

# Renere produkter

J.nr. M126-0793

## Konvertering af køleanlæg i supermarkeder til anvendelse af CO<sub>2</sub> med direkte ekspansion i frost- og kølemøbler

Forfatter(e):

Kenneth B. Madsen, Teknologisk Institut

René Lyngø, Birton A/S



# Indhold

<b>FORORD</b>	<b>5</b>
<b>SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER</b>	<b>7</b>
<b>SUMMARY AND CONCLUSIONS</b>	<b>8</b>
<b>1 KRAVSPECIFIKATION</b>	<b>9</b>
<b>2 VALG AF KØLEMIDDEL</b>	<b>10</b>
2.1 VALG AF KØLEMIDDEL, HØJTEMPERATURDELEN	10
2.2 VALG AF KØLEMIDDEL, LAVTEMPERATURDELEN	10
<b>3 VALG AF ANLÆGSLØSNING</b>	<b>12</b>
3.1 ANLÆGSLØSNING 1	12
3.2 ANLÆGSLØSNING 2	13
3.3 VALG AF ANLÆGSTYPE	13
<b>4 BESKRIVELSE AF ANLÆGGET</b>	<b>14</b>
4.1 HØJTEMPERATURANLÆGGET	14
4.2 HØJTEMPERATURANLÆGGET	15
4.3 ANLÆGSSTYRING	16
4.3.1 <i>Højtemperaturanlæg</i>	16
4.3.2 <i>Lavtemperaturanlæg</i>	17
<b>5 DRIFTSERFARINGER</b>	<b>18</b>
<b>6 ENERGIFORBRUG</b>	<b>20</b>
<b>7 ØKONOMI</b>	<b>21</b>
<b>8 REFERENCELISTE</b>	<b>23</b>
<b>9 BILAGSLISTE</b>	<b>25</b>
9.1 BESTEMMELSE AF LEL OG UEL FOR GASBLANDING	3



# Forord

Denne rapport er udarbejdet for Miljøstyrelsen, Program for renere produkter, af Birton A/S og Teknologisk Institut, Center for Køle- og Varmepumpe teknik. Birton A/S har fungeret som projektleder på projektet og har samtidig designet og bygget anlægget. Teknologisk Institut har fungeret som konsulent gennem hele forløbet.

En stor tak til alle involverede parter for det gode og konstruktive samarbejde.

Juni 2005  
Teknologisk Institut  
Industri og Energi  
Center for Køle- og Varmepumpe teknik

Kenneth B. Madsen



# Sammenfatning og konklusioner

I projektet blev et anlæg opbygget, der opfylder de krav, der blev stillet af ejeren af anlægget. Anlægget, der anvender propylen/CO<sub>2</sub> i kaskade, har været i drift siden januar 2004 uden nævneværdige problemer. For at kunne opfylde kravene til anlægget har det været nødvendigt at køre med et sugetryk så lavt som -55°C. Ved temperaturer lavere end -56,6°C (tripelpunktet) vil der ikke eksistere væske, men kun gas og tør is.

For at undgå denne problematik er der i projektet udført test af kølemiddelblandingen af CO<sub>2</sub> og ethan. Fra et termodynamisk synspunkt er blandingen god, da den har et tripelpunkt lavere end -67°C. Desværre viste det sig, at blandingen kunne brænde og blev derfor kategoriseret som en gruppe 2 kølemiddel. Af den grund valgte man at arbejde videre med ren CO<sub>2</sub> i systemet.

For at undgå det høje energiforbrug til pumpning af CO<sub>2</sub> er der i projektet set på alternative metoder. I projektet er der anvendt et system, hvor drivtrykket kommer fra en af de fire kompressorer. Analyser viser, at denne måde at pumpe CO<sub>2</sub> på kræver mindre end det halve energi af, hvad en konventionel pumpeløsning bruger.

Totalt set vurderes det, at anlægget bruger 3-8% mindre energi end et tilsvarende HFC- eller kaskadeanlæg med CO<sub>2</sub>-pumpe-cirkulation. Man har dog ikke kunnet verificere disse resultater, da det ikke har været muligt at finde et referenceanlæg.

Omkostningerne ved opbygningen har været ca. 5% højere end for et tilsvarende HFC-anlæg, men hvis anlægget havde været mere forenet, kunne merprisen have været vendt til en besparelse på 5%. Det vurderes ikke, at anlægget vil kræve mere service eller på anden måde være dyrere at holde i drift, men erfaringerne er meget begrænsede.

# Summary and conclusions

During the project, a plant was constructed and it fulfils the demands placed by the owner of the plant. The plant uses propylene/CO<sub>2</sub> in cascade and has been in operation since January 2004 without any serious problems. To fulfil the requirements to the plant it has been necessary to operate with a suction pressure as low as -55°C. At temperatures below -56°C (triple point) no liquid will exist, but only gas and dry ice.

To avoid these problems, the project included testing the refrigerant mixture CO<sub>2</sub> and ethane. From a thermodynamic point of view the mixture is good, as it has a triple point that is lower than -67°C. Unfortunately, the mixture proved to be inflammable and therefore it was classified as a category 2 refrigerant. For that reason it was decided to work with pure CO<sub>2</sub> in the system.

In order to avoid high energy consumption when pumping CO<sub>2</sub>, alternative methods have been examined in the project. A system has been applied where the effective thrust comes from one of the four compressors. Analyses show that this way of pumping CO<sub>2</sub> requires less than half of the energy used for conventional pump solutions.

All things considered, it is evaluated that the plant uses 3-8% less energy than a corresponding HFC plant or cascade plant with CO<sub>2</sub> pump circulation. However, it has not been possible to verify these results as a reference plant has been impossible to find.

The expenses related to the construction have been approx. 5% higher than for an equivalent HFC plant, but if the plant had been more branched, the additional price could have been reversed to a 5% saving. We do not believe that the plant will require more service or that it will be more expensive to keep it in operation, but experience in this connection is very limited.

# 1 Kravspecifikation

Der har været følgende krav til anlægget ved Danmarks Fiskeriundersøgelser:

1. Anlægget skal kunne levere 10 kW ved  $-45^{\circ}\text{C}$  fordampning og 22 kW ved  $-17^{\circ}\text{C}$  fordampning
2. Enkelte rum skal kunne nedkøles til  $-50^{\circ}\text{C}$  i forbindelse med indfrysning
3. Det skal være muligt at køre flere forskellige temperaturiveauer på anlægget fra  $-50^{\circ}\text{C}$  til  $+12^{\circ}\text{C}$
4. Energiforbruget skal være lavere end det, der kendes fra konventionelle anlæg med tilsvarende driftskonditioner
5. Anlægget må ikke være mere omkostningskrævende end et konventionelt anlæg, når der ses på energi, anskaffelse og vedligehold
6. Anlægget skal anvende naturlige kølemidler
7. Anlægget skal anvende direkte ekspansion af kølemidlet på både køl og frost

## 2 Valg af kølemiddel

Et af formålene med projektet er at substituere syntetiske kølemidler som f.eks. R134a og R404a med naturlige kølemidler. Dette gøres ved at anvende en kaskade mellem to kølemidler, hvor der anvendes et kølemiddel til højtemperaturdelen mellem +40°C og -5°C og et kølemiddel mellem 0°C og -55°C.

### 2.1 Valg af kølemiddel, højtemperaturdelen

Da man har valgt at anvende et kaskadeanlæg med naturlige kølemidler, peger det i retning af kulbrinter. I gruppen af kulbrinter er der tradition for at vælge og skaffe komponenter til to, nemlig propan og propylen. De to stoffer adskiller sig kemisk fra hinanden, ved at propylen har en dobbeltbinding, hvorimod propan ingen dobbeltbinding har. Teoretisk gør det propylen mere ustabil, og den vil derfor gerne reagere med andre materialer i kølekredsen. Propylen skal anvendes med forsigtighed, da det ikke er kompatibelt med en del plast- og gummimaterialer. Propan indeholder ikke dobbeltbindinger og er derfor meget stabilt.

Propylen har en sødlig lugt og kan derfor detektere, hvorimod propan er lugtfrit.

Hvis der ses på de termodynamiske data for de to kølemidler, afviger de ikke nævneværdigt fra hinanden - hvad angår energiforbrug. Den volumetriske køleydelse for propylen er dog ca. 20% større end for propan, hvilket bevirker, at der kan vælges en mindre kompressor.

I dette projekt vælges det at anvende propylen, da det giver den laveste pris på kompressoren. Det vurderes, at problemene med de øvrige komponenter vil kunne løses.

### 2.2 Valg af kølemiddel, lavtemperaturdelen

Som en del af projektet er der lavet en analyse af muligheden for at lave en blanding af naturlige kølemidler, hvor det vil være muligt at komme ned på en lavere temperatur end de -56°C, som det er muligt med CO<sub>2</sub>. Kravet til kølemidlet har været, at det skulle kunne klassificeres som et gruppe 2 kølemiddel (ikke giftigt og ikke brændbart) i henhold til DS/EN 378-1. Desuden ønskes der et kølemiddel uden temperaturglid ved fordampning og kondensering.

Da man i kravspecifikationen ønsker at kunne køre -50°C luft i et af rummene, er der kun et temperaturbånd på 6K mellem lavest mulige fordampningstemperatur til rumtemperaturen, hvilket vil medføre en stor fordampning og potentielle problemer med at styre overhedning og fordampningstemperatur. Det er derfor meget interessant at se på andre naturlige kølemidler, der kan komme længere ned i temperatur end ren CO<sub>2</sub>.

Derfor blev det i projektet besluttet at forsætte undersøgelserne af CO<sub>2</sub>-ethanblandingen. Et af de springende punkter er en undersøgelse af blandingens brændbarhed, da den indeholder ethan, som er ekstremt brændbar. Der blev i denne forbindelse udført tests til bestemmelse af øvre og nedre eksplosionsgrænse for blandingen i henhold til DS/EN 720-2.

I denne forbindelse er der undersøgt en speciel blanding mellem ethan og CO<sub>2</sub>, som er azeotrop. Der er i forbindelse med et andet projekt lavet en undersøgelse af de termodynamiske data for blandingen. I denne forbindelse blev der undersøgt for tripelpunkt ned til -67°C. Det lykkedes ikke at påvise et tripelpunkt for blandingen, hvilket fortolkes, som om tripelpunktet er lavere end -67°C.

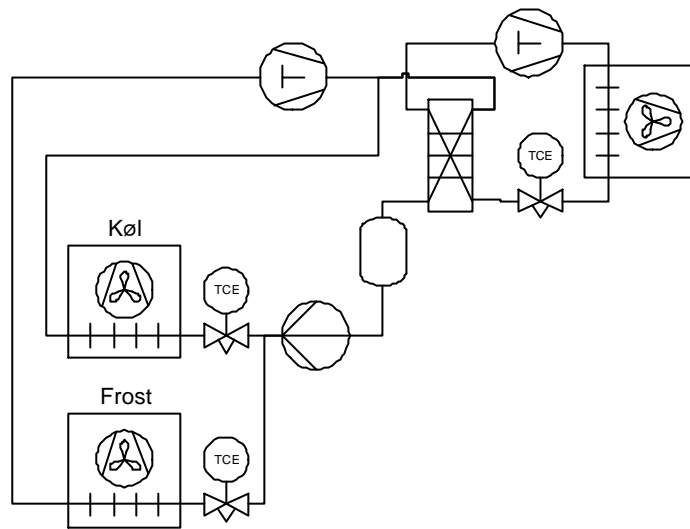
Resultaterne af de gennemførte test viste, at blandingen kunne brænde, hvis den blandes med atmosfærisk luft i et blandingsforhold mellem 7,2 % og 25,5% (se bilag 1). Disse resultater medfører, at blandingen klassificeres som et gruppe 1 kølemiddel sammen med f.eks. propan, propylen og ammoniak. Da en del af dette anlæg er placeret i en kælder, er det ikke attraktivt at anvende denne type kølemiddel (se bilag 1).

Konklusionen på dette arbejde er, at denne blanding ville kunne bruges set fra en termodynamisk synsvinkel, men da den desværre er brændbar, er den ikke praktisk anvendelig inden for dette projekts rammer. Det vælges derfor at køre videre med en CO<sub>2</sub>-løsning med de potentielle problemer, det kan give.

## 3 Valg af anlægsløsning

Fleere forskellige anlægs løsninger blev diskuteret i projektgruppen. Fælles for anlægs løsningerne har været, at der anvendes en kaskade mellem propan eller propylen og CO<sub>2</sub>, og at der anvendes direkte ekspansion ved alle kølestedene. Denne teknologi er valgt, fordi den er velkendt i branchen og derfor stiller den ikke særlige krav til de kølemontører, der skal tilse anlægget. Derudover giver det nogle fordele, når der skal køres med flere forskellige rumtemperaturer på samme anlæg.

### 3.1 Anlægs løsning 1



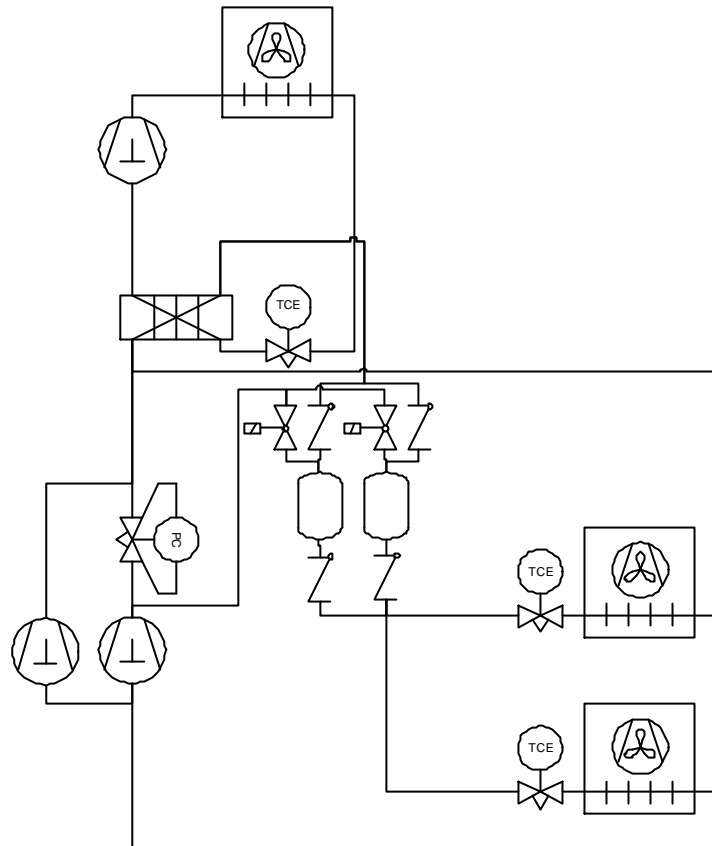
Figur 1: Kaskadeanlæg med pumpe

Den første anlægstype, der blev undersøgt, var et kaskadeanlæg med en pumpe til at give det nødvendige tryk til ventilen. Anlægstypen ligner meget de anlægstyper, der benyttes i supermarkeder i dag, dog med den forskel at der ikke anvendes oversvømmet fordampers på kølekredsen.

Anlægget fungerer ved, at propan/propylenanlægget kondenserer CO<sub>2</sub>-gassen. Væsken opbevares i receiveren, som også benyttes som pumpebeholder. Pumpen løfter væsken således, at der er tilstrækkelig drivtryk til ekspansionsventileme (min. 2 bar). Ekspansionsventileme styres efter en overhedning på fordampers. Gassen fra frostrummene suges hjem vha. en kompressor. Gassen fra kølefordampers samt trykgassen fra kompressoren returneres til kaskadeveksleren.

Fordele ved anlægs løsningen er, at den anvender teknologier, der i stor udstrækning kendes fra eksisterende anlæg i dag (pumpecirkulation og direkte ekspansion). De to teknologier har dog ikke været kombineret på denne måde før, hvor det er pumpen, der giver drivtrykket til ventilen. Ulemper ved anlægs løsningen er, at der anvendes en pumpe, der også er servicekrævende, og det er en komponent, der potentielt kan fejle. Desuden findes der ikke i dag pumper, der har den rette størrelse på markedet. Ydermere er pumpen en væsentlig merudgift på et anlæg af denne størrelse. Da man ønsker at anvende AKV-ventiler, vil det pulserende flow kunne give problemer med kavitation i pumpen.

### 3.2 Anlægsløsning 2



Figur 2: Kaskadeanlæg med gaspumpe

Den anden anlægsløsning adskiller sig fra den første ved ikke at anvende en traditionel pumpe men derimod at benytte højtryksgassen fra en kompressor til at trykke væsken ud i systemet. For at systemet kan køre kontinuert, er det forsynet med to beholdere, hvor den ene fyldes samtidig med, at den anden tømmes. Når beholderen er tom, skiftes der rundt, og processen gentages.

Fordele ved denne anlægsløsning er, at der ikke anvendes pumper, hvilket gør konstruktionen billigere. Desuden er det lettere at styre drivtrykket på væsken, da det er en kompressor, der giver trykket. Hvis der anvendes en pumpe, har den et loft for, hvor højt den kan løfte på typisk 2-3 bar, hvis der samtidig skal opretholdes et flow. Desuden undgår man problematikken omkring kavitation i pumpen. Det er ofte et problem med denne type anlæg, da byggehøjden er meget begrænset af bygningens konstruktion. Ofte er tilløbshøjden mindre end 1 meter, hvilket ofte er i underkanten.

Ulemperne ved denne konstruktion er, at en del af køleydelsen går til fordampning af væske, når den varme trykgas pumpes ned i beholderen. Dette skal holdes op mod energiforbruget til pumpen, hvis der var anvendt sådan en. Princippet er ikke anvendt før, og der er derfor en mulighed for, at der kan opstå problemer under opstart.

### 3.3 Valg af anlægstype

Anlægstype 2 er valgt, da det vurderes at være et billigere anlæg at producere, og da driftssikkerheden er større pga. få bevægelige dele. Andre parametre som støj, sikkerhed, ydelse m.m. vurderes at være sammenlignelige for de to anlægstyper.

## 4 Beskrivelse af anlægget

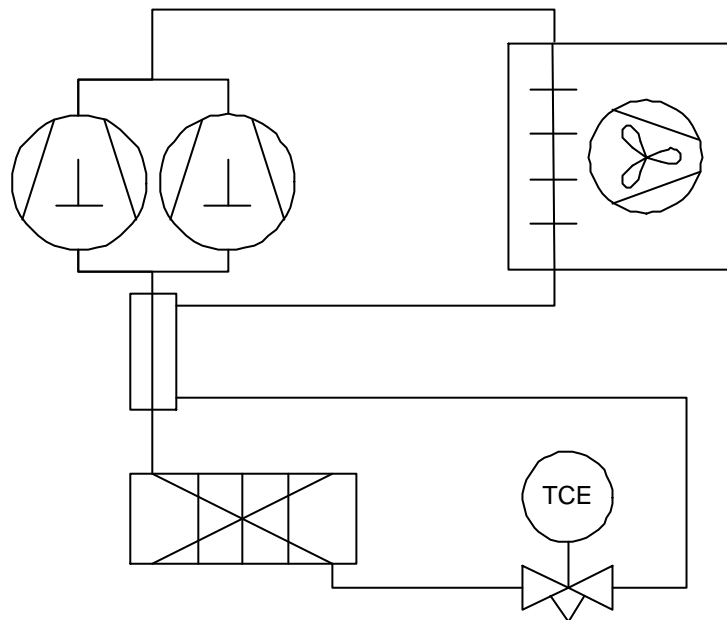
I de kommende afsnit vil anlægget blive beskrevet sammen med styringen. Afsnittet vil blive delt i to hovedafsnit, et for højtemperaturanlægget samt et for lavtemperaturanlægget.

### 4.1 Højtemperaturanlægget

Højtemperaturanlæggets opgave er at holde lavtemperatur-CO<sub>2</sub>-anlægget nede i temperatur. Dette gøres ved at køle en kaskadeveksler, der fungerer som fordampere for højtemperaturanlægget og kondensator for lavtemperaturanlægget.

Anlægget er opstillet i det fri, hvilket letter arbejdet med godkendelse betydeligt. Dette stiller dog krav til et lavt støjniveau. Dette er opnået ved at anvende frekvensomformer på kondensator-ventilatoren og ved at anvende en lydæmpet kasse til de to propylenkompressorer.

Højtemperaturanlægget består af en kondensator, to kompressorer, en intern varmeveksler, tørfilter (der også virker som receiver), en ekspansionsventil samt en pladeveksler til kaskadeveksler (fordampere).



Figur 3: Højtemperaturanlægget

Som kompressorleverandør har man valgt at benytte Bitzer Octagon twin. Derved opnår man en kompakt konstruktion, hvor det ikke er nødvendigt at styre oliemængden i de to kompressorer, da de har samme oliesump. Kompressorene er godkendt til propan og propylen og opfylder PED.

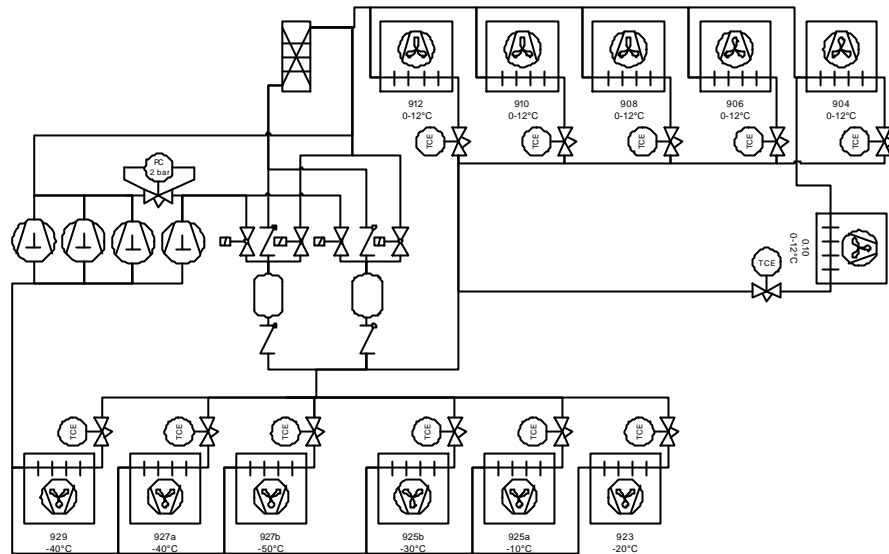
Som kondensator anvendes en Güntner standardkondensator, der er godkendt til propylen. Kondensatoren er luftkølet, og ventilatoren styres efter et fast kondenseringstryk ved hjælp af en frekvensomformer. Denne løsning er valgt for at give det lavest mulige lydniveau.

Som ekspansionsventil anvendes en Danfoss TQ-ventil. Ventilen styrer indsprøjtningen til pladeveksleren, således at der holdes en konstant overhedning ud af veksleren.

Den interne varmeveksler er placeret i systemet for at sikre overhedning før kompressoren. Ved for lav overhedning (mindre end 25K) kan der opløses en stor mængde kølemiddel i olien, hvilket sænker viskositeten og derved bevirker, at smøreevnen forringes væsentligt.

## 4.2 Højtemperaturanlægget

Højtemperaturanlægget er placeret i et maskinum i kælderen ca. 2 meter under højtemperaturanlægget og ca. 10 meter fra.



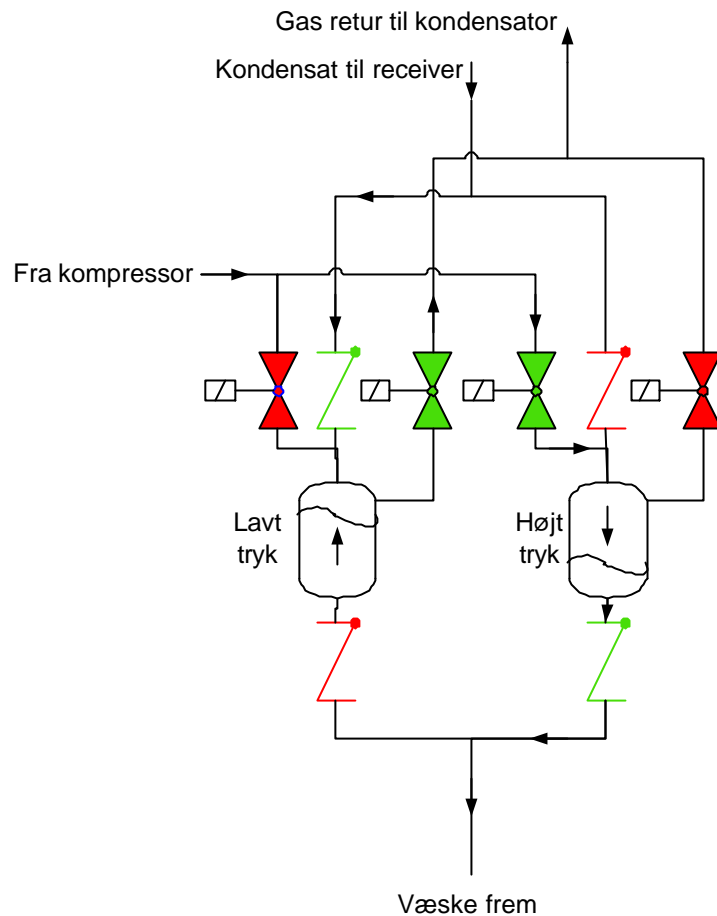
Figur 4: Lavtemperaturanlæg

Anlægget består principielt af en kaskadeveksler, 4 kompressorer, et pumpemodul samt 12 kølesteder med forskellige temperaturer (6 frost og 6 køl) med tilhørende ekspansionsventiler.

Kaskadeveksleren er placeret udendørs i samme rack som højtemperaturanlægget, da propylen er uønsket i kældenum af hensyn til brandfare. Der anvendes naturlig cirkulation på denne kreds, hvorfor det er nødvendigt, at kaskadeveksleren er placeret over receiveren.

De 4 Bitzer-kompressorer er koblet parallelt. Dog kører den ene kompressor med et kondenseringstryk 2 bar højere end de tre andre. Denne kompressor er desuden forsynet med frekvensomformer, så sugetrykket kan styres inden for de meget snævre tolerancer, der kræves, når der køres med en så lille afstand til tripelpunktet, som det er tilfældet på dette anlæg (ca. 1 K). Trykket for denne kompressor holdes højere vha. en konstant differenstrykventil, der sikrer 2 bar differenstryk. En del af gassen sendes til pumpemodulet, mens resten sendes retur til kondensatoren vha. ventilen.

Pumpemodulet består af to receivere, 4 kontraventiler samt 4 magnetventiler.



Figur 5: Principskitse pumpemodul

Højtrykgassen trykker på væskespejlet i den ene receiver. Derved trykkes væsken ud i systemet. Den anden receiver befinder sig ved et lavere tryk (kondenseringsstryk), og væsken fra kondensatoren drænes ned til denne receiver. Gassen herfra føres retur til kondensatoren. Når beholderen med det høje tryk er tom, skiftes der rundt på de to beholdere, så den fyldte beholder tømmes, og den tomme beholder fyldes. På dette anlæg er der 2 receivere á 100 liter svarende til en skiftetid på ca. 20 min.

#### 4.3 Anlægsstyring

Det er forsøgt at lave styringen så simpel som muligt, samtidig med at alle de ønskede faciliteter er medtaget. Der har fra starten været et ønske om at anvende et system, hvor der er mulighed for at overvåge systemet via en pc og et modem.

##### 4.3.1 Højtemperaturanlæg

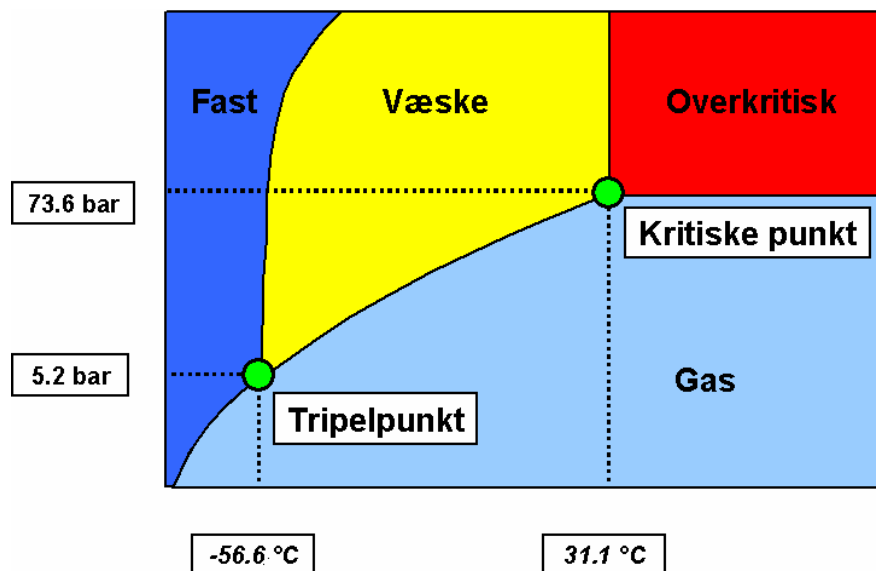
Styringen af kapaciteten på højtemperaturanlægget foretages vha. en frekvensomformer på den ene kompressor. På frekvensomformeren findes der en udgang, der kan konfigureres til at tænde, når kompressoren kommer op på sit maksimale omdrejningstal og slukker igen, når kompressoren når sit minimum. Denne udgang bruges til at styre den anden kompressor. På denne måde anvendes der ikke en kompressorstyring, hvilket gør anlægget væsentlig billigere. Kompressoren styres efter et fast setpunkt i CO<sub>2</sub>-receiveren, hvilket vil sige, at den ikke styres efter sit eget sugetryk. Det giver den fordel, at trykket i CO<sub>2</sub>-receiveren styres meget nøjagtigt, og derved mindskes risikoen for at sikkerhedsventilen åbner betragteligt. Højtemperaturanlægget er selvfølgelig forsynet med lavtrykspressostat som sikring af anlægget mod for lavt sugetryk.

Ventilatoren på kondensatoren styres af kondenseringsstrykket. Ventilatoren er forsynet med en frekvensomformer, hvor den interne regulator bruges til at regulere efter kondenseringsstrykket. På den måde reduceres støjpåvirkningen på omgivelseme betragteligt og vil altid være mindst mulig.

### 4.3.2 Lavtemperaturanlæg

Lavtemperaturanlægget styres som et traditionelt køleanlæg, hvor man forsøger at holde et konstant sugetryk på frostkredsen. Temperaturen på kølekredsen er knyttet til kondenseringstemperaturen i receiveren, der styres af højtemperaturanlægget.

Anlægget adskiller sig dog fra mere konventionelle køleanlæg, ved at der er krav om rumtemperaturer på  $-50^{\circ}\text{C}$ . For at kunne honorere dette krav er det nødvendigt med et sugetryk på  $-55^{\circ}\text{C}$ , hvilket er ca. 1 K fra tripelpunktet. Hvis temperaturen kommer under tripelpunktet, vil der ikke kunne være væske i anlægget men kun gas og is. Dette vil ikke være ønskeligt, da isen ville kunne blokere anlægget og evt. skade kompressorer og andre vitale komponenter.



Figur 6: Fasediagram for CO<sub>2</sub> - Udlånt af Danfoss

For at undgå denne situation er der anvendt en funktion i anlægsstyringen, der hurtigt kobler kapacitet ud, hvis sugetykket bliver lavere end  $-55^{\circ}\text{C}$ . På den måde er det muligt at køre med den traditionelle kompressorstyring, men ved for lavt sugetryk skiftes der til en noget hårdere styring, hvor der ikke er dødtider eller neutralzone i styringen.

For at kunne komme så tæt på  $-55^{\circ}\text{C}$  anvendes der en frekvensomformer på den ene af kompressorene, som tilpasser kapaciteten trinløst og derved gør sugetykket mere stabilt.

## 5 Driftserfaringer

Anlægget har været i drift siden januar 2004 uden væsentlige problemer. Der har været et havari på en kompressor, hvor en vikling er brændt af, men denne fejl kan med stor sandsynlighed tilskrives en fabrikationsfejl. Derudover har der ikke været andre forstyrrelser af driften.

Rummene har kunnet leve op til de krav, der er stillet på forhånd, hvad angår temperatur og kapacitet. Der er ikke lavet en egentlig kapacitetsmåling på anlægget, men anlægget lever op til de stillede krav omkring indfrysningstid og temperatur i rummene.

Efter indkøring har pumpesystemet virket uden problemer. Der har været vanskeligheder med at skaffe den rigtige ventil til opretholdelse af trykdifferensen. I begyndelsen blev der anvendt en pilotventil fra det industrielle marked, men denne gav anledning til støjgener, og derfor blev den udskiftet med en anden model.



## 6 Energiforbrug

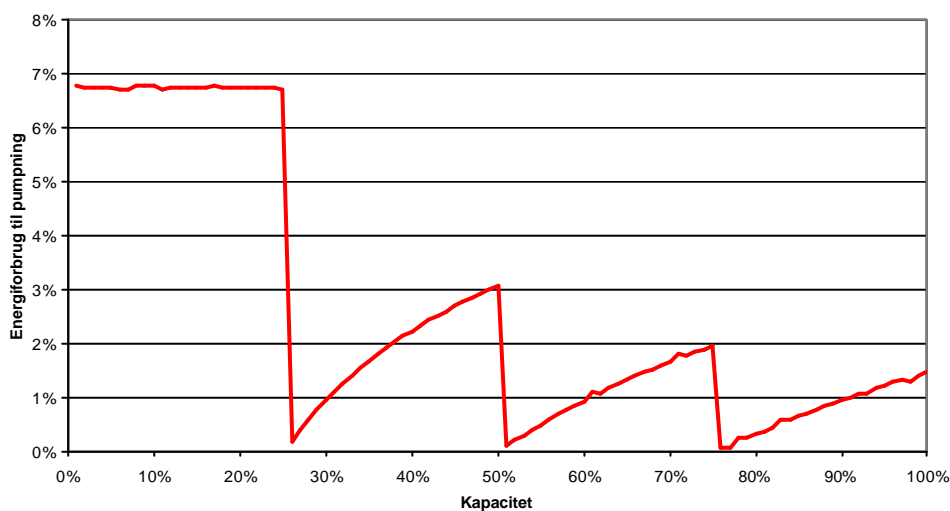
Oprindeligt var der i projektet tale om, at det skulle være et anlæg i et supermarked, men der var ikke i projektperioden et anlæg af den rette størrelse og placering i et supermarked. Derfor valgte man at lave anlægget på DTU (Danmarks Fiskeriundersøgelsen), hvor teknologien i stor udstrækning er den samme, som den, der anvendes i supermarkeder.

Energimålinger var også en del af projektet for at kunne dokumentere anlæggets energiforbrug i forhold til et tilsvarende anlæg med HFC. Anlægget adskiller sig ved at køre med meget lave temperaturer (ned til  $-55^{\circ}\text{C}$  fordampning), hvilket ikke er sædvanen for denne type anlæg.

Man har derfor valgt at lave en teoretisk sammenligning, hvor der sammenholdes med andre undersøgelser lavet på området /1/. Anlægget på DTU adskiller sig markant på 2 punkter fra de andre undersøgte anlæg. Der anvendes propylen i stedet for R404a, og der anvendes ikke en konventionel pumpe.

Set fra en energiforbrugssynsvinkel vurderes der ikke at være den store forskel på, om der anvendes propylen eller R404a som kølemiddel, men da det i /1/ er dokumenteret, at pumpen bruger 10% af anlæggets samlede energiforbrug, vil det give en potentiel besparelse, hvis denne komponent udelades. Pumpens funktion skal derefter erstattes af en anden form for pumpe. I dette projekt har man valgt at afprøve et alternativt koncept, hvor trykgassen fra en kompressor bruges til at cirkulere væsken.

### Energiforbrug til pumpning



Figur 1: Energiforbrug til pumpning ved brug af trykgas fra en kompressor (ud af fire)

Det ekstra energiforbrug til at lave drivtrykket udgør ved fuldlast ca. 1,5% af det samlede energiforbrug og maksimalt lidt under 7%. Typisk vil dette udgøre under 3% af det samlede energiforbrug til køling. Dette skal sammenholdes med de 10%, som pumpen bruger i henhold til /1/. Systemet kan i mange tilfælde optimeres yderligere. Hvis der havde været brugt en mindre kompressor til at lave drivtrykket, vurderes det, at energiforbruget ville kunne have været reduceret til under 1-2%.

I andre tilfælde, hvor det er muligt at bruge væskeledningen fra højtemperaturanlægget til at fordampe væske i receiveren og derved skabe drivtryk, vil energiforbruget kunne nedbringes yderligere. Denne løsning har dog ikke været mulig i dette tilfælde pga. opstillingsstedet.

Det har desværre ikke været muligt at verificere reduktionen i energiforbruget, da man ikke har kunnet finde et referenceanlæg til projektet. Konklusionen på energiforbruget er, at det er sandsynligt, at energiforbruget er 38% lavere, end hvis der havde været anvendt et konventionelt  $\text{CO}_2$ -anlæg med pumpecirkulation eller et R404a parallelanlæg.

## 7 Økonomi

Omkostningerne til bygning af et anlæg af denne type er ved projektets afslutning gjort op. Det er besluttet at korrigere beregningen for de udgifter, som er afholdt som følge af, at dette er et prototypeanlæg.

Selve kølemaskinen (kompressorer, receiver m.m.) er noget dyrere end for et konventionelt anlæg. Dette kan begrundes med, at der stadig er tale om prototype-kompressorer. Prisene er dog faldende i takt med, at der kommer flere producenter af udstyret. Derudover findes der komponenter i et CO<sub>2</sub>-anlæg, som ikke findes i et HFC-system, hvilket også trækker prisen op. Der anvendes ikke pumpe på dette anlæg, hvilket gør anlægget billigere end tilsvarende CO<sub>2</sub>-anlæg, som er i drift i dag. Anlægget er dog ikke billigere end HFC-anlæg, da disse heller ikke anvender pumper.

Kølemidler på anlægget er som før beskrevet propylen og CO<sub>2</sub>. Prisen på disse kølemidler udgør kun en meget lille del af prisen på HFC-kølemidler. Derfor er der også en væsentlig besparelse på dette punkt. Desuden nedsættes risikoen for økonomiske tab for installatøren og ejeren af denne type anlæg i fremtiden, da tabet af en ny fyldning vil være relativt billig at anskaffe.

Installationen af anlæg af denne type er ofte betydeligt billigere end for tilsvarende HFC-anlæg, da værdimensioner er mindre og derfor nemmere at håndtere og billigere i indkøb.

Samlet set er dette anlæg 5% dyrere end et tilsvarende HFC-anlæg, men havde anlægget været mere forenet, som det ofte er tilfældet i supermarkeder, kunne den samlede pris være reduceret med typisk 5% i forhold til et HFC-anlæg.



## 8 Referenceliste

/1/ Sammenligning af energiforbrug til køling i supermarkeder, Hans Jørgen Høgaard Knudsen, Miljøprojekt Nr. 931 2004, [www.mst.dk](http://www.mst.dk)



## 9 Bilagsliste

Bilag 1 Dokumentation for brændbarhed af CO<sub>2</sub> etanblanding.



## 9.1 Bestemmelse af LEL og UEL for gasblanding

### Opgaven

Teknologisk Industri, Industri og Energi, har ved Kenneth Madsen ordret en bestemmelse af nedre antændelsesgrænse (LEL) for en ethan CO<sub>2</sub>-blanding fremsendt på gasflaske. Såfremt nedre antændelsesgrænse giver anledning til at klassificere gasblandingen i klasse 2, bestemmes endvidere øvre antændelsesgrænse (UEL).

### Gennemførelse og resultater

DGC har efter metoden beskrevet i DS/EN 720-2 foretaget en eksperimentel bestemmelse af antændelsesgrænserne for den fremsendte gasblanding. Antændelsesgrænserne er bestemt til følgende:

	Antændelsesgrænse	Usikkerhed
	% vol i luft	% vol i luft
<b>LEL</b>	<b>7,2</b>	<b>± 0,2</b>
<b>UEL</b>	<b>25,5</b>	<b>± 0,2</b>

Gasblandingen har således en LEL, der er større end 3,5% i luft. Den klassificeres dermed som kølemiddel med en brændbarhedsklassifikation i gruppe 2 efter DS/EN 378-1:

*Kølemidler, hvis nedre brændbarhedsgrænse er lig med eller større end 3,5% vol/vol, når de blander sig med luft.*

DANSK GASTEKNISK CENTER a/s

Per G. Kristensen  
Afdelingschef

Lars Jacobsen  
Laboratoriefachef