partijen uit de supermarktbranche gewezen op het feit dat er te veel uiteenlopende (besparings-)resultaten geproduceerd worden. Hierdoor blijft de markt terughoudend ten aanzien van dit soort nieuwe technologieën

• Het pushen van **ammoniak**, omdat dit bij koel- en vrieshuizen wel geaccepteerd wordt, heeft een averechts effect waardoor de toepassing van **alle** natuurlijke koudemiddelen wordt geweerd. Accepteer dat er geen uniforme oplossing is voor alle toepassingen en segmenteer naar branches en grootte van de installaties.

• Projectmatig zijn er vaak **subsidieregelingen** van toepassing waarmee een enkelvoudig project financieel sluitend gemaakt kan worden. Dit is voor supermarktorganisaties veelal niet interessant omdat deze kijken naar de repeeteerbaarheid voor meerdere projecten. Dit moet dus in de studie transparant naar voren worden gebracht.

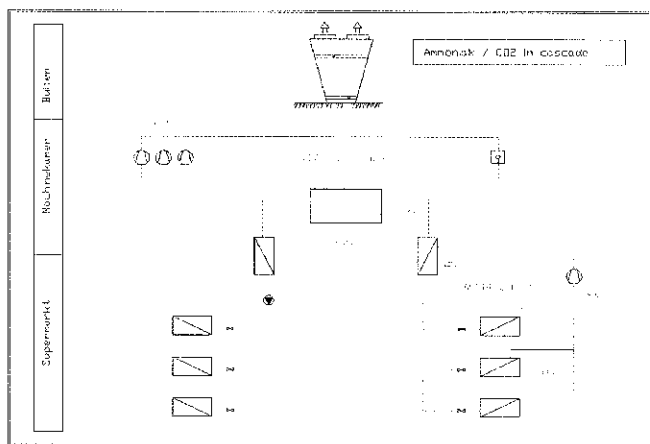
• Ook de eindgebruiker kan zijn geld maar één keer uitgeven. De beste milieuvestering is uit te drukken in de zogenaamde kosteneffectiviteit (€ / ton CO₂ eq/jr) = **de hoeveelheid Euro's per vermeden ton CO₂**. Hoe lager deze ratio des te beter is de financiële besteding. De door SenterNovem gestelde eis (wens) bedraagt op dit moment 25. De definitie van deze ratio en wat wel en niet betrokken moet worden bij de berekening hiervan moet in de toekomst echter meer eenduidig worden vastgelegd omdat er nu een willekeur aan besparingsargumenten wordt gehanteerd. Ter illustratie hiervan de resultaten bij de twee gerealiseerde ammoniak/CO₂-projecten (zie tabel I).

2. Natuurlijke koudemiddelen - waar hebben wij het eigenlijk over?

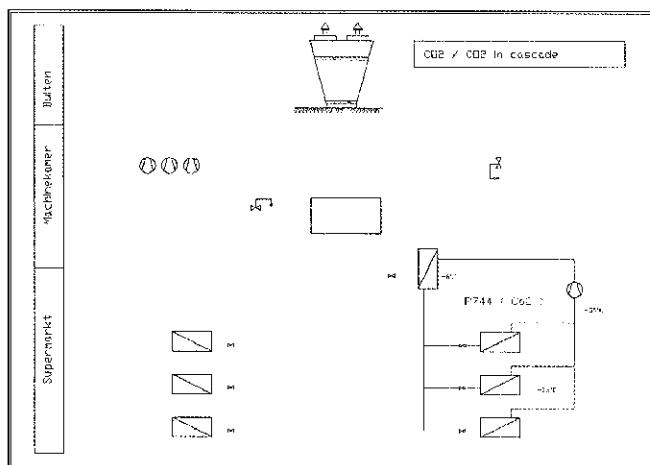
De laatste jaren heeft CO₂ als koudedragers aan belangstelling gewonnen in combinatie met NH₃ voor de opwekking. Indien we het totale concept met natuurlijke koudemiddelen willen invullen zijn er voor de opwekking in principe drie opties voorhanden :

• **Ammoniak (R717)**

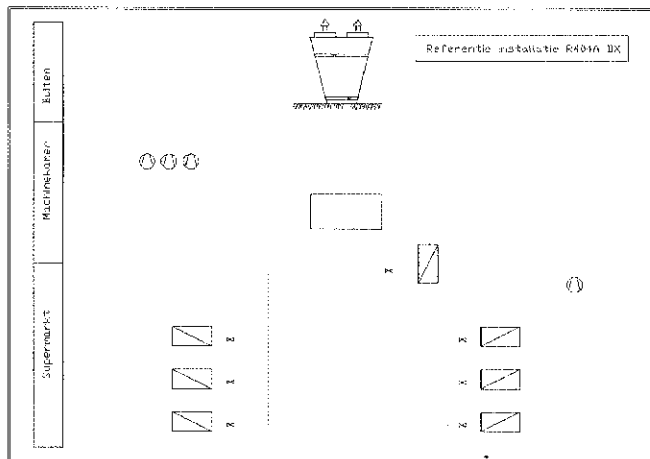
Alhoewel thermodynamisch een uitermate gunstig koudemiddel, kleeft er toch een aantal bezwaren aan inzake de toepassing in met name de supermarktomgeving. Supermarktorganisaties zijn over het algemeen huiverig m.b.t. de eventuele (negatieve) publiciteit bij calamiteiten. Of dit terecht of onterecht is wordt binnen dit artikel niet verder besproken. 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*.



Afbeelding 1 – NH₃/CO₂-concept



Afbeelding 2 – CO₂/CO₂-concept



Afbeelding 3 – R404A DX concept

• **Brandbare koudemiddelen (hydrocarbons of koolwaterstoffen, 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).

Tabel II

	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	

- **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 (transcritical) 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. Hierbij is het wel zaak om de koudemiddelinhoud zoveel mogelijk te beperken.

Het toepassen van een CO₂-DX-systeem heeft hierbij dus de voor-

keur boven een CO₂-pompsysteem. Deze aspecten spelen natuurlijk ook al een rol bij CO₂ als koudedragers. De veiligheidsrichtlijn IOR/R744 kan hierbij als leidraad fungeren.

3. Conceptvergelijkingen

- 3.1. **NH₃/CO₂-concept**
zie: Afbeelding 1
- 3.2. **CO₂/CO₂-concept**
zie: Afbeelding 2
- 3.3. **R404A DX-concept**
zie: Afbeelding 3

Belangrijk bij energiebesparingsberekeningen rond alternatieven is de keuze van het referentiesysteem.

In naar schatting 70% van de situaties wordt, anno 2007, 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.

Als standaard zijn verder alle verticale koelmeubelen 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 monoflowconcept = de Referentie.

Alhoewel er heel veel boostersystemen zijn – en worden geïnstalleerd – is dit monoflowsysteem energetisch het meest gunstige.

Het boosterconcept is m.n. vanwege allerlei bijkomende installatieaspecten economisch gunstiger.

4. Kringloopparameters van de diverse concepten

Zie hiervoor Tabel II.

Tabel IIa

(jaren)	Annuiiteit	(jaren)	Annuiiteit	(jaren)	Annuiiteit
1	1,0400	10	0,1233	19	0,0761
2	0,5302	11	0,1141	20	0,0736
3	0,3603	12	0,1066	21	0,0713
4	0,2755	13	0,1001	22	0,0692
5	0,2246	14	0,0947	23	0,0673
6	0,1908	15	0,0899	24	0,0656
7	0,1666	16	0,0858	25	0,0640
8	0,1485	17	0,0822	26	0,0626
9	0,1345	18	0,0789	27	0,0612

Tabel III

Installatieconcept	NH ₃ / CO ₂		CO ₂ / CO ₂		R404A	
	R717	R744	R744	R744	MT	LT
Studie NH3 - CO2						
VVO = ±1600 m2						
	NH ₃ / CO ₂		CO ₂ / CO ₂		R404A = Referentie	
	R717	R744	R744	R744	MT	LT
Koelmiddelinhoud (KG)	60	300				300
GWP	0	1				3750
Lekkage %/jr	5	5	5	5	5	5
Elektraverbruik (kWh/jr.)	189.765		215.281		202.735	
Gasverbruik (m ³ /jr.)	35.000		35.000		35.000	
Directe emissie	1]	0,0		0,01		56,3
Indirecte emissie	2]	115,8		131,3		123,7
Indirecte emissie nm ³	3]	56,0		56,0		56,0
Totale emissie	1]	171,8		187,3		236,0
Reductie emissie	1]	64,2		48,7		0,0
		27,2 %		20,6 %		0 %
Item (Standaard)						CO2 / CO2
Rapportage						Coolsultancy
Datum						22-01-2007
Koelcapaciteit (kW)						113,5
Vriescapaciteit (kW)						19,5
Meerinvestering (€)			.A			€ 50.000,-
Annuïteit (Waarde overgenomen uit TNO rapportage)			.I			0,1424
Extra energieverbruik per jaar (kWh/jr)						12.546
Extra energieverbruik per jaar (€/jaar) (electriciteitskosten € 0,10 / kWh)						€ -1.255,-
Andere besparingen - Koudemiddellekkage (€ 30,-/kG)						€ 315,-
Andere besparingen - Besparing op STEK ?						—
Andere besparingen - Totaal			.B			€ 940,-
Besparing broeikasgassen in ton CO ₂ eq/jr						48,7
Totale jaarlijkse kosten (A * I - B) (€/jr)						€ 8.060,-
Kosteneffectiviteit € / ton CO ₂ eq/jr						165

1] ton CO₂-eq/jr door lekkage. 2] 0,61 kG CO₂-eq/kWh 3] 1,6 kG CO₂-eq/nm³

5. Kosteneffectiviteit (KE) het begrip nader uitgelegd

De kosteneffectiviteit (KE) is binnen het subsidieprogramma Reductie Overige Broeikasgassen (ROB) als volgt gedefinieerd :

$$(KE) = \frac{\text{Totale jaarlijkse kosten van de maatregel (€/jaar)}}{\text{Totale jaarlijkse emissie-reductie (ton CO₂-eq./jaar)}}$$

Hierin is :

Totale jaarlijkse kosten = kapitaalkosten + jaarlijkse operationele kosten - jaarlijkse baten
 Kapitaalkosten = annuïteit (zie tabel IIa voor de te hanteren waarden) * investering
 Totale jaarlijkse emissiereductie = reductie door één maatregel

Om te voorkomen dat er te veel subsidiegelden gaan naar niet-effectieve maatregelen heeft SenterNovem de richtlijn afgegeven dat een maatregel pas interessant is bij een maximale investering van € 25/ton vermeden CO₂-equivalenten.

6. Kosteneffectiviteit (KE) CO₂/CO₂ in standaarduitvoering

Zie tabel III.

7. Kosteneffectiviteit (KE) CO₂/CO₂ met WTW

Zie tabel IV.

8. Kosteneffectiviteit (KE) - Conclusies en aanbevelingen

De berekende waarden voor de kosteneffectiviteit van de diverse installatieconcepten met natuurlijke koudemiddelen komen zelfs bij benadering niet

in de buurt bij de door SenterNovem gestelde eis (wens) van 25 € ton CO₂-eq/jr. Hiervoor is een aantal verklaringen aan te voeren :

- De (KE) van het CO₂/CO₂-concept daalt aanzienlijk indien WTW wordt toegepast. Feitelijk valt vast te stellen dat het concept zonder WTW in het geheel niet interessant is.
- De gehanteerde waarde voor de annuïteitenfactor is aan de hoge kant maar is overgenomen uit de rapportage van TNO (Projectnummer 34945 van 10-11-2004). Indien de investering over een langere periode wordt afgeschreven en er met een factor van 0,0899 (15 jaar) gerekend zou worden gaat de (KE) van 129 naar 75.
- Voor een aantal componenten (gas-coelcr) worden er door de leveran-

Tabel IV

Installatieconcept	NH ₃ / CO ₂		CO ₂ / CO ₂		R404A	
	R717	R744	R744	R744	MT	LT
Studie NH₃ - CO₂						
VVO = ±1600 m²						
	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
Elektraverbruik (kWh/jr.)	217.860		227.443		237.611	
Gasverbruik (m ³ /jr.)	1.100		1.500		0	
Directe emissie	1]	0,0	0,01		56,3	
Indirecte emissie kWh	2]	132,9	138,7		144,9	
Indirecte emissie nm ³	3]	1,8	2,4		0	
Totale emissie	1]	134,7	141,1		201,2	
Reductie emissie	1]	66,5	60,1		0,0	
		27,2 %	20,6 %		0 %	
Item (met WTW)						CO₂ / CO₂
Rapportage						Coolsultancy
Datum						22-01-2007
Koelcapaciteit (kW)						113,5
Vriescapaciteit (kW)						19,5
Meerinvestering (€)						€ 60.000,-
Annuïteit (Waarde overgenomen uit eerdere rapportage)						0,1424
Energiebesparing per jaar (kWh/jr)						10.168
Energiebesparing per jaar (€/jaar) (electriciteitskosten € 0,10 / kWh)						€ -1.017,-
Extra energieverbruik per jaar (m ³ /jr)						1.500
Extra energieverbruik per jaar (€/jaar) (gaskosten € 0,37 / m ³)						€ -555,-
Andere besparingen - Koudemiddellekkage (€ 30,-/kg)						€ 315,-
Andere besparingen - Besparing op STEK ?						-
Andere besparingen - Totaal						€ 777,-
Besparing broeikasgassen in ton CO ₂ eq/jr						60,1
Totale jaarlijkse kosten (A * I - B) (€/jr)						€ 7.767,-
Kosteneffectiviteit € / ton CO ₂ eq/jr						129

1] ton CO₂-eq/jr door lekkage. 2] 0,61 kg CO₂-eq/kWh 3] 1,6 kg CO₂-eq/nm³

ciers nog geen reële prijzen afgegeven maar zijn de te leveren aantallen nog zo klein dat er 'reserves' worden ingebouwd. Dit zijn eigenlijk verkapte ontwikkelingskosten.

- Hetzelfde geldt voor de compressorpack. Het is nog niet zomaar mogelijk om een standaardcompressorpack te bestellen bij een willekeurige unitbouwer. Bitzer heeft een aantal compressoren vrijgegeven voor de markt maar doet dit alleen in een soort partnership waarbij zij een vinger aan de pols houden m.b.t. de techniek. Hierdoor is van concurrentie geen sprake en blijven de prijzen relatief hoog.
- Indien de eis van een (KE) van € 25/ton gehandhaafd blijft zal de meerprijs t.o.v. een traditioneel systeem moeten zakken naar circa € 25.000,-

bij een annuïteiten factor van 0,0899. Bij een annuïteitenfactor van 0,1424 moet de meerinvestering zelfs dalen naar € 16.000,-

- De meest logische stap om de kosten voor een CO₂/CO₂ verder te verlagen bestaan uit het toepassen van een boosterconcept. Hierbij komen de kosten van de cascadecondensor te vervallen. Hierbij kan zowel aan de lagedruk-zijde als aan de hogedruk-zijde gebruik gemaakt worden van standaard elektronische ventielen.
- Alhoewel het een grote stap lijkt is het m.i. zeer zeker mogelijk dit concept naar een aanvaardbaar prijsniveau te krijgen met een acceptabele (KE). Echter eens moet de eerste stap gezet worden.
- De subsidies gaan op dit moment

naar de eindgebruikers maar deze zijn niet op de hoogte van de technische mogelijkheden op dit gebied. Willen we een stimulans krijgen voor het realiseren van dit soort nieuwe technologieën dan zouden eigenlijk de installateurs financieel gemotiveerd moeten worden.

Literatuurlijst :

TNO / G.J.van Riessen (Projectnummer 34945 van 10-11-2004)
 Coolsultancy Rob Jans (Statustrapport CO₂ als primair koudemiddel in supermarkten) 22-01-2007

Gebruikte berekeningstools :

Bitzer :Selectiesoftware versie 4.1
 Coolpack : Versie 1.46