

# Fremtidens remote-anlæg i supermarkeder

Kenneth B. Madsen og Svend V. Pedersen  
Teknologisk Institut

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

# Indhold

<b>1</b>	<b>INDLEDNING</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>ANLÆGSTYPER</b>	<b>11</b>
2.1	ANLÆGSTYPE 0: REFERENCEANLÆG	11
2.1.1	<i>Anlægsbeskrivelse</i>	11
2.2	ANLÆGSTYPE 1: PLUG-IN	12
2.2.1	<i>Anlægsbeskrivelse</i>	12
2.3	ANLÆGSTYPE 2: KONDENSERINGSUNIT	12
2.3.1	<i>Anlægsbeskrivelse</i>	12
2.4	ANLÆGSTYPE 3: BRINESYSTEMER MED DECENTRAL FROSTANLÆG	13
2.4.1	<i>Anlægsbeskrivelse</i>	13
2.5	ANLÆGSTYPE 4: BRINE/CO <sub>2</sub> KASKADESYSTEMER	13
2.5.1	<i>Anlægsbeskrivelse</i>	13
2.6	ANLÆGSTYPE 5: 40 BAR CO <sub>2</sub> ANLÆG PUMPECIRKULATION	14
2.6.1	<i>Anlægsbeskrivelse</i>	14
2.7	ANLÆGSTYPE 6: 60 BAR CO <sub>2</sub> -SYSTEMET	14
2.7.1	<i>Anlægsbeskrivelse</i>	14
2.8	ANLÆGSTYPE 7: CO <sub>2</sub> 130 BAR TRANSKRITISKE SYSTEMER	15
2.8.1	<i>Anlægsbeskrivelse</i>	15
<b>3</b>	<b>DRIFTSSIKKERHED</b>	<b>17</b>
3.1	KOMPONENT-TILGÆNGELIGHED	17
3.1.1	<i>Komponenter til brændbare kølemidler</i>	17
3.1.1.1	Fordampere	17
3.1.1.2	Kondensator	18
3.1.1.3	Kompressorer	18
3.1.1.4	Ventiler	18
3.1.1.5	Generelt	18
3.1.2	<i>Komponenter til CO<sub>2</sub> lavtryk &lt;40 bar</i>	18
3.1.2.1	Fordamper	18
3.1.2.2	Kondensator	18
3.1.2.3	Kompressor	19
3.1.2.4	Ventiler	19
3.1.2.5	Generelt	19
3.1.3	<i>Komponenter til CO<sub>2</sub> højtryk &gt;40 bar</i>	19
3.1.3.1	Fordamper	19
3.1.3.2	Kondensator	19
3.1.3.3	Kompressor	19
3.1.3.4	Ventiler	19
3.1.3.5	Generelt	20
3.2	RISIKOVURDERING	20
3.2.1	<i>Tab af fyldning</i>	21
3.2.2	<i>Vurdering af teknologierne</i>	21
3.3	SAMMENFATNING - DRIFTSSIKKERHED	22

<b>4</b>	<b>ENERGI- OG MILJØANALYSE</b>	<b>25</b>
4.1	NØGLEDATA TIL SIMULERING	25
4.1.1	<i>Belastningsprofil</i>	25
4.1.2	<i>Udetemperatur</i>	26
4.2	ENERGIFORBRUG	27
4.3	TEWI	28
4.4	SAMMENFATNING - ENERGI OG MILJØANALYSE	31
<b>5</b>	<b>ØKONOMI</b>	<b>33</b>
5.1	BESKRIVELSE AF PRISBEREGNINGSPROGRAM	33
5.1.1	<i>Beregning af kuldeydelse</i>	33
5.1.2	<i>Beregning af pris på plug-in møbel</i>	33
5.1.3	<i>Beregning af pris og kuldeydelse på møbel</i>	34
5.1.4	<i>Beregning af pris og kuldeydelse på kølerum</i>	34
5.1.5	<i>Beregning af kølemiddel, mængde og pris</i>	34
5.1.6	<i>Beregning af pris for receiver</i>	34
5.1.7	<i>Beregning af pris på kondensator</i>	34
5.1.8	<i>Beregning af prisen for kompressorer</i>	34
5.1.9	<i>Beregning af brinepumpe</i>	34
5.1.10	<i>Beregning af pris på kondenseringsunit</i>	34
5.1.11	<i>Beregning af pris på kølemiddepumpe til CO<sub>2</sub></i>	35
5.1.12	<i>Beregning af installationspris</i>	35
5.1.13	<i>Beregning af pris på pladeveksler til brine</i>	35
5.1.14	<i>Beregning af pris på kaskadeveksler</i>	35
5.1.15	<i>Beregning af årligt energiforbrug for de forskellige anlægstyper</i>	35
5.1.16	<i>Beregning af udgifter til service samt efterfyldning af kølemiddel</i>	35
5.1.17	<i>Beregning af nutidsværdi af investeringen samt af de fremtidige udgifter</i>	35
5.1.18	<i>Beregning af TEWI</i>	36
5.2	EKSEMPLER	36
5.2.1	<i>Eksempel 1: Kiosk</i>	37
5.2.2	<i>Eksempel 2: Lille dagligvarebutik 1</i>	38
5.2.3	<i>Eksempel 3: Lille dagligvarebutik 2</i>	39
5.2.4	<i>Eksempel 4: Mellemstor dagligvarebutik</i>	40
5.2.5	<i>Eksempel 5: Stor dagligvarebutik</i>	41
5.3	SAMMENFATNING - ØKONOMI OG EKSEMPLER	42
<b>6</b>	<b>PERSONSIKKERHED</b>	<b>45</b>
6.1	PERSONSIKKERHED – CO <sub>2</sub>	45
6.2	PERSONSIKKERHED - KULBRINTER	45
6.2.1	<i>Opstilling af anlægget</i>	46
6.2.2	<i>Konstruktion</i>	46
6.2.3	<i>Servicering</i>	46
6.2.4	<i>Lovgivning og standarder</i>	47
6.3	KRAV TIL INSTALLATIONER IFØLGE LOVGIVNINGEN	48
6.4	KONKLUSION PÅ LOVGIVNINGSSIDEN	49
6.5	KRAV TIL INSTALLATIONER IFØLGE STANDARDER	49
6.6	OPSTILLINGSSTED OG ANLÆGSTYPE	50
<b>7</b>	<b>KONKLUSION</b>	<b>53</b>
<b>8</b>	<b>FLOWCHART</b>	<b>55</b>
<b>9</b>	<b>BILAGSLISTE</b>	<b>57</b>
<b>10</b>	<b>REFERENCELISTE</b>	<b>59</b>

# Forord

Denne vejledning er udarbejdet af FEHA (Foreningen af Fabrikanter og Importører af Elektriske Husholdningsapparater) i samarbejde med Teknologisk Institut. Vejledningen er udarbejdet i løbet af sidste halvår 2002 og 2003 med inddragelse af importører, grossister, producenter og anlægsbyggere. Der er i forbindelse med projektet lavet en workshop for at indsamle ideer til områder, der ønskes behandlet. Resultaterne vil være tilgængelige på Miljøstyrelsens hjemmeside i form af en rapport til udvælgelse af kølesystemer i detailhandlen samt i form af et beregningsprogram.

Projektet er igangsat i lyset af bekendtgørelsen, der angiver en udfasningsdato for HFC-kølemidler samt en maksimal grænse for fyldning ved fortsat anvendelse. Dette vil medføre et skift i den måde, der bygges anlæg til detailhandlen. Omvæltningen vil være størst ved større anlæg, men det vurderes, at alle anlægstyper vil blive berørt heraf.

I denne forbindelse står den danske kølebranche over for et teknologiskifte af enorme dimensioner. Branchen har før været udsat for lignende omvæltninger, men ikke så store omvæltninger, som den branchen står over for denne gang. Kravet til udfasning af HFC-køle midler på nye anlæg med fyldninger på mere end 10 kg vil give anledning til, at der vil ske store forandringer i anlægsudformningen.

Formålet med denne rapport er at hjælpe anlægsbyggere og anlægsejere med at vælge den mest hensigtsmæssige anlægstype i hvert enkelt tilfælde. Til rapporten er der lavet en softwarepakke, der kan regne energiforbruget ud på de enkelte anlægstyper samt beregne et prisindeks for de i rapporten valgte anlægstyper. Rapporten omfatter bl.a. også en risikovurdering af de enkelte anlægstyper, hvori risikoforholdene er beskrevet.

Rapporten er opbygget af 6 afsnit samt en konklusion, der behandler forskellige aspekter. Det er forsøgt at samle de vigtige informationer i konklusionen.



# Sammenfatning og konklusioner

Rapporten behandler 7 forskellige anlægsløsninger til datailhandlen. Anlægstyperne dækker hele området fra små kondenseringsunits og plug-in units til store køleanlæg i varehuse.

Rapporten behandler følgende emner: driftssikkerhed, energi og miljø, økonomi, personsikkerhed samt hvilke barrierer, der eventuelt er i lovgivningen.

Konklusionen på rapporten er, at det i dag er muligt at bygge alle 7 anlægstyper. Ved enkelte anlægstyper vil det dog ikke være muligt at få samme høje driftssikkerhed som ved konventionelle anlæg. Det er dog kun et spørgsmål om 1-2 år, før driftssikkerheden vil være på samme niveau. Det er ikke alle komponenter, der er tilgængelige som lagervarer, men en høj driftssikkerhed kan sikres, ved at lægge komponenter på lager - f.eks. hos leverandøren.

Der er også set på energiforbruget. I dag er det muligt at finde en løsning, der har et energiforbrug, der er det samme eller mindre end ved et konventionelt anlæg. Der er dog også typer af anlæg, som umiddelbart har et højere energiforbrug end tilsvarende konventionelle anlæg. Der kan imidlertid også være andre overvejelser, der gør, at valget falder på en af disse anlægstyper. Generelt set er anlægstyperne med naturlige kølemidler meget mindre miljøbelastende end køleanlæg med HFC.

I løbet af projektet blev der foretaget en økonomisk analyse af de forskellige systemer. Der er set på investeringsomkostninger samt levetidsomkostninger. Analysen viser, at det er billigst at anskaffe et system bestående af kondenseringsunits (op til 50-100 kW), men det høje energiforbrug gør, at anlægget efter 2 år har været lige så dyrt som de billigste af de andre anlægstyper - set ud fra levetidsomkostningerne. Derudover ser det ud til, at levetidsomkostningerne for et transkritisk CO<sub>2</sub>-system og for et CO<sub>2</sub>-pumpecirkulationssystem er lavest.

Personsikkerheden for alle anlægstyperne er generelt i orden. Enkelte af anlægstyperne kører med meget højere tryk, end det kendes fra konventionelle kølesystemer. Det er dog ikke ensbetydende med, at anlæggene er farligere, da der er dimensioneret efter standarder, der tager højde for det høje tryk. For kulbrinter gælder også, at hvis anlægget er dimensioneret korrekt, og hvis de indledende analyser er udført korrekt, så er risikoen ved disse anlægstyper ikke større end for anlæg med HFC-kølemidler. Der er i rapporten lavet en oversigt over de standarder, der skal opfyldes i forbindelse med brændbare kølemidler og for CO<sub>2</sub> og HFC-kølemidler.

# Summary and conclusions

This report deals with 7 different system designs for the retail trade. The systems cover the entire range from small condensation units and plug-in units to large refrigeration systems in supermarkets.

The report comprises the following items: reliability, energy and environment, economy, personnel safety as well as which barriers might exist with regard to legislation.

The conclusion of the report is that it today is possible to construct all 7 different types of systems. However, in connection with some of the systems it will not be possible to obtain the same high reliability as for conventional systems. However, in 1-2 years reliability will be at the same level. Not all components are available as stock goods but a high degree of reliability can be ensured by keeping the components in stock - e.g. at the supplier's.

Energy consumption has also been investigated. Today, it is possible to find a solution that has corresponding or smaller energy consumption than a conventional system. However, some systems immediately have higher energy consumption than corresponding conventional systems. Other considerations might also influence the choice of a particular system. In general, the systems with natural refrigerants have a much smaller impact on the environment than refrigeration systems with HFC.

In the course of the project, a financial analysis of the different system designs was carried out. Investment costs and life cycle costs were investigated. The analysis shows that it is cheapest to purchase a system consisting of condensation units (up to 50-100 kW) but due to the high energy consumption it has been proven that the system after 2 years had been just as expensive as the cheapest system – based on life cycle costs. In addition, it appears that the life cycle costs for a transcritical CO<sub>2</sub> system and for a CO<sub>2</sub> pump circulation system are lowest.

In general, personnel safety is effective for all types of systems. Some of the systems operate with a much higher pressure than what is known from conventional refrigeration systems. However, that does not mean that the systems are more dangerous as they have been dimensioned according to standards that take the high pressure into account. In connection with hydrocarbons it appears that if the system has been correctly dimensioned and if the preliminary analyses have been carried out correctly, then the risk connected with such system types is no larger than with systems with HFC refrigerants. In the report an outline has been prepared of the standards that have to be fulfilled in connection with flammable refrigerants and for CO<sub>2</sub> and HFC refrigerants.



# 1 Indledning

Rapporten er opbygget som en vejledning til anlægsejere, beslutningstagere og anlægsbyggere. I rapporten er 7 forskellige anlægstyper samt et referenceanlæg blevet undersøgt.

Rapporten har 7 afsnit, hvor det første giver en introduktion til de forskellige anlægstyper. I de efterfølgende afsnit vurderes de 7 anlæg mod referenceanlægget i forhold til emner som driftssikkerhed, energi og miljø, økonomi, personsikkerhed samt hvilke barrierer, der eventuelt er i lovgivningen.

Konklusionerne fra de foregående afsnit samles til sidst i en kortfattet konklusion, som giver forskellige bud på, hvilke anlægstyper, der kan bruges i forskellige tilfælde.

I denne rapport har det ikke været muligt at tage alle forhold med i overvejelserne. Derfor er der sammen med rapporten udviklet et værktøj, der kan beregne konsekvenserne ved at vælge andre parametre end de i rapporten anvendte.

I det efterfølgende afsnit vil der blive givet en introduktion til de 7 udvalgte anlægsløsninger. Udvælgelsen er sket på baggrund af de anlægstyper, der er blevet diskuteret på workshoppen.



## 2 Anlægstyper

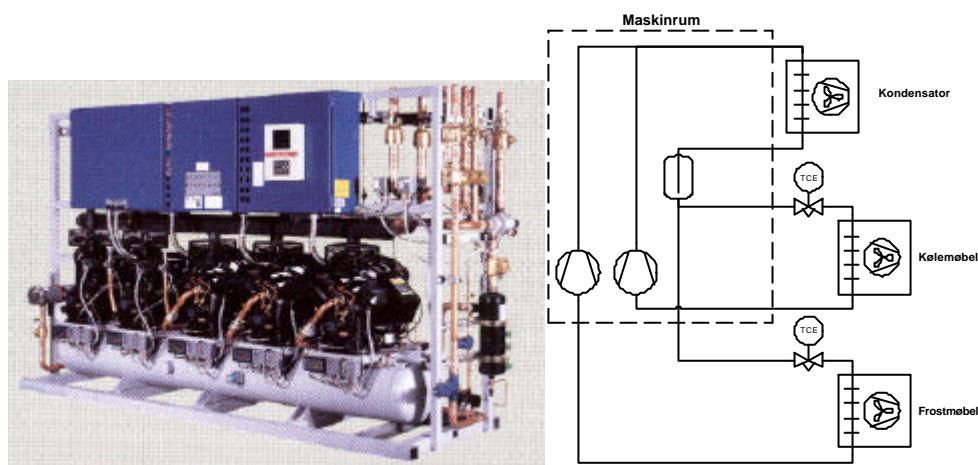
Dette afsnit forsøger at begrunde valget af netop disse 7 anlægstyper. Udvælgelsen er sket ud fra de i bilag 3 viste anlægstyper. Anlægstyperne er udvalgt på baggrund af den første workshop. Anlægsløsningerne bliver præsenteret med en systemskitse samt en kort beskrivelse.

Anlægstyper er vurderet ud fra følgende kriterier:

- Energiforbrug
- Økonomi (driftsøkonomi og anskaffelse)
- Driftssikkerhed
- Personsikkerhed
- Teknologisk stade.

Hovedvægten i udvælgelsen er lagt på, at det skal være muligt at bygge anlægstypen med mindre end 10 kg HFC-kølemiddel eller helt at undgå HFC-kølemidler i anlægget. Dette valg begrundes i bekendtgørelsen. Referenceanlægget (anlæg 0) bruges ved sammenligning af TEWI, energiforbrug samt de forskellige prisindekser. Anlægstyperne er valgt, så de dækker et bredt udvalg af anlæg fra kiosker og tankstationer til store supermarkeder.

### 2.1 Anlægstype 0: Referenceanlæg



Figur 1: Parallelanlæg med fælles kondensator

#### 2.1.1 Anlægsbeskrivelse

Opbygget som to separate køle-/frostkredse med fælles kondensator. Ekspansionen sker direkte i møblerne, mens den øvrige del af anlægget er placeret i et maskinrum. Der anvendes ofte flere kompressorer i parallel. Anlægstypen er i dag den mest anvendte på supermarkedsanlæg. Anvendelsesområdet er fra ca. 15 kW op til 200-300 kW total køleydelse. Anvendelsen af denne type systemer vil efter 2006 blive begrænset af 10 kg grænsen til vedligehold af eksisterende systemer.

## 2.2 Anlægstype 1: Plug-in

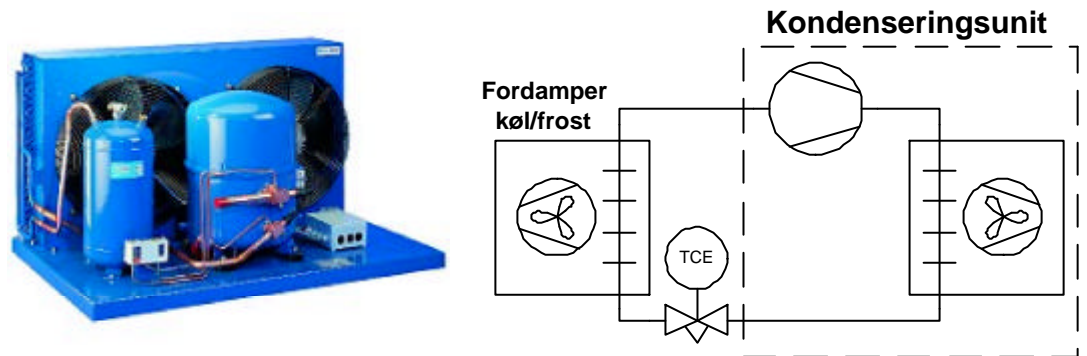


Figur 2: Eksempler på plug-in units

### 2.2.1 Anlægsbeskrivelse

Kompakt enhed med kompressor, fordampner og kondensator integreret i samme kabinet. Enhederne findes i forskellige udformninger, som ofte er udformet efter, hvilket produkt, der sælges. Enhederne er ofte billige at producere, hvilket påvirker energiforbruget i negativ retning. Den største andel af denne type apparater anvender HFC-kølemidler, men HC er også en mulighed, der anvendes specielt på mindre apparater. I fremtiden vil denne type apparater kunne bygges med CO<sub>2</sub> som kølemiddel.

## 2.3 Anlægstype 2: Kondenseringsunit

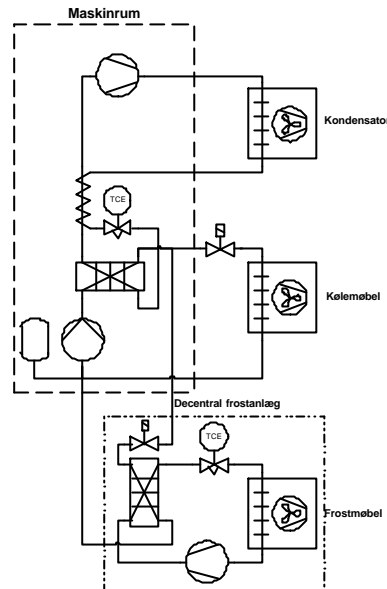


Figur 3: Kondenseringsunit udedel med kompressor og kondensator

### 2.3.1 Anlægsbeskrivelse

Ved et direkte system forstås et system, hvor der er direkte ekspansion af kølemiddel i kølemøblet eller i kølerummet, mens kompressoraggregatet er placeret væk fra kølestedet. Denne type anlæg vil efter den nye bekendtgørelse blive begrænset af fyldningsgrænsen på 10 kg. Det vil bevirke, at anvendelsen begrænses til split- eller kondenseringsunits. Denne type anlæg er kendetegnet ved, at kompressor og kondensator er sammenbygget fra fabrikken. Kølestedet og rørtrækket monteres på stedet.

## 2.4 Anlægstype 3: Brinesystemer med decentral frostanlæg

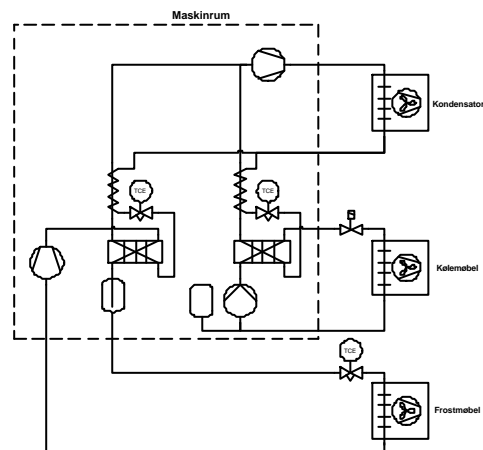


Figur 4: HC-højtemperatur-del med brine til køl, samt brinekølet plug-in hybrid til frost

### 2.4.1 Anlægsbeskrivelse

Kaskadesystem med HC eller HFC på højtemperatur-kredsen, der køler en brinekreds. Kondensatoren på frostmøblerne køles af brinekredsen. Brinekøleren bygges som en kompakt unit, der er placeret i et maskinrum. Brinen føres ind i salgsløket, hvor det anvendes direkte i kølemøblerne. Frostmøblerne er opbygget, som det kendes fra plug-in møbler, dog køles kondensatoren i stedet for luft. Herved fjernes kondensatorvarmen fra salgsløket samtidig med, at kølemiddelfyldningen minimeres.

## 2.5 Anlægstype 4: Brine/CO<sub>2</sub> kaskadesystemer

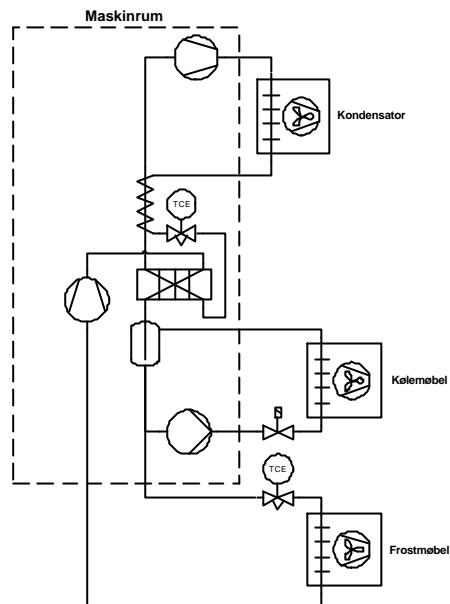


Figur 5: Kaskadesystem med brine, frostkaskade med brinekredsen

### 2.5.1 Anlægsbeskrivelse

System med HFC- eller kulbrinte anlæg på højtemperatur samt et CO<sub>2</sub> kaskadeanlæg til frost. Kølen forsynes via en brinekreds, der også køles af højtemperatur-anlægget.

## 2.6 Anlægstype 5: 40 bar CO<sub>2</sub> anlæg pumpecirkulation

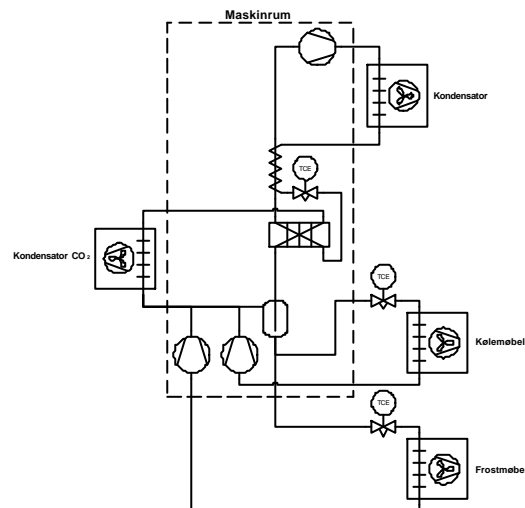


Figur 6: CO<sub>2</sub> kaskadeanlæg med pumpecirkulation på køl

### 2.6.1 Anlægsbeskrivelse

Systemet er opbygget som et kaskadesystem med CO<sub>2</sub> direkte ekspansion på frost og pumpecirkulation på køl. Det maksimale driftstryk på CO<sub>2</sub> kredsen er 30-40 bar. På køledelen køres fordampere som oversvømmede, hvilket giver bedre udnyttelse af fordampere.

## 2.7 Anlægstype 6: 60 bar CO<sub>2</sub>-systemet



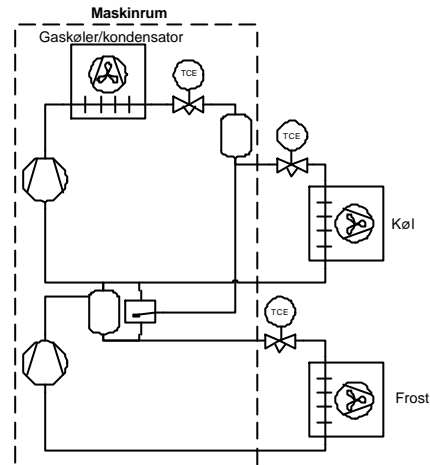
Figur 7: 60 bar CO<sub>2</sub> anlæg med kaskade til højtemperatur-del, som kan tilsluttes AC

### 2.7.1 Anlægsbeskrivelse

Anlægget består af to dele. En CO<sub>2</sub> del, som køler frost- og kølemøblerne i butikken samt et højtemperatur-trin, der køler kaskadeveksleren. Lavtemperatur--delen er opbygget som et konventionelt parallel- eller boosteranlæg.

Der kondenseres op mod udeluften i perioder, hvor det er muligt (maksimum kondenseringstryk 60 bar). I perioden, hvor dette ikke er muligt, fjernes overhedningen med en luftkøler, hvorefter der kondenseres op mod højtemperaturtrinnet, der også servicerer AC-systemet. Der er god samtidighed med 60 bar kondensering og behovet for AC.

## 2.8 Anlægstype 7: CO<sub>2</sub> 130 bar transkritiske systemer



Figur 8: CO<sub>2</sub> transkritisk anlæg

### 2.8.1 Anlægsbeskrivelse

Anlægget anvender udelukkende CO<sub>2</sub> som kølemiddel. Da CO<sub>2</sub> ikke kan kondensere ved temperaturer over 31°C kører processen i perioder transkritisk, hvilket medfører, at trykket kan komme op på 130 bar på højtryksdelen. Anlægget kan konstrueres, så trykket ikke kommer over 75 bar i de dele, der er inde i butikken.

Total køleydelse, kølemøbler, gondoler og rum	Anlægstype og ny typebetegnelse
<p>Små anlæg (&lt; 10 kW)</p> <p>Kiosker, tankstationer og mindre supermarkeder</p>	<p>Anlæg 1: Plug-in</p> <p>Anlæg 2: Kondenseringsunit</p> <p>Anlæg 3: Brinesystem med decentral frostanlæg</p> <p>Anlæg 7: CO<sub>2</sub> 130 bar transkritisk</p>
<p>Mellemstore anlæg (&lt; 40 kW)</p> <p>Lille supermarked</p>	<p>Anlæg 0: Parallelanlæg (Referenceanlæg)</p> <p>Anlæg 3: Brinesystem med decentral frostanlæg</p> <p>Anlæg 4: Brine/CO<sub>2</sub> kaskadesystem</p> <p>Anlæg 5: 40 bar CO<sub>2</sub> anlæg med pumpecirkulation</p> <p>Anlæg 7: CO<sub>2</sub> 130 bar transkritisk</p>
<p>Store anlæg (&gt;40 kW)</p> <p>Stort supermarked</p>	<p>Anlæg 0: Parallelanlæg (Referenceanlæg)</p> <p>Anlæg 5: 40 bar CO<sub>2</sub> anlæg med pumpecirkulation</p> <p>Anlæg 6: 60 bar CO<sub>2</sub> system</p> <p>Anlæg 7: CO<sub>2</sub> 130 bar transkritisk</p>

Tabel 1: Gruppering af anlægstyper. Referenceanlægget, som er et parallelanlæg med fælles kondensator, betegnes som anlæg 0

De valgte systemløsninger er vurderet inden for følgende fem parametre: energi og miljø, økonomi, personsikkerhed, driftssikkerhed og teknologisk stade. Sammenligningerne vil danne baggrund for flowchartet og EDB- programmet til udvælgelse af, hvilke systemer, der skal vælges til en given butik og et givet opstillingssted.



## 3 Driftssikkerhed

Driftssikkerheden defineres ud fra to parametre:

- Komponent-tilgængelighed. Kan komponenterne skaffes efter et evt. nedbrud
- Teknologisk stade. Hvor moden er teknologien?

Driftssikkerheden er en vigtig parameter, der skal overvejes, før et nyt anlæg anskaffes, specielt hvis teknologien, der anvendes, er ny. Hvis der er lavet en analyse af f.eks. komponent-tilgængeligheden, er det muligt at have eventuelle kritiske komponenter på lager, så en lang leveringstid og dermed store økonomiske tab undgås.

Der er i det følgende afsnit lavet en vurdering af alle 7 anlægstyper, og resultatet er samlet i en tabel sidst i afsnittet.

I de efterfølgende afsnit vil der være en gennemgang af komponent-tilgængeligheden specielt til CO<sub>2</sub> og kulbrinter samt et afsnit, hvor anlægstypernes driftssikkerhed vurderes.

### 3.1 Komponent-tilgængelighed

Generelt kan alle komponenter skaffes til alle de nævnte anlægstyper. Der kan dog forekomme lange leveringstider. Komponenterne kan deles i tre grupper: komponenter til brændbare kølemidler, komponenter til CO<sub>2</sub>-lavtryk (<40 bar) samt komponenter til CO<sub>2</sub>-højtryk (>40 bar). Komponenter til HFC-kølemidler er ikke medtaget i undersøgelsen, da de er tilgængelige, og branchen er bekendt med leveringstider m.m.

#### 3.1.1 Komponenter til brændbare kølemidler

Markedet for komponenter til HC-kølemidler har til dato ikke været ret stort. Det ser dog ud til, at udfasningen af HFC-kølemidler vil være med til at øge volumen af denne type komponenter og dermed øge leveringsikkerheden<sup>1</sup>. I de efterfølgende afsnit vil der blive givet en kort beskrivelse af komponentsituationen for de forskellige komponenttyper.

##### 3.1.1.1 Fordampere

Da anlæg med kulbrinter ofte anvendes til køling af pladevekslere eller andre former for kaskadevekslere, er der generelt ikke problemer med at skaffe fordampere. Pladevekslere til kulbrinter er af samme type, som der anvendes til HFC-kølemidler og er i mange tilfælde lagervare hos producenten eller grossisten.

---

<sup>1</sup> Leveringsikkerheden er defineret som sikkerheden for, at en komponent er tilgængelig inden for et rimeligt tidsrum, så vareskader minimeres og økonomiske tab undgås.

### 3.1.1.2 *Kondensator*

Som kondensator anvendes normalt enten luftkølede lamelkølere eller pladevekslere. Hvis der anvendes pladevekslere, kan der laves anlæg med meget stor kapacitet med en meget lille fyldning, og der kan anvendes standardpladevekslere. Ved luftkølede kondensatorer er der begrænsninger på fyldningen.

Denne grænse vurderes at blive et problem ved anlæg med en kapacitet på ca. 50-75 kW. For at omgå denne grænse, kan systemet opdeles i flere kredse, som er selvstændige og uafhængige af hinanden. Generelt er luftkølede kondensatorer ikke en lagervare, og de skal fremstilles specielt. Der kan dog anvendes almindelige standardkondensatorer ved enkelte opstillingsformer.

### 3.1.1.3 *Kompressorer*

Generelt er kompressorer til kulbrinter ikke en lagervare, men de fremstilles efter ordre, hvilket gør, at leveringstiden bliver længere. Da producenterne opfatter denne type kompressorer som en prototype, bærer installatøren garantiforpligtelsen.

### 3.1.1.4 *Ventiler*

Danfoss har, som de første, haft ventiler til kulbrinter på programmet siden efteråret 2001, og siden da har stort set alle producenter fulgt trop. Leveringstiden på disse komponenter er dog stadig væsentlig længere end for tilsvarende komponenter til HFC-kølemidler.

### 3.1.1.5 *Generelt*

Det vurderes, at med et stigende marked for denne type komponenter vil leveringstiden blive kortere. Indtil markedet har en så stor volumen, at komponenterne bliver lagervarer, kan det være nødvendigt, at leverandøren har eget komponentlager.

## 3.1.2 **Komponenter til CO<sub>2</sub> lavtryk <40 bar**

I det efterfølgende afsnit vil der blive givet en kort beskrivelse af, hvilke komponenter, der kan være problemer med, og hvilke, der kan skaffes fra dag til dag.

### 3.1.2.1 *Fordampere*

Generelt er de fordampere, der anvendes til CO<sub>2</sub>, specielt fremstillet pga. det høje tryk, og derfor er de ikke en lagervare. Da efterspørgslen ikke er særlig stor på europæisk plan, er der ikke udsigt til, at det bliver en hyldevare, med mindre grossister eller kølemontører selv laver et lager. På frostfordampere kan der evt. anvendes standardfordampere, men løsningen er ofte ikke optimal, da der ofte ønskes fordampere med et andet design.

### 3.1.2.2 *Kondensator*

Kondensatoren i et 40 bars CO<sub>2</sub>-anlæg udgøres ofte af en pladeveksler eller lignende. Da pladevekslere til 40 bar er standard, vil leveringstiden på denne komponent ikke give anledning til problemer.

### 3.1.2.3 *Kompressor*

Kompressorerne er på nuværende tidspunkt ikke et standardprodukt hos producenterne. Der er dog enkelte grossister, der lagerfører et relativt lille program. Derfor kan leveringssituationen for denne komponent også være et problem.

### 3.1.2.4 *Ventiler*

Ventiler til CO<sub>2</sub> er en af de komponenter, hvor leveringssituationen er god. Det har været relativt nemt for producenterne at konvertere ventiler fra R410a. Ventilerne til HFC-kølemidler kan dog ikke anvendes direkte, da der kan opstå problemer med pakningsmaterialer m.m.

### 3.1.2.5 *Generelt*

Udbudet af komponenter til CO<sub>2</sub> 40 bar er i kraftig vækst. I dag kan der stort set bygges anlæg til 40 bar uden problemer. Alle komponenter er tilgængelige inklusiv receivere m.m. Der må dog påregnes længere leveringstid end for komponenter til konventionelle kølemidler. Markedet er i kraftig udvikling, og det vurderes derfor, at leveringstiderne vil blive reduceret kraftigt i den kommende tid.

## 3.1.3 **Komponenter til CO<sub>2</sub> højtryk >40 bar**

Transkritisk CO<sub>2</sub> har været anvendt siden ca. år 1900. Processen er dog blevet udkonkurreret af syntetiske kølemidler, da disse har været lettere at anvende. Det bevirker, at komponentsituationen til dette trykområde helt er forsvundet. Der er dog igen ved at komme interesse for denne proces, da den rummer nogle nye muligheder i forhold til udskift af HFC-anlæg.

### 3.1.3.1 *Fordamper*

Der kan ofte anvendes fordampere til 40 bar, da trykket i systemet ikke kommer over dette tryk. Der kan dog være enkelte applikationer, hvor det vil være fordelagtigt med højere tryk. Fordampere til højere tryk kan også fremstilles specielt, men er ikke en lagervare.

### 3.1.3.2 *Kondensator*

Der kan anvendes specielt producerede luftkølede gaskølere eller koaksial-vekslere med en vandkreds. Teknologien er tilgængelig, men der er tale om specielle komponenter, hvor volumenet er meget lavt, og derfor er prisen p.t. betydelig højere end for tilsvarende komponenter til kulbrinter eller HFC-kølemidler.

### 3.1.3.3 *Kompressor*

Der findes efterhånden flere kompressorer til 130-150 bar. Der har i de seneste år været fokus på dette område fra flere af kompressorproducenterne. Dorin har haft kompressorer som prototyper i drift i en kortere årrække, og de har haft supermarkeder i drift siden 2002 uden at opleve nævneværdige problemer med kompressorer. Udviklingen på området er drevet af bilindustrien. Derfor er der bl.a. begyndt at komme kompressorer til AC i busser, som også kan anvendes til dette formål.

### 3.1.3.4 *Ventiler*








I dele af anlægget kan standardventiler anvendes. Komponenter er dog ikke kommercielt tilgængelige. Udviklingen på området går hurtigt.

### 3.1.3.5 Generelt

Komponenter til det høje tryk findes ikke i det normale sortiment hos kølegrossisterne. Derfor er det på nuværende tidspunkt nødvendigt at søge inden for andre brancher for at finde egnede komponenter. Det er muligt at bygge denne type anlæg i dag, men der må dog påregnes en længere leveringstid og en højere pris. Inden for det sidste år er der kommet produkter på markedet, som anvender denne teknologi, og de er konkurrencedygtige på pris. Det vil dog stadig være svært for den enkelte montør selv at bygge anlæg af denne type, da viden om opbygning og styring af denne anlægstype ikke er særlig udbredt endnu.

I det efterfølgende afsnit vil driftssikkerheden og den teknologiske stadi af de enkelte anlægstyper blive vurderet. Nogle af anlægstyperne er der kun meget begrænset erfaring med og enkelte ingen erfaring, hvilket derfor er en vigtig parameter ved valg af anlægstype.

I nedenstående tabel er der lavet en vurdering af driftssikkerheden på samtlige anlægstyper. Tabellen tager udgangspunkt i, at der anvendes HC-kølemidler i de anlægstyper, hvor det er muligt, og ikke HFC selv om det ville være muligt.

	Samlet
Plug-in (1)	
Kondenseringsunit (2)	
Brinesystem med decentral frost (3)	
Brine/CO <sub>2</sub> -kaskadesystem (4)	
40 bar CO <sub>2</sub> med pumpecirkulation (5)	
60 bar CO <sub>2</sub> system (6)	
CO <sub>2</sub> 130 bar transkritisk (7)	

Tabel 2: Opsummering af komponentsituationen for de enkelte anlægstyper

## 3.2 Risikovurdering

I risikovurderingen vil der blive set på den økonomiske risiko ved de forskellige anlægstyper. Risiko er i denne sammenhæng defineret som risikoen for økonomiske tab i form af tabt kølemiddel og risikoen ved at anvende en ny teknologi, som for mange brugere ikke er kendt. Der vil bl.a. blive taget udgangspunkt i analysen af komponent-tilgængelighed samt en vurdering af teknologien generelt. Der vil også blive set på risikoen for tab af fyldning, som er en væsentlig risiko for butiksejeren.

### 3.2.1 Tab af fyldning

Risikoen for tab af en del af fyldningen er en reel risiko for anlægsejeren efter garantiperiodens udløb. Økonomisk er det en stor risiko for anlægsejeren, da en ny fyldning kan løbe op flere hundrede tusinde kroner på konventionelle anlægstyper, da afgifterne på HFC-kølemidler øger prisniveauet betydeligt. Denne risiko elimineres næsten ved anlægstyperne 3-7, da de giver muligheden for at anvende naturlige kølemidler. Prisen for de naturlige kølemidler CO<sub>2</sub> og propan udgør ca. 20-30% af prisen for R404a inkl. afgift. Samtidig er fyldningen typisk delt op i to eller flere kredse, hvilket giver mindre risiko for, at hele fyldningen slipper ud.

Tab af fyldning på plug-in apparater (anlægstype 1) er meget sjælden og udgør ikke en særlig stor udgift. Derfor vil det ikke blive behandlet nærmere i dette afsnit.

For anlægstyperne 3-6 er der krav om kontinuerlig nedkøling af CO<sub>2</sub>-kredsen for at sikre, at trykket ikke overstiger aflæsningstrykket for sikkerhedsventilen. Det kunne bl.a. blive aktuelt i forbindelse med en strømafbrydelse, hvor det ikke vil være muligt at køle CO<sub>2</sub>-kredsen. Det vurderes dog, at der kun i sjældne tilfælde vil blive tale om et tab af hele fyldningen, da varmeindfaldet til systemet også vil blive reduceret. Økonomisk udgør prisen for en ny fyldning heller ikke så stor en risiko, som hvis det havde været HFC-kølemiddel.

På højtemperatur-trinnet kan der bl.a. anvendes propan eller et HFC-køle middel. Den økonomiske risiko for tab af hele fyldningen på denne kreds er relativt begrænset, da det kun kan ske ved et uheld eller et knækket rør. Da denne del ofte er meget kompakt, nedsættes risikoen betragteligt, og da fyldningen også er relativ lille, udgør den ikke den store økonomiske risiko.

For CO<sub>2</sub> 130 bar transkritiske systemer (anlægstype 7) består fyldningen udelukkende af CO<sub>2</sub>. En del af fyldningen er placeret i beholdere, der som for anlægstyperne 3-6 kræver køling. Derfor vil man have samme risiko ved strømafbrydelser som for de øvrige anlægstyper. Det er dog utænkligt, at hele fyldningen blæses af.

### 3.2.2 Vurdering af teknologierne

Anlægstyperne 1 og 2 er gammelkendte anlægstyper, som har været anvendt i mange år og derfor kendes særdeles godt. Derfor vil disse anlægstyper ikke blive behandlet yderligere i dette afsnit.

Generelt har anlægstyperne 3-7 ikke været tilgængelige i mere en nogle få år. Der har dog været lavet demonstrationsanlæg med alle anlægstyperne med undtagelse af brinesystemer med decentral frostanlæg (anlægstype 3) og 60 bar CO<sub>2</sub> systemer (anlægstype 6).

Fælles for anlægstyperne 3 og 4 er, at der anvendes en brinekreds til køling af +5°C kølestederne. Til frost anvendes der henholdsvis et decentralt eller et centralt frostanlæg, som køles indirekte eller direkte af et højtemperatur HC- eller HFC-køleanlæg. CO<sub>2</sub>-køleanlæg har været anvendt i industrikøleanlæg i flere år, og er derfor en teknologi, der er gennemtestet i andre applikationer. Der har siden 1999 været lavet to demonstrationsprojekter, hvor brine/CO<sub>2</sub>-kaskadesystemer (anlægstype 4) er anvendt i to supermarkeder med gode resultater. Brinesystemer med decentral frostanlæg (anlægstype 3) har derimod ikke været anvendt i praksis. Anlægstypen indeholder dog kun principper, der er kendt fra andre anlægstyper, og det vurderes derfor, at anlægstypen kan bygges uden nævneværdige problemer.

40 bar CO<sub>2</sub>-anlæg pumpecirkulation (anlægstype 5) består af en CO<sub>2</sub>-kreds med pumpecirkulation på køl og direkte ekspansion på frost. CO<sub>2</sub>-kredsen køles af et højtemperatur-køleanlæg. Der er bygget flere anlæg af denne type i Danmark, hvor der anvendes HFC eller propan på højtemperatur-køleanlægget.

60 bar CO<sub>2</sub>-systemet (anlægstype 6) er endnu ikke blevet bygget i praksis, da komponenterne til denne løsning ikke er kommercielt tilgængelige. Komponenterne kan hentes i andre brancher, hvor prisniveauet er væsentligt højere. Princippet minder i sin opbygning meget om et konventionelt R404a parallelanlæg med et højtemperatur-trin. Anlægstypen vurderes at være anvendelig specielt i kombination med anlæg, der også anvendes til airconditionering.

CO<sub>2</sub> 130 bar transkritiske systemer (anlægstype 7) har været anvendt i praksis siden 2002 i 2 demonstrationsanlæg i Italien og i Danmark. Producenten oplyser, at anlæggene har været i drift i ca. 1 år uden problemer af væsentlig karakter. Opbygningen af anlægget kan laves meget simpelt, hvilket bevirker, at prisen på sigt også vil komme ned.

Generelt kan der opstå problemer med levering af komponenter som bl.a. kompressorer, kondensatorer og fordampere til CO<sub>2</sub> og propan. Risikoen kan dog fjernes ved, at grossisten eller producenten garanterer leveringstid eller et mindre lager. Generelt bør leveringssituationen for komponenter til anlægget overvejes før anskaffelse.

### 3.3 Sammenfatning - driftssikkerhed








Generelt kan alle komponenter til brændbare kølemidler og CO<sub>2</sub> op til 40 bar købes uden de store problemer. Leveringstiden på komponenter kan dog give problemer. Derfor tilrådes det, at lave et lager af komponenter, der er kritiske for driften af systemet, indtil en leverandør har et lager. Tendensen er, at flere og flere komponenter kommer på lager såsom ventiler og kompressorer.

Komponenter til CO<sub>2</sub> og højere tryk end 40 bar er ikke lagervarer og skal ofte produceres specielt. Derfor bør leveringssikkerheden på kritiske komponenter undersøges.

Generelt kan anlægstyperne 1 og 2 bygges uden problemer med driftssikkerheden. Anlægstyperne 3, 4 og 5 anses også for at være driftsikre på niveau med de anlægstyper, der kendes fra i dag. Der kan dog opstå problemer med levering af komponenter, hvilket kan give problemer. Derfor opfordres der til at tage hånd om dette problem før et eventuelt nedbrud.

Anlægstyperne 6 og 7 kører med væsentligt højere tryk, hvorfor komponentsituationen på nuværende tidspunkt er kritisk ved et nedbrud. Dette bør man træffe foranstaltninger mod, inden anlægget opføres. 60 bar CO<sub>2</sub>-systemet (anlægstype 6) er der ingen driftserfaringer med på nuværende tidspunkt, mens CO<sub>2</sub> 130 bar transkritiske systemer (anlægstype 7) anvendes flere forskellige steder i Europa med gode resultater.

Generelt er risikoen ved at anvende CO<sub>2</sub> eller propan større, da der kan forekomme længere leveringstider. Denne situation kan dog imødekomes ved, at der laves eget beredskab, hvor der sikres kort leveringstid på kritiske komponenter. Herved kan denne risiko elimineres.

	Samlet
Plug-in (1)	
Kondenseringsunit (2)	
Brinesystem med decentral frost (3)	
Brine/CO <sub>2</sub> -kaskadesystem (4)	
40 bar CO <sub>2</sub> med pumpecirkulation (5)	
60 bar CO <sub>2</sub> -system (6)	
CO <sub>2</sub> 130 bar transkritisk (7)	

Tabel 3: Sammenfatning - risikovurdering





## 4 Energi- og miljøanalyse

For at kunne sammenligne de 7 forskellige anlægstyper med hinanden laves der et sæt nøgledata, som bruges som input til simulering af energiforbrug og TEWI. Energiforbruget danner senere baggrund for en del af driftsomkostningerne i økonomiberegningerne. Det er valgt at bruge simuleringer frem for målinger, for at få resultater, der er sammenlignelige og ekskluderer faktorer som adfærd og opstillingssted.

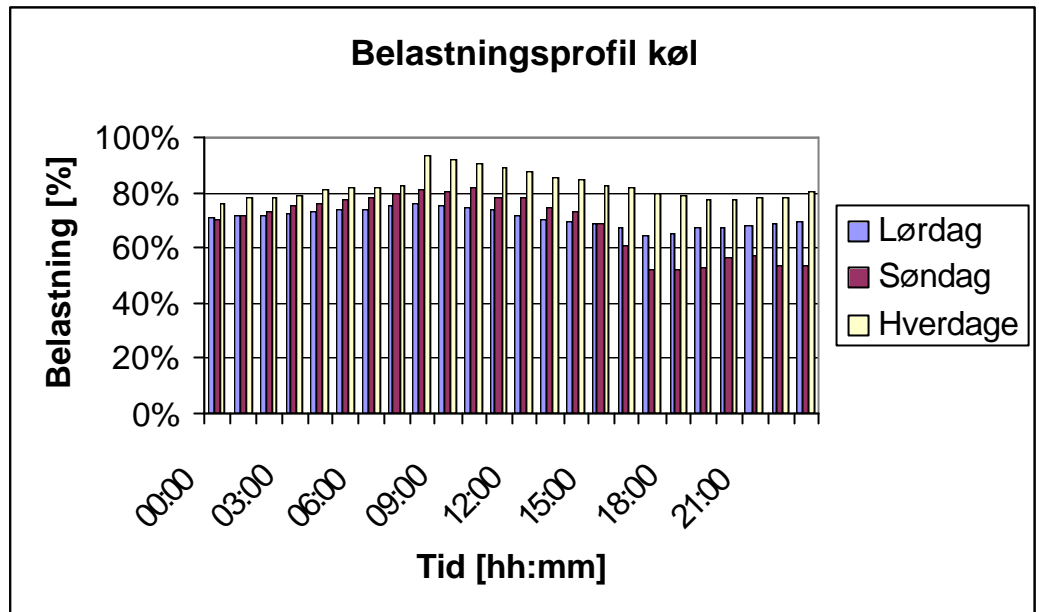
### 4.1 Nøgledata til simulering

For at kunne sammenligne resultaterne for de forskellige systemer mod hinanden, benyttes et sæt nøgledata til beregningerne, der kan findes i bilag 1 og 2. Der er udarbejdet et sæt for plug-in og et sæt for remote køleanlæg. Betingelserne indeholder vejledende værdier for tryktab, temperaturdifferencer, virkningsgrader m.m. Udvælgelsen er sket på baggrund af værdier baseret på KKO-ordningen /2/ samt erfaringsværdier fra plug-in møbler.

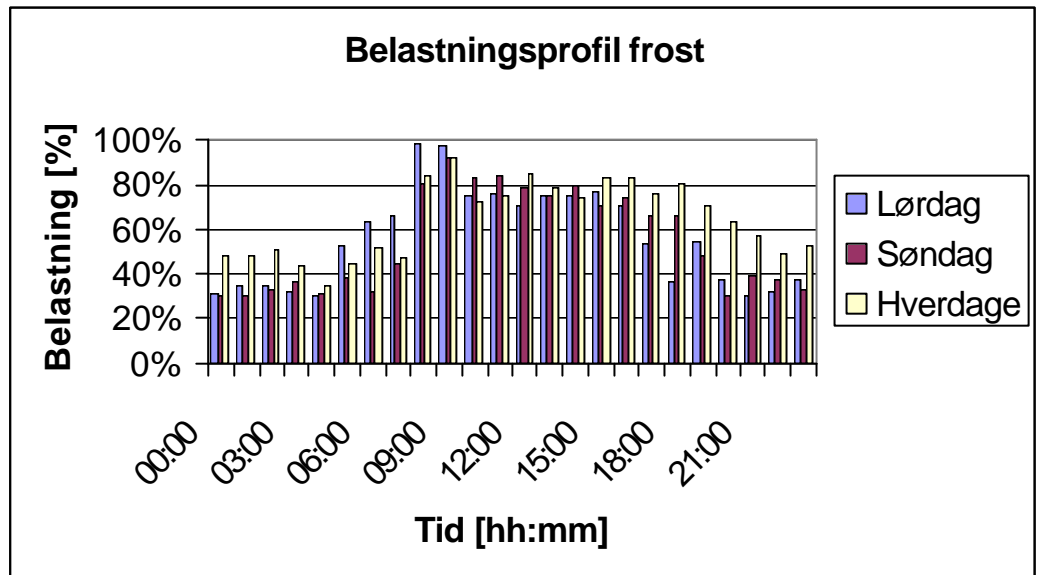
Ud over standardbetingelserne er der en række andre faktorer, der danner input til beregningsmodellerne. Disse faktorer vil blive beskrevet i de efterfølgende afsnit.

#### 4.1.1 Belastningsprofil

I beregningsmodellen er der benyttet belastningsprofiler, der er målt i et supermarked. Belastningsprofilet er gældende for en uge, som er opdelt i hverdage, lørdage og søndage samt i køl og frost. Belastningsprofilet tager ikke højde for højere belastning i varme perioder, da det antages, at temperaturen i butikken ikke varierer med udetemperaturen. På dette punkt er der lavet tilnærmelser for at forenkle beregningen, men da disse forenklinger er ens for alle anlægstyperne, vil en evt. fejl blive reduceret, når resultaterne sammenlignes.



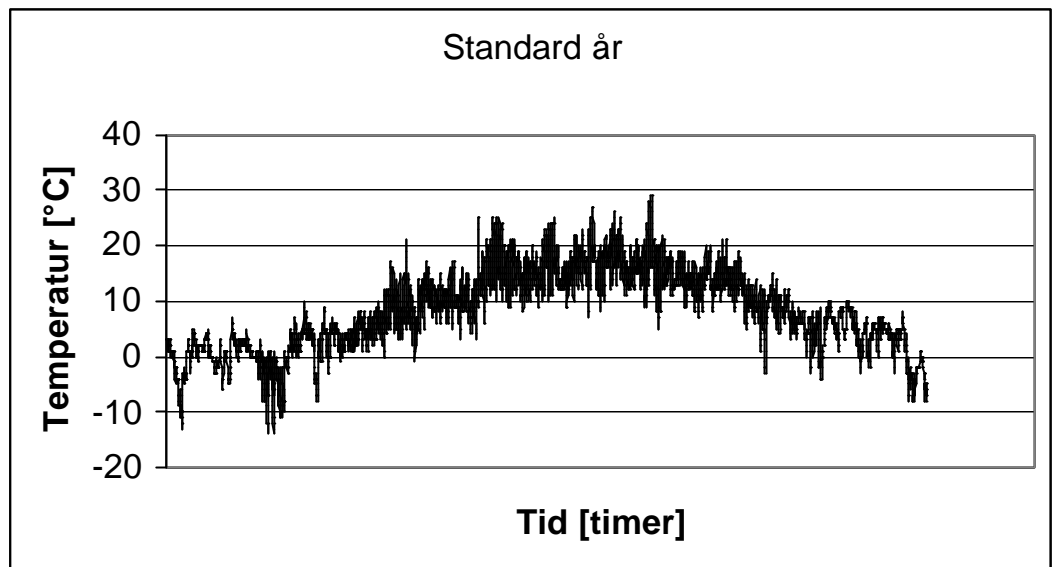
Figur 9: Belastningsprofil for køl



Figur 10: Belastningsprofil for frost

#### 4.1.2 Udetemperatur

Udetemperaturen har også indflydelse på energiforbruget til køling, da der oftest anvendes luftkølede kondensatorer. I modellerne, undtagen ved plug-in, er der taget udgangspunkt i data for et dansk standardår. For plug-in er der taget udgangspunkt i data fra producenterne af udstyr.



Figur 11: Temperaturvariationer hen over et standardår (tør termometer)

#### 4.2 Energiforbrug

Årsenergiforbruget for de enkelte systemer beregnes vha. modellerne, som dækker over energiforbrug til kompressorer og pumper. Det vil sige, at ventilatorer på kondensatorer og møbler, varmelegemer, styring og evt. belysning ikke er medtaget. Det vurderes, at anlægstypen ikke har indflydelse eller kun meget lille indflydelse på energiforbruget til disse komponenter. Resultaterne angives som års-COP<sup>2</sup> og indekseres mod referencen (Anlæg 0) i senere afsnit. Som reference benyttes et parallelanlæg med R404a (anlæg 0). Det er valgt at benytte denne anlægstype, da det er en type, som er meget udbredt, og derfor er let at relatere til. I det følgende afsnit vil der være en kort beskrivelse af særlige forhold omkring anlæggene samt resultaterne af beregningerne.

Ved alle anlægstyper med undtagelse af anlæg 1 (plug-in) er års COP-værdien beregnet med forskellig ydelse på frosten. Der er lavet variation mellem 0-50% frostandel af den samlede kuldeydelse med spring på 10%.

$$\Psi_{frost} = \frac{\dot{Q}_{frost}}{\dot{Q}_{køl} + \dot{Q}_{køl}}$$

Ydelserne, der indsættes i formlen, er de dimensionerende ydelser.

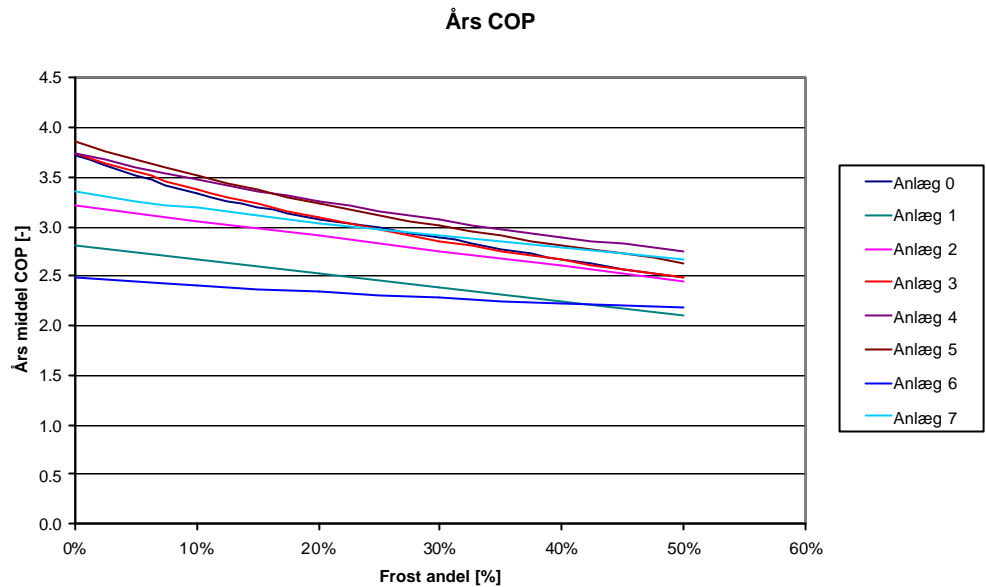
Hvis  $\Psi$  kendes, kan COP aflæses for den enkelte anlægstype, og det årlige energiforbrug kan beregnes.

$$P_{el, \text{år}} = \frac{(Q_{køl} + Q_{køl})}{COP_{\text{middel, år}}}$$

Der gøres opmærksom på, at der er mange ubekendte, der spiller ind på energiforbruget, og derfor er beregningerne udtryk for det bedst mulige resultat ved en simulering, men det kan være et stykke fra virkeligheden, da der ikke er taget højde for faktorer som f.eks. adfærd. Derfor kan resultatet kun bruges til at sammenligne forskellige anlægstyper og til at skønne de endelige omkostninger.

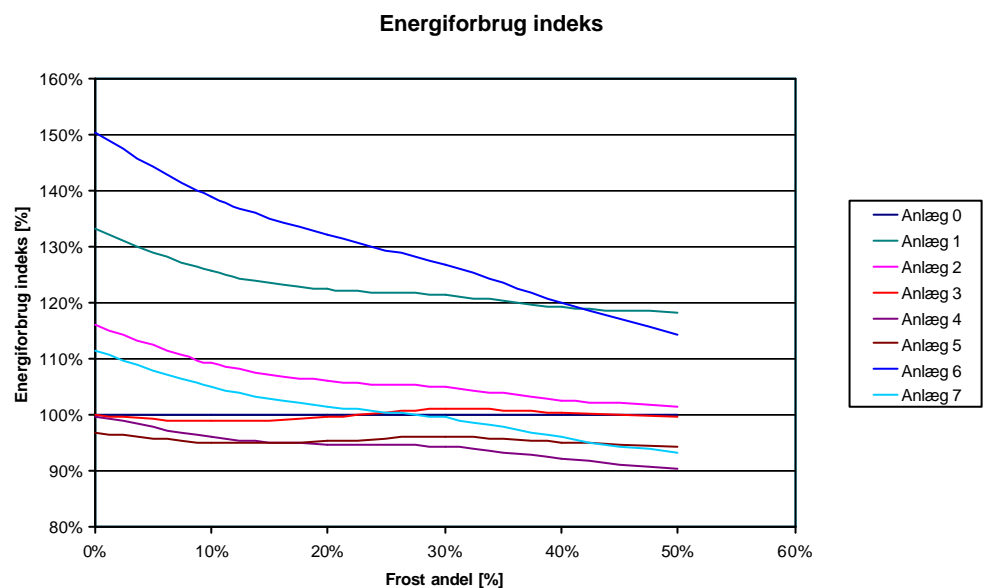
Der er lavet beregninger for flere forskellige kølemidler. Der er typisk ikke væsentlige forskelle på de enkelte kølemidler. Derfor er der brugt R404a eller R290 (propan)/R744 (CO<sub>2</sub>) som standardkølemidler.

<sup>2</sup> Års-COP er defineret som det årlige kølebehov divideret med det årlige energiforbrug til kompressorerne. Ventilatorer og andet hjælpeudstyr er ikke medtaget, da det ikke varierer fra anlægstype til anlægstype.



Figur 12: Års middel COP for de valgte anlægstyper som funktion af frostandelen

For at anskueliggøre energiforbruget i forhold til referenceanlægget (anlæg 0) er COP regnet om til en specifik ydelse og indekseret i forhold til referencen. Specifik ydelse er et mål for, hvor meget energi, der skal bruges for at fremstille en kW-køling.



Figur 13: Indeks over specifikt energiforbrug som funktion af frostandelen

Hvis der ønskes energiforbrug for andre kølemidler, henvises der til softwarepakken, hvor energiforbruget kan beregnes.

#### 4.3 TEWI

Udfasningen af HFC-kølemidler sker for at nedbringe emissionen af drivhusgasser til atmosfæren. Ved drivhusgasser forstås i denne sammenhæng HFC-gasser samt CO<sub>2</sub>.

Da den overvejende del af elproduktionen i Danmark er baseret på kul, giver det anledning til en høj CO<sub>2</sub>-emission i forhold til vind-, vand- eller atomkraft. Der regnes i Danmark med 0,78 kg CO<sub>2</sub> pr. kWh el. Denne og øvrige betingelser for beregningerne findes i bilag 1 og 2.

For kølemidlernes vedkommende findes omregningsfaktorer, så kølemidlernes drivhuspotentiale (GWP) kan omregnes til CO<sub>2</sub>-ækvivalenter.

Kølemiddel	GWP
R290 (Propan)	3
R134a	1300
R404a	3800
R717 (Ammoniak)	0
R744 (CO <sub>2</sub> )	1

Tabel 4: GWP for kølemidler

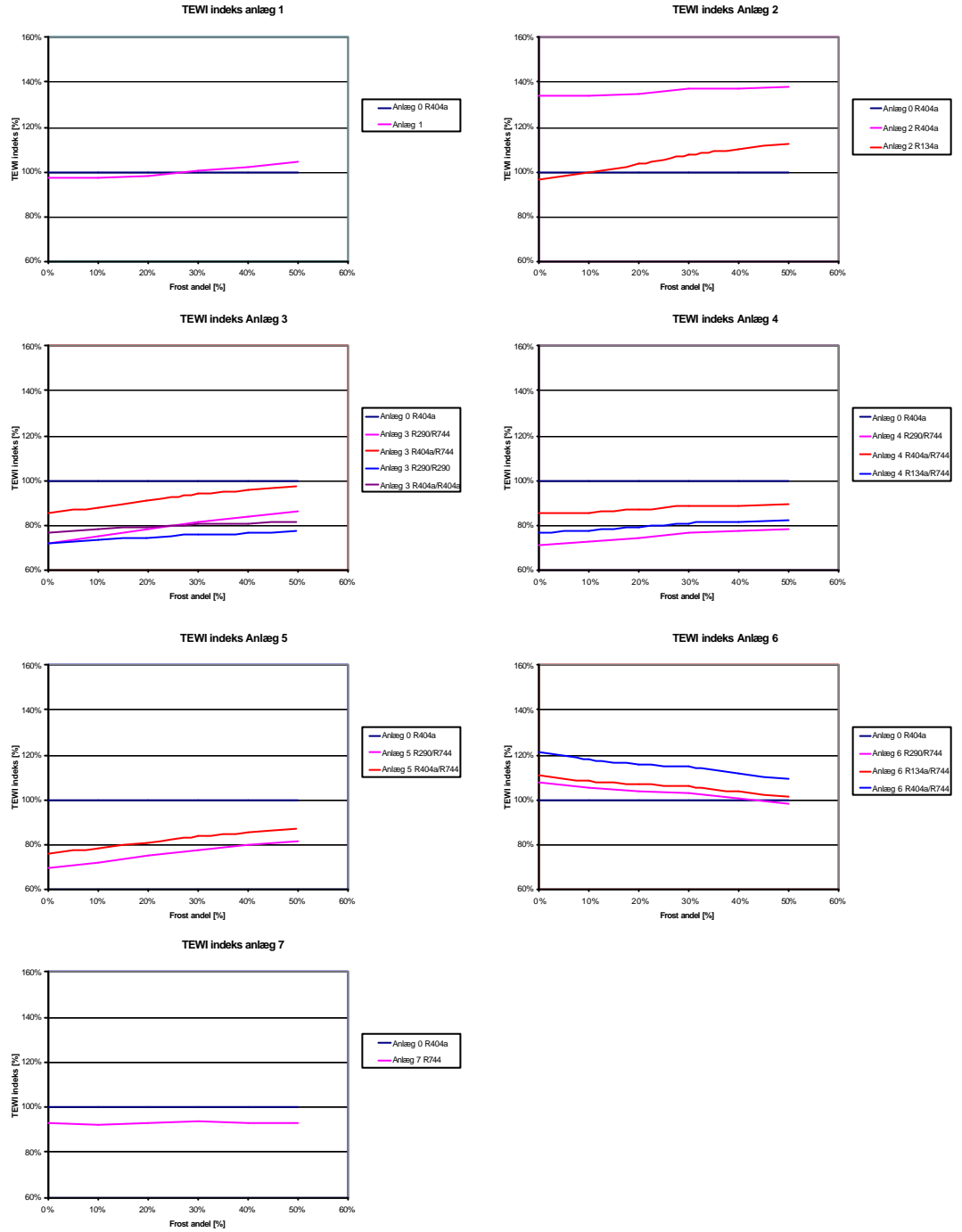
For at samle alle bidragene beregnes TEWI. Det forudsætter dog, at energiforbruget samt lækagerater m.m. kendes. Beregningsudtrykket stammer fra EN 378 del 1.

$$TEWI = \underbrace{GWP \cdot L \cdot n}_{\text{Lækage}} + \underbrace{GWP \cdot m \cdot (1 - \alpha)}_{\text{spildvedskrot}} + \underbrace{n \cdot E \cdot \beta}_{\text{Energiproduktion}}$$

Hvor:

<i>GWP</i>	GWP for kølemidlet kg CO <sub>2</sub> pr. kg
<i>L</i>	Lækageraten kg pr. år (10% pr. år)
<i>n</i>	Estimeret levetid for anlægget (12 år)
<i>m</i>	Fyldning kg (Se bilag 1 og 2)
<i>a</i>	Regenereringsgrad % (90%)
<i>b</i>	CO <sub>2</sub> -emission ved elproduktion (0,78 kg CO <sub>2</sub> pr. kWh el)
<i>E</i>	Energiforbrug kWh/år
<i>TEWI</i>	CO <sub>2</sub> ækvivalent kg CO <sub>2</sub> i anlægslevetiden.

Beregningsmodellerne for de forskellige anlægstyper benyttes også til beregning af TEWI. De data, der benyttes i modellerne, kan ses i bilag 1 og 2.



Figur 14: TEWI for de enkelte anlægstyper indekseret op imod referenceanlægget (anlæg 0) som funktion af frostdelen

Kølemidlets (lækage og skrot) andel af den samlede TEWI afhænger af anlægstypen samt af det anvendte kølemiddel. I tabellen nedenfor findes en oversigt over kølemidlets andel af den samlede TEWI.

	Anlægstype 1	Anlægstype 2	Anlægstype 3-6
R134a	0%	10 – 18%	4 – 5%
R290	0%	0%	0%
R404a	0%	24 – 38%	10 – 18%

Tabel 5: Kølemiddelandel af TEWI

For CO<sub>2</sub> 130 bar transkritiske systemer (anlægstype 7) udgør kølemidlet under 1% af TEWI for anlægget.

#### 4.4 Sammenfatning - energi og miljøanalyse

Generelt er energiforbruget for anlægstyperne 1, 2 og 6 højere end referencesystemet (anlæg 0). De øvrige systemer har COP-værdier, der er højere eller på samme niveau.

For kondenseringsunit (anlægstype 2) kan det høje energiforbrug føres tilbage til den lille kondensator samt dårligere virkningsgrad på kompressoren. TEWI for anlægstypen er også højere end referencesystemet (anlæg 0) pga. det højere energiforbrug. Kølemidlet bidrager også væsentlig til TEWI, da anlæg af denne type ofte er samlet med metoder, der ikke sikrer en lav lækage.

Brinesystemer med decentral frostanlæg (anlægstype 3) er bygget omkring en brinekreds, der køles af et køleanlæg med enten R290 eller R404. På frost benyttes R290, R404a eller R744. Om der vælges R290 eller R404a som køle middel til højtemperatur-trinnet, giver ikke de store forskelle på energiforbruget. Til gengæld er R290 et rigtig godt kølemiddel på lavtemperatur-siden. Der kan hentes en besparelse på op til 10% på det samlede energiforbrug ved 50% af ydelsen på frost i forhold til anlægget (anlæg 0). For R404a ville den tilsvarende besparelse være 5%. Der kan dog være problemer i forhold til myndigheder i henhold til EN 378, da R290 er et brændbart kølemiddel.

Hvis der anvendes R744 til lavtemperatur-kølemiddel, er energiforbruget ca. det samme som for referenceanlægget (anlæg 0).

CO<sub>2</sub>-emissionen er op til 30% lavere end for referenceanlægget (anlæg 0) afhængig af, hvilket kølemiddel, der vælges.

Brine/CO<sub>2</sub>-kaskadesystemer (anlægstype 4) er den anlægstype, der er flest erfaringer med i Danmark. Der er beregnet energiforbrug for 3 kombinationer af kølemidler (R134a, R290 og R404a samt R744 på frost). Generelt er der ikke de store forskelle på de tre kølemidler. Besparelsen i forhold til referenceanlægget (anlæg 0) er mellem 0% og 10% afhængig af ydelsen på frost.















CO<sub>2</sub>-emissionen er 10% til 30% lavere end for referenceanlægget (anlæg 0) afhængig af, hvilket kølemiddel, der vælges.

40 bar CO<sub>2</sub>-anlæg pumpecirkulation (anlægstype 5) er den mest energiøkonomiske løsning op til ca. 15% ydelse på frost. Derefter overhales den af brinesystemer med decentral frostanlæg (anlægstype 3) med en R290/R290 køle middelkonfiguration.

CO<sub>2</sub>-emissionen er i samme niveau som brine/CO<sub>2</sub>-kaskadesystemer (anlægstype 4).

For 60 bar CO<sub>2</sub>-systemet (anlægstype 6) kan merforbruget tilbageføres til den lille fordampningsvarme for CO<sub>2</sub> ved 60 bar. Det optimale kondenseringstryk for CO<sub>2</sub>-kaskadesystemer er omkring 0 °C/35 bar, hvilket dette system i lange perioder ikke ville kunne tilfredsstille. Merforbruget er i størrelsesordenen 10-50%. Dette merforbrug har også stor effekt på CO<sub>2</sub>-emissionen, som i værste fald er 20% højere end referencen (anlæg 0).

CO<sub>2</sub> 130 bar transkritiske systemer (anlægstype 7) benytter en transkritisk kredsproces, hvilket vil sige, at kølemidlet ikke kondenseres. Fordelen ved denne type kredsproces er, at der udelukkende benyttes et kølemiddel, og at en meget stor del af kondensatoren kan anvendes til opvarmning af f.eks. brugsvand, hvorimod der med normale kredsprocesser typisk kun kan anvendes ca. 10%. Energiforbruget ser ud til at være højere end referencen (anlæg 0) ved køl og lavere ved frost. Energiforbruget krydser ved ca. 25% frost. CO<sub>2</sub>-emissionen ser ud til at være 5-10% lavere end for referenceanlægget (anlæg 0) grundet kølemidlet.

	TEWI	Energiforbrug
Plug-in (1)		
Kondenseringsunit (2)		
Brinesystem med decentral frost (3)		
Brine/CO <sub>2</sub> -kaskadesystem (4)		
40 bar CO <sub>2</sub> med pumpecirkulation (5)		
60 bar CO <sub>2</sub> -system (6)		
CO <sub>2</sub> 130 bar transkritisk (7)		

Tabel 6: Sammenfatning TEWI og energiforbrug



# 5 Økonomi

I forbindelse med projektet er der lavet et stykke software til beregning af prisindeks<sup>3</sup> for de forskellige anlægstyper. I det efterfølgende afsnit vil der blive givet en kort introduktion til programmet.

## 5.1 Beskrivelse af prisberegningsprogram

Programmet giver en økonomisk og miljømæssig sammenligning af de enkelte anlægstyper. Der beregnes en pris for det samlede anlæg. Nutidsværdien af de samlede levetidsomkostninger samt TEWI beregnes.

Følgende beregnes for de enkelte anlægstyper:

- Kuldeydelse og pris på møbler
- Pris på kølerum
- Kølemiddelmængde og pris
- Kondensatorstørrelse og pris
- Kompressorvalg og pris
- Brinepumpe og pris
- Kondenseringsunit og pris
- Pladevekslere og pris
- Kaskadeveksler og pris
- Pris for det samlede anlæg
- Installationspris
- Elforbrug og pris
- Serviceudgifter og pris
- Beregning af nutidsværdi af investeringen og de fremtidige udgifter
- Beregning af TEWI.

Alle priser fremskrives, så det er slutkundepriser. Der tages højde for dækningsbidrag og rabatter. Priserne er ikke synlige i programmet, da der anvendes indekserede priser. Der er forespurgt på priser ved flere leverandører, men priser, rabatter og dækningsbidrag m.m. er ikke tilgængelige i rapporten eller programmet, da de ikke anses for væsentligt for resultatet. Endvidere er disse oplysninger indhentet med den klausul, at de behandles fortroligt.

### 5.1.1 Beregning af kuldeydelse

Kuldeydelsen på køl og frost beregnes på grundlag af antallet af reoler og gondoler samt længden af disse.

### 5.1.2 Beregning af pris på plug-in møbel

Prisen for et plug-in møbel er baseret på længden af møblet, og det skal her vælges, om der er tale om en montre eller en reol. Den beregnede pris er fratrukket rabat.

---

<sup>3</sup> I afsnittet anvendes flere forskellige prisindeks. Fælles for dem alle er, at prisen for de 7 forskellige anlæg indekseres op mod referenceanlægget.

### 5.1.3 Beregning af pris og kuldeydelse på møbel

Prisen for møbler er beregnet som en funktion af længden og antallet af møbler og er afhængig af, om der er tale om en montre eller en reol. Der er taget udgangspunkt i møbler fra Arneg, men resultatet ville sikkert være det samme, hvis der blev anvendt et andet fabrikat. Prisen er den samme for frost og køl. Ud fra det opgivne antal meter beregnes desuden kuldeydelsen.

### 5.1.4 Beregning af pris og kuldeydelse på kølerum

Prisen på et kølerum er baseret på priser fra Viessmann, og de er baseret på rumstørrelsen samt transmissionstab, samt på priser på fordampere fra ECO. Kuldeydelsen beregnes som transmissionstabet ganget med en faktor 5. Denne faktor benyttes til at kompensere for kuldebehovet til nedkøling af varer samt til dækning af andre tab som f.eks. døråbning. Denne faktor vurderes at være et rimeligt skøn til denne type beregninger.

### 5.1.5 Beregning af kølemiddel, mængde og pris

For de enkelte anlægstyper er der estimeret en fyldning pr. kW kuldeydelse. Ud fra kuldeydelsen for det pågældende anlæg beregnes fyldningen. Ud fra fyldningen beregnes den samlede pris for kølemidlet på baggrund af indkøbsprisen tillagt kølemiddelafgiften.

### 5.1.6 Beregning af pris for receiver

Ud fra kølemiddelfyldningen for det enkelte anlæg beregnes den nødvendige receivervolumen. Der tages udgangspunkt i, at hele fyldningen skal kunne befinde sig i receiveren. Ud fra voluminet beregnes prisen for receiveren, baseret på en prisfunktion på basis af katalogpriser. Ved beregning af prisen er der fratrukket en middelrabat.

### 5.1.7 Beregning af pris på kondensator

Ud fra den beregnede kondensatorydelse og temperaturdifferensen, beregnes prisen for kondensatoren på baggrund af en prisfunktion, baseret på katalogpriser. Prisen er fratrukket en estimeret rabat.

### 5.1.8 Beregning af prisen for kompressorer

Beregningen af prisen for kompressorerne foretages ud fra kølemiddeltypen, trykket og ydelsen samt antallet af kompressorer for henholdsvis frost og køl og evt. kaskade. Ud fra kølemidlet og ydelsen vælges, om kompressoren skal være hermetisk stempel, en scroll eller en semihermetisk kompressor. Derefter beregnes prisen ud fra en prisfunktion baseret på ydelsen. Prisfunktionen er udregnet på basis af katalogpriser, og prisen fratrækkes rabatten.

### 5.1.9 Beregning af brinepumpe

Prisen på brinepumpen beregnes som en funktion af køleydelsen og af antallet af pumper.

### 5.1.10 Beregning af pris på kondenseringsunit

Prisen på en kondenseringsunit er baseret på Danfoss-priser og er fratrukket rabat.

#### **5.1.11 Beregning af pris på kølemiddelpumpe til CO<sub>2</sub>**

Prisen for kølemiddelpumpe til CO<sub>2</sub> er baseret på priser fra Axflow og Messer og er fratrukket rabat. Prisen er baseret på kuldeydelsen samt cirkulationstallet samt antallet af pumper.

#### **5.1.12 Beregning af installationspris**

Installationsprisen for de enkelte anlægstyper er baseret på skøn fra installatørerne. Der er desuden taget højde for en merpris ved installation af R290 anlæg (30% af installationsprisen for referenceanlægget). Prisen dækker over rørtræk, elarbejde, ventiler, rammer og elskabe. Installationsprisen er derefter beregnet som en funktion af køleydelsen og af kølemiddeltpe.

#### **5.1.13 Beregning af pris på pladeveksler til brine**

Beregningen for prisen på en pladeveksler til brine er foretaget ud fra fastlagte værdier for en veksler til brug for køl. Prisen er baseret ud fra køleydelsen og er baseret på priser fra SWEP.

#### **5.1.14 Beregning af pris på kaskadeveksler**

Prisen på en kaskadeveksler er baseret på priser fra SWEP, og den er udregnet som en funktion af kaskadens ydelse samt af antallet af veksler og temperatur-differensen over disse.

#### **5.1.15 Beregning af årligt energiforbrug for de forskellige anlægstyper**

Det årlige energiforbrug beregnes ud fra anlægstypen samt ud fra kølemidlet. Effektfaktoren er fundet ved simulering af de enkelte anlægstyper og for de forskellige kølemidler. Der er lavet simulering, hvor forholdet mellem køleydelse og frostydelse varieres. Simuleringen er foretaget på baggrund af temperaturen over et standard referenceår samt data fra bilag 2 og 3. Der udregnes desuden en middel køleydelse samt et års middel elforbrug.

#### **5.1.16 Beregning af udgifter til service samt efterfyldning af kølemiddel**

Prisen for service og efterfyldning er en funktion af anlægstype og kuldeydelse. Efterfyldningen er baseret på lækagerater for de enkelte anlægstyper (se bilag 2 og 3). Prisen for service er baseret på oplysninger fra installatører af de forskellige anlægstyper.

#### **5.1.17 Beregning af nutidsværdi af investeringen samt af de fremtidige udgifter**

Der foretages en beregning af den samlede investering, hvortil de fremtidige udgifter tilbageskrives til en nutidsværdi.

Den samlede nutidsværdi er glimrende til sammenligning af levetidsomkostningerne for de enkelte anlægstyper.

Nutidsværdien beregnes ud fra den anslåede levetid, inflationsraten, rentefoden og elprisen.

### 5.1.18 Beregning af TEWI

TEWI beregnes som funktion af den samlede fyldning, korrigeret for den del, der genanvendes. Dertil tillægges bidraget fra lækage, samt bidraget fra CO<sub>2</sub> for den forbrugte energimængde.

I det efterfølgende afsnit vil der blive beregnet 5 forskellige eksempler på anlæg af forskellig størrelse, hvorefter anlægstypen kan vælges.

### 5.2 Eksempler

For at give et godt overblik er der udarbejdet 5 eksempler, hvor der er beregnet indekstal for de 7 anlægstyper. Eksemplerne dækker fra kiosker til store supermarkeder.

<b>Komponent</b>	<b>Antal</b>
Brinepumper	1
CO <sub>2</sub> -pumper	1
Brinevekslere	1
CO <sub>2</sub> -vekslere	1
Kompressor – køl	2
Kompressor – frost	2
Kompressor – kaskade	2
Rente	7%
Inflation	2,5%
Elpris	0,60 kr./kWh

Tabel 7: Data for eksemplerne

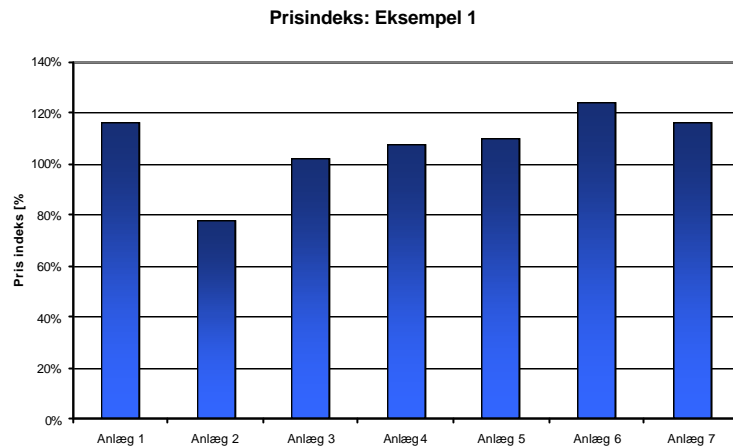
Alle øvrige input er hentet fra bilag 1 og 2.

Beregningerne er baseret på nogle standardkomponenter og -opbygninger. Derfor vil det i nogle tilfælde være muligt for anlægsbyggeren at lave variationer af disse anlægstyper eller anvende andre komponenter og derfor komme frem til en anden pris end den, der er beregnet i denne rapport. Derfor skal rapportens indekstal kun bruges som en vejledning og altid efterfølges af en nærmere undersøgelse af flere forskellige anlægsbyggere og anlægstyper for at finde den billigste pris for netop dette anlæg. De anvendte priser er fra 2002/2003-kataloger og vil derfor ændre sig. Ved at indeksere priserne er de relativt uafhængige af prisstigninger, da denne stigning i de fleste tilfælde vil gøre sig gældende for begge anlægstyper.

I eksemplerne vil der blive beregnet to forskellige indeks. Prisindekset udtrykker investeringsomkostningerne i forhold til referenceanlægget (anlæg 0). Det er ofte denne parameter, der bliver taget udgangspunkt i, når der skal købes et nyt anlæg, da den er synlig. Det er ofte mere uklart, hvad energiforbruget og serviceomkostninger vil blive i anlæggets levetid. For at synliggøre dette er der beregnet et levetidsindeks. Levetidsindekset er et udtryk for de samlede udgifter (investering, service og energiforbrug) i hele anlæggets levetid. De samlede omkostninger er tilbageskrevet med renter og inflation og indekseret op imod referenceanlægget (anlæg 0).

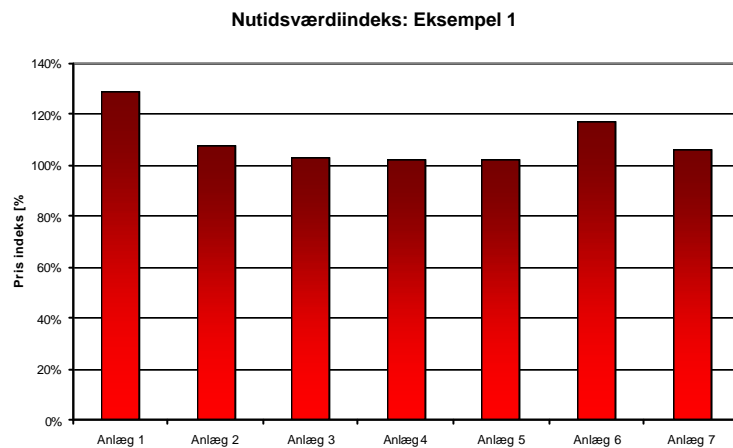
## 5.2.1 Eksempel 1: Kiosk

Kiosk, bager eller tankstation med 1x2m frostgondol samt 2x2,5m kølereol. Der er desuden installeret 2m<sup>2</sup> frostrum og 5m<sup>2</sup> kølerum i baglokalet.



Figur 15: Eksempel 1 - prisindeks for de 7 anlægstyper

Diagrammet for prisindeks viser, at kondenseringsunitten (anlægstype 2) er den billigste i anskaffelse med et prisindeks på 78%. Det dyreste anlæg ville være anlæg 6 med et prisindeks på 124%. De øvrige anlægstyper svinger mellem indeks 102% og 116%.



Figur 16: Eksempel 1 – nutidsværdi-indeks for de 7 anlægstyper

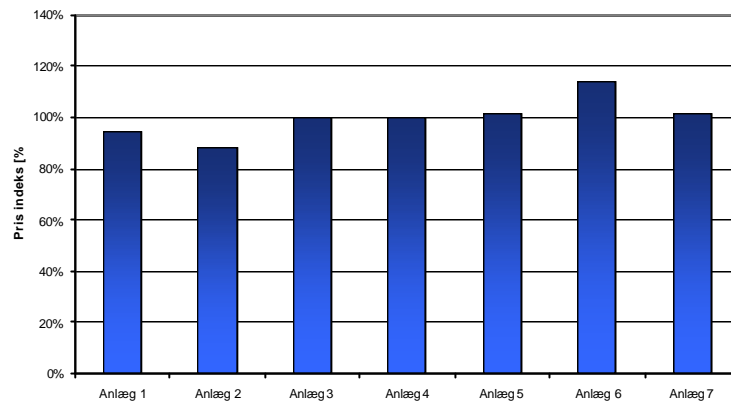
Hvis der ses på de samlede omkostninger ved anlægget over hele levetiden (12 år) tilbageregnet til nutidsværdi, fremgår det, at kondenseringsunitten og 60 bar CO<sub>2</sub>-systemet (anlægstype 1 og 6) er væsentlig dyrere end de øvrige med indeks 129% og 117%. Det ses også, at kondenseringsunitten (anlægstype 2) i det lange løb ikke er den billigste anlægstype. Anlægstyperne 3, 4, 5 og 7 er relativt neutrale med nutidsværdi-indeks mellem 102% og 106%.

Ud fra ovenstående eksempel ville brinesystemer med decentral frostanlæg (anlægstype 3) økonomisk set være det bedste valg, da de har relativt lave investeringsomkostninger og de laveste omkostninger totalt set i anlæggets levetid. Dog kunne anlægstyperne 4, 5 og 7 også være kandidater, da de alle har nogenlunde sammenlignelige nutidsværdi-indeks med en højere anskaffelsespris. Ved kortere anlægslevetid end 12 år ville kondenseringsunitten (anlægstype 2) blive mere konkurrencedygtig på grund af den lave anskaffelsespris.

## 5.2.2 Eksempel 2: Lille dagligvarebutik 1

Lille dagligvarebutik med 1x2½m kølegondol, 1x9m frostgondol samt 2x5m kølereol. Der er desuden installeret 10m<sup>2</sup> frostrum samt 20m<sup>2</sup> kølerum.

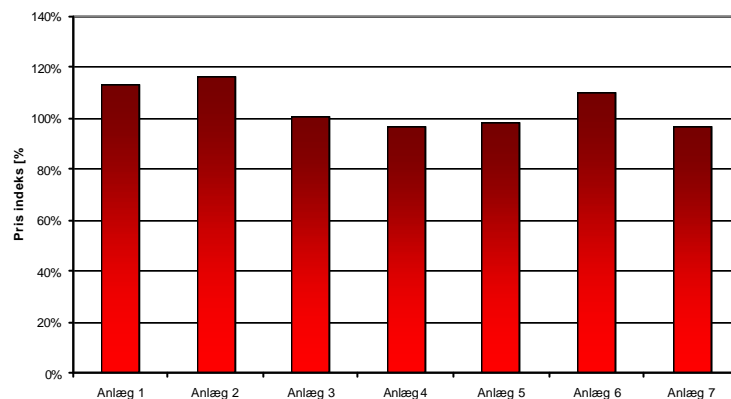
Prisindeks: Eksempel 2



Figur 17: Eksempel 2 - prisindeks for de 7 anlægstyper

Prisindeksdiagrammet viser, at kondenseringsuniten (anlægstype 2) er billigst i anskaffelse med 88%. De øvrige anlægstyper er typisk placeret mellem 95% og 102%. Kun 60 bar CO<sub>2</sub>-systemet (anlægstype 6) er væsentlig dyrere med 114%.

Nutidsværdiindeks: Eksempel 2



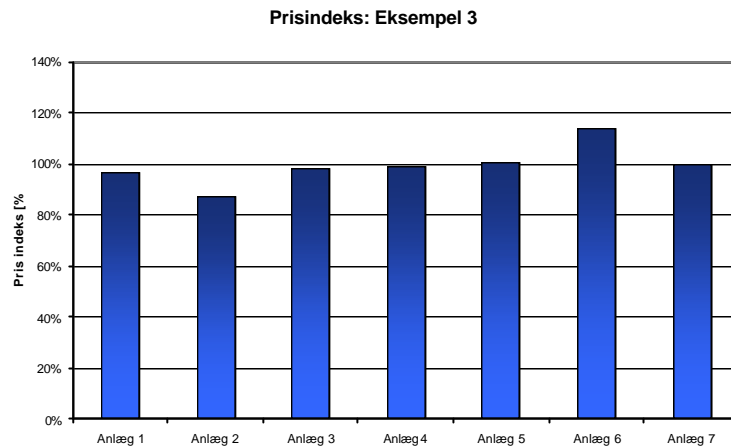
Figur 18: Eksempel 2 – nutidsværdi-indeks for de 7 anlægstyper

Hvis der tages udgangspunkt i levetidsomkostninger, der er regnet tilbage til anskaffelsestidspunktet, er resultatet et andet. Anlægstyperne 3, 4, 5 og 7 er neutrale i forhold til referenceanlægget (anlæg 0) med indeks på mellem 97% og 101%. Kondenseringsuniten (anlægstype 2) var billigst i anskaffelse, men pga. de store driftsomkostninger er det den dyreste anlægstype med et nutidsværdi-indeks på 116%. Kondenseringsuniten og 60 bar CO<sub>2</sub>-systemet (anlægstype 1 og 6) er også væsentlig dyrere end de øvrige anlægstyper.

Ud fra ovenstående eksempel ses det, at anlægstyperne 3, 4, 5 og 7 er meget jævnbyrdige, og valget af anlægstype vil derfor ofte være præget af andre kriterier hos anlægsejeren og anlægsbyggeren.

### 5.2.3 Eksempel 3: Lille dagligvarebutik 2

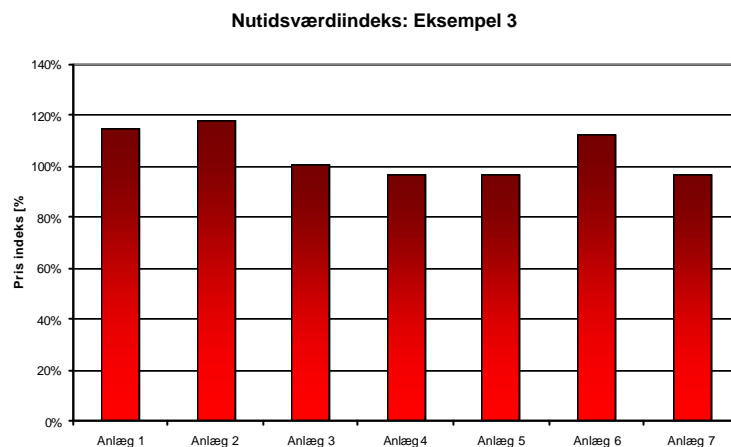
Lille dagligvarebutik med 1x6m kølegondol, 1x6m frostgondol samt 2x8m kølereol. Der er desuden installeret 10m<sup>2</sup> frostrum samt 20m<sup>2</sup> kølerum.



Figur 19: Eksempel 3 - prisindeks for de 7 anlægstyper

Prisindekserne fordeler sig sådan, at der er en relativ stor gruppe mellem indeks 95% og 102%, som udgøres af plug-in, brinesystem med decentral frost, brine/CO<sub>2</sub>-kaskadesystem, 40 bar CO<sub>2</sub>-system med pumpecirkulation og CO<sub>2</sub> 130 transkritisk system (anlægstype 1, 3, 4, 5 og 7).

Kondenseringsuniten (anlægstype 2) er igen billigst i anskaffelse med indeks 88% og 60 bar, CO<sub>2</sub>-systemet (anlægstype 6) er dyrest med 114%.



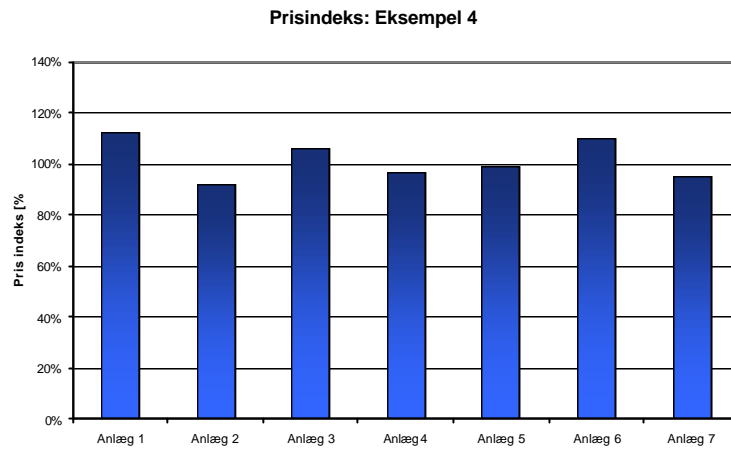
Figur 20: Eksempel 3 – nutidsværdi-indeks for de 7 anlægstyper

Mønstret fra de foregående eksempler gentager sig i dette eksempel. Kondenseringsuniten (anlægstype 2), som var billigst i anskaffelse, er nu væsentlig dyrere med indeks 118%. Også plug-in (anlægstype 1) er nu væsentlig dyrere på grund af de høje driftsomkostninger. Anlægstyperne 3, 4, 5 og 7 er igen jævnbrydige med indeks mellem 97% og 101%.

Fra et investeringsøkonomisk synspunkt, ser kondenseringsuniten (anlægstype 2) igen ud til at være et fordelagtigt valg, men igen ses det, at det bliver en dyr løsning med tiden. Igen ser anlægstyperne 3, 4, 5 og 7 ud til at være de billigste, hvis der ses på levetidsomkostningerne med levetidsindeks på 97% til 101%.

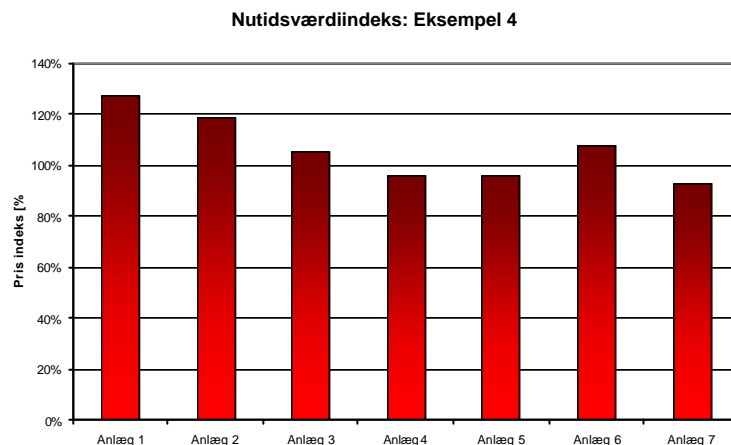
## 5.2.4 Eksempel 4: Mellemstor dagligvarebutik

Mellemstor dagligvarebutik med 3x7m kølegondol, 3x7m frostgondol samt 3x7m kølereol fordelt på 3 stk. Der er desuden installeret 20m<sup>2</sup> frostrum samt 30m<sup>2</sup> kølerum.



Figur 21: Eksempel 4 - prisindeks for de 7 anlægstyper

I dette eksempel er kondenseringsuniten (anlægstype 2) stadig den billigste i anskaffelse, men forskellen er ikke længere så markant som i de foregående eksempler. Spredningen i anskaffelsespris i dette eksempel er også meget lille i forhold til de foregående eksempler. Anlægstyperne 2, 4, 5 og 7 er dog de billigste med prisindeks mellem 92% og 99%.



Figur 22: Eksempel 4 – nutidsværdi-indeks for de 7 anlægstyper

Ud fra ovenstående graf ses det tydeligt, at driftsomkostningerne for anlægstyperne 1 og 2 igen er væsentlig højere end for de øvrige. Det ses også, at der er en gruppe med anlægstyperne 3, 4, 5, 6 og 7, som er rimelig neutral i forhold til referencen (anlæg 0) med indeks mellem 96% og 108%. Det ses også, at brinesystemer med decentral frostanlæg (anlægstype 3) ved denne anlægstype er markant dyrere end anlægstyperne 4, 5 og 7, hvilket er nyt i forhold til de foregående eksempler.

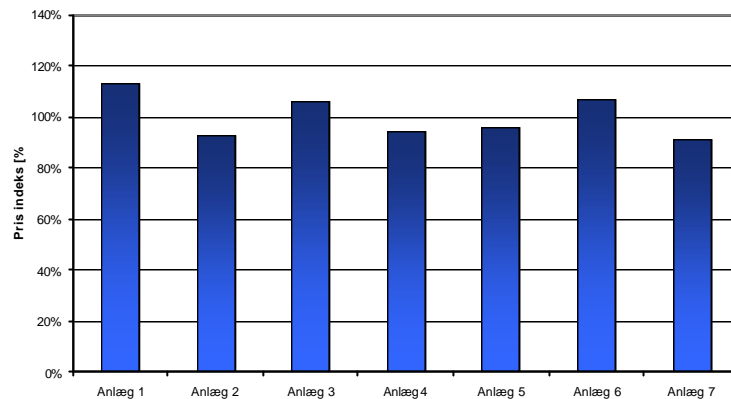
Anlægstyperne 4, 5 og 7 ser ud til at være de mest attraktive fra et økonomisk synspunkt. Dog kan 60 bar CO<sub>2</sub>-systemet (anlægstype 6) også godt blive attraktiv, hvis den kan kombineres med luftkonditionering, hvilket der ikke er taget højde for i dette eksempel, og derfor må det komme an på en nærmere analyse.



## 5.2.5 Eksempel 5: Stor dagligvarebutik

Stor dagligvarebutik med 5x10m kølegondol, 4x10m frostgondol samt 8x7,5m kølereol. Der er desuden installeret 50m<sup>2</sup> frostrum samt 80m<sup>2</sup> kølerum.

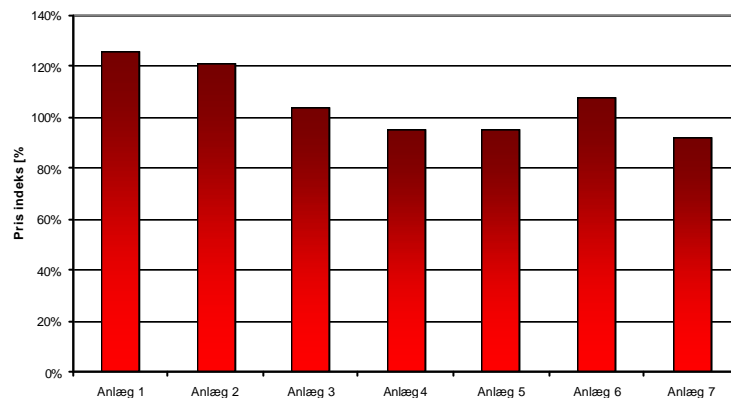
Prisindeks: Eksempel 5



Figur 23: Eksempel 5 - prisindeks for de 7 anlægstyper

Anlægstyperne kan deles i 2 hovedgrupper, som er billigere eller dyrere end referencen (anlæg 0). Anlægstyperne 2, 4, 5 og 7 er alle billigere end referencen (anlæg 0) med prisindeks mellem 93% og 96%.

Nutidsværdiindeks: Eksempel 5



Figur 24: Eksempel 5 – nutidsværdi-indeks for de 7 anlægstyper

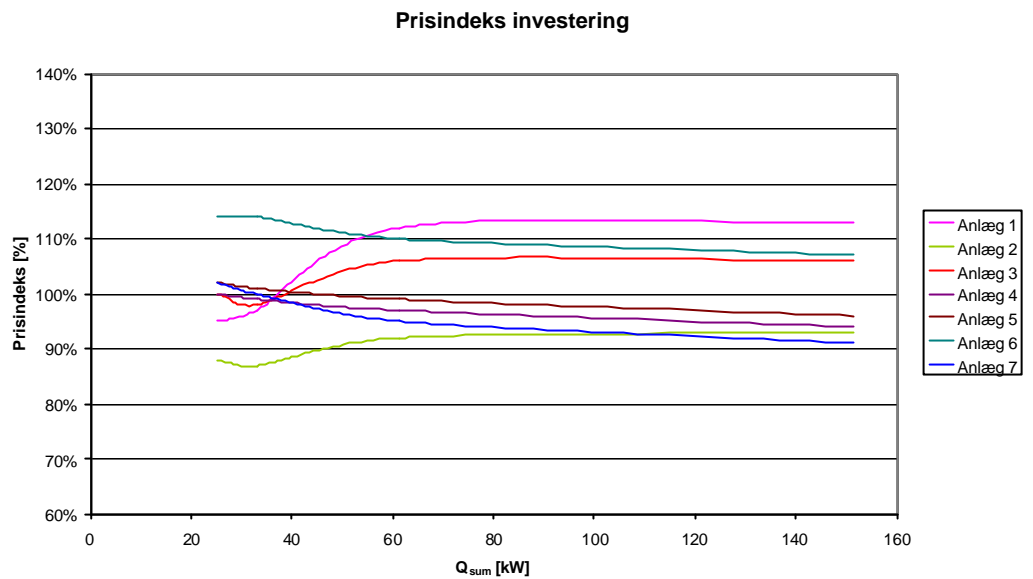
Kondenseringsunitten (anlægstype 2) skiller sig igen ud fra de øvrige ved at blive dyrere pga. de høje driftsomkostninger. Anlægstyperne 4, 5 og 7 er de billigste anlægstyper med nutidsværdi-indeks mellem 92% og 95%.

Anlægstyperne 4, 5 og 7 ser ud til at være de mest attraktive set fra et økonomisk synspunkt. Dog kan 60 bar CO<sub>2</sub>-systemet (anlægstype 6) også godt blive attraktiv, hvis den kan kombineres med luftkonditionering, som ofte findes i butikker af denne størrelse. Der er ikke taget højde for muligheden for at kombinere de to systemer i dette eksempel.

I det efterfølgende afsnit vil der blive samlet op på resultaterne fra de 5 eksempler, og det vil blive forsøgt at give nogle anvisninger på, hvilke anlægstyper, der kan anvendes i hvilke applikationer.

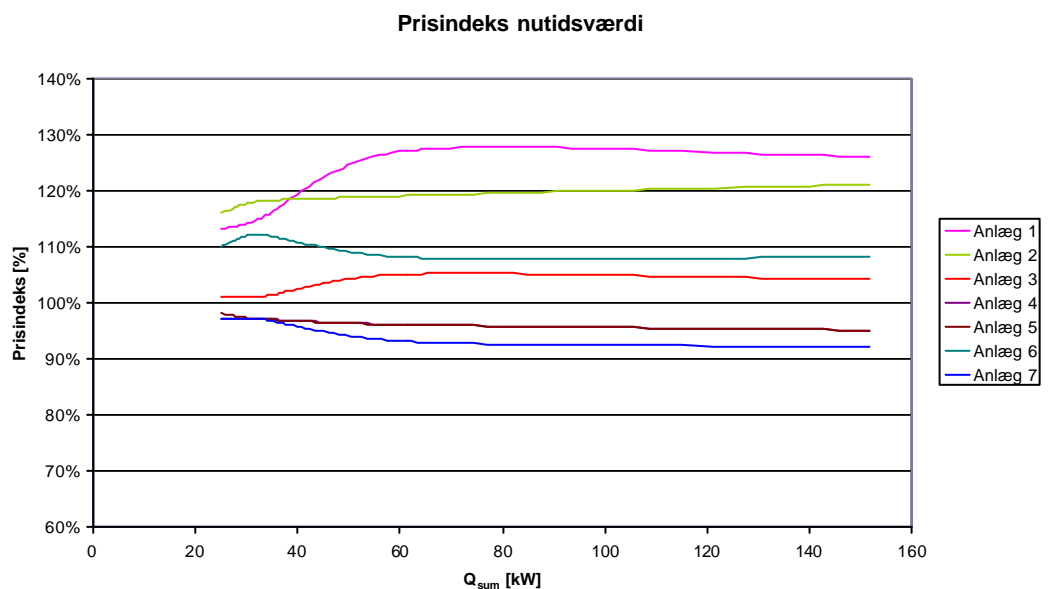
### 5.3 Sammenfatning - økonomi og eksempler

Resultaterne af de foregående eksempler er plottet i nedenstående diagram som funktion af den samlede kuldeydelse. I den forbindelse skal det nævnes, at forholdet mellem køl og frost varierer fra punkt til punkt.



Figur 25: Prisindeks for de 7 forskellige anlægstyper som funktion af den samlede kuldeydelse

Figuren ovenfor viser, at kondenseringsunitten (anlægstype 2) er den billigste i anskaffelse helt op til ca. 100 kW samlet ydelse. Det ses også, at anlægstyperne 1 og 3 kun er attraktive ved mindre anlæg, da de bliver relativt dyrere med store installationer. 60 bar CO<sub>2</sub>-systemet (anlægstype 6) ser ud til at være væsentlig dyrere i anskaffelse, selv om den bliver billigere ved store anlæg.



Figur 26: Levetidsomkostninger regnet tilbage til nutidsværdi for de 7 forskellige anlægstyper som funktion af den samlede kuldeydelse

Af figuren ovenfor ses, at anlægstyperne 4, 5 og 7 økonomisk set er de mest attraktive ved en levetid på 12 år. Det ses også, at brinesystemer med decentral frostanlæg (anlægstype 3) er attraktive ved mindre anlæg. Anlægstyperne 1 og 2 og til dels 6 ser på sigt ud til at være væsentlig dyrere end de øvrige.

Generelt ser det ud til, at plug-in (anlægstype 1) er fordelagtig ved mindre anlæg, hvor der kræves en høj grad af fleksibilitet, eller hvis anlægget kun er i drift i en kort periode. Anlægstypen er relativt dyr både i anskaffelse og drift, hvorfor fleksibiliteten skal være et absolut krav for at vælge denne anlægstype.

Generelt ser det ud til, at kondenseringsenheden (anlægstype 2) er billigst i anskaffelse specielt ved mindre anlæg, men denne differens udlignes med tiden, så efter ca. 2 år har kondenseringsenheden (anlægstype 2) overhalet de øvrige anlægstyper, hvis der ses på nutidsværdi-indeks. Grunden hertil er, at driftsudgifterne ved denne anlægstype er markant højere end for de øvrige anlægstyper, da der er tale om flere units, der skal serviceres, og elforbruget er også højere. Anlægstypen vil være et godt valg ved anlæg med begrænset driftstid, f.eks. campingpladsen eller til anlæg, hvor anlægget kun har en kort levetid.






















Brinesystemer med decentral frostanlæg (anlægstype 3) er et rigtig godt alternativ til mindre dagligvarebutikker. Det ser ud til, at anlægstypen er meget attraktiv ved mindre installationer som kiosker, tankstationer og mindre supermarkeder, hvor frostdelen ikke er dominerende. Driftsomkostningerne er dog marginalt højere, hvilket primært skyldes serviceomkostningerne. Ved større anlæg er løsningen dog for dyr i anskaffelse sammenlignet med brine/CO<sub>2</sub>-kaskadesystemer, 40 bar CO<sub>2</sub>-anlæg med pumpecirkulation og CO<sub>2</sub> 130 bar transkritisk (anlægstype 4, 5 og 7).

Brine/CO<sub>2</sub>-kaskadesystemer (anlægstype 4) er ikke konkurrencedygtige ved helt små installationer, men er et alternativ, der skal overvejes fra små supermarkeder og op til helt store supermarkeder. Anskaffelsesprisen er på niveau med referenceanlægget (anlæg 0), mens udgifterne til el er mindre.

40 bar CO<sub>2</sub>-anlæg pumpecirkulation (anlægstype 5) minder meget om brine/CO<sub>2</sub>-kaskadesystemer (anlægstype 4) - set fra et økonomisk synspunkt. Anlægstypen er for dyr ved små installationer, men er attraktiv helt nede fra mindre supermarkeder og op til helt store supermarkeder.

60 bar CO<sub>2</sub>-systemet (anlægstype 6) er generelt dyr i anskaffelse og i drift. Dette er dog set ud fra, at anlægstypen er bygget på samme grundlag som de øvrige anlægstyper. Dette yder dog ikke fuld retfærdighed, da denne anlægstype specielt er tænkt til at skulle kombineres med luftkonditionering, hvilket derfor ville nedbringe anlægsomkostningerne betragteligt, da det derved kan kombineres med et anlæg, der er væsentligt større og derfor billigere. Det er derfor svært at sammenligne anlægstyperne, og derfor skal 60 bar CO<sub>2</sub>-systemet (anlægstype 6) også overvejes, hvis der opføres anlæg sammen med luftkonditionering.

CO<sub>2</sub> 130 bar transkritiske systemer (anlægstype 7) er en af de helt nye anlægstyper, hvilket bevirker, at komponenterne ikke er kommercielt tilgængelige endnu, og derfor er prisanalysen også meget usikker på netop dette punkt. Anlægstypen er generelt attraktiv selv ved helt små anlæg. Anlægget bruger mere energi end de anlægstyper, der konkurreres med, men til gengæld er serviceomkostningerne lavere, da der kun anvendes CO<sub>2</sub> som kølemiddel, og da anlægget er relativt simpelt opbygget.

	<10 kW	<40 kW	>40 kW
Plug-in (1)			
Kondenseringsunit (2)			
Brinesystem med decentral frost (3)			
Brine/CO <sub>2</sub> -kaskadesystem (4)			
40 bar CO <sub>2</sub> med pumpecirkulation (5)			
60 bar CO <sub>2</sub> -system (6)			
CO <sub>2</sub> 130 bar transkritisk (7)			

Tabel 8: Sammenfatning - økonomi

I det efterfølgende afsnit vil der være en gennemgang af, hvor de nye anlægstyper adskiller sig vedrørende personsikkerhed - specielt med henblik på CO<sub>2</sub> og kulbrinter.

# 6 Personsikkerhed

Med de nye anlægstyper og kølemidler bliver der rejst en række nye problemstillinger, som ikke har været aktuelle med HFC-kølemidler. Dette stiller en række nye krav til de personer, der omgås anlæggene i det daglige og i forbindelse med service og vedligehold.

Generelt er de nye anlægstyper ikke farligere end kølesystemer med HFC-kølemidler, da de er konstrueret efter et regelsæt, der tager højde for de risici, der er forbundet hermed. Der er dog nogle helt enkle regler, der skal overholdes. Disse regler gælder i princippet for alle anlægstyper, men der er særlige restriktioner ved brug af HC-kølemidler.

I de to kommende afsnit vil der blive givet en gennemgang af de aspekter, der kræver særlig opmærksomhed ved anlæg med CO<sub>2</sub> og kulbrinter.

## 6.1 Personsikkerhed – CO<sub>2</sub>

Hvis anlægget er placeret mere end 1 meter under jordoverfladen, eller hvis det har en kapacitet, der er større end 58 kW, så skal der ifølge kølebekendtgørelsen forefindes 2 stk. åndedrætsværn ved anlægget. Anlægget skal opstilles i et ventileret maskinrum eller udendørs. Maskinrummet skal desuden have monteret CO<sub>2</sub>-detektorer, der registrerer CO<sub>2</sub>-gas ved 4000 ppm.

Udblæsning fra sikkerhedsventiler bør foregå til det fri eller til et ventileret maskinrum. Ved opstillingen af anlægget skal man desuden tage hensyn til, at den praktiske grænse for et udslip ikke overskrides. Denne grænse er efter EN 378 defineret som 0,1 kg/m<sup>3</sup> rumvolumen.

Generelt er der ikke nogle specielle forhold for CO<sub>2</sub> i forhold til HFC-køle midler. Dog skal man være opmærksom på, at trykket for et CO<sub>2</sub>-anlæg er væsentlig højere end for HFC-anlæg. Typisk for anlægstyperne 3-5 er trykket 40 bar.

## 6.2 Personsikkerhed - kulbrinter

Kulbrinterne minder meget om HFC-kølemidler, hvad angår termodynamiske data m.m. bortset fra, at de er brændbare. Dette giver anledning til, at der skal strammes op på sikkerhedsprocedurerne specielt i forbindelse med aftapning og påfyldning af kølemiddel. Under normal drift er anlægget ikke anderledes end et almindeligt HFC-anlæg. Det må tilrådes, at personer, der skal lave service på udstyr med kulbrinter, bliver uddannet dertil for at sikre en sikker omgang med denne type systemer. Der er dog ikke noget egentligt lovkrav herom.

I det efterfølgende afsnit vil der blive gjort rede for aspekter i forhold til konstruktion af anlæg med brændbare kølemidler.

### 6.2.1 Opstilling af anlægget

For de anlægstyper, hvor det kulbrintefyldte anlæg opstilles i et offentligt rum, skal der søges særlig tilladelse ved Arbejdstilsynet. Desuden skal Beredskabsstyrelsens forskrifter følges. Dette medfører, at der skal laves en risikovurdering for opstillingsstedet. Og den lokale brandmyndighed skal kontaktes.

Kravene for, at en opstilling kan tillades i et offentligt rum, vil da være, at rummet kan klassificeres som et normalt område.

### 6.2.2 Konstruktion

Ved konstruktion af anlægget skal man tage hensyn til, at der er specielle krav for eludrustningen på kulbrinteanlæg, som skal være i overensstemmelse med zoneklassificeringen på anlægget og opfylde kravene i ATEX-direktivet. Dette vil sige, at f.eks. pressostater og tryktransmittere skal være sikret iht. zone 1 materiel. Desuden vil man tilstræbe at lave ventilationen omkring anlægget så god, så området kan klassificeres som normalt område eller zone 2. Kravene til ventilationen er, at koncentrationen ved et udslip kan holdes under 25% af nedre eksplosionsgrænse.

### 6.2.3 Servicering

Ved service på denne type anlæg vil det være tilrådeligt at flytte anlægget eller enheden ud i det fri. Er dette ikke muligt, skal der oprettes en tilstrækkelig ventilation omkring servicestedet, og døre til det fri skal åbnes. Desuden skal rummet lukkes for offentlig tilgang.

Inden et indgreb i kølekredsen, skal anlægget evakueres og skylles med nitrogen. Ved service på anlægget skal montøren bære en gasdetektor, som alarmerer om gasudslip ved 25% af nedre eksplosionsgrænse. Såfremt der forekommer en gasalarm, skal rummet forlades, og al elmateriel skal afbrydes. Nød og sikkerhedsventilation skal forblive kørende, således at gassen ledes bort.

Sikkerhedsventilatorer skal være ex-godkendte til zone 1, da de skal virke - også ved et gasudslip. Serviceudstyr skal være egnet for kulbrinter, herunder vakuumpumper. Efter brug skal vakuumpumpen gennemskylles med en ikke brændbar gas, inden den placeres i servicevognen.

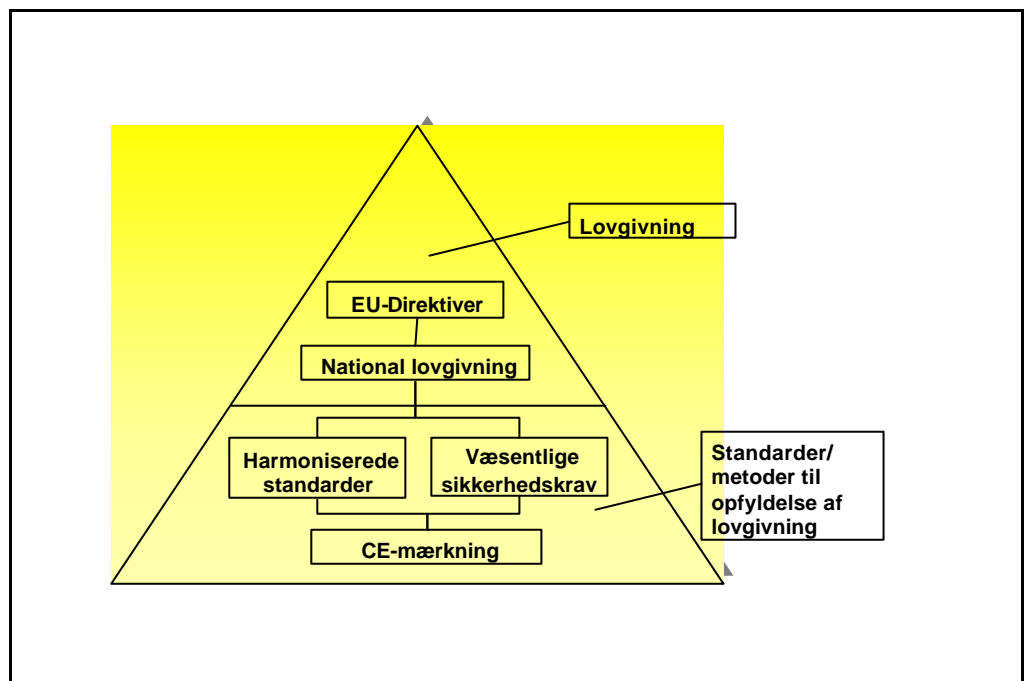
## 6.2.4 Lovgivning og standarder

Et af de store spørgsmål i den danske kølebranche omkring opstilling og konstruktion af køleanlæg med brændbare kølemidler har været, om det er lovligt at opstille disse anlæg, og hvilke myndigheder, der bestemmer kravene til opstilling og konstruktion. Der har i branchen fejlagtigt været den opfattelse, at opstilling af anlæg med fyldninger over 150 g brændbart kølemiddel ikke er lovligt. I dansk lovgivning er der ingen opstillingsgrænser på 150 g, 1 kg eller 1,5 kg.

Disse grænser kommer fra produktstandarder, som ikke må opfattes som værende lovgivende.

Med indførelse af EU's indre marked er og bliver der udviklet en række direktiver, som er EU-lovgivning på produktområdet. Når disse direktiver bliver implementeret i den danske lovgivning ved f.eks. bekendtgørelser, bliver det til nationallovgivning.

Ved konstruktion og produktion af et produkt kan producenten konstruere og producere produktet direkte efter de væsentlige sikkerhedskrav i de for produktet relevante direktiver, eller ved at benytte en harmoniseret standard. Opfylder produktet og produktionen heraf kravene i de relevante direktiver, kan producenten CE-mærke produktet.

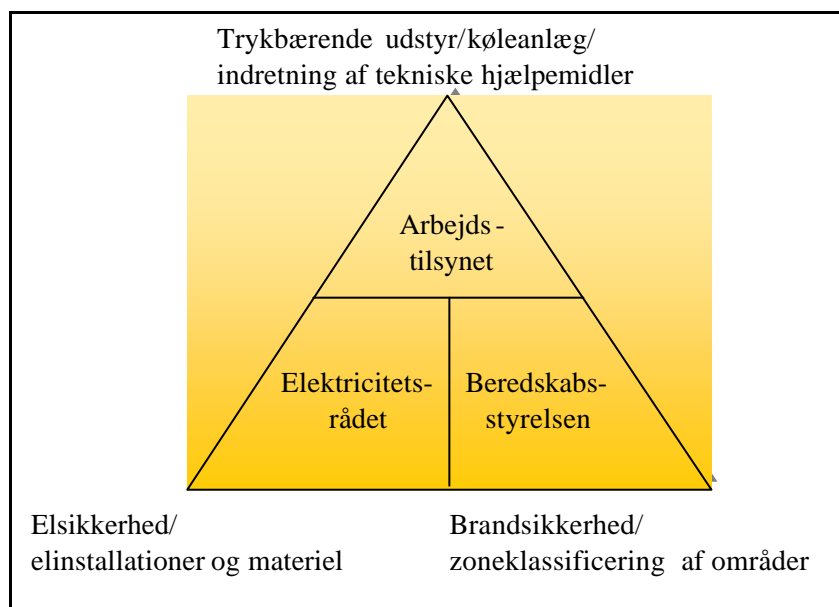


Kravene til opstilling, service og vedligehold er national lovgivning, og da køleanlæg er sammensat af forskellige teknologier, er der også flere myndigheder, der bliver involveret.

Arbejdstilsynet er lovgivende myndighed inden for følgende områder: opstilling, indretning og tilsyn med køleanlæg. Elektricitetsrådet har ansvaret for den elektriske sikkerhed, samt installation og godkendelse af elmateriel. Beredskabsstyrelsen har ansvaret for brandsikkerhed.

Myndighed	Lovgivningsområde	Lovgivning
<b>Arbejdstilsynet</b>	Opstilling, indretning og tilsyn med køleanlæg	Bekendtgørelse nr. 539 om indretning og brugen af køleanlæg
	Trykbærende udstyr indretning og konstruktion "Trykudstyrskravet"	Bekendtgørelse nr. 743 om indretning af trykbærende udstyr
	Opstilling, anmeldelse og tilsyn med trykudstyr	Bekendtgørelse nr. 746 om trykbeholdere og rørsystemer under tryk
<b>Elektricitetsrådet</b>	Lavspændingsdirektivet	Boligministeriets bekendtgørelse nr. 797
	EMC- Direktivet	Kommunikationsministeriets bekendtgørelse nr. 796
	ATEX-direktivet	Boligministeriets bekendtgørelse nr. 697
<b>Beredskabsstyrelsen</b>	Oplagring af gas og zoneklassificering	Tekniske forskrifter for F-gas
		Bekendtgørelse nr. 160 om F-gas

Tabel 9: Oversigtstabel for lovgivning og myndigheder



Figur 27 : Myndighedernes ansvarsområder

### 6.3 Krav til installationer ifølge lovgivningen

Arbejdstilsynet: AT-Bekendtgørelse nr. 539:

§13. I teatre, biografer, forsamlingsrum, varehuse og lignende må der til nyindrettede køleanlæg ikke uden særlig tilladelse anvendes brandfarlige, giftige eller stærkt irriterende kølemidler.



Beredskabsstyrelsen: LBK Nr. 912, Tekniske forskrifter for F-gas:

Pkt. 2.2.1 - Følgende oplag er undtaget fra disse bestemmelser

- Indendørs oplag på indtil 15 kg i flasker.
- Indendørsoplæg på indtil 40 kg i flasker, når oplagsrummets gulv er over terrænhøjde til mindst en side.
- Oplag i det fri på indtil 40 kg i flasker.

Pkt. 3.2.1 - Ved beboelsesejendomme må der til hvert lejemål være opstillet 3 flasker af 13 kg pr. stk.

Beredskabsstyrelsen tager lovgivningsmæssigt udgangspunkt i disse bestemmelser, når de skal godkende opstillingen af et anlæg. Derudover stilles yderligere krav til ventilation og elsikkerhed omkring anlæggene. Kravene til elsikkerhed bestemmes ud fra en zoneklassificering af området omkring anlæggene. Denne kan foretages efter brandteknisk vejledning nr. 19 eller efter EN 60079-10.

#### 6.4 Konklusion på lovgivningssiden

Lovgivningen kan da tolkes således, at der maksimalt må være 13 kg kulbrinter pr. kølekreds, og skal køleanlægget opstilles i et offentligt rum efter kølebekendtgørelsen §13, så skal der søges en særlig tilladelse.

På de anlæg, der er opstillet med kulbrinter i dag, er der lavet en risikovurdering, og der er søgt tilladelse for opstillingen ved den lokale brandmyndighed. Desuden er der ansøgt om en opstillingsgodkendelse ved Arbejdstilsynet.

#### 6.5 Krav til installationer ifølge standarder

I henhold til EN 378 Annex C (Informativt) og for rumkategori A, som omfatter offentligt tilgængelige rum, må der efter pkt. C.2.3.2.1 være op til 1,5 kg fyldning for hermetiske systemer. Dog skal den praktiske grænse for rummet overholdes. Under jordniveau må der maksimalt være 1 kg fyldning på køle anlægget. Der må ikke være nogen antændingskilder i forbindelse med anlægget.

Den praktiske grænse for eksempelvis propan er  $0,008 \text{ kg/m}^3$ , hvilket svarer til 25% af den nedre antændelsesgrænse.

EN 378 giver desuden en beskrivelse af, hvor stor ventilationen bør være for det opstillede anlæg.

Konklusion: EN 378 sætter således ingen grænser for antallet af anlæg, bare den praktiske grænse overholdes. Denne grænse skal også overholdes for andre typer af kølemiddel.

For R 134a er grænsen  $0,25 \text{ kg/m}^3$ , og for  $\text{CO}_2$  er grænsen  $0,1 \text{ kg/m}^3$ .

IEC 60335-2-40, som er gældende for varmepumper og airconditionanlæg, foreskriver, at de elektriske installationer på apparatet, som er påfyldt et brændbart kølemiddel, skal opfylde kravene i IEC 60079-15, sektion 3 og 4, hvilket er beskyttelsesklasse "n". Kravene til beskyttelsesklasse "n" er beskrevet i EN 50021 i sektion 3 og 4.

Kravene er, hvad der svarer til zone-2 udrustning. Det medfører, at kapslinger mindst skal være IP54. Klemtilslutningen og anden elektrisk materiel skal overholde kravene til sikringstype "n".

## 6.6 Opstillingssted og anlægstype

De lovgivningsmæssige krav til opstillingssted og anlægstype er sikkerhedsmæssige krav, hvor kølemiddeltypen, mængden og anlægstypen er de afgørende parametre.

Kølemidlerne er inddelt i to grupper i henhold til trykudstyrsdirektivet:

Gruppe 1: Giftige, og brændbare kølemidler (ammoniak, propan og andre kulbrinter)

Gruppe 2: Ikke giftige og ikke brændbare kølemidler (CO<sub>2</sub> og HFC-kølemidler).

I tabellen nedenfor ses de 7 forskellige anlægstyper med forskellige muligheder for kølemidler samt opstillingssted. Tallet, der aflæses i tabellen, refererer til en note på de efterfølgende sider.

Anlægstype	Kølemiddel	Opstillingssted			
		Kælder	Maskinrum	Offentligt tilgængeligt	Udendørs
Anlægstype 1: Plug-in	Gruppe 1	1	IR	3	4
	Gruppe 2	5	IR	7	8
Anlægstype 2: Kondenseringsunit	Gruppe 1	1	2	3	4
	Gruppe 2	5	6	7	8
Anlægstype 3: Brinesystem med decentralt frostanlæg	Gruppe 1	1	2	3	4
	Gruppe 2	5	6	7	8
Anlægstype 4: Brine/CO <sub>2</sub> -kaskade- system	Gruppe 1	1	2	3	4
	Gruppe 2	5	6	7	8
Anlægstype 5: 40 bar CO <sub>2</sub> -anlæg med pumpecirkulation	Gruppe 1	1	2	3	4
	Gruppe 2	5	6	7	8
Anlægstype 6: 60 bar CO <sub>2</sub> -system	Gruppe 1	1	2	3	4
	Gruppe 2	5	6	7	8
Anlægstype 7: CO <sub>2</sub> 130 bar	Gruppe 1	5	6	7	8

Tabel 10: Tabel over de forskellige anlægstyper, kølemidler og opstillingssted

IR: Ikke relevant

## **1: Kælderrum og gruppe 1 kølemiddel**

### **Dansk lovgivning:**

Efter Kølebekendtgørelsen §13 skal der søges særlig tilladelse fra Arbejdstilsynet, hvis rummet er offentligt tilgængeligt.

I henhold til Beredskabsstyrelsens forskrifter for F-gas må der være et oplag af gas på op til 15 kg i flasker (total). Dette er grænsen under terrænniveau. Der er krav til den elektriske udrustning i nærheden af anlægget. Området skal også zoneklassificeres.

### **Standarder:**

EN 378-1: I kælderrum er den maksimale fyldningsgrænse på 1 kg. Dog skal den praktiske grænse overholdes.

## **2: Maskinrum og gruppe 1 kølemiddel**

### **Dansk lovgivning:**

Efter Beredskabsstyrelsens forskrifter for F-gas må der være op til 3x13 kg kulbrinter i et maskinrum. Der er dog krav til ventilation og opsætning af yderligere sikkerhedsforanstaltninger. Der er krav til elmateriel i nærheden af anlægget. Desuden skal området zoneklassificeres.

### **Standarder:**

EN 378-1: Ubegrænset fyldning, hvis personer ikke har tilgang til rummet, og hvis personer har tilgang, må der maksimalt være 25 kg.

Der er krav til ventilation samt til opsætning af yderligere sikkerhedsforanstaltninger som gassensorer eller anden sikring af ventilation.

## **3: Offentligt tilgængelige rum og gruppe 1 kølemiddel**

### **Dansk lovgivning:**

Efter Kølebekendtgørelsen §13 er det ikke tilladt uden særlig tilladelse fra Arbejdstilsynet, hvis rummet er offentligt tilgængeligt.

I henhold til Beredskabsstyrelsens forskrifter for F-gas må der være et oplag af gas på op til 3x13 kg i flasker (total). Dette er grænsen over terrænniveau. Beredskabsstyrelsen sætter krav til tilstrækkelig ventilation og eventuelt til gasdetektering. Der er krav til den elektriske udrustning i nærheden af anlægget. Desuden skal området zoneklassificeres.

### **Standarder:**

EN 378-1: Det er tilladt med op til 1,5 kg fyldning. Der skal dog tages hensyn til den praktiske grænse.

#### **4: Udendørsopstilling og gruppe 1 kølemiddel**

##### **Dansk lovgivning:**

I henhold til Beredskabsstyrelsens forskrifter for F-gas må der være et oplag af gas på op til 3x13 kg i flasker (total). Dette er grænsen over terrænniveau. Der er krav til den elektriske udrustning på anlægget.

##### **Standarder:**

EN 378-1: Ubegrænset fyldning.

#### **5: Kælderrum og gruppe 2 kølemiddel**

##### **Dansk lovgivning:**

Generelt skal de praktiske grænser overholdes.

##### **Standarder:**

EN 378-1: Den praktiske grænse skal overholdes.

#### **6: Maskinrum og gruppe 2 kølemiddel**

##### **Dansk lovgivning:**

Generelt skal de praktiske grænser overholdes. Der kan være krav om detektering af ikke lugtbare gasser som f.eks. CO<sub>2</sub>.

##### **Standarder:**

EN 378-1: Den praktiske grænse skal overholdes.

#### **7: Offentligt tilgængelige rum og gruppe 2 kølemiddel**

##### **Dansk lovgivning:**

Generelt skal de praktiske grænser overholdes. Der kan være krav om detektering af ikke lugtbare gasser som f.eks. CO<sub>2</sub>.

##### **Standarder:**

EN 378-1: Den praktiske grænse skal overholdes.

#### **8: Udendørsopstilling og gruppe 2 kølemiddel**

Ingen særlige krav.

I det efterfølgende afsnit sammenfattes de foregående afsnit, og der konkluderes på valget af anlægstyper.

## 7 Konklusion

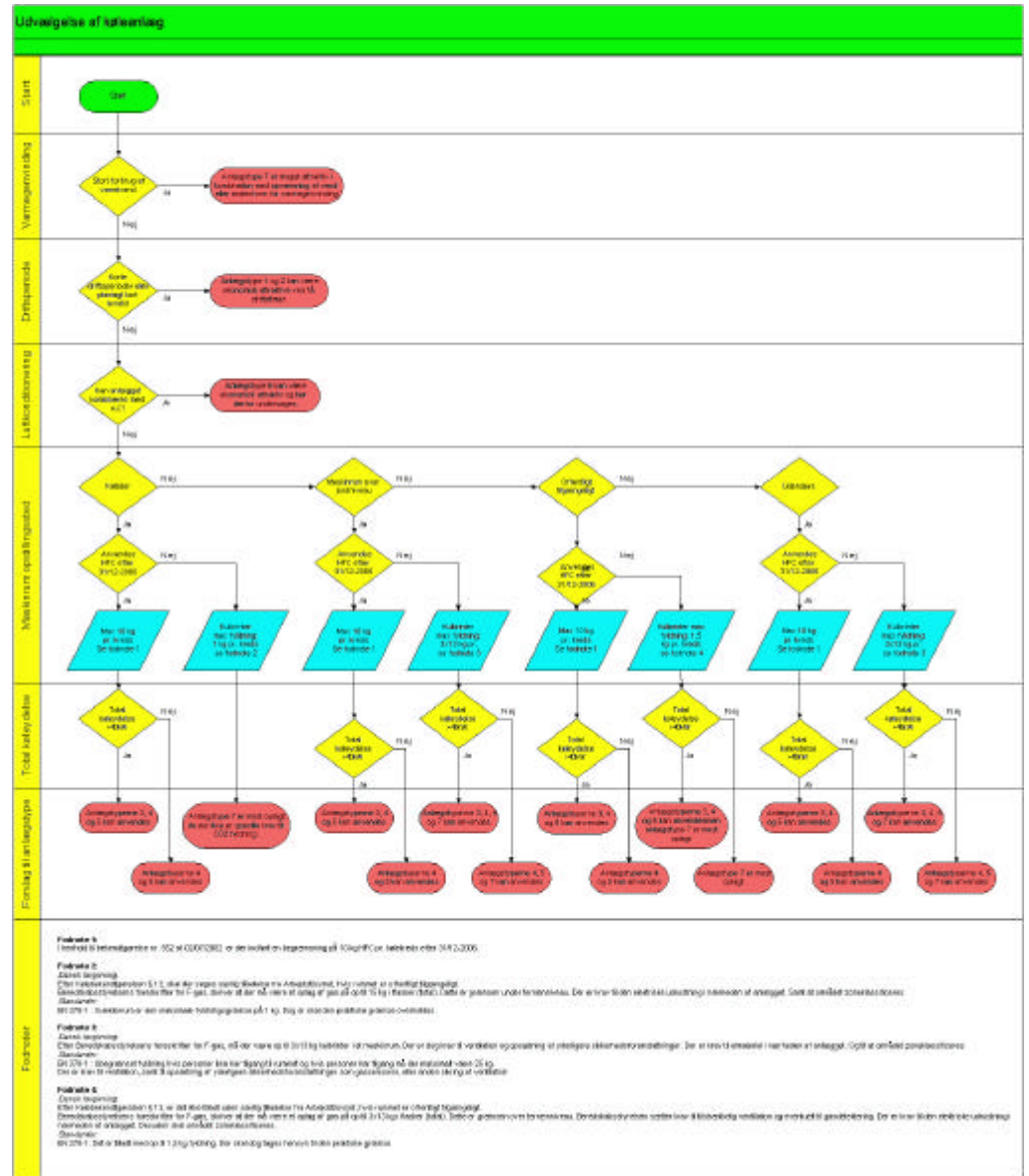
Det er ikke muligt at give et entydigt bud på valg af anlægstype til de forskellige applikationer. Derfor er det valgt at foreslå en række forskellige alternativer, som kan bruges i forskellige situationer. Til grund for valgene er lagt opstillingssted, driftstimer, mulighed for varmegenvinding, mulighed for AC, økonomi (anlægsomkostninger og levetidsomkostninger), samt om der ønskes at vælge HFC-kølemidler efter den 31. december 2006.

Ovenstående krav sammenfattes på næste side til et rutediagram, der indikerer, hvilke anlægstyper, der kan være aktuelle i netop dette tilfælde. Det skal dog understreges, at der kun er tale om en vejledning, og at der muligvis er andre anlægstyper end dem, der er behandlet i denne rapport, der kan være attraktive. Derudover kommer det udførende firmas kompetencer og viden om de forskellige anlægstyper.

Rutediagrammet giver en indikation af, hvilke anlægstyper, det er teknisk muligt at anvende. For en mere detaljeret beregning af økonomien henvises til prisberegningsprogrammet til beregning af prisindeks og energiforbrugsindeks.



# 8 Flowchart



Figur 28: Rutediagram for udvælgelse af køleanlæg





## 9 Bilagsliste

Bilags- nummer	Betegnelse
1	Referenceliste for standardbetingelser - remote systemer
2	Referenceliste for standardbetingelser - plug-in systemer
3	Udvælgelse af anlægstyper.



## 10 Referenceliste

- /1/ Undersøgelse af udsivning af køle midler fra butiksanlæg, Torkil Høft, KMO, november 2001.
- /2/ Kølebranchens kvalitetssikringsordning: anlægsdesign, -beregning og -dimensionering, Svenn Hansen, udgave 14, oktober 2001.



# Bilag 1

Data for anlægstyperne 3-7

Virkningsgrader		Kilde
$\epsilon$ kaskadeveksler	0.6	Erfaringstal
$\epsilon$ intern varmeveksler	0.2	Erfaringstal
$\eta$ pumpe	0.3	Hermetic, CAM 1/21,5 m <sup>3</sup> /h og 1,5 m løftehøjde
Fordampningstemperatur		
Frost CO <sub>2</sub>	-30 °C	Forventet med samme fordampertype som HFC
Frost HFC	-33 °C	/2/ bilag 4
Køl CO <sub>2</sub>	-4 °C	Forventet med samme fordampertype som HFC
Køl CO <sub>2</sub> DX	-8 °C	Forventet med samme fordampertype som HFC
Køl HFC	-10 °C	/2/ bilag 4
Brine temp. frem	-5 °C	/2/ bilag 11, $\Delta t = 10$
Kondenseringstemperatur		
Minimum kondensering	15 °C	Erfaringstal
Minimum kondensering CO <sub>2</sub>	5 °C	Erfaringstal vurderet
Temperaturdifferencer		
$\Delta t$ kondensator	10 K	/2/ bilag 6
$\Delta t$ kaskadeveksler	8 K <sup>4</sup>	/2/ bilag 10
$\Delta t$ brineveksler	8 K	/2/ bilag 5
$\Delta t$ brine	6 K	Erfaringstal
Tryktab		
Trykrør	2 K	/2/ bilag 16
Sugerør	2 K	/2/ bilag 16
Trykstigning i cirkulationspumpe	2 bar	Erfaringstal vurderet
Diverse		
Overhedning	5 K	Erfaringstal vurderet
Underkøling	2 K	Erfaringstal vurderet
Cirkulationstal oversvømmet	2	Erfaringstal vurderet
Levetid	12 år	Erfaringstal vurderet
Fyldning		
Høj temperatur - kaskade	0.5 kg/kW	Vurderet
Frost CO <sub>2</sub> DX	1 kg/kW	Vurderet
Køl CO <sub>2</sub> pumpecirkulation	3 kg/kW	Vurderet
Køl CO <sub>2</sub> DX	1 kg/kW	Vurderet
DX HFC	2.5 kg/kW	Vurderet
Lækagerate	10%/år	/1/
Regenerering	90%	Vurderet i samråd med KMO
Energiforbrug		
Specifik CO <sub>2</sub> -emission	0,78 kg/kWh	Officielt tal fra ENS 2000-2001

<sup>4</sup> Der anvendes dog 12 K ved CO<sub>2</sub>/brinekaskaden ved anlægstype 3.

## Bilag 2

Data for anlægstyperne 1 og 2

Rumtemperatur		
Omgivelsestemperatur	20 °C	Skønnet værdi
Temperaturdifferencer		
$\Delta t$ fordamper HC plug-in	20 K	Skønnet værdi
$\Delta t$ fordamper HFC plug-in	20 K	Skønnet værdi
$\Delta t$ fordamper HC-kondenseringsunit	15 K	Skønnet værdi
$\Delta t$ fordamper HFC-kondenseringsunit	15 K	Skønnet værdi
$\Delta t$ kondensator - køl (-10°C)	20 K	Beregnet ud fra katalogdata
$\Delta t$ kondensator - frost (-30°C)	8 K	Beregnet ud fra katalogdata
Diverse		
Overhedning	10 K	Standardbetingelser
Underkøling	3 K	Standardbetingelser
Min. kondenseringstemperatur	25 °C	Skønnet
Levetid	12 år	Skønnet værdi
Tryktab		
Trykrør	3 K	Skønnet værdi
Sugerør	3 K	Skønnet værdi
Fyldning		
Frost HFC/HC plug-in	1 kg/kW	Skønnet værdi
Køl HFC/HC plug-in	1 kg/kW	Skønnet værdi
Frost HFC/HC	2.5 kg/kW	Skønnet værdi
Køl HFC/HC	2.5 kg/kW	Skønnet værdi
Lækagerate plug-in	2%/år	Vurderet sammen med KMO
Lækagerate	10%/år	Vurderet sammen med KMO
Regenerering plug-in	99%	Vurderet sammen med KMO
Regenerering Kondenseringsunit	90%	Vurderet sammen med KMO
Virkningsgrader		
$\epsilon$ intern varmeveksler	0.2	Skønnet værdi
Energiforbrug		
Specifik CO <sub>2</sub> -emission	0,78 kg/kWh	Officielt tal fra ENS 2000-2001



# Bilag 3

## **Udvælgelse af anlægstyper**

I dette bilag gives en kort beskrivelse af de anlægstyper, der i dag er kendt til, og som er blevet diskuteret på workshopen. Denne beskrivelse skal danne baggrund for den endelige udvælgelse af de anlægstyper, som vil blive behandlet mere grundigt.

Efterfølgende udvælgelse vil ske på baggrund af de krav, der er gældende efter 31. december 2006. Der er lagt særlig vægt på økonomi, driftssikkerhed, miljø samt energiforbrug i den indledende udvælgelse, men derudover skal det være muligt at bygge anlæggene i henhold til den gældende lovgivning efter 2006. Det vil sige, at det skal være muligt at bygge anlægget med HC-kølemidler eller med mindre end 10 kg HFC pr. kreds.

Der er lagt vægt på, at alle størrelser af supermarkeder, kiosker og tankstationer skal kunne finde en anlægstype, de kan anvende.

I hovedrapporten vil de i afsnit 7 udvalgte anlægstyper blive analyseret, og der vil specielt blive lagt vægt på faktorer som økonomi, driftssikkerhed, miljø samt energiforbrug.



## Type A: Plug-in møbler



Figur 29: Eksempler på plug-in units

### **Anlægsbeskrivelse**

Kompakt enhed med kompressor, fordampere og kondensator i samme kabinet. Enhederne findes i forskellige udformninger, som ofte er udformet efter, hvilken vare der sælges. Enhederne er ofte billige at producere, hvilket påvirker kvaliteten af kølesystemet. Kølemidlet kan være HC, HFC samt CO<sub>2</sub>, da fyldningen typisk er under 10 kg.

### **Energiforbrug**

Energiforbruget på denne type enheder er ofte højt sammenlignet med et centralt placeret køleanlæg. Grunden hertil er små fordampere, små kondensatorer og mindre gode virkningsgrader på kompressorer og ventilatorer. Energiforbruget er typisk ikke en konkurrenceparameter.

### **Økonomi**

Anlægsinvesteringen er ofte lav sammenlignet med andre enkeltstående anlæg af samme størrelse, da installationsomkostningerne er meget lave. Driftsomkostningerne er relativt høje på grund af det høje energiforbrug. Serviceomkostningerne vurderes til at være små, da der ikke er lovkrav om eftersyn.

### **Driftssikkerhed**

Driftssikkerheden på denne type enheder er generelt god. Derudover er det hurtigt at udskifte en defekt enhed, da det ikke kræver indgreb i forretningen i øvrigt. Samtidig er det kun ét møbel, der er berørt.

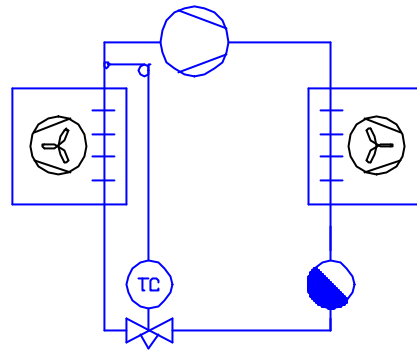
### **Personersikkerhed**

Personersikkerheden omkring denne type anlæg er generelt god, da de er fremstillet i store styktaal under kontrollerede forhold på en fabrik. Ved udskiftning af komponenter kan der opstå problemer, hvis der er anvendt HC som køle middel.

### **Teknologisk stade**

Anlægstypen har været kendt i mange år, og alle komponenter er tilgængelige med undtagelse af komponenter til CO<sub>2</sub>.

## Type B: Direkte system



Figur 30: Kondenseringsunit udedel med kompressor og kondensator

### Anlægsbeskrivelse

Ved et direkte system forstås et system, hvor der er direkte ekspansion af kølemiddel i møblet, men hvor kompressoraggregatet er placeret væk fra kølestedet. Denne type anlæg vil efter den nye bekendtgørelse blive begrænset af fyldningsgrænsen på 10 kg. Det vil betyde, at anvendelsen begrænses til split- eller kondenseringsunits. Denne type enheder er kendetegnet ved, at kompressor og kondensator er sammenbygget fra fabrikken. Kølestedet og rørtrækket monteres på stedet.

### Energiforbrug

Energiforbruget på denne type enheder er ofte højt sammenlignet med parallelanlæg. Grunden hertil er små kondensatorer og mindre gode virkningsgrader på kompressorer og ventilatorer. Energiforbruget er ofte ikke en konkurrenceparameter.

### Økonomi

Anlægsinvesteringen er ofte lav sammenlignet med parallelanlæg. Driftsomkostningerne er relativt høje på grund af det høje energiforbrug. Serviceomkostningerne vurderes til at være de samme eller mere end et tilsvarende ved parallelanlæg.

### Driftssikkerhed

Driftssikkerheden på denne type enheder er generelt god. Derudover er det hurtigt at udskifte en defekt enhed, da det typisk er en standardvare ved grossisten. Der er dog ikke nogen form for backup i tilfælde af havari.

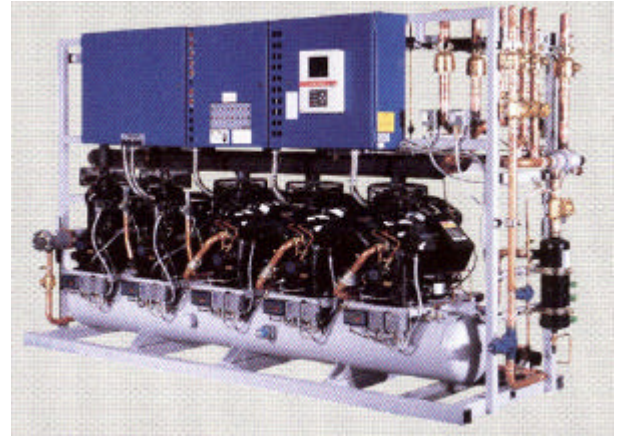
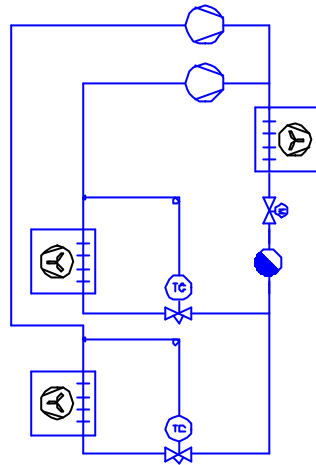
### Personersikkerhed

Personersikkerheden omkring denne type anlæg er generelt god. Kølemidlet er typisk HFC, hvilket ikke anses for at udgøre en speciel risiko for nærmiljøet.

### Teknologisk stade

Anlægstypen har været kendt i mange år, og alle komponenter er tilgængelige. Der mangler dog arbejde med at nedbringe fyldningen.

Type C: Parallelanlæg med fælles kondensator



Figur 31: Parallelanlæg med fælles kondensator

### Anlægsbeskrivelse

Opbygget som to separate køle-/frostkredse med fælles kondensator. Ekspansionen sker direkte i møblerne, mens den øvrige del af anlægget er placeret i et maskinrum. Der anvendes ofte flere kompressorer i parallel. Anlægstypen er i dag den mest anvendte på supermarkedsanlæg. Anvendelsesområdet er fra ca. 15 kW totalydelse. Anvendelsen af denne type systemer vil efter 2006 blive begrænset af 10 kg grænsen til vedligehold af eksisterende systemer.

### Energiforbrug

Energiforbruget på denne type anlæg vurderes til at være lavt, hvis anlægget er dimensioneret korrekt. Der anvendes oftest semihæretiske kompressorer med en god virkningsgrad.

### Økonomi

Ved anlæg af en vis størrelse vurderes anskaffelsesprisen til at være god. Driftsøkonomien vurderes til at være god, hvis anlægget er dimensioneret korrekt. Serviceudgifterne vurderes til at være middel, da der er lovkrav til eftersyn.

### Driftssikkerhed

Driftssikkerheden er generelt god, da komponenterne er tilgængelige, og da der er flere kompressorer parallelt.

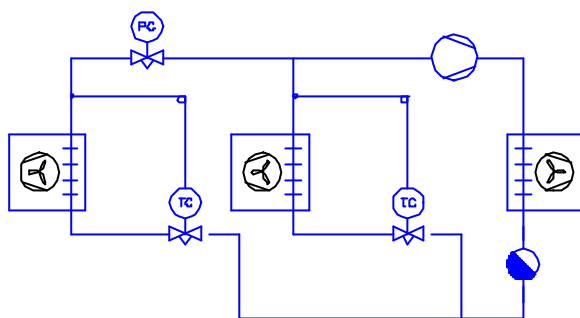
### Personersikkerhed

Denne type anlæg anvender HFC, hvilket ikke betegnes som farligt for nærmiljøet.

### Teknologisk stade

Teknologien er gennemprøvet og har været anvendt i en årrække.

Type D: Kombineret køl og frost



Figur 32: Kombineret køl og frost

### Anlægsbeskrivelse

Typisk supermarkedsanlæg med en kompressor (eller flere parallel) og fælles kondensator. Kølemidler ekspanderes direkte i møblerne. Den resterende del af anlægget er anbragt uden for butikken. Typisk vil det ikke være muligt at bygge denne type anlæg efter 2006, da fyldningen typisk er større end 10 kg.

### Energiforbrug

Energiforbruget på denne type anlæg vurderes til at være højt, da der kun anvendes et sugetryk, som er dikteret af frostdelen.

### Økonomi

Denne anlægstype er billig i anskaffelse, mens udgifterne til energi er høj. Serviceudgifterne vurderes til at være middel.

### Driftssikkerhed

Driftssikkerheden på denne type anlæg er høj, da der anvendes komponenter, der er lagervare ved grossisterne, og ofte er der flere kompressorer parallelt i tilfælde af et havari.

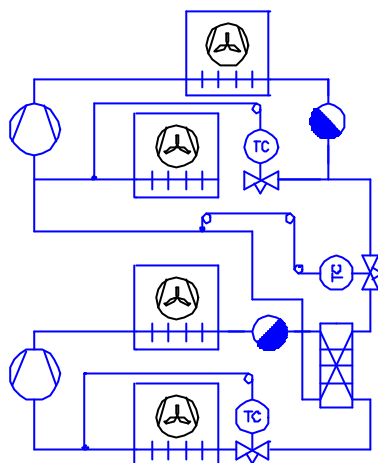
### Personsikkerhed

Personsikkerheden omkring denne type anlæg er generelt god. Kølemidlet er typisk HFC, hvilket ikke anses for at udgøre en speciel risiko for nærmiljøet.

### Teknologisk stade

Alle komponenter er velafprøvede, og anlægstypen har været anvendt i en årrække.

Type E: Parallelanlæg - direkte anlæg med underkøling på frost



Figur 33: Parallelanlæg - direkte anlæg med underkøling på frost

### Anlægsbeskrivelse

Typisk supermarkedsanlæg med en kompressor (eller flere parallel) og fælles kondensator. Kølemidler ekspanderes direkte på kølestedet. Den resterende del af anlægget er anbragt uden for butikken. Anlægstypen adskiller sig fra Type C, ved at væsken til frosten underkøles, hvilket giver et lavere energiforbrug. Denne type anlæg vil det typisk ikke være muligt at bygge efter 2006, da fyldningen typisk er større end 10 kg.

### Energiforbrug

Energiforbruget på denne type anlæg vurderes at være lavt, hvis anlægget er dimensioneret korrekt. Der anvendes oftest semihæretiske kompressorer med en god virkningsgrad.

### Økonomi

Ved anlæg af en vis størrelse vurderes anskaffelsesprisen til at være god. Driftsøkonomien vurderes til at være god, hvis anlægget er dimensioneret korrekt. Serviceudgifterne vurderes til at være middel, da der er lovkrav til eftersyn.

### Driftssikkerhed

Driftssikkerheden er generelt god, da komponenterne er tilgængelige, og da der er flere kompressorer parallelt.

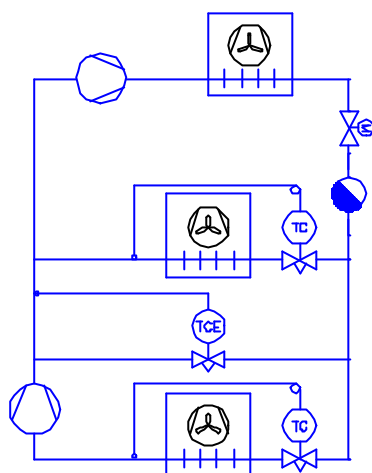
### Personersikkerhed

Denne type anlæg anvender HFC, hvilket ikke betegnes som farligt for nærmiljøet.

### Teknologisk stade

Teknologien er gennemprøvet og har været anvendt i en årrække.

Type F: Boosteranlæg



Figur 34: Boosteranlæg

### Anlægsbeskrivelse

Typisk supermarkedsanlæg med en kompressor (eller flere parallelle) og fælles kondensator. Kølemidler ekspanderes direkte på kølestedet. Den resterende del af anlægget er anbragt uden for butikken. Anlægstypen adskiller sig fra Type C ved at kompressionen fra frost udføres i to trin med væskeindsprøjtning ved mellemtrykket. Opbygningen er mere kompleks end ved type C-E, hvilket bevirker, at den oftest anvendes i større anlæg. Denne type anlæg vil det typisk ikke være muligt at bygge efter 2006, da fyldningen typisk er større end 10 kg.

### Energiforbrug

Energiforbruget på denne type anlæg vurderes til at være lavt, hvis anlægget er dimensioneret korrekt. Der anvendes oftest semihæretiske kompressorer med en god virkningsgrad.

### Økonomi

Ved anlæg af en vis størrelse vurderes anskaffelsesprisen at være god. Driftsøkonomien vurderes at være god, hvis anlægget er dimensioneret korrekt. Serviceudgifterne vurderes at være middel, da der er lovkrav om eftersyn.

### Driftssikkerhed

Driftssikkerheden er generelt god, da komponenterne er tilgængelige, og da der ofte er flere kompressorer parallelt.

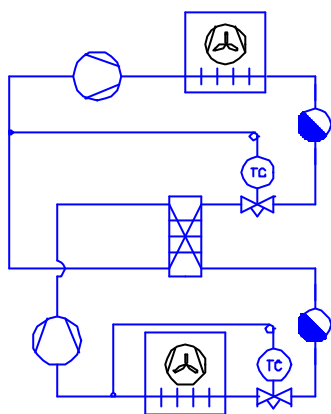
### Personsikkerhed

Denne type anlæg anvender HFC, hvilket ikke betegnes som farligt for nærmiljøet.

### Teknologisk stade

Teknologien er gennemprøvet og har været anvendt i en årrække.

Type G: Kaskadeanlæg



Figur 35: Kaskadeanlæg

### Anlægsbeskrivelse

System med et kompakt anlæg med HC eller HFC på toppen, som anvender et andet kølemiddel, f.eks. CO<sub>2</sub>, til lav temperatur. Anlægget omfatter ikke køl.

### Energiforbrug

Hvis anlægget dimensioneres korrekt, vurderes energiforbruget at være det samme eller lavere end et traditionelt system uden kaskade, på grund af de gode lavtemperatur-egenskaber og bedre termofysiske data ved CO<sub>2</sub>.

### Økonomi

Anlægsprisen vurderes at være lidt højere end et traditionelt anlæg uden kaskade, da der indgår flere komponenter. På sigt vil priserne på CO<sub>2</sub>-komponenter falde, efterhånden som efterspørgslen stiger. Det vurderes, at der i fremtiden vil være en lille merpris for denne type anlæg. Ved større anlæg vurderes prisen at blive den samme. Da energiforbruget vurderes til at være lavere end et traditionelt anlæg, vil der være en besparelse på energiforbruget. Serviceomkostningerne for denne type anlæg vurderes ikke at være højere end normalt.

### Driftssikkerhed

Generelt er driftssikkerheden god. Der kan dog være problemer i forbindelse med stop da fyldningen på lavtemperatur-delen kan blæse af til omgivelserne. Der kan opstå problemer med fremskaffelse af komponenter, da anlægstypen ikke er særlig udbredt endnu.

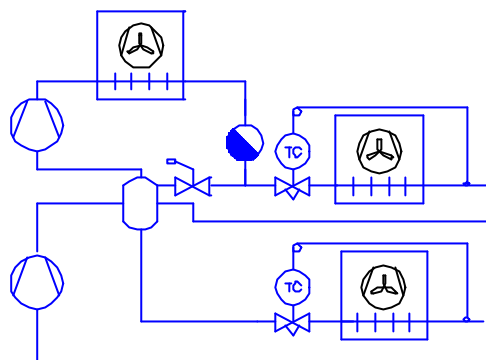
### Personersikkerhed

Generelt er CO<sub>2</sub> ikke giftigt i lave koncentrationer. På højtemperatur-trinnet kan der anvendes HFC, ammoniak eller kulbrinter. Der er særlige regler vedrørende omgang med ammoniak og kulbrinter.

### Teknologisk stade

Der er bygget flere anlæg af denne type, der er i drift uden problemer. Komponenterne findes, men er ikke altid lettilgængelige.

Type H: CO<sub>2</sub>-anlæg til køl og frost med åben mellemkøler 130 bar



Figur 36: CO<sub>2</sub> transcritisk anlæg

### Anlægsbeskrivelse

Anlægget anvender udelukkende CO<sub>2</sub> som kølemiddel. Da CO<sub>2</sub> ikke kan kondensere ved temperaturer over 31°C, kører processen i perioder transcritisk, hvilket medfører, at trykket kan komme op på 130 bar på højtryksdelen. Anlægget kan konstrueres sådan, at trykket ikke kommer over 75 bar i de dele, der er inde i butikken.

### Energiforbrug

Energiforbruget er højere end energiforbruget på et tilsvarende kaskade- eller parallelanlæg. Det højere energiforbrug kan forsvares i de tilfælde, hvor varmen kan bruges til opvarmning af brugsvand. Ved denne type anlæg kan hele varmeydelsen bruges til opvarmning af vand imod ca. 10% ved konventionelle anlæg, hvor kun overhedningen kan bruges.

### Økonomi

Det er endnu ikke muligt at anslå en anskaffelsespris på et anlæg af denne type, da teknologien ikke er tilstrækkelig udbredt. Anlægsopbygningen minder dog meget om kendte anlægstyper.

Driftsomkostningerne anses ikke for at være højere end ved et konventionelt system. Dog er energiomkostningerne højere end ved et konventionelt anlæg, mens udgiften til kølemiddel trækker i den anden retning.

### Driftssikkerhed

Der er endnu ikke erfaringer med dette anlæg i denne type applikationer.

### Personersikkerhed

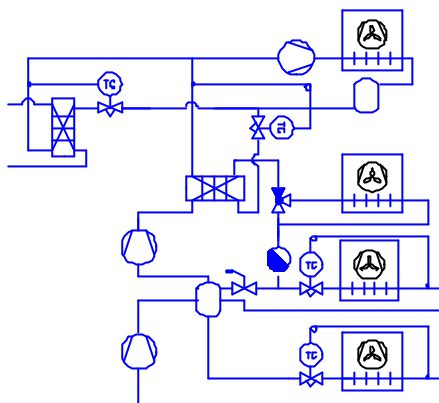
Denne anlægstype kører med op til 130 bar på højtryksdelen, hvilket stiller nogle krav til konstruktionen. Højtryksdelen kan dog laves meget kompakt, så den udelukkende består af gaskøler og kompressor samt rørforbindelsen imellem dem. Den resterende del af anlægget er trykket maksimalt 75 bar.

### Teknologisk stade

Teknologien er endnu ikke afprøvet på anlæg af denne type, og komponenterne er endnu ikke kommercielt tilgængeligt. Der er p.t. 2 anlæg i drift - ét i Danmark og ét i Italien.

Type I: 60 bar CO<sub>2</sub>-anlæg med kaskade til højtemperatur-del, som kan tilsluttes AC





Figur 37: 60 bar CO<sub>2</sub>-anlæg med kaskade til højtemperaturdel, som kan tilsluttes ac

### Anlægsbeskrivelse

Anlægget består af to dele. En CO<sub>2</sub>-del som køler frost- og kølemøblerne i butikken, samt et højtemperatur-trin, der køler kaskadeveksleren. Lavtemperatur-delen er opbygget som et konventionelt parallel- eller booster-anlæg. Der kondenseres op mod udeluften i perioder, hvor det er muligt (maksimum kondenseringstryk 60 bar). I perioden, hvor dette ikke er muligt, fjernes overhedningen med en luftkøler, hvorefter der kondenseres op mod højtemperatur-trin-net, det også servicerer AC systemet. Der er god samtidighed med 60 bar kondensering og behovet for AC.

### Energiforbrug

Energiforbruget til køling vurderes at være væsentligt højere end ved 40 bar systemer eller konventionelle kaskadesystemer.

### Økonomi

Da der ikke findes komponenter til 60 bar, der er kommercielt tilgængelige, er det ikke muligt at give et nøjagtigt skøn. Det vurderes dog, at det samlede system er billigere end et kaskadesystem, hvis det kombineres med AC. Serviceomkostningerne vurderes at være lavere end for et kaskadesystem, hvis der kombineres med AC.

Energiforbruget er højere end for et kaskade- eller parallelanlæg, og derfor er driftsomkostningerne højere.

### Driftssikkerhed

Komponenterne er endnu ikke kommercielt tilgængelige, og derfor kan der opstå problemer med reservedele på nuværende tidspunkt.

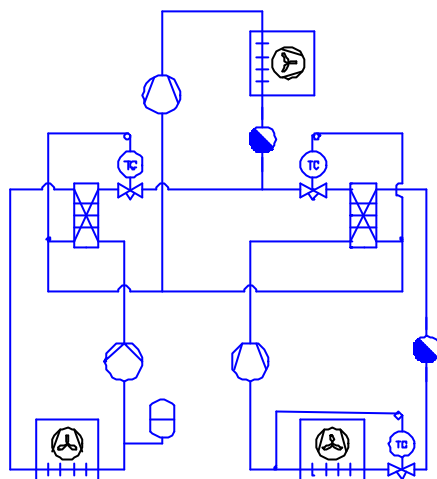
### Personersikkerhed

Anlægstypen opererer med tryk op til 60 bar, hvilket stiller krav til montører og materialer.

### Teknologisk stade

Komponenterne er endnu ikke kommercielt tilgængelige. Tidshorizonten vurderes til 1-5 år afhængig af, hvad tendensen er i udlandet.

Type J: HFC/HC højtemperatur-del med brine til køl og CO<sub>2</sub> på frost



Figur 38: HFC/HC højtemperatur-del med brine til køl og CO<sub>2</sub> på frost

### Anlægsbeskrivelse

System med HFC- eller kulbrinte anlæg på højtemperatur samt et CO<sub>2</sub>-kaskade anlæg til frost. Kølestederne forsynes via en brinekreds, der også køles af højtemperatur-anlægget.

### Energiforbrug

Energiforbruget til denne type anlæg vurderes til at være det samme som for et konventionelt parallelt anlæg. Grunden er, at brinen virker som buffer, hvilket bevirker færre start/stop, samt at CO<sub>2</sub> kører med en bedre virkningsgrad.

### Økonomi

Denne type anlæg er den alternative løsning, der til dato er bedst beskrevet i Danmark. Der er lavet beregninger, der viser, at merprisen for denne type er omkring 5-10%, og på sigt vurderes det, at prisen vil være ca. det samme som for et konventionelt anlæg.

Energiomkostningerne vurderes også at være på samme niveau som konventionelle anlæg. Udgifterne til service vurderes at være højere end for konventionelle systemer, da brinekredsen kræver mere vedligehold.

### Driftssikkerhed

Komponenterne til denne type anlæg er i dag ikke normal lagervare ved alle kølemontører. Generelt vurderes driftssikkerheden at være på samme niveau som for konventionelle systemer.

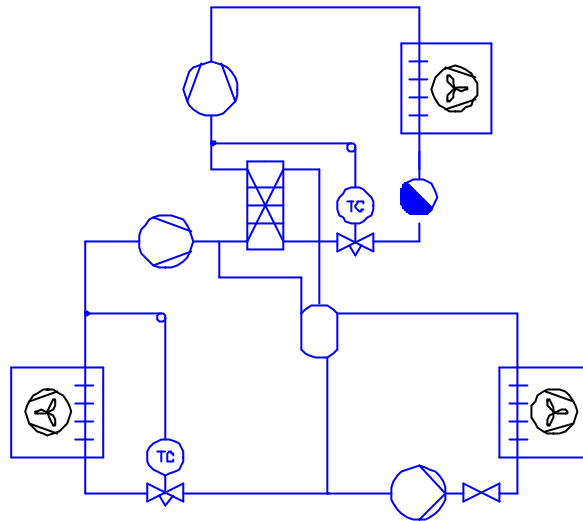
### Personersikkerhed

Personersikkerheden omkring denne type anlæg vurderes at være på samme niveau som konventionelle systemer. Der er dog særlige forhold omkring kulbrintesystemer.

### Teknologisk stade

Teknologien er blevet gennemprøvet i en del år i Sverige og Danmark, og alle komponenter er tilgængelige.

Type K: HFC/HC på højtemperatur-del og CO<sub>2</sub> som brine på køl med pumpecirkulation og CO<sub>2</sub> på frost, 40 bar



Figur 39: CO<sub>2</sub> kaskadeanlæg med pumpecirkulation på køl

### Anlægsbeskrivelse

Systemet er opbygget som et kaskadesystem med CO<sub>2</sub> direkte ekspansion på frost og pumpecirkulation på køl. Det maksimale driftstryk på CO<sub>2</sub>-kredsen er 30-40 bar. På køledelen køres fordamperne som oversvømmede, hvilket giver mulighed for bedre udnyttelse.

### Energiforbrug

Energiforbruget på denne type anlæg vurderes at være lavere end for et konventionelt system.

### Økonomi

Den samlede anlægsomkostning belastes kraftigt af pumpen til køledelen. Derfor vurderes det at det på nuværende tidspunkt ikke er rentabelt at bygge denne type anlæg i mindre butikker. Energiomkostningerne vurderes at være lavere eller på samme niveau som tilsvarende konventionelle systemer. Serviceomkostningerne vurderes til middel.

### Driftssikkerhed

Komponenterne til denne type er kommercielt tilgængelige. Risikoen for tab af fyldning er til stede, ved stop af toptrinnet.

### Personersikkerhed

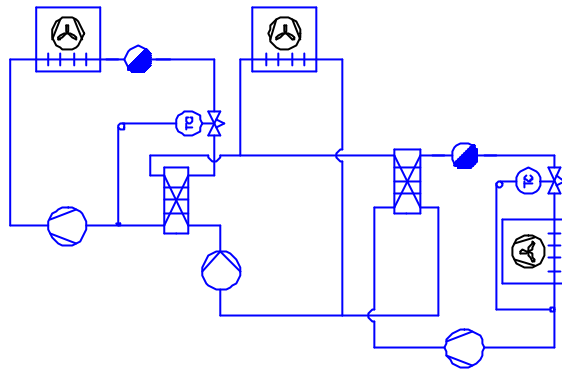
Personersikkerheden omkring denne type anlæg vurderes at være på samme niveau som konventionelle systemer. Der er særlige forhold omkring kulbrintesystemer.

### Teknologisk stade

Der er bygget flere systemer af denne type i Danmark og udlandet.

Type L: HC højtemperatur-del med brine til køl, samt brinekølet plug-in hybrid til frost

Figur 40: Kaskadesystem med brine, frostkaskade med brinekredsen



### Anlægsbeskrivelse

Kaskadesystem med HC eller HFC på højtemperatur-kredsen, der køler en brine kreds. I Kondensatoren på frostmøblerne køles af brinekredsen. Brinekøleren bygges som en kompakt unit, der er placeret i et maskinrum, og brinen føres ind i salgslokalet, hvor det anvendes direkte i kølemøblerne. Frostmøblerne er opbygget, som det kendes fra plug-in møbler - dog køles kondensatoren med brinekredsen i stedet for med luft. Herved fjernes kondensatorvarmen fra salgslokalet samtidig med, at fyldningen minimeres.

### Energiforbrug

Energiforbruget vurderes at være marginalt højere end for et tilsvarende brine CO<sub>2</sub>-system. Merforbruget afhænger dog af, hvor stor en del af den samlede køleydelse, der er placeret på frosten.

### Økonomi

Anlægsomkostningerne vurderes at være lave, da der er tale om en færdig kompakt unit, der køler brinen. Energiomkostningerne vurderes at være marginalt højere end for et konventionelt system. Det afhænger dog af, hvor stor en del af den samlede ydelse, der er placeret på frosten. Serviceomkostningerne vurderes at være lave, da der i stort omfang er mulighed for udskiftning af hele brinekølerunitten.

### Driftssikkerhed

Driftssikkerheden er god, da der i høj grad er mulighed for udskiftning af brinekølerunitten.

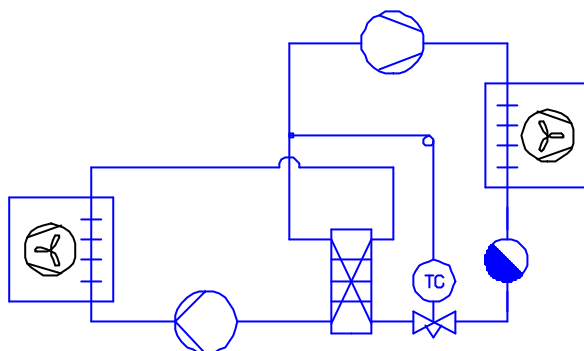
### Personersikkerhed

Personersikkerheden vurderes at være høj, da der er tale om meget kompakte systemer med meget små fyldninger. Der er også mulighed for service på stedet eller hjemme på værkstedet, hvor forholdene er mere kontrollerede.

### Teknologisk stade

Komponenterne til denne type løsning er tilgængelige. Der er ikke kendskab til anlæg af denne type, som er i drift.

Type M: Luftkølet væskekøler



Figur 41: Luftkølet væskekøler

### **Anlægsbeskrivelse**

Kompakt anlæg med lille fyldning til køling af en brinekreds. Det vil være muligt at bygge anlæg med store ydelser og med en lille fyldning, da fyldningen på fordampersiden og rørsystemet er meget lille. Anlægget kan kombineres med andre typer.

### **Energiforbrug**

Energiforbruget vurderes at være det samme eller marginalt højere end for et tilsvarende anlæg med direkte ekspansion i kølestedet.

### **Økonomi**

Anlægget vurderes at have en højere anskaffelsespris end et system med direkte ekspansion. Merprisen skal dog ses i forhold til den store fleksibilitet, systemet giver.

### **Driftssikkerhed**

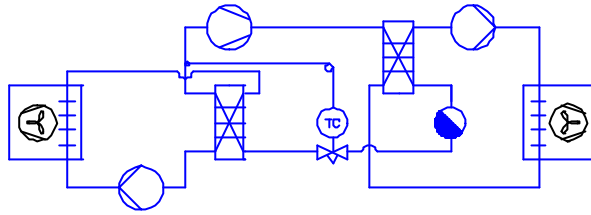
Da anlægget er meget kompakt, vil det typisk blive leveret som en chiller unit, hvilket giver mulighed for at skifte hele enheden hurtigt og servicere den hjemme på værkstedet.

### **Personsikkerhed**

Det vurderes, at sikkerheden omkring enheden er bedre end for et tilsvarende system med direkte ekspansion. Der er dog specielle krav, hvis der anvendes kulbrinter.

### **Teknologisk stade**

Alle komponenter findes og teknologien er gennemprøvet. I Sverige er denne type anlæg blevet anvendt i en årrække.



Figur 42: Kølesystem med indirekte kredse på den kolde og den varme side

### Anlægsbeskrivelse

Systemet består af en kølekreds med to vandkredse - én på den kolde side og én på den varme side. Systemet udmærker sig ved at have mulighed for at nedbringe fyldningen til et absolut minimum, da systemet er meget kompakt, og der kan anvendes pladevekslere til fordamper og kondensator.

### Energiforbrug

Energiforbruget vurderes at være højere end for et system med luftkølede kondensator. Energiforbruget kan dog nedbringes betragteligt ved at anvende køletårn, men det er der ikke tradition for inden for supermarkedssektoren.

### Økonomi

Anlægsomkostningerne vurderes at være højere end for et tilsvarende konventionelt anlæg eller for en indirekte anlæg med luftkølet kondensator. Dertil kommer, at energiforbruget under normale omstændigheder er højere end ved tilsvarende anlæg. Udgifterne til service vurderes også at være højere, selv om der er mulighed for hurtig og let udskiftning af enheden.

### Driftssikkerhed

Driftssikkerheden vurderes at være god, da der er mulighed for hurtig udskiftning af køleenheden, og da der er tale om gennemprøvet teknologi.

### Personersikkerhed

Det vurderes, at sikkerheden omkring enheden er bedre end for et tilsvarende system med direkte ekspansion. Der er dog specielle krav, hvis der anvendes kulbrinter.

### Teknologisk stade






Alle komponenter findes, og teknologien er gennemprøvet. I Sverige er denne type anlæg blevet anvendt i en årrække.



# Opsummering

Vurderingerne fra de foregående afsnit sammenfattes, og der gives en kvalitativ vurdering af deres egenskaber.

Systemerne giver følgende karakterer inden for de valgte kategorier.

-  God
-  Over middel
-  Middel
-  Under middel
-  Dårlig

	Type A	Type B	Type C	Type D	Type E	Type F	Type G	Type H	Type I	Type J	Type K	Type L	Type M	Type N
Miljø														
Energiforbrug														
Fyldningsstørrelse														
Lækage/fyldningstab														
Mulighed for naturlige kølemidler														
Sikkerhed														
Driftssikkerhed														
Personssikkerhed														
Økonomi														
Anskaffelsespris														
Driftsomkostninger														
Serviceomkostninger														
Fleksibilitet														
Indretning														
Servicering														
Teknologisk stade														
Komponent tilgængelighed														
Udviklingsvindue år fra nu	0	0	0	0	0	0	0	5	3	0	0	0	0	0
Vurderet max. anlægsstørrelse kW	10	5	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	50	∞	30	30	30





# Udvælgelse af systemer til nærmere undersøgelse

Ud af de ovenstående 14 anlægstyper vil de typer, der er relevante at bygge efter 31. december 2006 blive udvalgt. Enkelte anlægstyper vil blive fravalgt, da de i deres opbygning minder meget om en eller flere af de valgte.

Udvælgelsen vil også ske, så det vil være muligt at udfylde alle felter i nedenstående matrix.

	Nye anlæg og nybygninger
Små anlæg (< 10 kW)	<i>Kategori 1</i>
Mellem anlæg (< 40 kW)	<i>Kategori 2</i>
Store anlæg (>40 kW)	<i>Kategori 3</i>

Tabel 11: Gruppering af supermarkedstyper

Type A: Plug-in møbler

Det er valgt at tage denne anlægstype med, da der er et stort antal af disse apparater, og sandsynligvis vil der komme flere. Det skønnes, at det vil være muligt at lave enheder op til 10 kW inden for 10 kg grænsen.

Type B: Direkte system

Det er valgt at tage denne anlægstype med, da det vurderes, at denne anlægstype vil blive benyttet mere med 10 kg grænsen på fyldning.

Type C: Parallelanlæg med fælles kondensator

Denne anlægstype tages med som referenceanlæg. Det vil ikke være muligt at bygge denne type anlæg efter 2006 på grund af den store fyldning af HFC. Anlægstypen vil udgøre reference for de andre anlægstyper.

Type D, E & F:

Disse anlægstyper er ikke taget med i det videre arbejde, da det ikke er muligt at bygge disse type anlæg efter bekendtgørelsen træder i kraft.

Type G: Kaskadeanlæg

Behandles under Type J.

Type H: CO<sub>2</sub>-anlæg til køl og frost med åben mellemkøler, 130 bar

Denne anlægstype er taget med i det videre arbejde, da teknologien er ved at blive modnet. Det vurderes, at det vil være muligt at bygge denne anlægstype inden 2006, da de første anlæg er i drift.

Type I: 60 bar CO<sub>2</sub>-anlæg med kaskade til højtemperatur-del, som kan tilsluttes AC

Det er valgt at tage denne anlægstype med, da der er mulighed for at kombinere den med AC-systemer i store centre. Det vurderes, at anlægstypen derved bliver økonomisk attraktiv. P.t. er komponenter til 60 bar ikke kommercielt tilgængelige.

Type J: HFC/HC højtemperatur-del med brine til køl og CO<sub>2</sub> på frost

Det er valgt at tage denne anlægstype med i det videre arbejde, da det skønnes, at denne type anlæg vil blive anvendt i større udstrækning i fremtiden.

Type K: HFC/HC på højtemperatur-del og CO<sub>2</sub> som brine på køl med pumpecirkulation og CO<sub>2</sub> på frost, 40 bar

Det er valgt at tage denne anlægstype med, da det vurderes at være denne type anlæg, der vil blive bygget ved større supermarkeder.

Type L: HC højtemperatur-del med brine til køl, samt brine kølet plug-in hybrid til frost

Denne anlægstype er taget med i det videre arbejde, da det vurderes at kunne blive en anlægstype, der vil kunne anvendes i mindre supermarkeder.

Type M: Luftkølet væskekøler

Behandles under type J.

Type N: Væskekølet væskekøler

Det er valgt ikke at medtage denne anlægstype med i det videre arbejde, da det skønnes at være en dyr løsning med et unødigt stort energiforbrug. Dette valg er truffet på trods af muligheden for at lave systemer med en meget lille fyldningsmængde.

For at øge læsbarheden af rapporten vælges det at give anlægstyperne nye betegnelser. I tabellen nedenfor kan de nye betegnelser ses sammen med de gamle i parentes. Herefter vil der kun blive anvendt de nye betegnelser.

	<b>Anlægstype og ny typebetegnelse</b>
Små anlæg (< 10 kW)	<p>Anlæg 1: (Type A) Plug-in møbler</p> <p>Anlæg 2: (Type B) Direkte system</p> <p>Anlæg 3: (Type L) HC højtemperatur-del med brine til køl, samt brinekølet plug-in hybrid til frost.</p>
Mellem anlæg (< 40 kW)	<p>Anlæg 3: (Type L) HC højtemperatur-del med brine til køl, samt brinekølet plug-in hybrid til frost.</p> <p>Anlæg 4: (Type J) HFC/HC højtemperatur-del med brine til køl og CO<sub>2</sub> på frost.</p> <p>Anlæg 5: (Type K) HFC/HC på højtemperatur-del og CO<sub>2</sub> som brine på køl med pumpecirkulation og CO<sub>2</sub> på frost. 40 bar.</p> <p>Anlæg 7: (Type H) CO<sub>2</sub>-anlæg til køl og frost med åben mellemkøler. 130 bar.</p>
Store anlæg (>40 kW)	<p>Anlæg 5: (Type K) HFC/HC på højtemperatur-del og CO<sub>2</sub> som brine på køl med pumpecirkulation og CO<sub>2</sub> på frost. 40 bar.</p> <p>Anlæg 6: (Type I) 60 bar CO<sub>2</sub>-anlæg med kaskade til højtemperatur-del, som kan tilsluttes AC.</p> <p>Anlæg 7: (Type H) CO<sub>2</sub>-anlæg til køl og frost med åben mellemkøler. 130 bar.</p>

Tabel 12: Gruppering af anlægstyper. Referenceanlægget, som er et parallelanlæg med fælles kondensator, vil blive betegnet som anlæg 0.