

# Erstatning af kraftige drivhusgasser (HFC'er, PFC'er og SF<sub>6</sub>)

1998

Endelig rapport

Per Henrik Pedersen  
Civilingeniør

DTI Energi

DTI Energi  
Postboks 141  
2630 Taastrup

Tlf: 4350 45 23  
Fax: 4350 72 22

E-mail: [Per.Henrik.Pedersen@dti.dk](mailto:Per.Henrik.Pedersen@dti.dk)



# Indhold

## **Forord 5**

## **1 Baggrund 7**

## **2 Projektets formål og organisering 9**

## **3 Anvendelse af HFC-stoffer og erstatningsmuligheder herfor 13**

### *3.1 Køleindustrien 13*

3.1.1 Husholdningskøleskabe og fryserne 14

3.1.2 Kommercielle køleskabe og fryserne 18

3.1.3 Kommercielle køleanlæg 19

3.1.4 Industrielle køleanlæg 24

3.1.5 Mobile køleanlæg 25

3.1.6 Varmepumper 27

3.1.7 Luftkonditioneringsanlæg 27

3.1.8 Lavtemperaturanlæg 28

### *3.2 Polyurethanskum 30*

3.2.1 Isoleringsskum 30

3.2.2 Fugeskum 33

3.2.3 Fleksibelt skumplast 33

### *3.3 Brandslukningsmiddel 34*

### *3.4 Drivmiddel i aerosolbeholdere og "tågehorn" 35*

### *3.5 Andre forbrugsområder 35*

## **4 Brug af PFC-stoffer 38**

### *4.1 PFC i kølemiddelblanding 38*

### *4.2 Andre anvendelser af PFC-stoffer 39*

## **5 Forbrug af SF<sub>6</sub> og erstatningsmuligheder herfor 40**

### *5.1 Støj-isolerende termoruder 40*

### *5.2 Beskyttelsesgas i letmetalstøberier 41*

### *5.3 Isolatorgas i elektriske kraftafbrydere 42*

### *5.4 Sporgas og andre laboratorieformål 44*

### *5.5 Bildæk 44*

### *5.6 Eventuelle andre anvendelser af SF<sub>6</sub> 45*

## **6 Vurderinger og anbefalinger 46**

## **7 Forslag til Renere Teknologi- projekter 49**

## **8 Litteraturliste 51**

## **Appendix A: Oversigt over kølemidler og kølemiddelblandinger 54**

**Appendix B: Kommercielle køleanlæg 56**

**Appendix C: Sabroe Chillers with NH<sub>3</sub> refrigerant, installed in Denmark 1990-1998 64**

**Appendix D: Gram Chillers (York International) with NH<sub>3</sub> refrigerant, installed in Denmark 1992-1998 67**

**Appendix E: Bonus Chillers with HC-refrigerant, installed in Sweden 1996-1998 69**

# Forord

Der er i de senere år sket en stigning i det danske forbrug af kraftige drivhusgasser i takt med at forbruget af CFC, HCFC og andre ozonlagnedbrydende stoffer nærmer sig nul.

## *Erstatning for CFC*

Det er især brug af HFC-stoffer, som er steget. Disse stoffer bruges som erstatning for CFC og HCFC til visse formål, især indenfor køling og opblæsning af polyurethanskum. Det skal straks nævnes, at der til mange formål er indført mere miljøvenlige alternativer, som f.eks. kulbrinter i spraydåser, cyclopentan i fjernvarmerør og kulbrinter, ammoniak og vand i forskellige typer af køleanlæg.

## *Kunstig fremstillede stoffer*

CFC'er (fuldt halogenerede chlorfluorcarboner), HCFC'er (hydrochlorfluorcarboner), HFC'er (hydrofluorcarboner), PFC'er (fuldt halogenerede fluorcarboner) og SF<sub>6</sub> (svovlhexafluorid) er alle kunstigt fremstillede stoffer. Stofferne er tillige ret stabile og har en lang levetid i atmosfæren, dette gælder i særdeleshed de fuldt halogenerede stoffer: CFC'er, PFC'er og SF<sub>6</sub>.

## *Ozonnedbrydende stoffer*

CFC'er og HCFC'er er ozonlagnedbrydende stoffer, og er omfattet af en international konvention (Montrealprotokollen), som sikrer en afvikling af disse stoffer. Forbruget af CFC er (med enkelte undtagelser) forbudt i Danmark. Det danske forbrug af HCFC er faldende og skal helt ophøre inden år 2002. Opstilling af nye anlæg med HCFC må ikke finde sted efter 31. december 1999.

HFC'er, PFC'er og SF<sub>6</sub> bidrager ikke til nedbrydning af ozonlaget, da stofferne ikke indeholder chlor eller brom. Til gengæld bidrager disse stoffer til drivhuseffekten. Drivhusgasser er reguleret af FN's Klimakonvention. Stofferne er kommet med på listen over drivhusgasser (i Kyoto-protokollen), som landene skal reducere emissionen af. Stofferne indgår på linie med kuldioxid (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>) og lattergas (N<sub>2</sub>O).

## *Dansk forbrug*

Der var i 1997 i Danmark et forbrug på ca. 890 tons HFC-stoffer. Det tilsvarende forbrug af SF<sub>6</sub> var ca. 13 tons. Hvis hele denne stofmængde udledes til atmosfæren, vil det medføre en forøget udslip af drivhusgasser, svarende til ca. 1,6 millioner tons CO<sub>2</sub> (bidraget hertil vil være 78% fra HFC-stofferne, 18% fra SF<sub>6</sub> og 3% fra PFC), hvilket svarer til ca. 3% af den danske emission af CO<sub>2</sub> (57,3 millioner tons i 1997). Hertil kommer for nogle af disse stoffers vedkommende en meget lang levetid i atmosfæren.

Dette er baggrunden for, at Rådet vedrørende genanvendelse og mindre forurenende teknologi har bevilget tilskud til nærværende projekt.

Erfaringer fra CFC-programmet viser, at det kan lade sig gøre at opsamle en del CFC og sende det til destruktionsanlæg. Dette er f.eks. gjort af kølebranchen, som igennem KMO (Kølebranchens Miljøordning) har returneret i alt 163 tons CFC-kølemiddel i perioden 1993 til 1996. Heraf er størstedelen sendt til destruktionsanlæg og en mindre del er rensset og genanvendt.

På tilsvarende måde må det forventes, at en del HFC-kølemiddel vil blive opsamlet og returneret igennem KMO.

For blandingskølemidler i R400- serien vil genanvendelse dog indebære visse vanskeligheder, idet koncentrationen i blandingen kan være ændret fra det oprindelige.

### *Afvikling af HFC*

Miljø- og Energiminister Svend Auken har på et internationalt møde i september 1996 om naturlige kølemidler proklameret en afvikling af HFC og andre kraftige drivhusgasser i løbet af 10 år i Danmark, og han bad samtidig Miljøstyrelsen om at undersøge, hvordan dette kan ske, samt at diskutere dette med industrien og de grønne organisationer. Nærværende rapport er en del af grundlaget for den videre diskussion.

HFC'er, PFC'er og SF<sub>6</sub> er endvidere med på Miljøstyrelsens liste over uønskede stoffer. Denne blev i 1998 udsendt som officiel liste (Orientering fra Miljøstyrelsen Nr. 1 1998).

### *Faglige diskussioner*

I de senere år har der været diskussioner på faglige konferencer, i fagpresse og i dagspressen om hvilke teknologier, som er mest miljøvenlige og i øvrigt mest fordelagtige at benytte. Som eksempel kan nævnes køleskabe, hvor der i dag benyttes to kølemidler: HFC-134a og kulbrinte (isobutan). Disse diskussioner vil formentlig fortsætte i mange år endnu. Der er ikke kun tale om diskussion mellem industrien på den ene side og de grønne organisationer på den anden side. Der er i høj grad diskussion imellem forskellige fagfolk, og argumenterne er ofte præget af kommercielle hensyn.

DTI Energi er bevidst om, at denne rapport kan benyttes (og vil blive benyttet) i disse diskussioner. Den af Miljøstyrelsen nedsatte styregruppe for nærværende projekt er sammensat af både repræsentanter fra industri og fra de grønne organisationer.

Miljøstyrelsen har vurderet, at projektet skal udføres i en åben proces, hvor der kan komme faglige bidrag fra styregruppens medlemmer og deres respektive baglande. DTI Energi tilstræber herefter at gengive alle relevante faktuelle informationer.

Der sker hele tiden en teknologisk udvikling indenfor de områder, som rapporten omtaler. Derfor vil noget af stoffet hurtigt blive forældet. Der kan ligeledes være informationer, som DTI Energi ikke er kommet i besiddelse af, og som derfor ikke er omtalt i rapporten.

# 1 Baggrund

## Forbrug

I Danmark forbrugte industrien i 1997 ca. 890 tons HFC-stoffer, ca. 13 tons SF<sub>6</sub> og ca. 8 tons PFC-stoffer. I nedenstående tabel er der givet en oversigt over forbruget og miljøeffekterne heraf:

	Forbrug i 1997 i tons	GWP (100 år)	CO <sub>2</sub> -ækvivalenter, tons	Atmosfærisk levetid, år
HFC-134a	700	1.300	910.000	14,6
HFC-152a	15	140	2100	1,5
R-404A	110	3.260	358.600	36,6, 48,3 og 14,6
Andre HFC'er	66	diverse	(60.000)	diverse
SF <sub>6</sub>	13	23.900	310.700	3.200
PFC (C <sub>3</sub> F <sub>8</sub> )	8	7.000	56.000	2.600
Sum	912		1.697.400	

*Noter: R404A er en blanding af HFC-125, HFC-143a og HFC-134a (44%, 52%, 4%)*

*GWP (Global Warming Potential) for HFC-143a er 3800 og GWP for HFC-125 er 2800.*

*Til sammenligning er GWP=1 for CO<sub>2</sub>, pr. definition.*

*Forbrugstallene er fra Miljøstyrelsens kortlægning af ozonlagsnedbrydende stoffer og kraftige drivhusgasser, 1997 (Miljøstyrelsen 1998). Denne rapport er udarbejdet af Jan Holmegaard Hansen og Tomas Sander Poulsen, COWI.*

## 3 % af CO<sub>2</sub> emission

Det ses, at hvis hele denne stofmængde undslipper til atmosfæren, vil det medføre en forøget udslip af drivhusgasser, svarende til ca. 1,69 millioner tons, hvilket svarer til ca. 3 % af den danske emission af CO<sub>2</sub> (57,3 millioner tons i 1997, korrigeret for eksport af el). Det skal pointeres, at tallet repræsenterer råvareforbruget og dermed det potentielle udslip af disse stoffer. Det reelle udslip vil afhænge af omfanget af opsamling og destruktion af disse stoffer.

Forbruget af HFC-stofferne har været i kraftig vækst, idet disse i nogle tilfælde benyttes til erstatning af CFC- og HCFC-stoffer. Forbruget i 1997 er dog på samme niveau som i 1996. Der benyttedes i 1997 1225 tons HCFC i dansk industri, og det kan forventes, at en del af dette forbrug vil blive konverteret til HFC-stoffer, når brug af HCFC bliver forbudt i 2000/2002.

Miljømæssigt er det bedre at benytte HFC-stoffer end CFC- og HCFC-stoffer, idet belastningen på ozonlaget herved elimineres. CFC og HCFC-stoffer er endvidere meget kraftige klimagasser, idet der dog er uenighed om stoffernes nøjagtige bidrag til drivhuseffekten. Stofferne bidrager med to modsatte effekter: De er meget kraftige drivhusgasser med GWP-værdier på f.eks. 4.000 (CFC-11), 8.500 (CFC-12) og 1.700 (HCFC-22). Til

gengæld bidrager stofferne til nedbrydning af stratosfærisk ozon, som også er en drivhusgas.

Det skal ligeledes nævnes, at bidraget til drivhuseffekten fra forskellige HFC-stoffer spænder bredt, idet der er GWP-værdier fra 140 (HFC-152a) til 11.700 (HFC-23).

Forbruget af PFC-stoffer forventes ligeledes at være steget kraftigt, idet der foregår en massiv salgskampagne af en drop-in substitut for CFC-12 i køleanlæg. Dette drop-in-kølemiddel indeholder et PFC-stof med en høj GWP-faktor og en meget lang atmosfærisk levetid (se kapitel 5).

### **Hidtidig indsats**

#### *Miljøstyrelsen*

Igennem Miljøstyrelsens CFC-program (som nu er afsluttet) og igennem Renere Teknologi-programmet er der støttet en del aktiviteter for at udvikle produkter og produktionsprocesser, som ikke gør brug af HFC eller andre kraftige drivhusgasser. Der er i samarbejde med industrien bl.a. udviklet køleskabe og præ-isolerede fjernvarmerør med kulbrinter som blæsemiddel i isoleringsskummet, apparat til påfyldning af kulbrinte-kølemiddel i køleskabe, brug af vand og inerte gasser i brandslukningsudstyr m.m.

#### *Naturlige kølemidler*

Ved naturlige kølemidler menes forbrug af stoffer, som i forvejen indgår i naturens kredsløb, d.v.s. ammoniak, kulbrinter, CO<sub>2</sub>, vand og luft. Nogle af disse kølemidler kan være kemisk fremstillede, f.eks. ammoniak.

I den igangværende Renere Teknologi-aktivitet: "Rammeprogram for Naturlige Kølemidler", som udføres af DTI Energi i samarbejde med en række industrivirksomheder er flere initiativer igangsat: Udvikling af metoder til fremstilling af små ammoniak-køleanlæg, en maskine til fremstilling af "sjap-is" (en blanding af vand, sprit og is som kan benyttes som sekundær kølemiddel) og et forprojekt vedrørende kølecontainere. Der er endvidere givet støtte til en stor international conference om naturlige kølemidler i Aarhus i september 1996.

#### *Energistyrelsen*

Energistyrelsen støtter ligeledes udvikling af nye energibesparende køleanlæg, som gør brug af naturlige kølemidler. Der kan nævnes udvikling af køleanlæg med vand som kølemiddel ("LEGO-anlægget"), udvikling af kommercielle køleskabe med kulbrinter som kølemiddel og brug af ammoniak som kølemiddel i forbindelse med supermarkeder, samt ammoniak-køleanlæg som demonstrationsprojekt på et stort cityhotel.

Det bør nævnes, at det samlede forbrug af CFC-stoffer var knap 6.000 tons i slutningen af 1980'erne. De fleste tidligere anvendelser af CFC er således erstattet af stoffer, som er naturligt forekommende, bl.a. kulbrinter i spraydåser, - kulbrinter i isoleringsskum og i visse køleanlæg, - vand til rensning af elektroniske komponenter, - ammoniak i visse køleanlæg m.v.

## 2 Projektets formål og organisering

### *Formål*

Formålet med projektet er for de kraftige drivhusgasser HFC'er, PFC'er og SF<sub>6</sub> indenfor hver anvendelsesområde at beskrive:

- Anvendelse og forbrugstal (fra Miljøstyrelsens kortlægning)
- Emission til omgivelser/akkumulering i produktet
- Alternativ teknologi, udviklingstrin af denne og eventuel implementering i Danmark eller i udlandet.
- Estimerede omkostninger ved indførelse af alternativ teknologi og andre barrierer for indførelse af alternativ teknologi (tilgængelighed af maskiner, energiforbrug, sikkerhedsregler, standarder m.v.)
- Behov for en eventuel Renere Teknologi-indsats og beskrivelse af denne.

Informationerne indhentes ved kontakt til relevante industrivirksomheder og brancheorganisationer i Danmark og i udlandet. Informationer søges ligeledes indhentet fra grønne organisationer. Endvidere indhentes informationer i forbindelse med faglige konferencer, blandt andet indenfor køleteknik og PU-skum.

### *Praktiske muligheder*

Hermed vil miljømyndighederne og dansk industri få et vidgrundlag til at vurdere de praktiske, tekniske, økonomiske og sikkerhedsmæssige muligheder for at afvikle kraftige drivhusgasser inden for forskellige anvendelsesområder.

Samtidig vil man få overblik over områder, hvor der kræves en Renere Teknologi-indsats for at udvikle ny, mere miljøvenlig produktion.

### *Energiforbruget*

Såfremt indførelse af alternativ teknologi vil få en markant ændring af energiforbruget er dette nævnt specifikt. Dette er selvsagt en meget vigtig faktor, idet et eventuelt øget energiforbrug hurtigt vil kunne reducere den miljøfordel, der fremkommer ved at undlade at benytte kraftige drivhusgasser. Modsat kan energibesparelser være en yderligere tilskyndelse til at indføre ny teknologi.

### *Styregruppe*

Projektet udføres af DTI Energi, med en af Miljøstyrelsen nedsat styregruppe med følgende medlemmer:

Lise Emmy Jensen, Miljøstyrelsen (formand i 1. del af projektet)  
Frank Jensen, Miljøstyrelsen (formand i 2. del af projektet)  
Per Henrik Pedersen, DTI Energi (projektansvarlig)  
Michael Wedel Sørensen, Dansk Industri  
Morten Arnvig, Autoriserede Kølefirmaers Brancheforening  
Tarjei Haaland, Greenpeace Danmark  
Dorte Maimann, Energistyrelsen  
Lars Frederiksen, Energistyrelsen

Som det er nævnt i formålsbeskrivelsen gennemføres projektet i tæt samarbejde med Miljøstyrelsen og dansk industri.

### *Statusrapport*

Der blev skrevet en statusrapport i efteråret 1997. Den blev udgivet af Miljøstyrelsen på dansk og engelsk (Arbejdsrapport nr. 101 og 102, 1997) og blev ligeledes lagt på Miljø- og Energiministeriets internet-server, Nærværende rapport er en revideret og udvidet udgave af statusrapporten fra 1997, idet der er foretaget ajourføring af data og viden om teknologiudvikling. Der er ligeledes indføjet konkrete forslag til Renere Teknologi-projekter.

### *State of the art i 1995*

#### **Arbejdets organisering**

Miljøstyrelsen udgav i 1995 tre engelsksprogede rapporter om alternative teknologier. Der foreligger således en omfattende beskrivelse af "state of the art", som den så ud i 1995 indenfor køleområdet, indenfor polyurethanskum og indenfor erstatning af halon til brandslukning.

### *Rapporten*

Rapporten er inddelt efter stoftyper. Kapitel 3 omhandler således forbruget af HFC-stoffer og erstatninger herfor. Kapitel 4 omhandler på samme måde forbruget af PFC-stoffer og kapitel 5 omhandler forbruget af SF<sub>6</sub> og mulige erstatninger herfor.

I projektet har DTI Energi været i kontakt med en lang række danske virksomheder og teknologiske institutter for at fremskaffe viden. Dette er reflekteret i beskrivelserne af de enkelte forbrugsområder og erstatningsmuligheder.

### *Dansk Industri's CFC gruppe*

Statusrapporten blev udarbejdet efter kommentarer, som fremkom af styregruppen og styregruppemedlemmernes baglande, herunder Dansk Industri's CFC-gruppe. Kommentarer er blevet tilsendt DTI Energi, som har indført relevante faktuelle kommentarer.

DTI Energi har herudover modtaget kommentarer fra Jan Holmegård Hansen, Cowi, Erik Lyck, DMU, Ole John Nielsen, Forskningscentret RISØ, Rolf Segerström, Electrolux, Stockholm og Alexander Pachai, AirCon A/S.

Der er ligeledes kommet referencelister for ammoniak-køleanlæg, som er opstillet af Sabroe og Gram i de senere år i Danmark.

DTI Energi vil gerne takke alle, som har bidraget med kommentarer og forslag.

### *1998*

I den endelige rapport er alle anvendelsesområder blevet revideret ud fra ny viden, som bl.a. er fremkommet fra fornyet kontakt med relevante virksomheder og ud fra indhentet viden om substitutionsmuligheder i udlandet.

### *Nordisk rapport*

DTI Energi har parallelt med denne rapport udarbejdet en tilsvarende rapport for Nordisk Ministerråd. Denne omhandler nogenlunde de samme emner som den danske rapport, idet der dog er gjort betydelig mere ud af visse emner som f.eks. forbrug af SF<sub>6</sub> i magnesium-produktion, forbrug af SF<sub>6</sub> i forbindelse med produktion af kraftafbrydere og emission af PFC-stoffer i forbindelse med aluminiumsproduktion. Det er industriområder, som er typiske for andre nordiske lande.

Den danske rapport gør til gengæld mere ud af emner, som er specifikt dansk som f.eks. produktion af køleskabe, kølecontainere, fjernvarmerør, fugeskum og støjisolerende vinduer.

Appendix B i nærværende rapport er udarbejdet i samarbejde med det nordiske projekt, og vil ligeledes indgå i den nordiske rapport.

Da statusrapporten har været tilgængelig på internettet, har der været en række henvendelser fra udenlandske forskere. Der kan især nævnes en kommunikation med Jochen Harnich fra Massachusetts Institute of Technology, som der er udvekslet informationer med. Det har især været om forbrug og emission af PFC-stoffer og SF<sub>6</sub>.



## 3 Anvendelse af HFC-stoffer og erstatningsmuligheder herfor

HFC (HydroFluorCarboner) er betegnelsen for en række stoffer, som er fremstillet ved at placere et antal fluoratomer på kulbrinter, dog således, at der stadig er brintatomer tilbage i molekylet. De mest almindelige HFC-stoffer er:

	Kemisk formel	Normalkogepunkt (C)	GWP (100 år)	Atmosfærisk levetid (år)
HFC-23	CHF <sub>3</sub>	- 82,1	11.700	264
HFC-32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	- 51,7	650	5,6
HFC-125	C <sub>2</sub> HF <sub>5</sub>	- 48,4	2800	32,6
HFC-134a	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	- 26,5	1300	14,6
HFC-143a	CF <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	- 47,5	3800	48,3
HFC-152a	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> F <sub>2</sub>	- 24,2	140	1,5
HFC-227ea	C <sub>3</sub> HF <sub>7</sub>	- 17,3	2900	36,5

### *Blandinger*

Ofte ser man betegnelsen R-134a, hvor "R" står for Refrigerant. Man ser også betegnelsen HFA-134a. Det er det samme som HFC-134a. I kølemidler indgår HFC-stoffer ofte i blandinger, og disse er ofte nummereret med R-400-serien eller R-500-serien. I appendix A er givet en oversigt over kølemidler og kølemiddelblandinger.

HFC-stofferne bruges i Danmark hovedsagelig som kølemidler i køleanlæg og til opblæsning af polyurethanskum. HFC-stoffer bruges dog også til en række mindre formål, herunder som drivmiddel i specielle aerosoller. I udlandet forbruges HFC til specielle brandslukningsformål.

Dette kapitel er opdelt i afsnit efter hovedforbrugsområder. I afsnit 3.1 behandles køleindustrien og dette afsnit er opdelt i underafsnit som f.eks. husholdningskøleskabe og fryser, kommercielle køleskabe og fryser etc.

### **3.1 Køleindustrien**

#### *15.000 ansatte*

Danmark har en stor køleindustri med internationalt kendte firmaer som Danfoss, Sabroe, Gram, Vestfrost, Caravell, Elcold og Gramkow. Det vurderes, at der er omkring 15.000 ansatte i køleindustrien, som omsætter for mere end 15 milliarder kroner om året. Det er således en industri med stor betydning for dansk økonomi og beskæftigelse.

Køleindustrien fremstiller en lang række produkter, som spænder over et bredt spektrum. Det kan være køleskabe og fryser, som der er en stor produktion af. Det kan ligeledes være industrielle køleanlæg, som Sabroe er verdens største producent af. Det kan være komponenter til køleanlæg, som Danfoss er en af verdens største producenter af, og det kan være et mindre kølefirma, som samler et kommercielt køleanlæg i et supermarked.

I dette afsnit er køleindustrien opdelt efter hovedprodukter. Afsnit 3.1.1 omhandler husholdningskøleskabe og frydere. I dette afsnit er der medtaget både forbrug af HFC som kølemiddel i køleanlæggene og forbrug af HFC til opblæsning af isoleringsskum i kabinetterne, idet disse forbrugsområder hænger tæt sammen.

### **3.1.1 Husholdningskøleskabe og frydere**

*1,5 enheder om året*

Der findes 6 danske producenter af køleskabe og frydere: Vestfrost, Gram, Caravell, Derby, Frigor og Elcold. Disse producerer tilsammen ca. 1,5 millioner enheder om året, og langt de fleste eksporteres. Ca. 1 million enheder er husholdningskølemøbler og knap en halv million enheder er kommercielle kølemøbler.

Salget i Danmark af husholdningskøleskabe og frydere har i årevis været fra ca. 250.000 - 300.000 stk/år, heriblandt er en stor del importerede køleskabe fra især Tyskland, Italien og Sverige.

*5.000 ansatte*

Det vurderes, at der er beskæftiget ca. 5.000 mennesker med at producere køleskabe, frydere og komponenter hertil. Der er altså tale om en branche med stor betydning for dansk økonomi og beskæftigelse.

Indtil omkring 1993 blev husholdningskøleskabe og frydere fremstillet med CFC-stoffer i kølekredsen og i isoleringsskummet. Der blev benyttet ca. 100 - 200 gram CFC-12 i kølekredsen og ca. 500 gram CFC-11 i isoleringsskummet.

Herefter gennemgik køleskabsbranchen en lidt turbulent periode, idet flere teknologier blev introduceret som erstatninger for CFC. I første omgang benyttede man HCFC-stoffer som erstatning for CFC-11 i isoleringsskummet.

*HFC-134a*

Danfoss udviklede nye kompressorer, som kunne benytte HFC-134a som kølemiddel. Disse teknologier blev indført på danske (og udenlandske) køleskabsfabrikker som erstatning for CFC-teknologien, og miljømæssigt var der tale om et stort fremskridt.

De danske køleskabsfabrikker var nogle af de første, som kunne levere CFC-frie køleskabe, og dette gjorde dem konkurrencedygtige på de markeder i Europa, hvor der var kommet restriktioner mod CFC-holdige køleskabe. Dette var bl.a. medvirkende til, at Vestfrost i 1994 var oppe på at producere mere end 700.000 enheder.

Siden begyndte der at komme krav om, at også HCFC-stofferne skulle udfases. Nogle virksomheder introducerede HFC-134a til opblæsning af isoleringsskummet. Det var yderligere et miljømæssigt fremskridt i forhold til tidligere, idet køleskabene nu var helt frie for ozonlagnedbrydende stoffer.

*Kraftige drivhusgasser*

Miljøorganisationer begyndte at stille spørgsmål til HFC-stoffernes miljøpåvirkning, idet HFC'er godtnok ikke er ozonlagnedbrydende, men de er kraftige drivhusgasser og vil hermed bidrage til øget drivhuseffekt, når de slipper ud i atmosfæren. Derfor ville det være formålstjenligt, om man kunne finde andre alternativer til HFC-stofferne.

Det skal lige nævnes, at CFC- og HCFC-stoffer også er kraftige drivhus-gasser.

#### *FORON*

Greenpeace i Tyskland fik i 1992 i samarbejde med den tidligere østtyske køleskabsfabrik FORON fremstillet et køleskab, kaldet "Greenfreeze" med en propan/butan-blanding som kølemiddel.

Blandingen havde et tryk/temperatur-forhold som svarer til CFC-12, og man benyttede en CFC-12 kompressor. Det fungerede udmærket. Herved bidrog Greenpeace kraftigt til at bryde med en psykologisk barriere mod at benytte et brændbart kølemiddel.

#### *Isobutan*

Danfoss udviklede kompressorer til kulbrinten isobutan, og tyske køleskabsproducenter bl.a. Bosch/Siemens begyndte at benytte disse. Electrolux lancerede kort tid herefter 35 modeller med isobutan som kølemiddel, således at der på et tidligt tidspunkt fandtes et stort udvalg af køleskabe med isobutan-kølemiddel.

#### *Cyclopentan*

Samtidig opdagede man, at kulbrinten cyclopentan med fordel kunne benyttes til at opskumme polyurethanskum til køleskabe, og dette blev ligeledes benyttet i nogle tyske køleskabe samt af mange af Electrolux's fabrikker. Isobutan og cyclopentan har en meget lille direkte indflydelse på drivhuseffekten sammenlignet med HFC-kølemidlerne. GWP-værdien for de to kulbrinter er omkring 3, sammenlignet med ca. 1300 for HFC-134a (med tids-horisont på 100 år og med GWP for CO<sub>2</sub>=1).

#### *Tyskland*

Hermed begyndte der at rulle en lavine, som på få måneder tvang den tyske køleskabsindustri over til kulbrinter. Også udenlandske producenter, som ville sælge køleskabe i Tyskland, blev tvunget til at levere køleskabe med kulbrinteteknologi, hvis de ville være med i kataloger og de store varehuses udbud. Mere end 95 % af de nye køleskabe på det tyske marked er i dag med kulbrinter i kølesystem og i isoleringsskummet.

#### *Frygt for eksplosioner*

Mange havde en frygt for, at der ville ske eksplosioner i nogle af køleskabene, idet der ville være fare for, at der ville komme en sprængfarlig blanding af kulbrinte og luft i køleskabskabinettet, og denne blanding ville kunne blive antændt af en gnist fra termostat, dørkontakt eller lampe.

Det problem blev løst ved at placere potentielle gnistdannere uden for kabinettet og ved at forhindre, at der vil komme kølemiddellækager i kabinettet.

Der er efterhånden mere end 20 millioner driftsårs erfaringer i Tyskland, og der er såvidt vides ikke sket nogle uheld med skabene.

Nogle mener endog, at skabene er blevet mere sikre, idet der til stadighed findes folk, som opbevarer lightergas (til påfyldning af lightere) i køleskabe. Dette har desværre forårsaget eksplosionsulykker i ældre køleskabe, hvor gas er lækkeret fra gasdåsen og termostaten eller dørkontakten har forårsaget gnist.

#### *Energiforbrug*

Der var også frygt for, at de nye køleskabe skulle forbruge mere elektricitet, og derved ville man bidrage mere til drivhuseffekten på grund af øget CO<sub>2</sub>-

emission fra brug af fossile brændsler på kraftværkerne. Også denne frygt var ubegrundet. De nye kulbrintebaserede køleskabe er mindst lige så effektive som de gamle, som er baseret på HFC-stoffer.

#### *Støjsvage køleskabe*

Køleskabe med isobutan som kølemiddel er mere støjsvage end køleskabe med HFC-134a, det er blandt andet pga. mindre trykforhold i kompressoren.

Et andet problem med HFC-134a er, at det kræver syntetisk esterolie. Denne er kraftig vandsugende, og det kan være et problem, at olien suger vand fra luften.

I Danmark var Vestfrost hurtig til at indføre kulbrinteteknologi i isoleringsskummet, og dette skete bl.a. med støtte fra Miljøstyrelsen.

Firmaet A'Gramkow i Sønderborg udviklede i 1993-94 (med støtte fra Miljøstyrelsen) en fyldestation til kulbrinter. Firmaet er nu blandt verdens største producenter af udstyr til at fylde kulbrintekølemiddel på køleskabe.

Danfoss er verdens største producent af kulbrinte-kompressorer til køleskabe og fryserne, og ca. halvdelen af produktionen (som foregår i Flensborg) er beregnet til anvendelse af isobutan.

#### *EU's miljømærke*

Kulbrinteteknologien vinder frem i Europa og i visse ulande, herunder Argentina og Kina. Det blev i december 1996 et krav for at opnå EU's miljømærke, at køleskabene ikke indeholder kraftige drivhusgasser i kølemidlet eller i isoleringsskummet, og det vil i praksis sige, at der skal benyttes kulbrinter.

Vestfrost har i 1998 fået EU's miljømærke for et køle-fryseskab, og det er så vidt vides det første og hidtil eneste skab, der har fået EU's miljømærke.

#### *Vestfrost*

I Danmark er Vestfrost så vidt vides den eneste producent, som er gået over til cyclopentan i isoleringsskummet. Flere af de andre producenter har dog investeret i udstyr, som medfører, at de kan benytte cyclopentan. For nogle af de resterende virksomheder vil det medføre investeringer i ombygninger i fabrikken p.g.a. krav fra brandmyndigheder.

DTI Energi er informeret om, at en anden dansk producent delvis er gået over til cyclopentan.

De mindre danske producenter bruger HFC til opblæsning af isoleringsskummet. HFC bliver brugt, fordi det stadig er lidt billigere end cyclopentan, da der kræves lidt mere plastmasse i skummet, når der benyttes cyclopentan. Dette aspekt er dog ved at blive udlignet med nye plastformuleringer.

Tons	HCFC-22	HCFC-141b	HCFC-142b	HFC-134a	HFC-152a	R-404A
Isolerings-skum	0	0	7	264	0	
Køle-middel				298		8

*Forbrug af HCFC og HFC-stoffer (i tons) til produktion af køleskabe og fry-sere i Danmark 1997. Der er tale om både husholdningskølemøbler og kommercielle "plug-in" køleskabe og fryserne. Tallene er fra Ozonlagsnedbrydende stoffer og visse drivhusgasser, Miljøstyrelsen 1998.*

Vestfrost er den eneste danske producent, som har mulighed for at påfylde isobutan på alle produktionslinier.

#### *271 modeller*

Greenpeace Danmark foretog i september 1996 en kortlægning af kulbrintekøleskabe, og kom frem til, at der var mere end 108 modeller på det danske marked. Mange af disse importeres fra Tyskland, Sverige, Slovenien og Italien. Greenpeace er i gang med en ny kortlægning, og de foreløbige resultater viser at antallet af kulbrintekøleskabe er steget yderligere til ca. 271 modeller. Dette svarer til ca. 41 % af alle modeller på markedet.

Det er DTI Energi's vurdering, at alle danske producenter er klar over, at der med Kyoto-protokollens optagelse af HFC-stoffer på listen over drivhusgasser som skal reduceres, vil komme visse restriktioner m.h.t. brug af HFC-stoffer i fremtiden, og "at det nok bliver nødvendigt at gå over til kulbrinterne". De danske producenter ønsker dog stadig at kunne fremstille enheder med HFC-kølemiddel til lande, der måtte ønske det. Det gælder især USA, hvor det p.t. ikke kan lade sig gøre at sælge køleskabe med et brændbart kølemiddel.

#### *Økonomiske barrierer*

Den HFC-frie teknologi er tilstede, og det er i Danmark udelukkende økonomiske barrierer, som kan være til hinder for at benytte den. De økonomiske barrierer består hovedsagelig i investeringer i fabriksanlæg, idet det oftest er nødvendigt at ombygge fabrikken, for at skabe specielle brandsikre områder i forbindelse med opskunningsproces og i forbindelse med påfyldning af kølemiddel.

Der skal desuden investeres i et fyldeudstyr til kulbrinter. Endvidere skal personalet oplæres. Endelig skal de nye produkter godkendes, og der skal gennemføres laboratorietest for at måle energiforbrug m.v.

#### *Ny teknologi*

Det kan nævnes, at der er ved at blive introduceret en helt ny teknologi i kompressorer. Danfoss har således introduceret en serie kompressorer til husholdningsfryserne. Disse er til isobutan og kan køre med variabel hastighed. Herved kan opnås store energibesparelser, op til 30 - 40 %.

Energibesparelsen fremkommer ikke på grund af kølemidlet, men snarere på grund af mulighed for at forbedre styringen af apparatet. De nye kompressorer er medtaget i Danfoss' produktprogram og forventes at have et stigende salg i de kommende år. Prisen er foreløbig noget højere end konventionelle kompressorer.

På DTU og AUC har man sammen med Danfoss og Gram forsket i en tilsvarende kompressor til køleskabe. I forbindelse hermed benyttede man isobutan som kølemiddel, og der blev ligeledes målt energibesparelser på 30 - 40 %. I dette tilfælde var det afgørende at benytte isobutan som kølemiddel, idet brug af HFC-134a ville gøre kompressoren for stor. Denne kompressor er endnu ikke sat i produktion.

Det skal lige nævnes, at der p.t. ikke findes kulbrinte-kompressorere til jævnstrøm (12 V eller 24V), og at der benyttes HFC-134a som kølemiddel i små køleskabe og fryserer til lastbiler, lystbåde og andre anvendelser til områder uden netspænding. Jævnstrømskompressorere til isobutan bør kunne udvikles, men det vil kræve en investering af kompressorproducenten, og dette vil forudsætte, at der er et marked for disse kompressorere.

#### *Vaccine-kølere*

Der bliver i Danmark fremstillet et antal vaccine-kølere til brug i bl.a. Indien, og det er WHO og UNICEF, som koordinerer køb af disse. Der kræves fra disse institutioner, at der benyttes HFC-134a som kølemiddel. En stor del af jævnstrømskompressorerne bliver brugt til disse apparater, der ofte er drevet af solceller.

#### *Iscremfrysere og flaskekølere*

### **3.1.2 Kommercielle køleskabe og fryserer**

De samme virksomheder, som producerer husholdningskøleskabe og fryserer (Vestfrost, Gram, Caravell, Derby, Frigor og Elcold), har en stor produktion af kommercielle køleskabe og fryserer. Der er især tale om iscremfrysere og flaskekølere til butikker, men også i mindre grad tale om køleskabe til hoteller, restauranter, bagerier o.l.

Når det drejer sig om flaskekølere og iscremfrysere, foregår produktionen på næsten samme måde, som var der tale om husholdningskølemøbler. Produktionen er på knap en halv million enheder om året, og de fleste eksporteres.

Isoleringsskummet fremstilles på samme måde som nævnt ovenfor, idet Vestfrost benytter cyclopentan og de andre benytter HFC.

#### *Ny kompressor*

Der har hidtil ikke været kompressorere til isobutan i den rigtige størrelse for de kommercielle apparater. Danfoss er dog i et samarbejde med Vestfrost, Caravell og DTI Energi ved at udvikle en ny kompressor til isobutan.

Kompressorerne kan endvidere køre med variabelt omdrejningstal. De vil passe til de fleste kommercielle kølemøbler.

De første erfaringer viser, at kompressorerne fungerer tilfredsstillende. Dette projekt modtager støtte fra Energistyrelsens CO<sub>2</sub>-midler, og der er fremstillet 40 stk flaskekølere og 50 stk. iscremfrysere, som skal testes i butikker, samtidig med at et antal standardapparater afprøves.

#### *Storbritannien*

Det bør nævnes, at der i Storbritannien er fremstillet enheder med kulbrinter som kølemiddel. Der er benyttet kompressorere til CFC-12 eller HFC-134a og en kulbrinteblanding (propan/butan), som har samme tryk/temperatur-forhold. Elstar har bl.a. fremstillet vinkølere og ølkølere med kulbrinter som kølemiddel. Dette firma har opstillet tusinder af disse kølere og benytter udelukkende kulbrinter som kølemiddel.

#### *150 gram*

Den nugældende standard specificerer, at kølemiddelfyldningen for brændbare kølemidler er begrænset til 150 gram. Det vurderes, at de fleste kommercielle køleskabe og fryserer vil have en kølemiddelfyldning, som er mindre end denne mængde.

### 3.1.3 Kommercielle køleanlæg

Kommercielle køleanlæg er anlæg, som f.eks. anvendes til køling i supermarkeder, specialbutikker, hotel- og restauranter og i EDB-rum. Det kan også være mindre køleanlæg i industrien.

#### Supermarkeder

Typiske kommercielle køleanlæg haves f.eks. i supermarkeder, hvor der hidtil er benyttet direkte køling. Kølekompressorerne står i et maskinrum separat fra kølestedet. Kølemiddelvæske sendes via lange rør ind i butikken, hvor den fordampes i kølefladerne i frysegondoler, kølegondoler eller andre kølemøbler i butikken.

Kølemiddelgassen suges retur til kompressorerne. Dette princip eksisterer i utallige forskellige varianter og størrelser, lige fra små bagere eller slagtere til EDB-centraler, over hoteller og restauranter til meget store varehuse med måske mere end 50 kølesteder.

I afsnit 3.1.7 beskrives luftkonditioneringsanlæg, men det bør nævnes, at der ikke er en skarp overgang mellem kommercielle køleanlæg og luftkonditioneringsanlæg. Man vil ofte se anlæg som har flere kølesteder, heriblandt luftkonditionering.

Tidligere blev benyttet CFC eller HCFC-baserede kølemidler som R-502, HCFC-22 og CFC-12. I de senere år er mange anlæg blevet konverteret til HFC-baserede kølemidler som HFC-134a eller R-404A. De nye anlæg, som er bygget i de senere år, er ligeledes med HFC-kølemidler.

Fornyelig er der (i Danmark og i udlandet) bygget nogle anlæg med indirekte køling, se senere.

HCFC-22	R-404a	Andre HFC'er
600	102	66

*Forbrug af HCFC- og HFC-kølemiddel i kommercielle køleanlæg i 1997 i tons. (Ozonlagsnedbrydende stoffer og visse drivhusgasser, Miljøstyrelsen 1998). Det skal præciseres, at forbruget er rubriceret til "Kølemiddel (andre områder)", hvilket vurderes til hovedsagelig at være kommerciel køling og luftkonditionering.*

*Herudover benyttedes 54 tons HFC-134a til "kølemiddel (andre områder)".*

*De 66 tons "Andre HFC'er" er 26 tons R-401A, 14 tons R-407C, 10 tons R-402A og 16 tons andre HFC'er.*

#### Lækage

Det kommercielle køleområde er det mest "brogede" område inden for køleindustrien. Der er et stort antal virksomheder, som sælger og installerer køleanlæg. Køleanlæggene sammensættes af standardkomponenter, som indkøbes. Der er ofte meget lange rørstrækninger involveret, og lækage-raten har tidligere været meget stor, dvs. af størrelsesordenen 20 - 25 % af kølemiddelfyldningen om året.

AKB (Autoriserede Kølefirmaers Brancheforening) har ydet en stor indsats for at fremme kvaliteten, således at anlæggene bliver mere tætte.

Det har resulteret i mere tætte anlæg, men det er ikke muligt at undgå en vis lækage igennem pakninger, samlinger eller direkte utætheder. Der er ingen, som kender det nøjagtige tal for lækageraten, men branchen har en formuleret politik om at reducere den. Der er imidlertid grænser for, hvor tæt anlæggene kan blive, dette gælder især for direkte køling i bl.a. supermarkeder.

Hvis der derimod benyttes indirekte køling kan både kølemiddelfyldning og lækagerate reduceres drastisk.

#### *Stor økonomisk værdi*

De kommercielle køleanlæg udgør en meget stor økonomisk værdi, idet der er mange af dem. Der er stadig mange anlæg, som kører med CFC-kølemidler, fordi det ikke kan betale sig at konvertere dem til HFC-baserede kølemidler, da de snart skal skrottes. Det har som hovedregel været de nyere køleanlæg, som er blevet konverteret til HFC-kølemidler.

Det har været forsøgt at konvertere et anlæg til propan, men konklusionen blev, at det er urealistisk at konvertere et CFC/HCFC eller HFC-anlæg til propan, da der oftest ikke kan fremskaffes den fornødne dokumentation til godkendelse hos Arbejdstilsynet.

#### *KMO*

Derfor vil det være fornuftigt at lade de eksisterende anlæg køre videre, men gøre dem så tætte som muligt. Når de skal skrottes, skal man selvsagt sørge for at opsamle kølemidlet og lade det indgå i KMO (Kølebranchens KølemiddelOrdnning). Her vil det enten blive rensset og genanvendt, eller det vil blive sendt til destruktionsanlæg.

KMO er en frivillig ordning i kølebranchen og har fået økonomisk støtte fra Miljøstyrelsen.

#### *Naturlige kølemidler*

Ved naturlige kølemidler forstås stoffer, som i forvejen indgår i naturens kredsløb, f.eks. ammoniak, kulbrinter, CO<sub>2</sub>, vand og luft.

Der er bygget anlæg i Danmark og i udlandet, hvor der benyttes naturlige kølemidler til supermarkedsanlæg. Der er tale om enten ammoniak eller kulbrinter som kølemiddel. Da disse ikke må sendes ind i selve butikken, skal der benyttes indirekte køling, d.v.s. der må indføres et sekundært kølemiddel (brine).

#### *Sekundære kølemidler*

Man har i mange år benyttet sekundære kølemidler i visse industrielle køleanlæg, og der kan være tale om vand/glykol-blandinger eller vand/salt-blandinger. På det seneste er det kommet på tale at benytte sjapis eller CO<sub>2</sub> under højere tryk. Anlæg med indirekte køling er dyrere end anlæg med direkte køling, idet der bl.a. skal investeres i en ekstra pumpe og en varmeveksler. Til gengæld vil der være meget mindre lækage af kølemiddel, ned til ca. 5 % om året. Kølemiddelfyldningen er ligeledes meget mindre end for tilsvarende direkte systemer.

#### *Svensk Kynorm*

I Sverige er der krav om, at der skal benyttes indirekte køling. Ifølge Svensk Kynorm skal der være indirekte køling, hvis kølemiddelfyldningen i det primære kølesystem er større end 30 kg. Hvis fyldningsmængden er mellem 10 og 30 kg skal systemet være delvis indirekte, det vil i praksis sige at køling af kølesteder vil være indirekte, mens køling af froststeder kan være direkte køling.

## *Ammoniak-køleanlæg*

Energistyrelsen og Miljøstyrelsen har ydet økonomisk støtte til at bygge et nyt køleanlæg hos Schou-Epa (nu Kvickly), der er det største supermarked i Roskilde. Der benyttes et ammoniak-køleanlæg, som er placeret i en container på taget af bygningen. Ammoniak-køleanlægget køler en vand/saltblanding, som herefter pumpes ind i butikken i to temperaturniveauer til hhv. køling og frost.

Projektet er udført af Sabroe+Søby i samarbejde med DTI Energi. Anlægget erstatter ca. 30 gamle CFC- eller HCFC-baserede køleanlæg, og energibesparelsen er ca. 35 %.

Energibesparelsen i forhold til et nyt parallelkoblet HFC-køleanlæg vil dog være minimalt, og muligvis vil det have lidt større energiforbrug.

## *Sjapis*

Der er i udlandet opstillet anlæg, som benytter sjapis, som er en pumpbar blanding af vand, sprit og is, som kan minde om tynd sorbet is. Sjapis er et sekundært kølemiddel, som med fordel kan benyttes til køleformål op til 0 C. Der findes bl.a. anlæg i Tyskland, Norge og England. Teknologien synes dog ikke helt udviklet endnu, idet der har været nogle "børnesygdomme" med anlæggene.

Der findes kommercielt tilgængelige tyske og canadiske sjapis-generatorer. Disse fungerer ved, at isen genereres indvendigt i en lodret eller vandret tromle, hvorefter isen skræbes af med en mekanisk skraber. Anlæggene er ret dyre.

DTI Energi har udviklet et nyt princip for at udvikle en sjapisgenerator uden mekaniske skrabere, idet sjapis genereres ved at pumpe det igennem en almindelig varmeveksler med en speciel overfladebelægning. Generatoren er udviklet med støtte fra Miljøstyrelsen, og der gennemføres p.t. test hos DTI Energi i samarbejde med Sabroe.

Der er oprettet et nyt "Center for Sjapis", hvor forskellige virksomheder er involveret, herunder Sabroe, Grundfos, tt-coil, Swep, Texaco, Georg Fischer, Hans Buch, Sunwell samt Institut for Anvendt Kemi, DTU. DTI Energi er involveret i alle udviklingsaktiviteter og varetager sekretariatsfunktioner samt administrerer centret.

Hovedformålet med centret er at udvikle og producere komponenter til sjapis. Viden og kompetence overføres gennem centret til produkter og sikrer dermed funktionalitet og optimalt samspil mellem produkterne. Følgende produkter skal udvikles: Sjapisgenerator, udstyr til måling af iskoncentration, pumper, rørsystemer og ventiler, varmevekslere, akkumuleringsudstyr m.v. Centret er støttet af Erhvervsfremmestyrelsen og der er endvidere tilknyttet en brugergruppe, som omfatter FDB, Slagteriernes Forskningsinstitut og Danmarks Fiskeriforening.

Sjapis forventes at få stor betydning for fremtidige køleanlæg med indirekte køling i kommercielle køleanlæg. Sjapis vil formentlig også blive benyttet til nye køleformål, så som direkte kontakt-frysning.

CO<sub>2</sub> under højere tryk kan med fordel benyttes som kølemiddel i frostområdet. Der er gennemført laboratorietest hermed i Danmark, og der findes anlæg i udlandet, som benytter princippet.

### *Små ammoniak-køleanlæg*

I Rammeprogrammet for Naturlige Kølemidler (under Renere Teknologi-programmet) gennemfører DTI Energi to delprojekter med overskrifterne "Indførelse af ammoniak i mindre køleanlæg" og "Information til den danske kølebranche om anvendelse af ammoniak i mindre køleanlæg".

Formålet med delprojekterne er at undersøge og afklare problemstillinger i forbindelse med anvendelse af ammoniak til små og mindre splitanlæg, at rådgive og anviser metoder til anlægsdimensionering, samt sikre at opbygget viden formidles til kølebranchen og omsættes til praksis.

Projekterne omfatter markedsundersøgelser, beskrivelse af anvendelsesområder og -typer, udarbejdelse af sikkerhedsmæssige krav, dimensioneringsregler, service og vedligeholdelsesprocedurer, analyser af problemstillinger mht. anlægskomponenter, rør og samlingsmetoder, opbygning af og test med laboratorieanlæg, opbygning og måling på demonstrationsanlæg, samt rapportering og deltagelse i temadage og konferencer. Projekterne omfatter også etablering af kursusprogram, samt udarbejdelse af informations- og instruktionsmateriale.

Forsøgsarbejdet med laboratorie anlægget har fået et større omfang end planlagt og har foreløbig afsløret, at problemerne mod forventning ikke alene ligger i rørsystemets materialer og samlingsmetoder, men også i at få komponenterne til at fungere tilfredsstillende køleteknisk og energimæssigt acceptabelt.

### *Mælkekøleanlæg*

DTI Energi har med støtte fra Energistyrelsen gennemført et demonstrationsprojekt, hvis formål var at udvikle og demonstrere et ammoniakbaseret gårdkøletanksystem med reduceret energiforbrug og miljøbelastning.

I februar 1998 blev køleinstallationen sat i drift ved et økologisk landbrug og har i skrivende stund fungeret upåklageligt i 7 måneder. Den samlede installation omfatter ikke alene et anlæg til nedkøling og opbevaring af mælk, men indeholder også faciliteter til mælke-for-køling, drikkevandsopvarmning, kuldeakkumulering, samt udnyttelse af kondensatorvarmen til forvarmning af brugsvand. Målinger har vist at effektforbruget pga en lav kompressor-virkningsgrad var højere end forventet, men mindre end for tidligere anlæg. Anvendelsen af ammoniak og isvand som kuldebærere indebærer, at der ikke sker udslip af halogenholdigt kølemiddel til skade for miljøet. Det er planen at skifte til en bedre kompressor. Dette vil reducere energiforbruget yderligere.

Der er gennem projektet høstet erfaringer, som giver anledning til at tro, at konceptet kan videreudvikles til et konkurrencedygtigt produktprogram. Projektet bør efterfølges af nye aktiviteter, der sikrer, at opnåede erfaringer kombineret med nytænkning og nye erfaringer fra udlandet udnyttes til produktudvikling af fremtidens mælkekølesystemer i landbruget - med miljørigtige kølemidler og lavt energiforbrug.

Der er en række andre projekter på bedding, herunder et projekt om udelukkende at benytte naturlige kølemidler på et stort city hotel.

### *Sverige, kulbrinter*

I Sverige er der i de sidste par år bygget ca 75 nye køleanlæg med kulbrinter som kølemiddel. Disse bygger på et koncept, som Bonus Energi AB har

udviklet. Som et eksempel kan nævnes, at der er bygget et nyt supermarked med køleanlæg med kulbrinter. Kølekapaciteten er 240 kW (køl) og 140 kW (frost). Der benyttes 7 halv-hermetiske kompressorer. Kølemidler er en blanding af propan og etan ("Care 50"), og fyldningen er 35 kg. Som sekundært kølemidler benyttes propylen-glykol (køl) og CO<sub>2</sub> (frost). Bonus Energi AB er overtaget af Sabroe A/S og konceptet markedsføres nu i hele Skandinavien, Tyskland og UK. I Appendix E er gengivet en referenceliste over kulbrintekøleanlæg opstillet af Bonus Energi AB. Linde AG i Tyskland har et tilsvarende koncept.

Det er nu muligt at købe kompressorer til propan eller propen. I Bonus-anlæggene benyttes Bitzer kompressorer. Herudover markedsfører AirCon A/S tilsvarende kompressorer fra Dorin.

### *Danmark, kulbrinter*

I Danmark er der hidtil ikke installeret større kommercielle kølesystemer med kulbrinter som kølemidler på trods af, at flere projektrapporter har konkluderet, at der ikke skulle være forhindringer for brug af kulbrinter som kølemiddel i gældende dansk lovgivning.

En af grundene hertil kan være, at Flemming Jørgensen fra Danfoss A/S i et debatoplæg "Uden køling bliver det meste for varmt", udgivet af AKB i 1998 advarer mod at benytte kulbrinter. FJ skriver bl.a.: "I branchen som helhed mangler vi viden og erfaring ligesom vore uddannelser og ikke mindst efteruddannelse bl.a. af serviceledet skal suppleres med viden, regler, lovgivning og almindelig sund fornuft i anvendelse af og omgang med kulbrinte-baserede køleanlæg."

Der er derfor behov for at klarlægge, om der reelt er problemer, - og i givet fald hvilke - ved projektering og installation af et mellemstort kommercielt kølesystem med propan.

Et demonstrationsprojekt bør indeholde projektering, installation og idriftsætning af et anlæg på 100-150 kW køleydelse med over 7 kg propanfyldning med involvering af alle relevante myndigheder. Der bør gennemføres et måleprogram til kortlægning af ydelse, driftsforhold og energiforbrug og efterfølgende udarbejdes vejledning i, hvordan man gør, og hvem der skal spørges og ansøges osv. Et projekt bør også omfatte udvikling af grundlag for kompetancegivende (efter)uddannelse af kølemontører og servicepersonale.

Der er udarbejdet et projektforslag herom.

Det kan konkluderes, at der er behov for at få mere erfaringer igennem forsøg med kommercielle køleanlæg med indirekte køling. Der er især behov for forsøg med sjapis og CO<sub>2</sub> som sekundære kølemidler.

Det er vigtigt, at der tages hensyn til sikkerhedsaspekter og at Arbejdstilsynets regler overholdes. I den forbindelse er det vigtigt, at der skabes klarhed om regelsættet. Det er meget vigtigt, at de nye køleanlæg er energieffektive og ikke forbruger mere energi end tilsvarende nye HFC-køleanlæg.

Det er vigtigt, at der sker en billiggørelse af køleanlæg med brinesystemer (sekundære kølesystemer). Herved vil disse kunne få større udbredelse i fremtiden.

Det bør nævnes, at der også kan benyttes frikøling med udeluft eller havnevand. Dette kan i nogle tilfælde spare energi til køleanlæg i en del af året, idet udeluft f.eks. direkte kan køle et lokale, eller havnevand kan direkte nedkøle procesvand.

## *Fremtiden*

### Vurdering af muligheder for at benytte naturlige kølemidler indenfor kommerciel køling:

For fremtidige køleanlæg vurderes følgende:

Anlæggene kan designes til både ammoniak eller kulbrinter alt efter de sikkerhedsmæssige omstændigheder. I offentligt tilgængelige lokaler vil man normalt kun kunne anvende indirekte køling, mens man i mange andre tilfælde vil kunne anvende direkte køling.

- De store kommercielle køleanlæg kan i fremtiden designes som ammoniak- eller propankøleanlæg med indirekte køling. Som anvendelsesområde kan nævnes store supermarkeder.
- De helt små kommercielle køleanlæg kan i et vist omfang i fremtiden fremstilles som anlæg med kulbrinter eller ammoniak med direkte ekspansion. Dette kræver dog, at der opstilles/udvikles sikkerhedskrav og faste procedurer. Sikkerhedskravene omfatter bl.a. en maksimal fyldningsmængde, f.eks. 1,5 kg (for direkte ekspansion). Som anvendelsesområde kan nævnes små kølerum, køle diske i specialbutikker m.v. Til kølerum uden offentligt adgang kan benyttes direkte køling.
- Det mest problematiske er mellemområdet, hvor det af økonomiske og sikkerhedsmæssige grunde (med nuværende kommercielt tilgængelig teknologi kan være problematisk at bygge anlæg med indirekte køling). Som anvendelsesområde kan nævnes mindre dagligvareforretninger. Som beskrevet tidligere er der en række udviklingsprojekter i gang med sigte på at udvikle ny teknologi, som indsnævrer dette gråzoneområde. Ligeledes her kan til kølerum uden offentlig adgang benyttes direkte køling.

### **3.1.4 Industrielle køleanlæg**

## *Proceskøling*

Industrielle køleanlæg er normalt meget store køleanlæg, som benyttes til proceskøling inden for f.eks. fødevarerindustrien eller i den kemiske/biokemiske industri. Der benyttes i Danmark traditionelt ammoniak-køleanlæg til disse anvendelser.

## *Ammoniak-køleanlæg*

Stort set alle mejerier, slagterier og bryggerier har store ammoniak-køleanlæg. Sabroe Refrigeration er verdens største producent af industrielle køleanlæg, og det er hovedsagelig ammoniak, som benyttes som kølemiddel. Også Gram Refrigeration (York International) er kendt for at levere industrielle køleanlæg med ammoniak.

Der findes dog mange industrielle køleanlæg, som benytter CFC, HCFC eller HFC-kølemidler, og det kunne i de fleste tilfælde ligeså godt have været ammoniak-køleanlæg.

Man ser en stigende tendens til (f.eks. i fødevarerindustrien), at man går over til at anvende indirekte systemløsninger for at reducere kølemiddelfyldningen og undgå ammoniak i arbejdslokaler m.m. Derfor vil der i fremtiden være behov for at udvikle anlæg, der anvender CO<sub>2</sub> som kølemiddel.

Sabroe og DTI Energi har med støtte fra Energistyrelsen udviklet et køleanlæg, som benytter vand som kølemiddel i en kompressionsproces. Der er fremstillet et forsøgsanlæg på 2 MW kuldeydelse, og det er opstillet hos Lego til køling af plaststøbemaskiner. Anlægget har en meget høj virkningsgrad, og energiforbruget er ca. 30 % lavere end for et nyt optimeret ammoniak-køleanlæg.

Anlægget har været dyrt at fremstille, og der vil nok gå nogle år, før denne teknologi er helt færdigudviklet. Det formodes, at Lego-projektet vil blive fulgt op med andre projekter, hvor Energistyrelsen er involveret.

### **3.1.5 Mobile køleanlæg**

Ved mobile køleanlæg forstås køleanlæg installeret i biler, tog, fly, skibe eller containere.

#### **Kølecontainere**

Den vigtigste anvendelse i Danmark er kølecontainere. Mærsk Line er verdens største fragter af kølegods, og har ca. 40.000 kølecontainere i trafik på globalt plan.

Tidligere var kølecontainere udstyret med et CFC-12-køleanlæg, og der findes stadig mange gamle containere med disse køleanlæg. Mange nyere containere er konverteret til HFC-134a.

Siden omkring 1993 blev alle nye køleanlæg installeret med HFC-134a-køleanlæg. I Japan bruges HCFC-22 til dette formål og i USA benyttes R-404A og HFC-134a. Lækageraten for denne type køleanlæg er ret høj på grund af det hårde miljø til søs.

Tidligere benyttedes CFC-11 i isoleringsskummet. Det er nu erstattet med HCFC-141b.

Mærsk Container Industri A/S producerer nu kølecontainere i Tinglev, og der er en forholdsvis stor produktion af disse.

Thermo King Container Denmark A/S i Langeskov fremstiller køleanlæg til installation i containere.

DTI Energi har med støtte fra Miljøstyrelsen og i samarbejde med industrien gennemført et studie, for at undersøge, hvordan fremtidens kølecontainere kan se ud.

*Mærsk Line*

Det er problematisk at benytte brandbare kølemidler eller ammoniak til dette formål. Derfor er "feltet" af naturlige kølemidler på nuværende tidspunkt indskrænket til brug af CO<sub>2</sub> (og eventuelt luft) som kølemiddel.

Igennem studiet er man fremkommet med et forslag til at udvikle en prototype, hvor der afprøves et køleanlæg med CO<sub>2</sub> som kølemiddel. Derudover kan man forsøge at benytte vakuumisolering.

Det vil være relevant med et RT-projekt på dette område, og DTI Energi har i samarbejde med industrien formuleret et projektoplæg herom.

### **Air condition-anlæg i biler**

Tidligere benyttedes CFC-12 til dette formål, og i de senere år er benyttet HFC-134a.

Da Danmark hverken har nogen bilindustri eller et varmt klima, har der hidtil ikke været så store industrielle aktiviteter i forbindelse med A/C-anlæg til biler. Dog har A'Gramkow produceret fyldeudstyr til bilindustrien.

Man ser dog en stadig større udbredelse af A/C-anlæg i biler, og det vil måske blive standardudstyr i fremtiden.

CO<sub>2</sub>

Danfoss har sammen med bl.a. store bilproducenter været deltager i et EU-projekt, hvor der skal udvikles en ny type anlæg med CO<sub>2</sub> som kølemiddel. Danfoss har udviklet en ny kompressor hertil.

*Kulbrinter*

Det bør nævnes, at der i nogle lande benyttes kulbrinter i bilers A/C-anlæg. Dette er således være tilfældet i Australien, hvor mange tusinde biler skulle benytte disse kølemidler. Der er formentlig tale om en kulbrinte-blanding, som benyttes sammen med konventionelt udstyr, som oprindeligt er beregnet til CFC-12 eller HFC-134a.

Der har været diskussioner om brand- og eksplosionsfare i forbindelse med brug af kulbrinter i bilers A/C-anlæg. Kulbrinter kunne være et naturligt valg, idet man i forvejen har adskillige kg kulbrinter i form af benzin, dieselolie eller propangas i bilen.

*Koldluft*

### **A/C-anlæg i fly**

I mange år er der benyttet koldluft-køleanlæg til køling af passagerkabiner i rute-fly. Der benyttes en simpel joule-proces, hvor luften komprimeres og afkøles ved varmeveksling med omgivelserne. Herefter ekspanderes luften i en turbine, hvorved den bliver kold. Processen er ikke speciel energieffektiv, men benyttes i fly blandt andet på grund af den lette vægt af komponenter.

*Koldluft*

### **A/C-anlæg i tog**

Der er i Tyskland gennemført et projekt med at udvikle og afprøve et koldluft-køleanlæg til tog. Projektet er blevet vellykket, og der er fremstillet ca. 60 enheder til ICE-tog.

### 3.1.6 Varmepumper

Varmepumper fungerer som køleanlæg, idet der tappes varme fra en kilde (f.eks. udeluften, jord, staldluft, procesvand m.v.), og denne afsættes ved højere temperaturer til en varmebærer, som f.eks. centralvarmevand.

Der opstilles tre hovedtyper af varmpumper i Danmark: Husstandsvarmpumper, staldvarmpumper og industrielle varmpumper.

Husstandsvarmpumper benyttes til rumopvarmning og til opvarmning af varmt brugsvand. Det danske salg af varmpumper er næsten udelukkende til enkeltboliger, mens man i Sverige og Norge har et antal meget store varmpumper tilknyttet store kollektive varmeforsyninger.

Der er ca. 12 producenter af den slags varmpumper i Danmark, og der importeres en del japanske enheder.

*Propan*

Hidtil har man benyttet kunstige kølemidler, men den største danske producent (Lodam) har udviklet varmpumper med propan som kølemiddel. Lodam har i 1997 vundet en konkurrence i Holland, og skal derfor levere 400 stk. varmpumper med propan til hollandske kunder. Der er tale om et gennembrud for miljøvenlig varmpumpeteknologi. Lodam's varmpumpeteknologi er overtaget af firmaet Nibe i Sverige. Her vil man fortsætte fremstillingen af varmpumper med propan.

Der er blevet vedtaget kriterier for Nordisk Miljømærke for husstandsvarmpumper. Ifølge disse kriterier må der ikke være kraftige drivhusgasser i kølemidlet i varmpumperne, hvis de skal kunne tildeles miljømærket.

Staldvarmpumper er ligesom husstandsvarmpumper kompakte enheder, som udnytter den varme afkastluft fra husdyr. Dette udnyttes til at opvarme bolig og/eller forvarmning af vand til rengøring og lignende i stalden. Det er stort set de samme firmaer, som opsætter husstandsvarmpumper og staldvarmpumper.

Energistyrelsen har ydet støtte til et demonstrationsprojekt om staldvarmpumper.

Industrielle varmpumper fremstilles bl.a. af Sabroe og Gram, og der benyttes bl.a. ammoniak som kølemiddel.

### 3.1.7 Luftkonditioneringsanlæg

Der har hidtil ikke været produktion af små A/C-anlæg til boliger i Danmark. Det er sandsynligvis, fordi vores klima ikke nødvendiggør luftkonditionering i beboelser. Man ser dog en stigende markedsføring af A/C-anlæg (ofte japanske) i Danmark.

*Propan*

Man har hidtil (hos producenter i udlandet) benyttet R-502 og CFC-12 og senere HCFC-22 til dette formål, og mange udenlandske producenter er ved at overgå til HFC-baserede kølemidler, herunder HFC-134a og R-507C. En udenlandsk producent (DeLonghi) har produceret ca. 60.000 stk. A/C-anlæg med propan som kølemiddel.

IMI i UK har markedsført anlæg med Care 50 (blanding af propan og butan). Der er tale om modeller med montage på vægge og under lofter. Køleydelsen er mellem 2 og 10 kW.

Det bør nævnes, at der er en dansk producent af affugtningsanlæg, nemlig Dantherm, hvor der benyttes HFC-kølemiddel.

#### *Ammoniak*

Situationen er anderledes for store A/C-anlæg i kontorbygninger, hospitaler m.v. Her opstilles køleanlæg (chillers), som køler vand til distribution i bygningen. Luften afkøles i varmevekslere v.h.a. det kolde vand.

Der findes en række forskellige køleanlæg til dette formål, og der er tidligere benyttet CFC-11 og andre kunstige kølemidler. Man kan udmærket benytte ammoniak til dette formål, og der er bl.a. opstillet et sådant anlæg i Postterminalen i København. Dette anlæg er for øvrigt udstyret med en havvandsvarmeveksler, således at der kan benyttes frikøling v.h.a. koldt havvand i en stor del af året. Herved spares energi.

#### *Sabroe*

I appendix B er givet en referenceliste fra Sabroe for ammoniak-køleanlæg til væskekøling opsat i Danmark i de senere år. Der er tale om 114 anlæg opført siden 1990, og de er især opstillet på hospitaler, store kontorbygninger, industrivirksomheder med proceskøling, Københavns Lufthavn, fødevareindustrien og indkøbscentre.

#### *Gram Refrigeration*

I appendix C er givet en tilsvarende referenceliste fra Gram Refrigeration (York International) for ammoniak-køleanlæg til væskekøling. Her er listet 35 anlæg opført siden 1993, og disse er ligeledes opstillet på hospitaler, i store kontorbygninger, industrivirksomheder m.v.

#### *Kulbrinter*

Man kan på tilsvarende måde benytte propan i væskekølere til luftkonditionering. Bonus Energi AB har opstillet ca. 75 anlæg i Sverige. I appendix E er givet en referenceliste over disse anlæg.

Vanddamp-kompressionsteknologi kan ligeledes udnyttes i forbindelse med A/C. DTI Energi arbejder dels med mekanisk vanddampkompression, der er drevet af el-energi, dels af termisk vanddampkompression, hvor man udnytter spildvarme til at lave koldt vand til A/C. Dette sker vha. ejektor-teknologi, hvor vand er arbejdsmedie og kølemiddel. Spildvarmen kan komme fra decentrale kraftvarmeværker eller fra industriprocesser.

### **3.1.8 Lavtemperaturanlæg**

Lavtemperaturkøleanlæg har en forholdsvis lille anvendelse. Der produceres køleudstyr, som kan nedkøle laboratorieprøver og andre ting til meget lave temperaturer.

#### *Heto-Holten*

Heto-Holten producerer laboratorieudstyr, herunder udstyr til frysetørring og lavtemperatur (cryo)-frysere til hospitaler o.l.

Udstyret består normalt af et to-trins kaskade køleanlæg, hvor første trin er et R-404A eller et R-403B-anlæg. Første trin køler til ca. -50 C. Andet trin benytter kulbrinter som kølemiddel, enten etan (R-170) til ca. -80 til -90 C eller eten (R-1150) til ca. -100 til -120 C.

Nogle udenlandske konkurrenter benytter HFC-23 til det lave trin.

Det skulle være muligt at benytte propan i det første trin, og det vil næppe ændre på sikkerhedsaspekterne, idet der i forvejen benyttes brandfarlige kølemidler. Det kræver dog, at der kan skaffes kompressorer, som er godkendt til propan, og at der gennemføres test hermed. Noget tyder da også på, at det er tilfældet. Ifølge den danske agent for Dorin kompressorer kan disse benyttes til propan.

Der er muligvis også andre danske virksomheder, som producerer lavtemperatur-kølesystemer.

## 3.2 Polyurethanskum

Herunder vises forbruget af HCFC- og HFC-stoffer til fremstilling af polyurethanskum i Danmark i 1997:

	HCFC-22	HCFC-141b	HCFC-142b	HFC-134a	HFC-152a
Isolering i kølemøbler	0	0	7	264	0
Fjernvarmerør	0	0	0	0	0
Andet isolering	0	440	4	0	0
Andet hårdt skum	0	145	6	0	0
Fugeskum	0	0	0	44	5
Blødt skumplast	0	0	0	40	10

*Forbrug af HCFC og HFC til fremstilling af polyurethanskum til forskellige anvendelser. Forbrugsmængderne er i tons, og tallene er fra Cowi's kortlægning: Ozonlagsnedbrydende stoffer og visse drivhusgasser - 1997, Miljøstyrelsen 1998.*

### *Mangel på HCFC-141b*

Som det fremgår benyttes der stadig en hel del HCFC til opskumning af polyurethanskum. Der er især tale om HCFC-141b. Dette har (ifølge kilder i branchen) i efteråret 1998 medført en mangelsituation på dette stof, idet flere lande (herunder Danmark) er stødt på HCFC-loft (HCFC-cap), som er besluttet i EU. Derfor er der en meget begrænset kvote til brug i sidste halvdel af 1998, og prisen er steget voldsomt.

### 3.2.1 Isoleringsskum

Det er allerede i afsnit 3.1.1 nævnt, at der benyttes en del HCFC og HFC til fremstilling af isoleringen i køleskabe og frydere, og der er beskrevet, hvilke alternativer som findes. Derfor vil denne anvendelse ikke blive behandlet i dette afsnit.

### Fjernvarmerør

Mere end halvdelen af den globale produktion af fjernvarmerør finder sted i Danmark hos ABB I. C. Møller, Løgstør Rør, Tarco Energi og Dansk Rørfabrik (Star Pipes).

### *Cyclopentan*

Tidligere var denne produktion storforbruger af CFC og HCFC, således forbruges i 1986 ca. 820 tons CFC-11. Nu opskummes isoleringsskummet med kulbrinter, især cyclopentan. En del fjernvarmerør produceres ligeledes med CO<sub>2</sub>.

### *Verdensbanken*

Det er lykkedes for Miljø- og Energiministeriet i Danmark i samarbejde med branchen at få Verdensbanken til at godkende den slags fjernvarmerør til

fremtidige projekter med Verdensbank-finansering. Dette har medvirket til at gøre pentan-opskummede fjernvarmerør til en slags standard. Mads Madsen fra European District Heating Pipe Manufacturers Association oplyser, at de danske virksomheder leverer ca. 65 % af verdensproduktionen af fjernvarmerør. En mindre del af denne produktion finder sted hos datterselskaber i bl.a. Polen.

Der er omkring 1500 ansatte på fjernvarmerørsfabrikker i Danmark. Herudover er der virksomheder, som er beskæftiget med nedlæggelse af rør og bygning af hele energisystemer m.v. Der er også virksomheder, som er underleverandører til fjernvarmerørsfabrikkerne. Det er således en branche med stor betydning for økonomi og beskæftigelse i Danmark.

### **Isoleringspaneler**

Mindst to virksomheder (D.C. System Insulation og Prepan/tidligere Dan-system) fremstiller sandwich-isoleringspaneler til kølehuse m.v.

#### *HCFC*

Der benyttes hovedsagelig HCFC til denne produktion, idet der også fremstilles nogle paneler med CO<sub>2</sub> tilsat lidt HFC til eksport til Sverige, som har forbudt HCFC-paneler. De nøjagtige mængder HCFC kendes ikke p.t., men det formodes, at en stor del af HCFC-mængden i rubrikken "andet isoleringsskum" benyttes til dette formål.

I 1986 forbruges ca. 140 tons CFC-11 til dette formål.

Som alternativ kan benyttes kulbrinter, herunder cyclopentan. Det vil dog kræve en stor investering i produktionsudstyret. Visse steder i udlandet fremstilles paneler med kulbrinter. I Finland producerer f.eks. Hurre group Oy og Makroflex Oy sandwich-isoleringspaneler ved hjælp af kulbrinter.

Et andet alternativ er at benytte CO<sub>2</sub> (vandblæst) skum. Dette har dog en lidt dårligere isoleringsevne sammenlignet med andre løsninger.

Man kunne tænke sig, at der kan benyttes vakuumisolering til dette formål i fremtiden. En mulighed kunne være fremstilling af sandwich-paneler med stift polyurethanskum med åbne celler. En vakuumpumpe skal herefter sørge for at holde trykket nede i isoleringsmaterialet. Selve skummet er fremstillet med CO<sub>2</sub>-opblæsning. Det vil kræve et stort arbejde at udvikle denne teknologi.

Den største barriere mod indførelse af kulbrinter er en stor investering i ombygning af produktionsudstyr. Der er tale om mindre producenter, for hvilke der vil være tale om en forholdsvis stor investering.

### **Kølecontainere**

#### *HCFC-stoffer*

Der benyttes HCFC-stoffer til fremstilling af kølecontainere. Forbruget af HCFC til dette formål kendes ikke, idet det indgår under kategorien "andet isoleringsskum" i Miljøprojekt nr. 342. Der er tale om en relativ ny produktion i Danmark.

Produktionen kunne ændres til kulbrinter (cyclopentan). Det vil dog kræve en del ændringer, herunder skal der tages hensyn til sikkerhed ved op-

skumning med cyclopentan. Der skal endvidere tages hensyn til, at en eventuel forringelse af isoleringsevnen vil medføre ændringer i konstruktionen af containerne. Mærsk Container Industri A/S oplyser, at overgang til cyclopentan kan medføre en forringet isoleringsværdi på op til 10 %.

Den største barriere mod indførelse af kulbrinter antages at være de ulemper, som dette måtte medføre af produktionsstop, usikkerheder om kvalitet, sikring af arbejdsmiljøet samt de økonomiske konsekvenser heraf.

#### *Vakuumisolering*

En anden mulighed er at benytte vakuumisolering, hvor der haves stift polyurethanskum med åbne celler. Der er i samarbejde mellem industrien og DTI Energi udarbejdet et oplæg herom. Det vil kræve omfattende ændringer i konstruktion og produktion, hvis man skal overgå til denne teknologi, og det vil i givet fald kræve omfattende undersøgelser og tests.

#### **Andre former for isoleringsskum**

Der er en del mindre producenter af polyurethanskum til isolering, som benytter enten HCFC eller HFC til en række forskellige formål. Det vil måske være for dyrt for de allermindste for disse at investere i kulbrinteteknologi, idet der kræves store investeringer i brandbeskyttelse.

#### *CO<sub>2</sub>*

Som alternativ kan eventuelt benyttes CO<sub>2</sub>-opblæst skum, men det vil have en dårligere isolering sammenlignet med skum, som er opblæst med HCFC eller HFC. Ved visse anvendelser er isoleringsevnen ikke så afgørende. Det kan være steder, hvor konstruktionen indebærer, at der i forvejen er store kuldebroer eller det kan være steder, hvor der ikke er så store temperaturforskelle.

Som eksempel på det første kan nævnes, at der fremstilles industriporte med CO<sub>2</sub>-opblæst polyurethanskum hos Nassau Doors.

Et andet eksempel er opskumning af isoleringsmateriale hos Norfrig A/S, som fremstiller kølekasser til lastbiler og sættevogne. Her benyttes nu ifølge Chris Ungermand, Shell Kemi A/S vandblæst skum. Det er lykkedes at udvikle et materiale, som har samme isolerende egenskaber, som da man tidligere benyttede HCFC-141b. Det er sket ved at benytte glasfiberforstærkede barrierer i siderne. Dette forhindrer diffusion af CO<sub>2</sub> ud, - og luft ind i skummet.

Firmaet Tectrade A/S har udviklet en ny type af CO<sub>2</sub>-opblæst skum (ofte kaldet vandblæst skum), hvor en finere cellestruktur medfører en forbedring af isoleringsevnen.

#### *Blokskum*

Mange af de allermindste producenter af isoleringsskum er holdt op med selv at fremstille skummet. Man køber i stedet "blokskum", som derefter skæres op til at passe til et bestemt formål. Ofte er skummet kun en mindre del af en større kompleks maskine.

#### *Isopentan*

Der er en producent af blokskum i Danmark, LM Skumplast. Her har man substitueret HCFC-141b med kulbrinter (isopentan) til opskumning. Anlægget er designet af Tectrade A/S.

### 3.2.2 Fugeskum

*Baxenden Scandinavia A/S*

Baxenden Scandinavia A/S fremstiller dåser med fugeskum og producerer mange forskellige slags. Tidligere benyttedes CFC eller HCFC-stoffer som drivmiddel i disse dåser, men det er nu forbudt. I 1986 blev der benyttet mellem 575 og 800 tons CFC og HCFC til dette formål.

Baxenden var meget tidlig fremme med et alternativ, som benytter propan og butan som drivmiddel. Dette system blev introduceret på det skandinaviske marked, og siden 1987 har der udelukkende været solgt kulbrinte-drevne systemer til dette marked.

*Tyskland*

Situationen er en anden til andre markeder, herunder Tyskland. Der må maksimalt benyttes 50 gram kulbrinter i dåserne, d.v.s. max. 50 gram propan + butan. Det er derfor nødvendigt at supplere med en mængde HFC-134a (i en 700 ml dåse er der typisk 100 til 175 gram drivmiddel).

Dette skyldes en aftale, som de europæiske producenter har indgået, men man har undtaget Skandinavien fra denne regel. I andre verdensdele benyttes hovedsagelig kulbrinter som drivgas.

Man leverer kun dåser med rene kulbrinte-drivmidler til lande, hvor man er vant til at arbejde med dette drivmiddel, og hvor man overholder sikkerhedsforskrifter, om at sikre ventilation m.v.

Der er sket uheld med kulbrintebaserede dåser. Dette er sket i tilfælde, hvor sikkerhedsregler ikke har været overholdt, og når det er benyttet i små rum, hvorefter der er tændt ild med en tændstik eller lighter. Men denne fare består også for dåser med HFC-drivmiddel, idet dette drivmiddel også er brandfarlig p.g.a. indhold af kulbrinter og HFC-152a (som også er brandbart).

Der er ca. 35 producenter i verden, og der er hård konkurrence. Derfor kan Baxenden ikke selvstændig bestemme den teknologiske trend, men må producere dåser med HFC-stoffer til andre lande end de skandinaviske.

*Kulbrinter billigere*

Dåser med ren kulbrinte-drivmiddel er væsentlig billigere end dåser med HFC-stoffer. Drivmidlerne har dog forskellige egenskaber, så man kan ikke helt sammenligne dåserne på prisen alene. Fugemassen får forskellige egenskaber afhængigt af drivmidlet.

### 3.2.3 Fleksibelt skumplast

Der er i Danmark to store producenter af fleksibelt skumplast (skumgummi), nemlig Brdr. Foltmar og K. Balling Engelsen.

Størstedelen af produktionen er "vandblæst", d.v.s. der tilsættes en lille smule vand til produktionen og vand reagerer med isocyanat og danner CO<sub>2</sub>, som er det egentlige opskumningsmiddel.

En del af produktionen har traditionelt været fremstillet med CFC-11 og senere med HCFC-stoffer som drivmiddel. Det er især specielle bløde og lette kvaliteter til møbelindustrien.

*HFC-134a og HFC-152a*

I de sidste par år er der benyttet en blanding af HFC-134a og HFC-152a som drivmiddel til denne produktion.

I de andre nordiske lande benyttes udelukkende skum, som er blæst op med CO<sub>2</sub>. Der findes en aftale om ikke at fremstille skum med densitet mindre end 23 kg/m<sup>3</sup>, hvorved der ikke behøves fysiske blæsemidler.

Der er i udlandet udviklet en ny teknologi, hvor der benyttes flydende CO<sub>2</sub> til fremstilling af fleksibelt skumplast i disse kvaliteter, og der er opstillet et antal anlæg, bl.a. i USA, Italien og Belgien. Den væsentlige barriere mod at overgå til denne teknologi er investering i nyt maskineri.

Der er mindst to leverandører af den nye teknologi, det er Canon (Italien) og Bayer (Tyskland).

Danske producenter af fleksibelt skumplast oplyser, at der ligeledes er en barriere i forhold til kvaliteten, idet der skulle være problemer med kvaliteten ved den nye CO<sub>2</sub>-teknologi.

Leverandører af ovennævnte udstyr til den nye blæseteknologi oplyser dog, at kvaliteten for det nye skum er OK.

*Metylechlorid*

I visse lande (også i EU) benyttes metylechlorid til produktion af fleksibelt skumplast. Dette vil være utænkeligt i Danmark af arbejdsmiljømæssige grunde.

### **3.3 Brandslukningsmiddel**

I forbindelse med den globale afvikling af Halon er der fremkommet nogle kemiske substitutter, herunder et der er baseret på HFC-227 (f.eks. Great Lakes FM-200). Disse markedsføres ret intensivt over store dele af verden, og det har også været forsøgt i Danmark.

*Forbud mod HFC'er*

Det er imidlertid i Danmark forbudt at benytte halogenerede kulbrinter til brandslukning. Der var en undtagelse for Halon-1301 og Halon-1211, men de er nu under afvikling parallelt med CFC m.v.

Danske virksomheder indenfor brandslukningsmateriel har udviklet fremragende alternative teknologier. Der kan bl.a. nævnes Inergen, som er udviklet af Dansk FireEater. Det består af inerte gasser; argon, kvælstof og lidt CO<sub>2</sub>. Inergen kan benyttes til rumslukning i EDB-centraler, kontrolrum, kraftværker, motorrum m.v.

Ginge-Kerr Danmark A/S har en tilsvarende teknologi, som kaldes Argonite. Det består af argon og nitrogen, og dette firma har end videre udviklet en teknologi med vandtåge.

Teknologien med at benytte inerte gasser til brandslukning er blevet en stor succes - også på internationalt plan. Udenlandske multinationale firmaer som eksempel Wormald markedsfører således Inergen.

Der findes også andre alternativer til kemiske brandslukningsmidler. Der kan nævnes CO<sub>2</sub>- eller skumslukning i maskinrum på skibe, bedre dektektorer

kombineret med manuel brandslukning m.m. Det vil føre for vidt at komme ind på alle detaljer omkring brandslukning i denne rapport.

Hele dette område er beskrevet meget nøje i en rapport udgivet af Miljøstyrelsen i 1995: "Environmental Report No. 312: Going towards Natural Fire Extinguishants, Experience from Danish Industry".

### 3.4 Drivmiddel i aerosolbeholdere og "tågehorn"

#### *Aerosolbekendtgørelse*

Miljøstyrelsens "Aerosolbekendtgørelse" forbyder anvendelse af HFC-stoffer til brug i Aerosolbeholdere.

Forbuddet gælder dog ikke for medicinske aerosolbeholdere eller "tågehorn", da medicinske produkter er undtaget, og bekendtgørelsen ikke regulerer indholdet i aerosolbeholdere, hvor det udelukkende er en gas, som strømmer ud af dåsen. Men Miljø- og Energiministeren har bebudet en revision af bekendtgørelsen, således at også tågehorn vil blive omfattet af bekendtgørelsen.

#### **Medicinske sprays**

CFC-11 og CFC12 benyttes stadig som drivmiddel i medicinske sprays, og det er især i astmasprays. Forbruget af disse produkter udgjorde i slutningen af 1980'erne ca. 29 tons CFC-stoffer. Produkterne fremstilles ikke i Danmark.

Der har i mange år været alternative præparater, bl.a. pulver som patienterne selv inhalerer i lungerne. Det er dog ikke alle astmapatienter, som kan gøre dette.

Der er udviklet astmasprays med HFC-stoffer som drivmiddel.

#### **Tågehorn**

Der kan købes tågehorn med HFC-134a som drivmiddel. Der er tale om en aerosoldåse med et plastichorn, og apparatet er beregnet til at give en meget kraftig lyd fra sig.

Det vurderes, at de fleste tågehorn benyttes af tilskuere til fodboldkampe o.l., men de benyttes også på fritidsbåde som tågehorn for at advare andre både.

#### *HFC-frie alternativer*

Greenpeace Danmark har fundet HFC-frie alternativer i handelen i Danmark. Der er tale om flere forskellige typer, hvor den ene benytter isobutan som drivmiddel. Den anden type benytter trykluft, og den kan genoplades på en tankstation eller med en håndpumpe. Der findes også tågehorn med elektrisk dreven kompressor. Endelig findes der manuelt betjente båthorn, som man kan puste i eller som kan aktiveres ved hjælp af en gummibold.

### 3.5 Andre forbrugsområder

Der er et lille forbrug af HFC i specielle dåser til nedkøling af elektroniske komponenter ved reparation af elektronisk udstyr. Ved udstrømning af flydende HFC sker der en nedkøling af det emne, som væskedråberne rammer.

Det er muligt ved denne metode at konstatere, hvorvidt komponenten er defekt. Forbruget vurderes til at være beskedent, ca. 0,5 tons om året. Naturvårdsverket i Sverige oplyser, at man i Sverige benytter flydende CO<sub>2</sub> til dette formål, og at AGA leverer udstyr hertil.

DTI Energi har ikke p.t. kendskab til andre anvendelsesområder for HFC-stoffer i Danmark.

Det bør dog nævnes, at det i udlandet bl.a. i Sydøstasien har været forsøgt at sælge "Push'n chill" øldåser, som køles ved direkte fordampning af HFC-134a i dåsen, og hvorved øllet køles. Dette emne har været behandlet i pressen i sommeren 1997, og de europæiske miljøministre har taget afstand fra denne anvendelse af HFC-stoffer.

Firmaet bag de selvkølede dåser har bebudet, at man vil nu vil bruge CO<sub>2</sub> som kølemiddel i stedet for HFC-134a.



## 4 Brug af PFC-stoffer

PFC er perfluorede kulbrinter. Det vil sige stoffer, som er dannet med basis i simple kulbrinter, hvor alle brintatomer er udskiftet med fluor-atomer. Det er stoffer som  $\text{CF}_4$ ,  $\text{C}_2\text{F}_6$ ,  $\text{C}_3\text{F}_8$  etc.

### *Stabile stoffer*

Disse stoffer er meget stabile og har derfor en meget lang atmosfærisk levetid. De er samtidig meget kraftige drivhusgasser. Der bruges dog kun mindre mængder af disse stoffer i dansk industri, og det altovervejende forbrugsområde er køleanlæg.

I udlandet er der en vis emission af PFC i forbindelse med produktion af aluminium, som fremstilles ud fra aluminiumsoxid (alumina) ved en elektrolytisk proces. PFC-stofferne dannes kun, når der optræder en speciel effekt (anode-effekt), hvor den elektriske spænding vokser hurtigt, hvorved der lokalt dannes PFC-stoffer ( $\text{CF}_4$  og  $\text{C}_2\text{F}_6$ ). I Norge og Island har man i de senere år gjort meget for at reducere dannelse og emission af PFC-stoffer.

I udlandet bliver også benyttet en hel del af stoffet  $\text{C}_6\text{F}_{14}$  i den elektroniske industri.

Kemisk formel	R-nummer	Normalkogepunkt (C)	GWP (100 år)	Atmosfærisk levetid (år)
$\text{CF}_4$	R-14	- 127,9	6500	50.000
$\text{C}_2\text{F}_6$	R-116	- 78,2	9200	10.000
$\text{C}_3\text{F}_8$	R-218	- 36,8	7000	2.600
$\text{C}_6\text{F}_{14}$		+58	7400	3.200

Den globale emission af  $\text{CF}_4$  var i 1990 ca. 15.000 tons og var i 1995 faldet til ca. 10.500 tons. Den globale emission af  $\text{C}_2\text{F}_6$  var i 1990 og i 1995 ca. 2.000 tons (personlig oplysninger fra Jochen Harnish, MIT).

### 4.1 PFC i kølemiddelblanding

#### *Drop-in*

Ifølge Miljøstyrelsens kortlægning blev der i 1997 forbrugt ca. 8 tons  $\text{C}_3\text{F}_8$  (R-218) som kølemiddel i en speciel blanding. Kølemidlet benyttes som "drop-in" substitut til CFC-12 i køleanlæg. Dette forbrug er i en kraftig vækst. Forbruget i 1995 og 1996 var hhv. 1,5 og 3 tons.

Kølemiddelblandingen kendes under flere betegnelser, herunder Isceon 49 (R-413A), som består af ca. 88 % HFC-134a, 9 %  $\text{C}_3\text{F}_8$  og 3 % isobutan.

Der dukker hele tiden nye blandinger op, men branchen er meget forsigtig med at benytte kølemiddelblandinger, da man er usikker på koncentrationen af den tilbageblevne blanding efter lækage og da man generelt ikke ønsker at transportere flere typer af kølemidler end højst nødvendigt i servicebilerne.

Handelsnavn	R-nummer	Drop-in substitut for	Sammensætning
Isceon 49	R-413A	CFC-12	9% C <sub>3</sub> F <sub>8</sub> , 88% HFC-134a, 3% isobutan
Isceon 69L (Isceon 69S)	R-403B (R-403A)	R-502	39% C <sub>3</sub> F <sub>8</sub> , 56 % HCFC-22, 5% propan
Suva 95 Forane 508A (Arcton TP5R3)	R-508B (R-508A)	R-13, R-503 (lave temperaturer)	54 % C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> og 46 % HFC-23
Arcton TP5R2	R-509A		56 % C <sub>3</sub> F <sub>8</sub> og 44 % HCFC-22
	R-412A		5 % C <sub>3</sub> F <sub>8</sub> , 70% HCFC-22, 25 % HCFC-142b

*Tabel med kølemiddelblandinger, som indeholder perfluorerede kulbrinter.*

#### *Forlænget levetid*

Blandingerne kan være bekvemme at benytte, hvis man ønsker at forlænge levetid for et CFC-baseret anlæg og af en eller anden grund ikke kan skaffe genbrugt CFC-kølemiddel. Det eneste grundlag for at benytte disse blandinger er at det kan forlænge levetiden for gamle CFC-baserede køleanlæg. Man kan undgå denne anvendelse ved enten at konvertere sine CFC-køleanlæg til HFC-kølemiddel eller holde anlæggene tætte indtil de skal skrottes. Man kan eventuelt påfylde brugt CFC fra KMO-ordningen.

## **4.2 Andre anvendelser af PFC-stoffer**

DTI Energi er ikke stødt på andre anvendelser, men der bruges formodentlig små mængder til laboratoriebrug.

I Arbejdsrapport nr. 20, Miljøstyrelsen 1996: "Forbrug og emissioner af 8 fluorerede og klorerede kulbrinter" (Jan Holmegaard Hansen, Cowi), nævnes:

*Den ene af importørerne oplyser, at firmaet har 2 produkter indeholdende perfluorforbindelser på importlisten. De indeholder begge perfluorhexan, C<sub>6</sub>F<sub>14</sub>, som hovedkomponent, men ingen af disse produkter er solgt inden for det sidste år. Det ene produkt er en inaktiv væske til brug i elektronik-industrien, mens det andet produkt (overaktivt produkt) er nyudviklet og derfor aldrig solgt.*

Det kan også nævnes, at det i udlandet har været forsøgt at sælge et PFC-stof som brandslukningsmiddel som erstatning for halon. Denne anvendelse af PFC er forbudt i Danmark, jvf. afsnit 3.3.

## 5 Forbrug af SF<sub>6</sub> og erstatningsmuligheder herfor

### Dansk forbrug

SF<sub>6</sub> (svovlhexafluorid) er en tung gas. Ifølge Miljøstyrelsens kortlægning (Miljøstyrelsen 1998) blev der i 1997 forbrugt 13 tons SF<sub>6</sub> i dansk industri. De tilsvarende tal for 1992, 1993, 1994, 1995 og 1996 er hhv. 15 tons, 17 tons, 21 tons, 17 tons og 11 tons. Glasindustrien (støjisolerende vinduer) er langt det største forbrugsområde, og herefter kommer kraftværker og metalværker.

Der findes derudover nogle meget små forbrugsområder. DTI Energi er dog kun bekendt med brug af stoffet som sporgas. Der er formentlig også andre små anvendelsesområder, f.eks. laboratoriebrug og medicinske anvendelser.

Kemisk formel	R-nummer	Normalkogepunkt (C)	GWP (100 år)	Atmosfærisk levetid (år)
SF <sub>6</sub>	R-7146	-63,8	23.900	3.200

### Globale forbrug

Det globale forbrug af SF<sub>6</sub> er på ca. 7.500 tons pr. år og er stigende. Langt størstedelen (ca. 6.000 tons/år) forbruges som dielektrisk materiale i stærkstrømsinstallationer, hvor især den kraftige udbygning af elektricitetsforsyningen i nye vækstområder, bl.a. i Asien, forbruger store mængder SF<sub>6</sub>. I de "gamle" industrialiserede lande skete denne udbygning for en del år siden, og forbruget af SF<sub>6</sub> til elektriske installationer er forholdsvis lav, p.g.a. genanvendelse af stoffet.

Det næststørste forbrug på globalt plan er til magnesiumproduktion (ca. 500 tons/år). Andre globale forbrugsområder er afgang af aluminium, rensning af elektroniske komponenter og opblæsning af bildæk.

### 5.1 Støj-isolerende termoruder

SF<sub>6</sub> (Svovlhexafluorid) er en gas ved normale temperaturer og atmosfæretryk. SF<sub>6</sub> benyttes i nogle lyd-isolerende termoruder, hvor SF<sub>6</sub> i en blanding sammen med bl.a. argon udfylder mellemrummet imellem glaseruderne. Formålet hermed er at dæmpe akustiske trykbølger og dermed beskytte mod støj udefra.

### 7,2 tons SF<sub>6</sub>

Ifølge Miljøstyrelsens kortlægning blev der benyttet 7,2 tons SF<sub>6</sub> til dette formål i 1997. Denne opgørelse er overvejende udarbejdet efter oplysninger fra leverandører og importører af SF<sub>6</sub>. Forbruget af SF<sub>6</sub> til dette formål er faldende, og var i 1995 og 1996 hhv. 13,5 og 9,4 tons.

En stor del af produktionen sælges i Danmark. Der er ca. 30 producenter af denne type støj-dæmpende termoruder i landet.

Ifølge Miljøstyrelsens kortlægning (Miljøstyrelsen 1998) er der en umiddelbar emission af SF<sub>6</sub> i forbindelse med påfyldning af ruderne, og dette tab varierer mellem 10 og 20 % afhængig af anvendt udstyr og procedurer. Tidligere var dette udslip meget større.

Den påfyldte SF<sub>6</sub> akkumuleres i første omgang i vinduerne, men stoffet vil sive ud i atmosfæren, når ruderne punkterer.

Da der ikke findes en indsamlings- eller opsamlingsordning (og det vil også være svært at etablere sådanne ordninger), må det forventes, at al SF<sub>6</sub> vil ende i atmosfæren. Da man har produceret denne type vinduer i mange år (15 - 20 år), må det forventes, at der til stadighed er emission fra gamle vinduer med SF<sub>6</sub> i forbindelse med punkteringer eller skrotning. Hvis vi antager, at den gennemsnitlige levetid for disse vinduer er 20 år, er vi ved at nå det stadie, hvor den reelle emission er lig med råvareforbruget.

DTI Energi har talt med Peter Vestergaard fra DTI Byg og med repræsentanter fra producenter, og disse oplyser, at:

- Man var overrasket over miljøproblemet ved brug af SF<sub>6</sub>, og man mener heller ikke at brugerne (bl.a. byfornyelsesselskaber) har kendskab til dette
- Man syntes umiddelbart at forbrugsmængden er stor, og dette var man overrasket over
- SF<sub>6</sub> giver lidt dårligere varmeisolerende egenskaber i forhold til normale ruder
- I støjisolerende ruder indgår altid andre tiltag som glas i forskellige tykkelser og eventuelt lamineret
- SF<sub>6</sub> giver kun et mindre bidrag til støjreduktionen

#### *RT-indsats*

Det vil således være relevant med en Renere Teknologi-indsats på dette område, og den miljømæssige effekt kan blive ret stor, hvis der opnås et positivt resultat af projektet.

DTI Energi har taget kontakt til Delta Akustik og Vibration, med det formål at formulere et projekt på området.

Der foreligger nu et projektforslag, hvor 1. del af projektet skal foretage en mere præcis kortlægning af produktionen af støjisolerende vinduer (hvilke rude og vinduestyper, antal, anvendelsesområder med hensyn til typer af trafikstøj, forventet levetid m.v. Der udføres laboratoriemålinger på 8 - 10 vinduer (med SF<sub>6</sub>). Der foretages parallelle målinger på samme vinduer uden SF<sub>6</sub>. Delprojekt 1 skal derefter konkludere på SF<sub>6</sub>'s betydning for støjisoleringen og opstille mål for delprojekt 2, hvor der sammen med producenter skal fremstilles nye typer vinduer uden SF<sub>6</sub>.

## **5.2 Beskyttelsesgas i letmetalstøberier**

Ifølge Miljøstyrelsens kortlægning blev der i 1997 forbrugt 0,6 tons SF<sub>6</sub> som beskyttelsesgas til produktion af letmetal. Forbruget i 1995 og 1996 var hhv. 1,5 og 0,4 tons.

#### *Magnesium*

Støbning af magnesiumdele foregår på virksomheden Metallic A/S. Her bruges SF<sub>6</sub> i en blanding med andre gasarter (CO<sub>2</sub> og atmosfærisk luft) for at beskytte flydende magnesium mod af bryde i brand, når metallet støbes til maskindele.

Flydende magnesium er yderst brandfarligt og vil bryde i brand, hvis det kommer i kontakt med luftens ilt.

Det foregår efter samme metode som andre steder i verden. Søgning på internettet viser, at der findes en række forskellige støbermaskiner til magnesium, og alle er beskyttet med SF<sub>6</sub>-anlæg. SF<sub>6</sub> vil herved blive emitteret til omgivelserne.

Metallic støber også emner i aluminium, zink og messing, men SF<sub>6</sub> bruges udelukkende i forbindelse med magnesium.

Ifølge Lars Feldager Hansen, Metallic er magnesium et meget let og stærkt metal. Derfor går automobilindustrien i højere grad over til at benytte magnesium-dele i bilerne.

SO<sub>2</sub>

Metallic er i gang med at ombygge fabrikken, således at SF<sub>6</sub>-forbruget vil ophøre. Der vil i stedet blive benyttet SO<sub>2</sub> i lukkede maskiner. Denne teknologi er allerede implementeret i dele af fabrikken og forventes at blive fuld implementeret i løbet af det næste år. Den nye teknologi er indført i samarbejde med Norsk Hydro.

Afgasning af aluminium

### **Aluminiumsproduktion**

Ifølge Preben Norgaard Hansen, DISA benyttes SF<sub>6</sub> til afgasning af aluminiumsmelter før støbning. Tidligere benyttede man "klogasser" til dette formål, og det var ret problematisk p.g.a. arbejdsmiljøet.

SF<sub>6</sub> sendes ind i smelten i små bobler, og gas (bl.a. brint) i smelten diffunderer ind i boblerne, som herefter strømmer op til overfladen og frigives til atmosfæren.

Der findes på globalt plan omkring 20 Disamatic støbemaskiner til aluminiumsproduktion, og dette marked er i stærk stigning, idet aluminium i højere grad benyttes til maskindele, bl.a. i bilindustrien.

DISA har tidligere afprøvet denne teknik på sit forsøgsstøberi, men benytter p.t. ikke SF<sub>6</sub> til dette formål. PNH har ikke kendskab til, om SF<sub>6</sub> bruges til dette formål i Danmark.

## **5.3 Isolatorgas i elektriske kraftafbrydere**

SF<sub>6</sub> har en usædvanlig dielektrisk styrke, og det har ført til, at stoffet bliver benyttet som isolatorgas i visse elektriske installationer, hvor der er høj spænding. Der er principielt to forskellige anvendelser:

- som slukkemedie i afbrydere
- som isolationsmedie i kompakte fordelingsanlæg

Forbruget af nyt SF<sub>6</sub> til disse formål var i 1995 ca. 1,4 tons, i 1996 ca. 1 tons og i 1997 ca 4,2 tons ifølge Miljøstyrelsens kortlægning. Den installerede mængde er formodentlig meget større, men emissionen er begrænset, da gassen er i lukkede beholdere, som opsamles og genbruges i forbindelse med vedligeholdelse eller nedtagning af udstyret. Emissionen forekommer således ved uheld eller uforudsete lækager.

Ifølge Henrik Weldingh, DEFU vil der dannes en lysbue i forbindelse med brydning af strømmen i en afbryder, og temperaturen i lysbuen kan komme

op på ekstreme værdier (10.000 - 100.000 C). Der skal være et stof, som bryder lysbuen ved at køle hurtigt og godt, for at brydningen skal lykkes, når strømmen er nul i vekselstrømmens sinuskurve. Der er flere muligheder:

- Lysbuen blæses væk vha. kraftig trykluft fra beholder. Denne teknologi er gammel og benyttes stadig i visse anlæg. Det er en ulempe, at udløsning af trykluft giver en voldsom eksplosionsagtig støj.
- Kontakten brydes i olie, og der dannes brint. Denne teknologi indebærer en vis eksplosionsfare, og man er gået væk fra den.
- Kontakten brydes i en lukket beholder med SF<sub>6</sub>. Dette virker godt.
- Kontakten brydes i et kammer med vakuum. Denne teknologi virker ligeledes godt i området op til 20 kV.

Der findes ikke danske fabrikanter af dette udstyr. Men store internationale firmaer som ABB, Siemens, Group Schneider m.m. sælger udstyret. Afbryderne er ladet med SF<sub>6</sub>, når de importeres til Danmark.

Der findes op mod 600 transformatorstationer i 10 - 20 kV-niveaue i Danmark, og disse kan være udstyret med enten SF<sub>6</sub> eller vakuum-brydere.

Prisen er nogenlunde ens, og der er en hård konkurrence mellem fabrikanterne. Man kan således vælge at købe SF<sub>6</sub>-fri bryder til 10 - 20 kV-transformatorstationerne. Der kan være pladsmæssige problemer forbundet med det, og det kan kræve udskiftning af hele stationen.

Endvidere findes ca. 60.000 stk. 10 kV/400 V netstationer. Her kan udstyret være baseret på SF<sub>6</sub> både som bryder- og isolationsmedie, men der findes også andre SF<sub>6</sub>-fri løsninger. På grund af det store styktal spiller pålidelighed, vedligeholdelse og små dimensioner en afgørende rolle.

Derimod findes der ikke alternativer i højspændingsområdet, dvs. fra ca. 60 kV og højere.

Der ser ifølge Henrik Welding, DEFU ikke umiddelbart ud til, at der er ny teknologi på vej. Der vil dog måske komme nye halvledere på markedet i fremtiden, men det kræver et teknologisk gennembrud, idet der er for store tab i den teknologi, som man kender p.t.

Den anden anvendelse indenfor stærkstrømsområdet er som isolatorgas ved kompakte transmissionsledninger. Der kan f.eks. være tale om, at højspændingsledninger på 400 kV fra generator og ud af kraftværksbygningen ligger i rør (f.eks. 20 m lange), hvor selve ledningen er omgivet af SF<sub>6</sub>.

Herved forhindres, at der sker overslag til rørmaterialet og overgang til de andre faser. Alternativet er, at ledningerne placeres med større afstand imellem sig, hvor det er atmosfærisk luft, som er isolatoren.

Da der ikke findes danske producenter af udstyr, vil det umiddelbart være lidt formålsløst at starte udviklingsprojekter på dette område. Man kan vælge at installere SF<sub>6</sub>-frie afbrydere i 10 kV-systemet, hvis man ønsker at benytte teknologi, som ikke indeholder kraftige drivhusgasser.

## 5.4 Sporgas og andre laboratorieformål

Ifølge Miljøstyrelsens kortlægning er forbruget i Danmark i 1997 ca. 0,6 tons til "Forskningsinstitutter".

### *Sporgas*

DMU (Danmarks MiljøUndersøgelser) bruger en lille mængde SF<sub>6</sub> som sporgas i forbindelse med spredningsforsøg i atmosfæren. Disse forsøg udføres for at afprøve matematiske modeller for spredning, og denne type forsøg udgør bl.a. grundlaget for standarder for skorstenshøjder o.l.

Der er tale om anvendelse af små mængder, som varierer meget alt efter konkrete projekter. Ifølge Erik Lyck, DMU blev der således i 1995 brugt ca. 6 kg, i 1996 ingen anvendelse og i 1997 er der anvendt mindre end 100 g. I 1998 er der hidtil ikke benyttet noget.

Anvendelsen af SF<sub>6</sub> som sporstof skyldes en række særlige egenskaber ved stoffet, som gør det vanskeligt at erstatte, herunder at det er præcist og specifikt detekterbart i meget lave koncentrationer, og at det har en meget lav forekomst i atmosfæren. Der har i udlandet været udført forsøg med et PFC-stof, men det er også miljømæssigt problematisk.

Erik Lyck vurderer, at der ikke findes noget brugbart alternativ, men at man forsat må begrænse og kontrollere den anvendte mængde i forbindelse med forsøg.

### *Baggrundsniveauet*

DMU's sporingudstyr er så fintfølede, at man kan måle baggrundsniveauet af SF<sub>6</sub>, og Erik Lyck har skrevet en artikel herom.

Der er ca. 5 danske laboratorier, som udfører forsøg med ventilation. Her benyttes små mængder SF<sub>6</sub> som sporstof til indendørs forsøg. Målingerne benyttes til at bedømme spredning af forurening, lækage fra varmevekslere og vurdering af kortslutning imellem luftstrømme m.m.

Christian Drivsholm, DTI Energi i Taastrup oplyser, at man benytter ca. 2 kg. pr. år til disse forsøg. Man kunne også benytte lattergas (N<sub>2</sub>O), men det er også lidt problematisk p.g.a. toksicitet.

## 5.5 Bildæk

Ifølge Miljøstyrelsens kortlægning er der i Danmark intet forbrug af SF<sub>6</sub> til bildæk.

Der er forskellige efterretninger om, at der i Tyskland forbruges store mængder SF<sub>6</sub> (af størrelsesordenen 100 tons/år) til opblæsning af bildæk, og derfor har DTI Energi forsøgt at klarlægge denne anvendelse.

Efter samtale med Rudolf Nielsen, DTI Energi, Torben Skovgaard, Dæk-specialisternes Landsforbund og Jan Steen Hansen, Continental ser situationen således ud:

### *Conti Air Safe*

Et tysk firma Messer Griesheim (nær Hamborg) forsøgte at sælge et system til Continental i Danmark. Det skulle hedde "Conti Air Safe", og det blev testet omkring 1990, men er ikke blevet solgt på markedet.

Salgsargumentet skulle angiveligt være, at SF<sub>6</sub>-molekyler er ret store og vil blandet op med luft i bildæk gå ind i dækmaterialet og forhindre/formindske difusion af luften ud af bildækket.

Alle ovennævnte personer mener, at der ikke forbruges SF<sub>6</sub> til dette formål i Danmark.

## 5.6 Eventuelle andre anvendelser af SF<sub>6</sub>

DTI Energi har p.t. ikke kendskab til andre anvendelser af SF<sub>6</sub> i dansk industri end ovennævnte.

### *Nike sportssko*

DTI Energi er dog bekendt med, at der benyttes SF<sub>6</sub> i såler i Nike sportssko. Ifølge et brev fra Sarah Severn, Director for Nike Environmental Action Team til Greenpeace Danmark (dateret 12. september 1997) benyttedes i året 1. april 1996 til 31. marts 1997: ca. 288 tons. Stoffet benyttes i Nike's Air-modeller, og alle sålerne er produceret i USA.

Nike bebudede samtidig en afvikling af forbruget over tre år, således at SF<sub>6</sub> vil blive erstattet med nitrogen senest i år 2001.

I et nyt brev til Greenpeace Danmark (dateret 17. august 1998) skriver Sarah Severn fra Nike, at forbruget i kalenderåret 1997 var ca. 276 tons SF<sub>6</sub> og forbruget i 1998 er projekteret til at være ca. 164 tons. Dette svarer til en 40 % reduktion.

Nike skriver endvidere, at forbrugerne ikke umiddelbart kan se forskel på hvilke modeller, som er fremstillet med SF<sub>6</sub> og med nitrogen.

## 6 Vurderinger og anbefalinger

Der er igangsat mange aktiviteter for at udvikle ny teknologi til substitution af HFC'er. Der er opnået mange resultater, og der ventes gode resultater af de mange igangværende projekter.

Som nævnt i kapitel 3 kører der en lang række projekter:

### *Miljøstyrelsen*

Miljøstyrelsens Rammeprogram for Naturlige Kølemidler (under Renere Teknologi-programmet):

- Udvikling af små ammoniak-køleanlæg, herunder nye samlemetoder
- Udvikling af sjapis-generator
- Kølecontainere med naturligt kølemiddel (forstudie). Dette projekt er nu afsluttet, og der er udarbejdet et egentlig projektforslag.

### *Energistyrelsen*

Energistyrelsen har givet støtte til følgende igangværende projekter:

- Supermarkedskøleanlæg med ammoniak og indirekte køling
- Vanddamp-kompressionsanlæg
- Energibesparende kommercielle køleskabe og fryserne med isobutan
- Køling med naturlige kølemidler indenfor hotelbranchen
- Gårdmælkekøleanlæg med ammoniak

### *Støjsolerende vinduer*

Det anbefales, at der snarest igangsættes et Renere Teknologi-projekt om substitution af SF<sub>6</sub> i støjsolerende vinduer. Dette bør ske i samarbejde med eksempelvis GTS-institutter (Godkendt Teknologisk Serviceinstitut) og producenter.

### *Kølecontainere*

Det anbefales, at der igangsættes et RT-projekt om substitution af kraftige drivhusgasser i kølecontainere. Dette bør ske i tæt samarbejde med relevant industri. Projektet bør bestå af to dele, hvor den første er udvikling og afprøvning af et nyt kølesystem, som benytter CO<sub>2</sub>-kølemiddel.

Det andet delprojekt er udvikling og afprøvning af et nyt isoleringskoncept. Der fremstilles en eller to containere, som afprøves i praksis.

### *Kommercielle køleanlæg*

Det anbefales, at der gøres en yderligere indsats indenfor kommerciel køling. Denne indsats skal hovedsagelig bygge på anlæg med kulbrinter og indirekte køling. Der skal bygges et demonstrationsanlæg, som testes. Parallelt hermed skal udarbejdes et uddannelsesprogram for kølemontører. Dette projekt gennemføres i samarbejde med relevante myndigheder.

### *Homepage*

Det anbefales, at der oprettes en Homepage på internettet, således at de resultater, der er fremkommet i Danmark, kan blive udbredt til resten af verden. Denne Homepage skal endvidere have links til relevante hjemmesider i Danmark og i udlandet.

På sigt kan man igangsætte projekter inden for andre områder, hvor der benyttes kraftige drivhusgasser, såfremt der er lovende koncepter.

Det anbefales at prioritere projekter på områder, hvor der i forvejen er dansk produktion og know-how. Hermed sikres en optimal synergi, som kan sikre

en effektiv udvikling af nye produkter uden kraftige drivhusgasser.



## 7 Forslag til Renere Teknologi-projekter

På grundlag af vurderingerne og anbefalingerne i kapitel 6 er opstillet nedenstående lister over forslag til Renere Teknologi-projekter, idet forslagene er opdelt i to prioriteter:

På kort sigt bør følgende Renere Teknologi-indsatsområder prioriteres:

- Udvikling af støjisolerende vinduer uden SF<sub>6</sub>
- Kølecontainere med CO<sub>2</sub>-køleanlæg og alternativ isolering
- Kommercielle køleanlæg med kulbrinter
- Information om naturlige kølemidler og øvrige erstatningsmuligheder for HFC'er, PFC'er og SF<sub>6</sub>, herunder oprettelse af en Homepage med nyeste resultater, rapporter m.v.

På lidt længere sigt kan følgende Renere Teknologi-indsatsområder overvejes:

- Isoleringspaneler uden HFC eller HCFC
- Flexibelt skumplast uden HFC
- Opskumning af andet isoleringsskum uden HFC
- Jævnstrømskompressor til køleskabe (til isobutan)
- Lavtemperaturkøleanlæg med naturligt kølemiddel



## 8 Litteraturliste

I rapporten er der bl.a. benyttet følgende litteratur:

- Miljøprojekt nr. 342: Ozonlagnedbrydende stoffer og visse drivhusgasser - 1995. Udarbejdet af Jan Holmegaard hansen, COWI. Miljøstyrelsen 1997.
- Arbejdsrapport nr. 98, 1997 Ozonlagnedbrydende stoffer og visse drivhusgasser - 1996. Udarbejdet af Jan Holmegaard Hansen, COWI. Miljøstyrelsen 1997.
- Ozonlagnedbrydende stoffer og visse drivhusgasser - 1997. Endnu ikke udkommet Miljøprojekt, som udgives af Miljøstyrelsen i 1998. Rapporten er udarbejdet af Jan Holmegaard Hansen og Thomas Sander Poulsen, COWI.
- Arbejdsrapport nr. 20: Forbrug og emission af 8 fluorerede og klorerede kulbrinter. Miljøstyrelsen 1996.
- Svend Auken, Danish Minister for the Environment and Energy, Official Opening of the Conference, Application for Natural Refrigerants, Aarhus, Denmark, 3. - 6. September 1996. International Institute of Refrigeration, Paris.
- Listen over uønskede stoffer. Orientering fra Miljøstyrelsen, nr. 1, 1998.
- Environmental Project No. 300: Polyurethane Foam without Ozone Depleting Substances; Experience from Danish industry. Miljøstyrelsen 1995.
- Environmental Project No. 301: Going towards Natural Refrigerants; Experience from Danish industry. Miljøstyrelsen 1995.
- Environmental Project No. 312: Going towards Natural Fire Extinguishants; Experience from Danish industry.
- Greenfreeze - modeller på det danske marked, status marts 1998. En forbrugerguide udarbejdet af Greenpeace (under revision). Kan findes på [www.greenpeace.org/~dk](http://www.greenpeace.org/~dk).
- Scandinavian Refrigeration (Scan Ref) 4/1997. Artikel om svensk supermarkedskøleanlæg med kulbrinter som kølemiddel.
- Scandinavian Refrigeration (Scan Ref) 3/1998. Hvad skal vi med TEWI?. Bjørn Grødem.
- Hans Haukås, Reduksjon i forbruket av HFK, tiltak og kostnader, Rapport 97:32 Statens Forurensningstilsyn.
- Uden køling bliver det meste for varmt. Debatoplæg om brugen af kølemidler i detailhandel, industri og i hjemmet. Udgivet af AKB (Autoriserede Kølefirmaers Brancheforening), 1998.
- Kathryn Ellerton, Allied Signal Inc: Recent Developments and the Outlook for Global Sulfur Hexafluoride, International Magnesium Association Fifty Four, Toronto, June 1997.
- Brev fra Sarah Severn, Director, NIKE Environmental Action Team til Tarjei Haaland, Greenpeace Danmark, dateret 12. september 1997.
- Environmental Report, Norsk Hydro, 1997.
- Brev fra Sarah Severn, Director, NIKE Environmental Action Team til Tarjei Haaland, Greenpeace Danmark. Dateret 17. august 1998.

- Muligheder for at reducere forbrug og emission af kraftige drivhusgasser (HFC'er, PFC'er og SF<sub>6</sub>), projekt for Nordisk Ministerråd. Udkast oktober 1998.
- Diverse brochurer fra danske og udenlandske virksomheder.



# Appendix A: Oversigt over kølemidler og kølemiddelblandinger

I nedenstående tabel gives oversigt over de mest almindelige kølemidler, som består af enkeltstoffer:

Stofbetegnelse	R-nummer	Kemisk formel	ODP-værdi	GWP-værdi (100 år)
Halon-1301	R-13B1	CBrF <sub>3</sub>	10	5.600
CFC-11	R-11	CFCl <sub>3</sub>	1.0	4.000
CFC-12	R-12	CF <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	1.0	8.500
CFC-115	R-115	CClF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub>	0.6	9.300
HCFC-22	R-22	CHF <sub>2</sub> Cl	0.055	1.700
HCFC-124	R-124	CF <sub>3</sub> CHClF	0.03	480
HCFC-142b	R-142b	C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> F <sub>2</sub> Cl	0.065	2.000
HFC-23	R-23	CHF <sub>3</sub>	0	11.700
HFC-32	R-32	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	0	650
HFC-125	R-125	C <sub>2</sub> HF <sub>5</sub>	0	2.800
HFC-134a	R-134a	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	0	1.300
HFC-143a	R-143a	CF <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	0	3.800
HFC-152a	R-152a	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> F <sub>2</sub>	0	140
HFC-227ea	R-227ea	C <sub>3</sub> HF <sub>7</sub>	0	2.900
PFC-14	R-14	CF <sub>4</sub>	0	6.500
PFC-116	R-116	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	0	9.200
PFC-218	R-218	C <sub>3</sub> F <sub>8</sub>	0	7.000
Isobutan (HC-600a)	R-600a	CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	0	3
Propan (HC-290)	R-290	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0	3
Etan (HC-170)	R-170	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0	3
Eten (Ethylen)	R-1150	CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub>	0	3
Propylen (HC-1270)	R-1270	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	0	3
Ammoniak	R-717	NH <sub>3</sub>	0	0
Kuldioxid	R-744	CO <sub>2</sub>	0	1
Luft	R-729	-	0	0
Vand	R-718	H <sub>2</sub> O	0	0

I nedenstående tabel gives oversigt over kølemiddelblandinger i 400-serien (zeotropiske blandinger). ODP- og GWP-værdier kan udregnes efter værdierne for stofferne i tabellen over enkeltstoffer, idet der vægtes efter blandingsforholdet mellem enkeltstoffer:

R-nummer	Stoffer	GWP-værdi (100 år)	Koncentration i vægt-%
R-401A	HCFC-22/HFC-152a/HCFC-124	1082	53/13/34
R-402A	HCFC-22/HFC-125/HC-290	2326	38/60/2
R-403A	HCFC-22/PFC-218/HC-290	2675	75/20/5
R-403B	HCFC-22/PFC-218/HC-290	3682	56/39/5
R-404A	HFC-143a/HFC-125/HFC-134a	3260	52/44/4
R-406A	HCFC-22/HC-600a/HCFC-142b	1755	55/4/41
R-407C	HFC-32/HFC-125/HFC-134a	1526	23/25/52
R-408A	HCFC-22/HFC-143a/HFC-125	2743	47/46/7
R-409A	HCFC-22/HCFC-142b/HCFC-124	1440	60/15/25
R-410A	HFC-32/HFC-125	1725	50/50
R-412A	HCFC-22/HCFC-142b/PFC-218	2040	70/25/5
R-413A	HFC-134a/PFC-218/HC-600a	1774	88/9/3
R-414A	HCFC-22/HCFC-124/HCFC-142b/HC-600a	1329	51/28.8/16.5/4
R-415A	HCFC-22/HFC-23/HFC-152a	1966	80/5/15

I nedenstående tabel vises kølemiddelblandinger i 500-serien (azeotropiske blandinger):

R-nummer	Stoffer	GWP-værdi (100 år)	Koncentration i vægt-%
R-502	CFC-115/HCFC-22	5576	51/49
R-507	HFC-143a/HFC-125	3300	50/50
R-508A	HFC-23/PFC-116	10175	39/61
R-508B	HFC-23/PFC-116	10350	46/54
R-509A	HCFC-22/PFC-218	4668	44/56

## Appendix B: Kommercielle køleanlæg

De kommercielle køleanlæg i butikker, supermarkeder, restauranter, datacentraler m.v. udgør det økonomisk vigtigste område indenfor kølebranchen. Det er ligeledes det område, som har det bredeste anvendelsesområde. Det er baggrunden for, at der i dette appendix gøres rede for specifikke forhold vedrørende priser, energiforbrug, kølemiddellækage og TEWI (samlet bidrag til drivhuseffekten).

I afsnit B.1 sammenlignes priser for væskekølere med h.h.v. R-404A, kulbrinter og ammoniak. I afsnit B.2 sammenlignes energiforbrug, kølemiddellækage og TEWI for supermarkedsanlæg. I afsnit B.3 er givet en detaljeret beregning af prisforskel mellem et konventionelt køleanlæg og tilsvarende køleanlæg med hydrocarbon-kølemiddel.

### **B.1 Sammenligning af priser for ammoniak-, hydrocarbon- og HFC-køleanlæg (væskekølere, "chillers").**

Der tages udgangspunkt i væskekølere (chillers), og der foretages analyser af prisforskelle og årsagen hertil. Samtidig gives et bud på, hvordan priserne forventes at udvikle sig i fremtiden.

HFC-køleanlæg og ammoniak-køleanlæg bliver i dag produceret i mange eksemplarer. HFC-køleanlæggene benytter stort set samme teknologi som CFC- og HCFC-køleanlæg, og ammoniak-køleanlæg har været fremstillet i over 100 år. Ammoniak har dog været fortrængt af de kunstige kølemidler i en årrække, men er nu hastigt på vej frem indenfor større væskekølere til luftkonditionering m.v.

Kulbrinter er derimod ret nye indenfor kommercielle køleanlæg. Der bliver fremstillet anlæg i Sverige og Tyskland, hvor der er opsat en del anlæg med propan eller propen som kølemiddel. Disse anlæg er fremstillet i små serier og er fortsat ret dyre sammenlignet med HFC-køleanlæg. Det er dog sandsynligt, at disse anlæg meget hurtigt kan blive konkurrencedygtige mhp. prisen.

### **Haukås**

Hans T Haukås har skrevet en rapport for SFT, Norge (Rapport 97:32, SFT), hvor han bl.a. gør rede for priser for forskellige typer af køleanlæg.

Haukås giver følgende priser for anlæg over 10 kW:

- Køleanlæg med HFC-134a er 12,5 % dyrere end anlæg med R-404A eller R-507
- Væskekøleaggregater med ammoniak eller kulbrinter er 10 - 40 % dyrere end anlæg med R-404A eller R-507
- Ved brug af ammoniak eller kulbrinter kommer et vist tillæg for maskinrums-sikkerhed.

Haukås angiver, at tallene skal opfattes som retningsgivende, og der vil være eksempler, som falder udenfor i begge ender af intervallerne.

For større anlæg vil ammoniak være direkte konkurrencedygtig med prisen. Haukås har ikke undersøgt større anlæg med kulbrinter.

## Grødem

En anden nordmand, Bjørn Grødem skriver i en artikel i ScanRef (Scandinavian Refrigeration) 3/98, at prisforskellene er noget mindre. Grødem tager udgangspunkt i tyske undersøgelser af køleanlæg til supermarkeder, hvor han bl.a. andet sammenligner indirekte køling med R-404A, ammoniak og kulbrinter. Priserne bliver også sammenlignet med et R-404A-køleanlæg med direkte køling.

Tabel B.1 Sammenligning af priser for forskellige typer af supermarkeds-køleanlæg. Efter Grødem, ScanRef 3/98. Indeks 100 er for direkte køling med R-404A.

	Direkte med R-404A	Indirekte med R-404A	Indirekte med ammoniak	Indirekte med propan/propen
Rørsystem	15 %	25 - 30 %	25 - 30 %	25 - 30 %
Kølemøbler og luftkølere	45 %	45 %	45 %	45 %
Kølesystem	20 %	25 %	34 - 40 %	23 - 28 %
Kølemiddel, olie og brine	2 %	2 %	2 %	2 %
Styring, regulering og elinstallation	15 %	15 %	16 % (ekstra for sikkerhed)	17 % (ekstra for sikkerhed)
Projektering	3 %	3 %	3 %	3 %
Pris	100 %	115 - 120 %	125 - 135 %	115 - 125 %

Det ses af tabel B.1, at køleanlæg med direkte køling er det billigste i anskaffelse.

Derudover ses, at der er begrænset forskel imellem priserne for de indirekte systemer, specielt er forskellen mellem R-404A og hydrocarbon-anlægget begrænset, det er kun få % af totale anlægsomkostninger.

## Vurderinger af fremtidige priser for hydrocarbon-køleanlæg

DTI Energi har i samarbejde med Alexander C Pachai, AirCon A/S foretaget en analyse af fremtidige priser af hydrocarbon-køleanlæg sammenlignet med tilsvarende HFC-køleanlæg.

I analysen forudsættes, at hydrocarbon-anlæggene fremstilles i større serier på samme måde som HFC-køleanlæg gør i dag. Herved fås stordriftsfordele. Det forudsættes ligeledes, at myndighederne har opstillet klare regler for opførelse af hydrocarbon-køleanlæg og at montører er uddannede til at lave anlæg med kulbrinter. Dette er tilfældet i Sverige, hvor firmaet Bonus Energi AB bygger kulbrinte-køleanlæg; - men ikke i andre nordiske lande.

## Komponenter

De fleste af komponenterne i et hydrocarbon-anlæg er de samme som benyttes i HFC-køleanlæg, og vil derfor koste det samme.

Der er dog en forskel for visse automatik-produkter. Der skal anvendes pressostater, termostater, klemkasse, relæer og ventilator i eksplosionssikker udførelse, dvs. i IP 44 -tætningsklasse eller bedre.

I Danmark benyttes normalt IP 23 på kommercielle køleanlæg, og dette er ikke godt nok til kulbrinter.

I afsnit B.3 er der vist et eksempel på et 14 kW køleanlæg, hvor komponentpriserne er gengivet. Der er en prisforskel på ca. 4,3 % For større anlæg vil denne prisforskel blive mindre.

### Samling

I hydrocarbon-køleanlægget skal alle samlinger ske ved lodning. I et HFC-køleanlæg kan samlingen ske enten ved lodning eller som det oftest sker ved at benytte skruefittings. Loddeprocessen vil forbruge lidt mere arbejdstid, men det forventes at blive delvis udlignet ved et mindre materialeforbrug (skruefittings). Ekstraomkostningen vurderes at være fra 0 - 1 %.

Tidsforbruget til læksøgning er den samme som til HFC-anlæg.

### Sikkerhed

Hvis køleanlægget er installeret i et indendørs maskinrum, skal der være en gasalarm i gulvhøjde. Dette er ikke nødvendigt, hvis anlægget er placeret udendørs eller under et halvtag.

Det samme er egentlig gældende for HFC-køleanlæg, her bør ligeledes være en alarm for kølemiddeludslip.

Gasalarm og tilhørende udluftningsventilator kan anskaffes til ca. 6000 Dkr (listepriis).

### Uddannelse

Kølemontørerne skal være uddannede til at arbejde med køleanlæg med kulbrinter. Det kræver, at der findes et uddannelsessystem herfor. I de nordiske lande er det endnu kun i Sverige, at det er tilfældet.

### Udstyr

Montagefirmaet skal have udstyr til at arbejde med kulbrinter. En *læksøger* til kulbrinter koster ca. det samme som en læksøger til syntetiske kølemidler. En *fyldestand* til kulbrinter koster ligeledes det samme som til HFC-kølemiddel.

Der skal ligeledes benyttes en vakuumpumpe i ex-udgave. Den koster ca. 50 % mere end en almindelig vakuumpumpe (listepriis ca. 7150 Dkr).

Der har i Danmark været lidt forvirring omkring krav vedrørende transport af trykflasker med kulbrinte-kølemiddel. Dansk Gasteknisk Center har tidligere opfordret til, at trykflaskerne placeres i specielle rum i servicebilerne. Herved bliver kravene anderledes end krav til andre gasflasker, f.eks. acetylen til svejse- og loddeprocesser.

DTI Energi arbejder med at få afklaret disse forhold.

### Konklusion

Det kan konkluderes, at hydrocarbon-køleanlæg hidtil er noget dyrere end tilsvarende HFC-køleanlæg. Prisforskellen er af størrelsesordenen 10 - 40 %. Der er imidlertid intet til hinder for, at denne prisforskel kan blive meget mindre i fremtiden. Som eksempel kan nævnes, at komponenterne til et lille hydrocarbon-køleanlæg med 14 kW køleydelse er ca. 5 % dyrere end tilsvarende komponenter til et HFC-køleanlæg.

Hertil kommer ca. 1 % fordyrelse ved samleprocessen og eventuelt fordyrelse ved montage af alarm.

Alarm bør dog også sættes op i forbindelse med HFC-anlæg.

Køling med kulbrinter i supermarked skal ske ved indirekte køling, og herved bliver forskellen med et HFC-anlæg med direkte køling større.

### **Vurdering af fremtidige priser for ammoniak-køleanlæg**

I dag er ammoniak-køleanlæg konkurrencedygtige, når der er tale om store anlæg (større end 100 kW). Dette er derimod endnu ikke tilfældet for små og mellemstore anlæg.

Dette forhold kan dog ændres. Der er først i de senere år sat fokus på brug af ammoniak i små og mellemstore anlæg, og udvalget af kompressorer til ammoniak er stigende. Kompressorerne er dog stadig dyrere end tilsvarende kompressorer til HFC-kølemidler, men der er ikke noget til hinder for, at prisen kan udlignes, når kompressorerne bliver fremstillet i større styktal. Endvidere er der ved at blive udviklet nye samlemetoder, således at rør kan samles med lockring eller fittings som alternativ til svejsning.

### **B.2 Energiforbrug og TEWI for kommercielle køleanlæg, med udgangspunkt i supermarkeds-køleanlæg**

Det blev pr. 1. januar 1994 forbudt at opføre nye kommercielle køleanlæg med CFC-kølemiddel (CFC-12, R-502 m.fl.). HCFC i nye køleanlæg bliver forbudt pr. 1.1 år 2000 og det bliver forbudt at benytte nyt HCFC til service pr. 1.1. år 2002.

De fleste nyere køleanlæg i supermarkeder og andre kommercielle køleanlæg benytter derfor HFC-baserede kølemidler, herunder HFC-134a, R-404A eller eventuelt R-407C.

I supermarkeder i Danmark og Norge benyttes direkte køling, hvorimod det bliver mere almindeligt i Sverige, Tyskland og andre lande at benytte indirekte køling. I Sverige er der krav om at nye supermarkeds-køleanlæg skal være med indirekte køling. Svensk Kylvnorm kræver, at ved fyldningsmængder mellem 10 og 30 kg. skal kølesystemet være delvis indirekte, normalt laves køle siden indirekte og frysesiden direkte.

Ved fyldningsmængder større end 30 kg. skal systemet være helt indirekte, dvs. både køl og frys er indirekte.

Ved direkte køling i et supermarked sendes flydende kølemiddel ud i lange rørstrækninger til kølestederne, som ofte er køle- eller frysegondoler, mælkeskabe, kølerum m.m. Det fordampede kølemiddel tilbageføres i andre rør. I et mellemstort supermarked er der ofte 30 - 40 kølesteder, og ofte er der flere kilometer rør med kølemiddel, og disse er ofte samlet i hundredevis af samlinger. Det kan ikke undgås, at der er en vis lækage i disse anlæg. Lækage foregår ofte i pakninger i ventiler og samlinger, eller ved at der direkte sker udhæld med knækkede rør. Tidligere var lækageraten stor for disse anlæg, måske 20 - 30 % af fyldningen på årsbasis.

Branchen har gjort meget for at fremme kvaliteten af nye anlæg, og det formodes at lækageraten er reduceret kraftigt. Ifølge IPCC's guidelines 1996 er lækageraten ca. 17 % i gennemsnit.

Det kan dog ikke lade sig gøre i praksis at lave anlæggene helt tætte. Der er ingen, der kender de nøjagtige lækagerater, men det antages, at det ligger på størrelsesordenen 10 % på årsbasis for supermarkedsanlæg med direkte køling.

Det er billigere at producere et køleanlæg med direkte køling end et tilsvarende anlæg med indirekte køling. Haukås angiver 20 % højere og Grødem ca. 15 - 20 % højere pris for indirekte system.

Prisforskellen skyldes, at rørsystemet er lidt dyrere, da der bl.a. skal investeres i pumper til cirkulation af det sekundære kølemiddel. Der skal ligeledes investeres i ekstra varmevekslere mellem det primære og sekundære system.

Til gengæld skal der benyttes væsentlig mindre kølemiddel (ofte 15 - 20 % af mængden i et direkte system), og lækageraten er meget mindre (ofte af størrelsesordenen 5 %).

### Energiforbrug

Det er svært at sige noget præcist om energiforbruget i de forskellige systemer. Det er meget afhængig af de enkelte systemers optimeringsgrad. Bjørn Grøden har alligevel givet nogle bud i ScanRef 3/98.

Han opgiver følgende:

*Tabel B.2 Energiforbrug for forskellige supermarkeds-køleanlæg, Samme kilde som for tabel B.1 Det skal præciseres, at der er tale om et eksempel, som ikke behøver at være retningsgivende for alle anlæg.*

	Direkte med R404A	Indirekte med R404A	Indirekte med propan/propen	Indirekte med NH3 (ammoniak)
Energiforbrug, relativt	100 %	110 %	108 %	105 %

Energiforbruget er lidt større for de indirekte systemer p.g.a. termodynamisk tab fra temperaturdifference i varmeveksler mellem primær og sekundær kølesystem og pga. energiforbrug til pumper. Dette bliver i nogen grad modvirket af bedre virkningsgrader for kulbrinte- og ammoniak-køleanlægget.

Det vurderes, at hydrocarbon-køleanlæg snart vil kunne udføres således, at energiforbruget for indirekte systemer ikke bliver højere end for direkte systemer. Det kræver brug af komponenter (kompressor), som er optimeret til kølemidlet. Hidtil er benyttet R-22 kompressorer til propan eller propen. Ved denne optimering bliver forskellen mellem direkte HFC-systemer og indirekte kulbrinte-systemer mindre.

I fremtiden vil der komme nye sekundære kølemidler, herunder sjapis (ice slurry) til køleformål og CO<sub>2</sub> til fryseformål. Herved forventes energiforbruget for indirekte systemer med ammoniak eller kulbrinter at blive mere effektive end direkte HFC-systemer.

### Bidrag til drivhuseffekten, TEWI

Køleanlæg har et direkte og et indirekte bidrag til drivhuseffekten. Det direkte bidrag kommer fra lækage af kølemiddel, f.eks. R-404A, som har et GWP (Global Warming Potential) på 3260, sammenlignet med CO<sub>2</sub>, som har et GWP på 1.

Det indirekte bidrag kommer fra elektricitetsforbruget. Hvis el er fremstillet på kulfyrede kraftværker (som f.eks. i Danmark), vil der ske et udslip af CO<sub>2</sub> fra kraftværkets skorsten, svarende til ca. 0,8 kg CO<sub>2</sub> pr. kWh forbrugt el.

TEWI (Total Equivalent Warming Impact) er et begreb, som knytter det direkte og det indirekte bidrag sammen

$$\text{TEWI} = \text{GWP} * \text{M} + \text{ALFA} * \text{E}$$

hvor

GWP er kølemidlets GWP-faktor,

M er den mængde kølemiddel, som lækker ud af kølesystemet

ALFA er mængden af CO<sub>2</sub>, som genereres ved produktion af el (kg CO<sub>2</sub> / kWh)

E er køleanlæggets elforbrug

### Eksempel

Her gives et eksempel på et typisk supermarkeds-køleanlæg. Der er tale om et mellemstort supermarked (Kvickly, Føtex eller lign) på 1000 - 1500 m<sup>2</sup> salgsareal.

Dette eksempel er typisk for lande, hvor direkte køling er standard.

Den samlede køleeffekt er 100 kW.

Der er direkte køling.

Kølemiddelfyldningen er 300 kg R-404A

Køleanlæggets årsenergiforbrug er 170.000 kWh

Lækagerate er 10 % af fyldningen pr. år, dvs. 30 kg.

TEWI beregning for et års drift af køleanlægget:

Direkte bidrag til drivhuseffekten for et år:

$$\text{M} * \text{GWP} = 30 \text{ kg R-404A} * 3260 \text{ (kg CO}_2\text{/kg R-404A)} = 97800 \text{ kg CO}_2 = 97,8 \text{ tons CO}_2$$

Indirekte bidrag til drivhuseffekten:  $\text{ALFA} * \text{E} = \text{ALFA} * 170.000 \text{ kWh}$

*Tabel B.3 Bidrag til drivhuseffekten for det i eksemplet givne køleanlæg. Kølemiddel: R-404A. Dette eksempel er for direkte køling.*

	ALFA (kg CO <sub>2</sub> / kWh)	Indirekte bidrag til drivhuseffekten (kg CO <sub>2</sub> )	Direkte bidrag til drivhuseffekten (kg CO <sub>2</sub> )	TEWI for et år (kg CO <sub>2</sub> )
Kulkraft	0,8	136.000	97.800	233.800
100 % Vandkraft (eller A-kraft)	0	0	97.800	97.800
50 % kulkraft + 50 % vandkraft	0,4	68.000	97.800	165.800

I eksemplet med 100 % kulkraft udgør det direkte bidrag til drivhuseffekten (kølemidlet) ca. 42 % af det samlede TEWI-bidrag.

I eksemplet med 50 % kulkraft og 50 % vandkraft er andelen ca. 59 %.

I eksemplet med 100 % vandkraft er andelen selvsagt 100 %.

Det skal nævnes, at der er andre miljømæssige problemer med vandkraft og A-kraft. Dette eksempel medtager kun drivhuseffekten.

Det har ofte været sagt, at kølemidlets andel af TEWI er meget begrænset, men dette synes ikke at være tilfældet for supermarkedskøleanlæg med R-404A og direkte køling.

Kølemidlet har en væsentlig andel af den samlede påvirkning af drivhuseffekten.

Det samme supermarked vil med et hydrocarbon- eller et ammoniak-køleanlæg og indirekte køling have et langt mindre bidrag til drivhuseffekten på trods af, at energiforbruget er lidt højere. Det ses af nedenstående tabel.

*Tabel B.4: TEWI for et supermarkedskøleanlæg med propan og indirekte køling. Sammenlign med tabel B.3. Det skal påpeges, at disse beregninger udelukkende drejer sig om bidrag til drivhuseffekten og at der er tale om et eksempel, som ikke nødvendigvis er repræsentativ for alle kommercielle køleanlæg.*

	ALFA (kg CO <sub>2</sub> /kWh)	Indirekte bidrag til drivhuseffekten	Direkte bidrag til drivhus-effekten	TEWI (kg CO <sub>2</sub> )	TEWI (R290) / TEWI (R-404A)
Kulkraft	0,8	146.880	0	146.880	0,63
100 % vandkraft	0	0	0	0	0
50 % kulkraft + 50 % vandk.	0,4	73.440	0	73.440	0,44

Det ses af beregningerne i tabel B.4, at den samlede påvirkning af drivhuseffekten er langt mindre for et køleanlæg med kulbrinter (eller med ammoniak) og indirekte køling end for et R-404A-køleanlæg med direkte køling. Det er uafhængig af, hvordan elektriciteten fremstilles.

### **B.3 Forskelle på konventionelle køleanlæg og anlæg for kulbrintekølemidler:**

I dette afsnit er beskrevet prisforskelle mellem komponenter til HFC-køleanlæg og hydrocarbonanlæg.

#### **Det konventionelt bestykkede anlæg**

Det kommercielle køleanlæg er oftest meget enkelt opbygget. I mange tilfælde anvendes en termostat, der giver et signal om at stoppe eller starte kompressoren. Hvis anlægget er forsynet med en luftkølet kondensator anvendes ofte en pressostat til at sikre et passende kondenseringstryk under kolde perioder.

Fælles for de fleste dele, der kan danne en gnist, er at tætningsklassen er IP 23 eller lignende. Det samme gælder ventilatorer. I mange tilfælde gælder det også kompressorens klemkasse, som indeholder startrelæ eller relæ for viklingsbeskytter, der kan danne en gnist. Der er i Danmark ingen krav om anvendelse af dobbeltbælgs pressostater i forbindelse med syntetiske kølemidler, hvorfor de normalt ikke anvendes. De ville kunne medvirke til reduktion af udslippet af kraftige drivhusgasser, hvilket da også er begrundelsen for anvendelsen i bl.a. Tyskland.

### Prisforskellen mellem IP 23 og IP 44 og højere

I forbindelse med kulbrintebaseerede køleanlæg må det anses for et minimumskrav, at der anvendes udstyr i en tætningsklasse der er mindst IP 44 eller bedre. IP 54 og IP 55 er ved at være en standard, hvorfor det i reglen ikke er et problem at fremskaffe produkter i denne tætningsklasse. For at forstå hvad tætningsklasserne betyder, er det nødvendigt at kende lidt til nomenklaturen. I korthed indikerer det første tal hvor tæt kapslingen er for støv i en skal fra 0 til 6. Det andet tal angiver hvor tæt en kapsling er overfor vands indtrængen også i en skala fra 0 til 6. Et apparat i IP 23 er derfor ikke helt støvtæt og kun tåler kun vandstænk. Et apparat i IP 66 kan nedsænkes helt i vand i en nærmere defineret periode og i en bestemt dybde uden vandindtrængen. Det vil i denne sammenhænge falde lidt uden for emnet at gå i detaljer med systemet som er beskrevet i en Europæisk norm.

Hvis der tages udgangspunkt i anlægget fra eksemplet vil priserne i en passende kapsling og mere sikker udførelse kunne opgøres som i nedenstående skema.

*Tabel B.5: Sammenligning mellem komponenter til konventionel HFC-køleanlæg og tilsvarende anlæg til kulbrinter.*

Komponent	Listepris	Alternativ	Listepris
KP 15 Flare (pressost.)	483,00	KP 17 W Lodde	700,00
KP 5 Flare (pressostat)	261,00	KP 7 W Lodde	474,00
KP 73 (2 styk) (termos)	742,00	RT 2 (2 styk)	1.640,00
Kompressor aggregat UAK 500	24.992,00	samme	24.992,00
TAU pladeveksler	4.330,00	samme	4.330,00
<b>Samlet pris</b>	<b>30.808,00</b>	<b>Samlet pris</b>	<b>32.136,00</b>

Kølelydelsen er ca. 14 kW.

Som det ses af eksemplet, er der en mindre prisforskel på det samlede anlæg. Medens nogle enkelt komponenter er mere end dobbelt så dyre i den højere tætningsklasse, så er de dyreste komponenter i anlægget ikke dyrere, hvilket i nogen grad eliminerer prisforskellen. Det er de samme komponenter der anvendes uanset hvor stort anlægget bliver, hvilket betyder at hvis kompressor, kondensator og fordamper er flerfold dyrere og dermed også større vil merprisen for delkomponenterne have en forsvindende lille betydning i den samlede pris. I det konkrete tilfælde er prisforskellen alene på komponenterne kun på ca. 5%.

Det bør dog pointeres, at for supermarkeder vil kunderne i de nordiske lande (minus Sverige) ofte skulle vælge mellem et HFC-anlæg med direkte køling og et anlæg med hydrocarbon og indirekte køling. Her vil prisforskellen være større jf. tabel B.1.

For Sverige er prisforskellen mindre, idet der som regel skal benyttes indirekte køling.

## Appendix C: Sabroe Chillers with NH<sub>3</sub> refrigerant, installed in Denmark 1990-1998

	<i>Installed</i>	<i>Refrigeration capacity</i>	
Lego A/S, Billund	1990	2.000 kW	
Grindsted Products, Grindsted	1990	470 kW	
Statens Seruminstitut, Copenhagen	1990	125 kW	
The Copenhagen Mail Centre, Copenhagen	1992	800 kW	
Novo Nordisk, Kalundborg + 5 other chillers	1992	2.800 kW	
MD Foods, Trolldhede Dairy , Trolldhede	1993	55 kW	
MD Foods, HOCO, Holstebro	1993	2.000 kW	
SAS Data, Kastrup 155 kW	1993		2 x
Panum Institute, Copenhagen University	1993	920 kW	
National Hospital of Denmark, Copenhagen	1993	1.000 kW	
Toyota, Middelfart	1993	360 kW	
Scandinavian Center, Århus	1993	1.000 + 800 kW	
SAS Data, Copenhagen	1994	155 kW	
Danaklon, Varde	1994	520 kW	
Dandy, Vejle	1994	3 x 1.000 kW	
EAC, Head Office, Copenhagen	1994	1.100 kW	
Copenhagen Pectin, Lille Stensved	1994	230 kW	
Novo Nordisk, Kalundborg	1994	340 kW	
SAS Data, Kastrup 155 kW	1994		2 x
Rødovre Skating Rink, Rødovre	1994	500 kW	
SDC of 1993 A/S, Ballerup	1994	1.600 kW	
Dandy, Vejle	1995	800 kW	
Danish National Television, Head Office, Cph.	1995	850 kW	
Copenhagen Airport, Copenhagen	1995	1.066 kW	
Magasin (Dept. Store), Aalborg	1995	528 kW	
Schou-Epa (Dept. Store), Roskilde	1995	175 kW	
Lundbech A/S, Lumsås	1995	500 kW	
Løvens Kemiske Fabrik, Ballerup	1995	174 kW	
Faxe Kalk, Fakse	1995	686 kW	
PBS Finans A/S, Ballerup	1995 + 1997	640 kW	
Schouw Packing A/S, Lystrup	1995	397 kW	
Pharmacia, Køge	1995	76 kW	
NKT Project Center, Kalundborg	1995	340 kW	
Aalborg Storcenter (Dept. Store), Aalborg	1995	2.530 kW	
Nordisk Wawin A/S, Hammel	1996	200 kW	
Novo Nordisk, Gentofte	1996	100 kW	
Kastrup Stationsterminal, Kastrup	1996	804 kW	
Novo Nordisk, Gentofte	1996	1.096 kW	
J & B Enterprise A/S, SID Building	1996	162,4 kW	
Novo Nordisk (building 3A-Ba), Bagsværd	1996	370 kW	
Novo Nordisk (building AE-KA), Bagsværd	1996	200 kW	
Danisco Foods A/S, Odense	1996	220 kW	
SDC of 1993 A/S, Ballerup	1996	1.588 kW	

Copenhagen Airports, Copenhagen	1996		185 kW
Risø National Laboratory, Roskilde	1996		1.820 kW
Codan Gummi A/S, Køge	1996		175 kW
Magasin du Nord (Dept. Store), Copenhagen	1996		528 kW
Glent Novenco, Åbyhøj	1996		50 kW
Superfos Packing A/S, Hårby	1996		495 kW
Dandy, Vejle	1996		3.560 kW
Palsgård Industri A/S, Juelsminde	1996		25 kW
Aarhus Oliefabrik A/S, Aarhus	1996		406 kW
Danisco A/S, Copenhagen	1996		270 kW
H. C Ørsted Institute, Copenhagen University	1996		254 kW
Eberhart A/S, Engesvang	1996		261 kW
Danisco Ingredients, Copenhagen	1996		45 kW
Kastrup Skating Rink, Kastrup	1996		583 kW
Lundbech A/S, Valby	1997		500 kW
Hvidovre Hospital, Hvidovre	1997	2 x 2.543 kW	
Nordisk Wavin, Hammel	1997		202 kW
H.C. Ørsted Institute, Copenhagen University	1997		254 kW
Novo Nordisk, Bagsværd	1997		200 kW
Copenhagen Airports (Finger B), Copenhagen	1997	2 x 804 kW	
Copenhagen Airports (Finger Vest), Copenhagen	1997		900 kW
Novo Nordisk, Hillerød	1997		3.840 kW
Delta A/S, Hørsholm	1997		130 kW
Ishøj Bycenter, Ishøj	1997		1.030 kW
Unibank, Christianshavn	1997		538 kW
Copenhagen Pectin A/S, Lille Stensved	1997		530 kW
Illum A/S (Dept. Store), Copenhagen	1997		1.022 kW
Scandic Hotel Copenhagen, Copenhagen	1997		359 kW
Tholstrup Gjesing A/S, Skanderborg	1997	395 kW + 53 kW	
Tjæreborg Champinon, Tjæreborg	1997		1.146 kW
MD Foods, Troldhede Dairy , Rødkærsbro	1997		240 kW
Eghøj Champinon A/S, Veflinge	1997		500 kW
Danisco Distillers, Aalborg	1997		9 kW
FeF Chemicals A/S, Køge	1997		68 kW
Novo Nordisk - Building 3BM-Ba, Bagsværd	1997		129 kW
Phønix Contractors A/S, Vejen	1997		575 kW
SDC af 1993 A/S, Ballerup	1997		505 kW
Hørsholm Skating Rink, Hørsholm	1998		370 kW
Novo Nordisk A/S , Gentofte	1998		1.670 kW
Søndagsavisen, Copenhagen	1998		80 kW
Løvens Kemiske Fabrik, Ballerup	1998		300 kW
Nordisk Wavin, Hammel	1998		220 kW
Schulstad, Holstebro	1998		290 kW
Løvens Kemiske Fabrik, Ballerup	1998	320 + 120 kW	
Birch & Krogboe A/S, Virum	1998	390 + 50 kW	
MD Foods, Bislev, Bislev	1998		1.500 kW
Albani, Odense	1998		270 kW
Mejeriernes Produktionsselskab, Esbjerg	1998		400 kW
Hvide Sande Fiskeriforening, Hvide Sande	1998		100 kW
Løvens Kemiske Fabrik, Ballerup	1998	2 x 214 kW	
Copenhagen Airports, Copenhagen	1998		660 kW
Novo Nordisk A/S, Kalundborg	1998	100 kW + 2 x 400 kW	
Tulip, Århus	1998		70 kW
Scandinavian Air Lines, Copenhagen	1998		160 kW

Ørbæk Most, Ørbæk	1998	120 kW
Danexport, Hobro	1998	650 kW
Marine Biologisk Institut	1998	2 x 30 kW

## Appendix D: Gram Chillers (York International) with NH<sub>3</sub> refrigerant, installed in Denmark 1992-1998

	<i>Production</i>	<i>Refrigeration capacity</i>
Force Institutes Brøndby	Containerized water chiller for process chilling of welding machines	200 kW
Esbjerg Thermoplast Esbjerg	Water chillers for process chilling of plast moulding plant	2 x 187 kW
Sun Chemical Køge	Water chillers for process chilling in chemical industry	235 kW
Magasin Department Store Copenhagen	Water chiller for A/C	2 x 907 kW
Vellev Dairy Vellev	Brine (glycol) chiller for process chilling (ice water)	225 kW
Chr. Hansens Lab. Roskilde	Water chiller for process chilling of pharmaceutical laboratories	407 kW
Tele Danmark Odense	Water chiller for A/C of main telephone central	3 x 232 kW
Danish State Hospital Copenhagen	Brine (glycol) chiller for refrigeration & freezing of central kitchen facilities	52 kW
Magasin Department Store Aarhus	Water chiller for A/C	1.449 kW
Esbjerg City Hall Esbjerg	Water chiller for A/C	540 kW
County Data Odense	Water chillers for A/C	2 x 195 kW
Frederiksberg Hospital Copenhagen	Water chiller for A/C	322 kW
Esbjerg Hospital Esbjerg	Water chiller for A/C	2 x 554 kW
Esbjerg Hospital Esbjerg	Water chiller for A/C	868 kW
Panther Plast Vordingborg	Water chillers for proces chilling of plast moulding plant	2 x 602 kW

Printca Aalborg	Water chillers for process chilling in pharmaceutical industry	322 kW
ATP House Hillerød	Water chiller for EDP cooling and ventilation	180 kW
Berlingske Newspaper- Production Avedøre	Water chillers for A/C	2 x 919 kW
H. Lundbeck Pharmaceutical Valby	Water chiller for process chilling in pharmaceutical industry	994 kW
ATP House Hillerød	Water chiller for EDP cooling and ventilation	564 kW
Copenhagen Airport Kastrup	Water chiller for ventilation in luggage sorting	350 kW
Grundfos Bjerringbro	Containerized liquid chiller for test plant	25 kW
NeuroSerch A/S Ballerup	Water chiller for process chilling in pharmaceutical industry	400 kW
Technos Schou A/S Vamdrup	Brine chiller for process chilling at painting production	175 kW
Jyske Avistryk A/S Kolding	Water chiller for process chiller for printing machines	450 kW
P-Industri Bjæverskov	Water chiller for plastics industry	240 kW
Sophus Berendsen Søborg	Water chillers for ventilation	284 kW

## Appendix E: Bonus Chillers with HC-refrigerant, installed in Sweden 1996-1998

	<i>Installed</i>	<i>Refrigeration capacity</i>
Bäckhammars Bruk, Kristinehamn	1996	19 kW
Vasakronan Real estate, Norrköping	1996	2 x 260 kW
AG's Favör, Lund	1996	3 x 192 kW
AG's Favör, Lund	1996	2 x 50 kW
AG's Favör, Landskrona	1996	2 x 128 kW
AG's Favör, Landskrona	1996	25 kW
Ronneby Real Estate, Bräkne-Hoby	1996	2 x 250 kW
TA Hydronics, Göteborg	1996	66 kW
ABB Real Estate, Enköping	1996	60 kW
Pharmacia & Upjohn, Uppsala	1996	40 kW
The Birgitta Gymnasium, Örebro	1996	10 kW
Hällstugan Daycare center, Örebro	1996	38 kW
Melkers meat processing, Falun	1996	76 kW
Ljungby Hospital, Ljungby	1996	2 x 298 kW
Calor Gas, GB	1996	2 x 600 kW
NWT - Newspaper, Karlstad 298 kW	1996	2 x
SEAB Gävle, Gävle	1996	20 kW
Areng Spa, Italien	1996	3 kW
Binsell, Uppsala	1996	46 kW
AG's Favör, Helsingborg	1997	4 x 120 kW
AG's Favör, Helsingborg	1997	3 x 228 kW
Domus (COOP), Visby	1997	2 x 40 kW
Domus (COOP), Visby	1997	2 x 126 kW
ASSI Domän, Frövi	1997	95 kW
ASSI Domän, Frövi	1997	28 kW
Edbergs, Örebro	1997	38 kW
University of Luleå, Luleå	1997	82 kW
Akzo-Nobel, Ömsköldsvik	1997	91 kW
Volvo, Köping	1997	6 x 336 kW
Hällstugan Daycare center, Örebro	1997	38 kW
ASSI Domän, Frövi	1997	95 kW
ASSI Domän, Falun	1997	82 kW
ABB Atom, Västerås	1997	164 kW
Pastejköket, Tranås	1997	3 x 216 kW
SKV, Svängsta	1997	10 kW
County of Karlstad, Karlstad	1997	2 x 260 kW
Katedral gymnasium, Skara	1997	111 kW
IUC-Gymnasium, Katrineholm	1997	20 kW
Saluhallen, Uppsala	1997	82 kW
Saluhallen, Uppsala	1997	54 kW
ICA HQ, Västerås 190 kW	1997	
Volvo Aero, Arboga	1997	48 kW
Volvo Aero, Arboga	1997	95 kW

Hospital of Skellefteå, Skellefteå	1997		2 x 260 kW
Hospital of Skellefteå, Skellefteå	1997		2 x 56 kW
Hospital of Skellefteå, Skellefteå	1997		8 kW
Swedish Road Adm., Borlänge	1997		2 x 56 kW
ASSI Domän, Frövi	1997		41 kW
Ericsson, Ursviken	1997		2 x 190 kW
Swedish Army, Visby	1997		111 kW
County of Gävle, Bollnäs	1997		4 x 520 kW
County of Gävle, Bollnäs	1997		34 kW
TA Hydronics, Göteborg	1997		69 kW
Real Estate Company, Umeå	1997		2 x 96 kW
ASSI Domän, Frövi	1997		20 kW
Hospital of Lindsberg, Lindsberg	1997		20 kW
Hospital of Söderhamn, Söderhamn	1997		20 kW
Swedish Road Adm, Örebro	1997		170 kW
Electrolux, Holland	1997	5 kW	
University of Umeå, Umeå	1997		10 kW
Swedish Coast Artillery, Stockholm	1997		2 x 56 kW
Vombverket, Veberöd	1998		2 x 160 kW
Hospital of Linköping, Linköping	1998		2 x 86 kW
Swedish Radio, Luleå	1998		122 kW
Hospital of Sandviken, Sandviken	1998		34 kW
Country of Karlstad, Karlstad	1998		122 kW
Country of Karlstad, Karlstad	1998		90 kW
Umeå gymnasium, Umeå	1998		2 x 138 kW
ABB Atom, Västerås	1998		21 kW
House of Wasa, Örebro	1998		2 x 180 kW
Nestlé, Malmö	1998		78 kW
Unikum in Örebro, Örebro	1998		2 x 244 kW
Kv Sjövik, Stockholm	1998		122 kW
Country of Karlstad, Karlstad	1998		60 kW
ABB Atom, Västerås	1998		180 kW
Sparebanken, Köping	1998		2 x 206 kW
Kv Harren, Luleå	1998		122 kW
Expolaris, Skellefteå	1998		38 kW
University of Karlstad, Karlstad	1998		34 kW
University of Karlstad, Karlstad	1998		147 kW
Hospital of Ljungby, Ljungby	1998		147 kW
Vasakronan Real estate, Norrköping	1998		122 kW
TÜV-approval, Tyskland	1998		90 kW
Fire Brigade, Luleå	1998		33 kW
Sabroe + Sjøby, Danmark	1998		90 kW