

2000-10-27

KGC/MEF

q:\koel\svp\web-side\vidensdatabase\rapporter\rapport_3.doc

Demonstration af anvendelse af CO₂ og propan i butikker

Århus, 2000

Kim Christensen

Indholdsfortegnelse

Resumé	4
Formål	4
Baggrund	5
Anlægsprincip	5
Propananlægget	6
CO ₂ -anlægget	7
Møbler og varmevekslere	7
Dimensionering	8
Kølemidlerne	9
Propan og CO ₂	10
Brine	10
Fyldningsmængder (Propan, CO ₂ og brine)	10
Valg af komponenter og materialer	11
Propananlægget	11
CO ₂ -anlægget	11
Rør	13
Godkendelser	14
Propananlægget	15
CO ₂ -anlægget	16
Sikkerhed	18
Sikkerhed – maskinrum	18
Sikkerhed – drift	19
Sikkerhed – stilstand (CO ₂)	19
Sikkerhed – service	19
Service af anlægget	20
Styring	22
Propankompressorer	22
Propankondensator	22
Ekspansionsventiler til propan	22
Brinepumper	22
CO ₂ -kompressor	22
Funktion af CO₂/propananlægget (målinger)	23
Kompressorer	23
Kaskadeveksleren	24
Tryktab	24
Brinetemperatur	24
Lufkølere	24
Afrimning	25
Det nye anlæg sammenlignet med det gamle	26
Det gamle anlæg	26
Ydre konditioner	26
Sammenligning af møbeltemperaturer	26
Måling af energiforbrug	27
Vurdering af energiforbrug for det gamle anlæg og det nye propan/ CO ₂ -anlæg	27
Propan/ CO ₂ -anlægget	28
Gamle anlæg	29
Konklusion på energiforbrug	30
Vurdering af pris for traditionelt og propan/CO₂-anlæg	30

Traditionelt anlæg _____	30
Propan/CO ₂ -anlæg _____	31
Konklusion _____	34
Referenceliste _____	35
Bilag 1: Anlægsskitser _____	
Bilag 2: Anlægstegninger _____	
Bilag 3: Stykliste for propankøleanlæg _____	
Bilag 4: Stykliste for CO₂-anlæg og brinekreds (rev. 03/04/00) _____	
Bilag 5: Tegning af supermarkedet _____	
Bilag 6: Volumener og fyldningsmængder på anlægget _____	

Demonstration af anvendelse af CO₂ og propan i butikker (*j.nr. 731327/99-0199*)
Fortsættelse af forsknings- og demonstrationsprojekt (j.nr. 731327/97-0164)

Resumé

Med afsæt i afsluttet udviklingsprojekt omkring anvendelse af CO₂ som kølemiddel i forbindelse med køling i butikker er et demonstrationsprojekt gennemført. Projektet demonstrerer anvendelsen af indirekte køling med propan som primært kølemiddel i forbindelse med kølemøblerne samt direkte køling med kuldioxid i frostmøblerne.

Erfaringerne fra de gennemførte projekter har været meget positive. Kuldioxid er et miljøvenligt og sikkert kølemiddel (hverken giftigt eller brandfarligt) og har meget gode termodynamiske og termofysiske egenskaber ved lave temperaturer.

Kuldioxid som primært lavtemperaturkølemiddel:

- Hverken giftigt eller brandfarligt
- Høj COP (høj isentropisk virkningsgrad for kompressor, lave tryktab og gode varmeovergangstal)
- Blandbar med esterolier ligesom HFC-kølemidlerne
- Acceptable trykgastemperaturer
- Højvolumetrisk kuldeydelse, der giver små slagvolumener for kompressoren, samt små sugeledninger
- Tørrefilter, skueglas og afspærringsventiler identiske med udstyr, der anvendes til HFC-kølemidlerne
- Kobberrør og lodning kan anvendes.

Propan som primært kølemiddel:

- Brandfarlig og derfor skal regler på dette område følges
- Egenskaber sammenlignelige med HFC'ernes egenskaber, dog haves:
 - Bedre varmeovergangstal
 - Lavere tryktab
- Kobberrør og lodning kan anvendes (når certificerede fittings kan forefindes).

Konklusionen er, at kombinationen propan og kuldioxid er en optimal løsning, da kølefirmaerne kender teknologien omkring lodning af kobberrør og derfor ikke vil have svært ved at bygge anlæg med de nye kølemidler. Endvidere betyder anvendelsen af kuldioxid på lavtemperaturdelen en væsentlig reduktion af fyldningsmængden af propan. Det vurderes muligt at komme under 20 kg - selv i større supermarkeder, hvor man i dag anvender fyldninger med HFC på 100 til 150 kg.

Med anvendelsen af naturlige kølemidler kan HFC'erne undgås, mens der samtidig kan opnås energimæssige besparelser på op til 10% i forhold de optimerede direkte anlæg /1/.

Formål

Projektets formål er at demonstrere indirekte køling med propan, hvor glykol anvendes som sekundært kølemiddel på køledelen (+5°C). På frostdelen (-18°C) anvendes kuldioxid som primært kølemiddel.

Teoretisk er denne kombination meget effektiv mht. energiforbrug, og da komponenter til dette formål er udviklet og fremskaffet gennem den gennemførte forskningsdel af projektet, er det naturligt at gennemføre et demonstrationsprojekt.

Baggrund

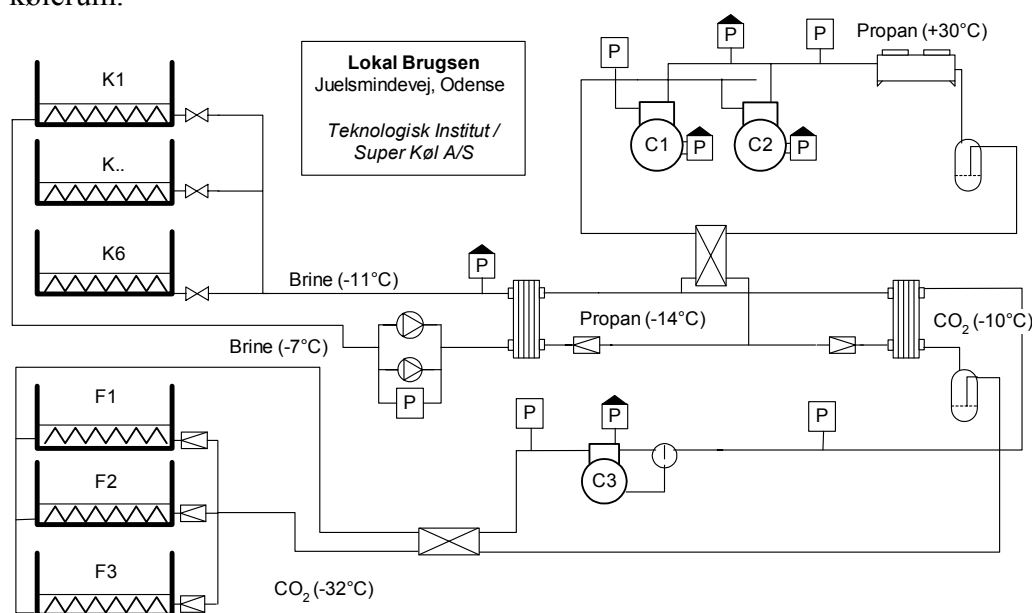
Indførelsen af Montreal Protokollen (1987) og de deraf følgende restriktioner i brugen af CFC- og HCFC-kølemidler samt Kyoto Protokollens (1997) skærpede kurs over for HFC'erne medfører, at man i så stor udstrækning som muligt bør anvende naturlige kølemidler og samtidig reducere køleanlæggenes energiforbrug.

Mange butikker skifter i dag til R404A ved nyinstallation eller større ombygninger. R404A er en blanding af R143a, R125 og R134a med et direkte drivhuspotentiale på 3800 ved en tidshorizont på 100 år. Da levetiden for butikskøleanlæg normalt er 10 til 15 år, og lækager udgør 10 til 20% af anlæggenes fyldning pr. år, vil det medføre, at der i en lang årrække vil være mange R404A-anlæg, der via deres lækager bidrager til den globale drivhuseffekt.

På denne baggrund søgte Teknologisk Institut i 1997 om midler til et projekt under temaet "Indirekte køling med naturlige kølemidler i butikker". Dette projekt blev gennemført med en lang række positive resultater, og i 1999 betød en yderligere bevilling, at et demonstrationsprojekt kunne gennemføres under titlen "Demonstration af anvendelsen af naturlige kølemidler i butikker".

Anlægsprincip

Anlægget, som er opstillet i det lille supermarked i Odense, er opbygget som et kaskade-anlæg. Ved det høje temperaturniveau anvendes propan (-14/30°C), mens kuldioxid anvendes ved det lave temperaturniveau (-32/-10°C). De to kølemidler varmeveksler i kaskadeveksleren, hvor propan ved tør ekspansion fordamper, og CO₂ kondenserer. CO₂ anvendes direkte i supermarkedets frostmøbler og frostrum, mens propan varmeveksler til et indirekte system med glykol. Glykolen pumpes i et lukket system frem til kølemøbler og kølerum.



Figur 1: Principskitse af demonstrationsanlægget

Der anvendes sugegaskølede semihæretiske kompressorer til både propan og CO₂. Propan-kompressorerne er udstyret med oliepumpe, mens CO₂-kompressoren er stænksmurt.

Selve køleanlægget er opbygget på et stativ (kompressor-rack), hvor kompressorer, kaskadeveksler, brinekøler, brinepumper, ventiler og beholdere er monteret. Aggregatet er opstillet i et separat maskinrum, hvorfra rør forbinder møblerne til anlægget. Komponenterne indeholdende propan er bygget ind i en ventileret kasse.



Figur 2: Billede af kompressorstativ

Propananlægget

Propananlægget er opbygget som et kompakt indirekte anlæg, hvor propanen dog kondenserer direkte i en luftkølet kondensator. Kondensatoren er opstillet på butikkens tag.

Propananlægget arbejder med to fordampere: én kaskadeveksler og én brinekøler. Kaskadeveksleren og brinekøleren er begge pladevarmevekslere. På begge vekslere anvendes elektroniske ekspansionsventiler til indsprøjtning af kølemiddel. Anlægget er endvidere bygget uden olieudskillere. Der anvendes en mineralolie, som er fuld blandbar med propan, således at olie returnerer til kompressorerne fra anlægget. Ensartet olieniveau mellem kompressorerne sikres vha. monterede udligningsrør.



Figur 3: Den luftkølede kondensator placeret på taget.

Den interne varmeveksler (pladevarmeveksler) sikrer underkøling af propanvæsken før ekspansionsventilerne samt overhedning af sugegassen til kompressoren. Kompression med propan giver meget lave trykgastemperaturer, og kompressoren vil derfor uden en intern veksler blive relativt kold med stor opløselighed af kølemiddel i olien til følge. Dette kan formindske oliens smøreevne og forøge oliemængden transporteret fra kompressoren til anlægget. Kompressoren er endvidere leveret med relativt stor elvarmelegeme til oliesumpen under stilstand.

Endeligt har anlægget monteret tørrefilter og smudsfilter i væskeledningen.

CO₂-anlægget

Anlægget er opbygget som et traditionelt køleanlæg med intern varmeveksler. Den interne varmeveksling skal udelukkende sikre underkøling af væske til ekspansionsventilerne samt overhedning af sugegassen før kompressoren. Varmevekslingen giver ingen gevinst mht. COP eller kapacitet. Kaskadeveksleren fungerer som CO₂-anlæggets kondensator, hvor CO₂ kondenserer op imod fordampende propan. Kondensatet underkøles herefter i den interne veksler, hvorefter væsken cirkulerer til fordamperne placeret i butikens frostmøbler. Som indsprøjtningventiler anvendes pulsbrede modulerende ventiler, hvor en overhedning på 8K opretholdes. Gassen suges herefter tilbage til kompressoren gennem den interne varmeveksler. Anlægget har monteret olieudskiller med svømmerventil, der sikrer retur af størsteparten af olien båret i trykgassen tilbage til kompressoren. Den mængde olie, der kommer ud i anlægget, vil pga. god opløselighed med kølemidlet (esterolie/CO₂) og relativt høje gashastigheder blive transporteret med kølemidlet tilbage til kompressoren.



Figur 4: Semihermetisk prototypekompressor fra Bitzer til CO₂

Kompressoren er leveret med elvarmelegeme til oliesumpen under stilstand.

Endeligt har anlægget monteret tørrefilter og smudsfilter i væskeledningen.

Møbler og varmevekslere

Alle de anvendte møbler er standardmøbler, hvor fordamperne er tilpasset kølemidlet (brine/CO₂). Varmevekslerne til brine findes allerede på markedet. I dette tilfælde har ECO leveret luftkølerne til mælkefronten og kølerum, hvor propylenglykol anvendes som brine. Arneg har leveret varmevekslerne til brine, som ligger i gondolerne. På frostsiden er der ikke umiddelbart leverandører på markedet af fordampere, og i dette tilfælde har Teknologisk Institut designet fordampere, der så er produceret af ECO. Dette gælder for både fordampere til frostrummet og fordampere til de to frostgondoler. Alle fordampere til CO₂ er lavet som traditionelle fin-coils med 3/8" kobberør og aluminiumslameller.

Position		Belastning [W]		Bemærkning
		Køl (-10°C)	Frost (-35°C)	LxBxH [mm ³]
1	Kølerum	1500	-	2000x2000x2400 (+2°C)
2	Frostrum	-	3200	2700x2700x2450 (-20°C)
3	Grøntreol	1000	-	1000 (+8°C)
4	Mælkefront	2800	-	3600x900x2385 (+3°C)
5	Malmøgondol	735 + 1365	1000+2000	2xSide: 3750x1000x960 2xEnde: 1985x1000x960 Køl/frost: +2/-20°C

Total		7400	6200	
-------	--	------	------	--

Tabel 1: Oversigt over møbler

Billedet nedenfor viser butikkens gondoler og mælkekølefront. Foroven til højre kan man lige skimte noget af frostfonten med bagvedliggende frostrum.



Figur 5: Butikkens gondoler

Køle- og frostrummet er forsynet med hver deres vekslere. For begge vekslere styres tilførslen af kølemiddel af pulsbredde modulerede ventiler fra Danfoss. Ventilen til indsprøjtning af CO₂ anvender en periodetid på 6 sek., mens den til brine anvender en



periodetid på 6 min.



Figur 6: Til venstre ses luftkøleren i kølerummet, mens billedet til højre viser veksleren i frostrummet.

Dimensionering

For dimensionering af køleanlæg anvendes oplysninger eller beregninger af kuldeydelsen. Endvidere skal temperaturniveauet kendes. I en butik med salg af ferske (kølede) og frosne

fødevarer arbejdes der ved to forskellige temperaturniveauer. I køleområdet anvendes temperaturer mellem +2 og +8°C, mens der i frostområdet anvendes temperaturer mellem -22 og -18°C.

For at kunne opnå disse lufttemperaturer skal køleanlægget for køleområdet arbejde ved ca. -14°C og frostdelen omkring -32°C.

Tabel 1 viser at kuldeydelse på hhv. køl og frost er vurderet til 7,4 og 6,2 kW. Anlægget dimensioneres nu til ca. 10 kW på køl og 7 kW på frost.

Nedenstående tabel summerer oplysningerne:

<i>Specifikationer</i>	<i>Data</i>	<i>Bemærkninger</i>
<i>Temperaturer</i>		
Kondenseringstemperatur R290	30°C (10.7 bar)	Anlægget kører aktuelt med 27°C
Fordampertemperatur R290	-14°C (3.0 bar)	
Kondenseringstemperatur R744	-10°C (26.5 bar)	
Fordampertemperatur R744	-32°C (13.4 bar)	
Brinetemperatur (fremløb) PG	-10°C	
Brinetemperatur (retur) PG	-7°C	
<i>Kuldeydelser (dimensionerende)</i>		
Belastning på køl (brine)	10 kW	Brinesystem med 6 varmevekslere
Belastning på frost (CO ₂)	7 kW	Direkte system med R744, 3 froststeder
Propananlæg	18,5 kW	
<i>Kompressorer (aktuelle)</i>		
R290: 2 stk. Bitzer	56,22 m ³ /h / 23.9 kW	4Z-5.2 (Y), 2x28, 11 m ³ /h, mineralolie
R744: 1 stk. Bitzer	4,06 m ³ /h / 8.3 kW	X2KC-05.2 (Y), esterolie
<i>Kapacitetstrin</i>		
R290: 2 stk. Bitzer (4 cyl.)	1: VTL (30-60 Hz) 2: 2/4 cyl.	Kapacitet: 30% - 110% (kontinuert)
R744: 1 stk. Bitzer (2 cyl.)	1: VLT (30-60 Hz)	Kapacitet: 60% - 120% (kontinuert)
<i>Fyldning</i>		
Propananlægget	6 kg	
CO ₂ -anlægget	6 kg	

Tabel 2: Detaljer i forbindelse med dimensioneringen af anlægget

Grundet valget af kompressorer kan anlægget nu leverer ca. 8 kW på frosten og ca. 14 kW på køl. Dog er det valgt at anvende kapacitetsregulering med hhv. frekvensomformer og cylinderudkobling, således at propananlægget kan reguleres mellem 30 og 110% og CO₂-anlægget mellem 60 og 120%.

Kølemidlerne

Butikkens køleanlæg anvender følgende kølemidler:

- Propan (R290)
- CO₂ (R744)
- Teknisk propylenglykol (Dowcal N/ 40% wt.) – inhibitoreret og godkendt til fødevarer.

Propan og CO₂

Propan er en lugtfri og ugiftig gas. Imidlertid er propan en eksplosionsfarlig gas med nedre- og øvre eksplosionsgrænser på 2,1 – 9,5 % v/v (0,038 – 0,171 kg/m³). Den automatiske antændelsestemperatur ligger på 470°C. Gassen er tungere end luft, og den vil derfor lægge sig ved laveste niveau.

CO₂ er ligeledes lugtfri og ugiftig, men gassen kan være farlig for mennesker ved højere koncentrationer end 0,5% v/v (5000 ppm). Gassen er tungere end luft, og man skal være opmærksom på, at ekspansion af væske til tryk lavere end 5,18 bar (-56,6°C – trippelpunkt) danner fast fase (tøris). CO₂ er endvidere kendetegnet ved meget høje mætningstryk. Ved 25°C ligger det tilhørende mætningstryk på 64,4 bar. Endeligt skal man være opmærksom på CO₂'s lave kritiske temperatur og tryk ved 31°C og 73,8 bar, hvilket indebærer at kredsproces med CO₂ bliver transkritisk ved højere temperaturer.

Brine

Der anvendes teknisk propylenglykol - Dowcal N. Koncentrationen er 40% wt., hvilket sikrer et frysepunkt på -21°C.

Glykolen er inhiberet og godkendt til fødevarer (FDA godkendt).

- Ikke giftig, men bør ikke drikkes
- Ikke brandfarlig.

Dowcal N er kompatibel med normalt anvendte metaller (kobber, stål og messing) samt plastic og elastomerer (PE, PP, ABS, PVC, IIR, PTFE, EPDM, NBR og NR).

Fyldningsmængder (Propan, CO₂ og brine)

Det er meget væsentligt af holde specielt propanfyldningen nede. Dette gøres ved at bygge et kompakt og centralt anlæg. Gennem dette projekt har det været målet at holde propanfyldningen under 6 kg. Dette har specielt været vanskeligt, da propanen kondenserer direkte mod udeluften for at undgå en ekstra varmeveksling. Den anvendte kondensator har et volumen på 15l, hvilket udgør ca. 60% af anlæggets samlede volumen. Endvidere vurderes det, at mellem 60 og 80% af fyldningen ligger i kondensatoren.

Fyldningsmængder:

- ◆ Propananlægget: 6 kg
- ◆ CO₂-anlægget: 6 kg
- ◆ Brineanlægget: 90 l.

For yderligere information omkring fyldningsmængder se bilag 6.

Valg af komponenter og materialer

Der henvises til bilag 2 for rørdiagrammer af hhv. propan, CO₂ og brineanlægget, og der henvises endvidere til bilag 3 for oversigt over anvendte komponenter (stykklister).

Propananlægget

De fleste materialer kan anvendes i forbindelse med propan (kobber og stål). Endvidere er der god kompatibilitet til de fleste elastomerer. I forbindelse med konstruktion er Trykbeholderbekendtgørelsen AT 746 anvendt, hvor rørsystemet og kondensator er konstruktionsgodkendt.

- Valg af komponenter
 - Pladevarmevekslere fra Swep
 - Intern varmeveksler (Swep)
 - Semihæretiske kompressorer fra Bitzer (frekvensomformer fra Danfoss)
 - Ekspansionsventiler fra Siemens-Staefa
 - Kondensator fra Güntner (stålrør og alu-finner)
 - Sikkerhedsudstyr (sikkerhedsventil, pressostater, tryktransmittere, gassensor, osv.)
 - Eksplosionssikker ventilator til den ventilerede kasse
- Valg af materialer
 - Propananlægget er lavet i svejste stålrør
 - Fordampere er kobberloddede pladevarmevekslere
 - Kondensatoren benytter stålrør med alu-lameller

Antal	Beskrivelse	Leverandør
2	Kompressorer	Bitzer, 4Z-5.2P / Shell Glavus G68
1	Luftkølet kondensator	Güntner, S-AGVH 067 A/2-S(D), 28kW
1	Pladevarmeveksler	Propan/Glykol: 10 kW, Swep, B25x44
1	Pladevarmeveksler	Propan/CO ₂ : 7 kW, Swep B25x60 HP
1	Pladevarmeveksler	Propan/Propan: 2 kW, Swep, B12x22
1	Elec. Ekspansionsventil	Staefa – 10 kW
1	Elec. Ekspansionsventil	Staefa – 7 kW
1	Afspærings ventil DN20	GEA Revalco type FS15S00 / *
2	Skueglas	DN 25 Type MLI 25 D / Danvalve
1	Tørrefilter 1 ltr.	CARLY DCY 754

Tabel 3: Væsentligste komponenter for propananlægget

CO₂-anlægget

Stilstandstrykket (mætningstrykket) ved f.eks. 25°C vil være ca. 64 bar, hvilket er et meget højt tryk at dimensionere anlægget efter. Der er flere forskellige måder at dimensionere anlægget, således at et lavere designtryk kan opnås. I dette tilfælde er valgt et system, hvor kølemidlet blot blæses af til omgivelserne, hvis trykkene overstiger de tilladte grænser. Det forventes, at anlægget er i drift hele tiden, således at trykket i CO₂-anlægget hele tiden holdes under disse grænser.

	Drift	Stilstand
Lavtryksside	19 bar	25 bar
Højtryksside	32 bar	40 bar

Tabel 4: Tilladelige tryk for CO₂-anlægget

Maksimalt tryk på sugeside er 19 bar under drift. En starttryksregulator placeret på kompressorens sugeside holder trykket under 19 bar ved opstart. Sikkerhedventiler sikrer endvidere kompressoren mod for høje tryk (19/32 bar).

Maksimalt tryk på højtrykssiden er 32 bar. En højtrykspressostat sikrer kompressor mod for højt afgangstryk. Sikkerhedventiler sikrer endvidere kompressoren mod for høje tryk (19/32 bar).

Afspærring af fordampere er ønskeligt ved service af veksler og ventil. En sikkerhedsventil på hver fordamper sikrer veksler i tilfælde af indespærret kølemiddel, således at tryk ikke kan overstige vekslerens designtryk.

- Valg af komponenter
 - Pladevarmevekslere fra Swep
 - Intern varmeveksler (Swep)
 - Semihærmatiske kompressorer fra Bitzer (frekvensomformer fra Danfoss)
 - Ekspansionsventiler fra Danfoss
 - Standard receiver/tørrefilter/skueglas
 - Sikkerhedsudstyr (sikkerhedsventiler, pressostater, tryktransmittere, gassensor, osv.).
- Valg af materialer
 - CO₂-anlægget er udført i loddede kobberør
 - Fordampere er udført som traditionelle kobber/aluminium veksler (rør/lamel) dog med 3/8" rør.

Antal	Beskrivelse	Leverandør
2	Kompressorer til CO ₂	Bitzer, X2KC-3.2, BSE 55
1	Olieudskiller	RC&R, Skaneks (33 bar)
1	Receiver	RSV, Skaneks (32 bar)
2	Pladevarmevekslere - Propan/CO ₂ : 7 kW - Propan/Glykol: 10 kW	SWEP, B25 HP (45 bar)
3	Elektroniske ekspansionsventiler	Danfoss, AKV (35 bar)
16	Afspærringsventiler	Danfoss, GBC (35 bar)
4	Skueglas	Danfoss, SGI (35 bar)
1	Tørrefilter	Danfoss, DN (35 bar)
2	Sikkerhedspressostater	Danfoss, KP 5 (32 bar)
2	Manometre, HT/ LT	Tempress
2	Sikkerhedsventiler, 19/ 32 bar	Henry, Skaneks
1	Starttryksregulator	Danfoss, KVD (28 bar)

Tabel 5: Væsentligste komponenter for CO₂-anlægget

Rør

Det er endnu ikke muligt at skaffe certificerede fittings i kobber, og derfor har det ikke været muligt af at anvende kobber ved opbygningen af propananlægget. Der er således anvendt stålrør til propananlægget, kobberrør og fittings til CO₂-anlægget og ABS plasticrør til brinekredsen.

	<i>Dimension</i>		<i>Bemærkninger</i>
<i>Propananlæg</i>			
Væskeledning	26,9/2,3 og 21,3/2,0 mm	3/4 og 1/2"	Fordeling til 2 fordampere
Sugeledning	26,9/2,3 og 33,7/2,6 mm	3/4" og 1"	Samlet sugeledning fra ford.
Sugerør	60,3/2,6 mm	2"	Stor manifold på sugeside
Trykrør	26,9/2,3 mm	3/4"	-
<i>CO₂-anlæg</i>			
Væskeledning	9,53/0,81 mm	3/8"	-
Sugeledning	12,70/0,81 mm	1/2"	-
Trykrør	9,53/0,81 mm	3/8"	-
<i>Brineanlæg</i>			
Hovedstreng	40/2,7 og 32/2,15 mm	-	ABS
Delstreng	16/1,5 mm	-	ABS
Slinger i delstr.	22,7/5,0 mm	-	Nitrilgummi (NBR, -20°C, 20 bar)

Tabel 6: Oversigt over anvendte rør

Tryktabene i anlægget er valgt rimelige i forhold til valget af rørdimensioner. Med de aktuelle dimensioner og rørlængder kan tryktabene estimeres.

Propananlægget er et kompakt anlæg med meget korte rørlængder. Trykledningen og væskeledningen (til og fra kondensator) er de længste rørlængder (ca. 10 m). Sugeledningen er meget kort ca. 2 m. Tryktabet i dette system hidrører primært fra enkelttab (ventiler og bøjninger). For hhv. væske-, suge- og trykledning er tryktabene ca. 0,01 bar (0,03K), 0,035 bar (0,8K) og 0,1 bar.

For CO₂-anlægget er der relativt større tryktab, men omsat til grader er tryktabene små. For hhv. væske-, suge- og trykledning er tryktabene ca. 0,11 bar (0,15K), 0,35 bar (0,8K) og 0,01 bar. Som det ses, er tryktabet selv ved anvendelse af små rørdimensioner lille.

Imidlertid er det også varmeindtrængningen fra omgivelserne, der giver de største problemer i forbindelse med CO₂-anlægget. Receiveren og væskeledningerne arbejder ved ca. -10°C, hvilket kan give store problemer mht. varmeindtrængning og manglende underkøling. På sådanne anlæg med lange rørstrækninger (f.eks. 20 m) skal tryktabet holdes under 0,1K, og med omkring 30 mm isolering kan opvarmningen af CO₂-væsken holdes nede på ca. 0,7K. Dette kan være tilstrækkeligt til at undgå flashgas før ventilerne. Alternativt kan der monteres en veksler i hvert møbel.

Brinekredsen reguleres af en pumpe, som sikrer konstant differenstryk på 2 bar. Den totale udbredelse af hovedkredsen er 25 m. Tryktabet i hhv. fremløb og retur ligger omkring 0,7 bar, mens tryktabet i de anvendte varmevekslere med brine ligger mellem 0,2 og 0,4 bar. Tryktabet i delstrengene (rør, ventiler og veksler) ligger mellem 0,5 og 1 bar.

Godkendelser

Der er i projektet taget udgangspunkt i Arbejdstilsynets bekendtgørelse nr. 746/87 "Bekendtgørelse om trykbeholdere og rørsystemer under tryk". Bekendtgørelsen er pr. november 1999 erstattet af 743/99, der er en følge af EU's trykbeholderdirektiv 97/23. I en overgangsperiode frem til maj 2002 er begge bekendtgørelser gyldige.

Afhængigt af kølemiddel, beholdervolumen (rørdiameter) og beregningstryk fastlægges kravene til beholderen og rørsystemet. Endvidere fastlægges kravene til kontrol på følgende måde:

	Beholder ¹		Rørsystem	
	K.kl.3	K.kl.2	K.kl.3	K.kl.2
Propan ²	$p \times V \leq 200$	$200 < p \times V \leq 1000$	$p \times D \leq 350$	$p \times V > 350$
CO ₂	$p \times V \leq 2000$	$2000 < p \times V \leq 10000$	Altid kontrolklasse 3	

p: beregningstryk [bar], *D*: indv. nom. diameter [mm], *V*: beholdervolumen [l]

¹ Arbejdstilsynets bekendtgørelse nr. 746/87 - trykbeholder med overtryk

² Brandfarligt kølemiddel

Kontrolklasse 3 beholdere samt rørsystemer kontrolleres ved virksomhedens egenkontrol og trykprøves som angivet nedenfor, mens beholdere og rørsystemer i kontrolklasse 2 og 1 skal godkendes af Arbejdstilsynet – se nedenfor.

For køleanlæg gælder med propan eller andre kølemidler – bortset fra CO₂ - dog specielle regler for arbejdstryk, beregningstryk og prøvetryk, som hidrører fra kølebekendtgørelsen nr. 539/50, der formentlig afløses af en nyere i år 2000.

Da CO₂ ikke kondenserer ved temperaturer over 31°C, er maximalt arbejdstryk og beregningstryk lig med sikkerhedsventilens indstillingstryk. Prøvetrykket er herefter lig med 1,3 gange sikkerhedsventilens indstillingstryk.

Sikkerhedsventilen designes ud fra den antagelse, at tryktabet ved fuld åben ventil ikke må overstige 1,1 gange beregningstrykket.

Beregningstryk og prøvetryk kan for propan og CO₂ findes af nedenstående tabel.

Alle tryk i baro	Maximalt arbejdstryk = Mætningstryk (40°C) / P _s	Beregningstryk P _b = 0,8 · 2 · P _p	Prøvetryk P _p = 2 · P _s
Propan	12,6 bar	20,2 bar	25,2 bar
CO ₂	Sikkerhedsventil (P _s) 32 bar	32 bar	1,3 P _s = 41,6 bar

Figur 7: Mætningstryk, beregningstryk og prøvetryk for hhv. propan og CO₂

Det er vigtigt i denne forbindelse af gøre sig klart at receiver, olieudskillere, filtre og varmevekslere i denne forbindelse betragtes som *beholdere*, og rørene, der forbinder de enkelte komponenter, betragtes som *Rørsystem*, mens kompressorer, ventiler, skueglas m.v. er *komponenter*, hvor leverandøren blot skal acceptere anvendelsen i forhold til kølemiddel, temperatur og tryk.

Propananlægget

1. Beholdere:

Oversigt over kontrolklasser og kontrolformer – se dog 746/87

	Kontrolklasse 1 $P \cdot V > 1000$	Kontrolklasse 2 $200 < P \cdot V < 1000$	Kontrolklasse 3 $P \cdot V < 200$
Største tilladelige volumen, liter:	$V > 50$	$50 > V < 9,5$	$V < 9,5$
Konstruktionsgodkendelse	Ja	Ja	Nej
Fremstillingskontrol	Ja	Ja	Ja, egenkontrol
Anmeldelse	Ja	Ja	Nej
Opstillingskontrol	Ja	Ja	Nej
Kontrolbog	Ja	Ja	Nej
Periodiske eftersyn	Ja	Ja	Nej
Kontrol med skader	Ja	Ja	Ja

Generelt skal producenten være godkendt af AT til beholderproduktion.

2. Rørsystemer:

Oversigt over kontrolklasser og kontrolformer – se dog 746/87

	Kontrolklasse 2 $P \cdot D > 350$	Kontrolklasse 3 $P \cdot D < 350$
Største tilladelige indvendige rørdiameter, mm:	$D > 17,3$	$D < 17,3$
Konstruktionsgodkendelse	Ja	Nej
Kontrol med udførelse	Ja	Nej
Anmeldelse	Ja	Nej
Periodiske eftersyn	Ja	Nej
Kontrol med skader	Ja	Ja

Generelt skal producenten ved kontrolklasse 2 være godkendt af AT til fremstilling af rørsystemer.

3. Komponenter:

Komponenter (armaturer) skal være egnet til de pågældende driftsforhold og være konstrueret, fremstillet og afprøvet til det pågældende formål efter normer og standarder eller andre tekniske regler, der er anerkendt af Arbejdstilsynet. Se dog §22 i 746/87.

Generelt må man være opmærksom på, at beholdere og rørsystemer, der fremstilles under klasse 1 og 2 regler, skal anvende certificeret materiale og svejsere. Ved lodning skal anvendes en godkendt lodde- og kontrolmetode.

Principielt må man være opmærksom på, at der for tiden ikke findes certificeret kobber-rørsmateriale til en konkurrencedygtig pris på markedet.

Ved certificeret materiale forstås materiale med minimum et 3.1.B certifikat i henhold til DS/EN 10204 eller tilsvarende.

4. Det aktuelle anlæg:

For aktuelle propananlæg skal kondensatoren konstruktionsgodkendes. Kondensatoren er en beholder og har et volumen på 15 l (kontrolklasse 2). Kondensatoren er produceret med stål-rør og alu-finner. Rørsystemet er fabrikeret i certificerede stål-rør med certificerede fittings (3.1B certifikat). Det var til projektet ikke muligt at finde certificerede kobber-rør og fittings. Rørsystemet skal konstruktionsgodkendes (kontrolklasse 2), da mange af dimensionerne er større end 17,3 mm (der anvendes til rørsystemet 1/2", 3/4", 1" og 2" stål-rør, St. 35.8).

CO₂-anlægget

1. Beholdere:

Oversigt over kontrolklasser og kontrolformer – se dog 746/87, beregningstryk 32 bar

	Kontrolklasse 1 P*V >10000	Kontrolklasse 2 2000 < P*V < 10000	Kontrolklasse 3 P*V < 2000
Største tilladelige volumen, liter:	V > 312	312 > V < 62,5	V < 62,5
Konstruktionsgodkendelse	Ja	Ja	Nej
Fremstillingskontrol	Ja	Ja	Ja, egenkontrol
Anmeldelse	Ja	Ja	Nej
Opstillingskontrol	Ja	Ja	Nej
Kontrolbog	Ja	Ja	Nej
Periodiske eftersyn	Ja	Ja	Nej
Kontrol med skader	Ja	Ja	Ja

Generelt skal producenten være godkendt af AT til beholderproduktion.

2. Rørsystemer:

Oversigt over kontrolklasser og kontrolformer – se dog 746/87, beregningstryk 32 bar

	Kontrolklasse 2 P*D > 3500	Kontrolklasse 3 P*D < 3500
Største tilladelige indvendige rørdiameter, mm:	D > 110	D < 110
Konstruktionsgodkendelse	Ja	Nej
Kontrol med udførelse	Ja	Nej
Anmeldelse	Ja	Nej
Periodiske eftersyn	Ja	Nej
Kontrol med skader	Ja	Ja

Generelt skal producenten ved kontrolklasse 2 være godkendt af AT til fremstilling af rørsystemer.

3. Komponenter:

Komponenter (armaturer) skal være egnet til de pågældende driftsforhold og være konstrueret, fremstillet og afprøvet til det pågældende formål efter normer og standarder eller andre tekniske regler, der er anerkendt af Arbejdstilsynet. Se dog §22 i 746/87.

Generelt må man være opmærksom på, at beholdere og rørsystemer, der fremstilles under klasse 1 og 2 regler, skal anvende certificeret materiale og svejsere. Ved lodning skal anvendes en godkendt lodde- og kontrolmetode. Ved kontrolklasse 3 har producenten alene et selvstændigt ansvar for, at beholdere, rørsystemer og komponenter er i overensstemmelse med regelsættet.

Principielt må man være opmærksom på, at der for tiden ikke findes certificeret kobberrørs-materiale til en konkurrencedygtig pris på markedet.

Ved certificeret materiale forstås materiale med minimum et 3.1.B certifikat i henhold til DS/EN 10204 eller tilsvarende.

4. Det aktuelle anlæg:

Anlægget er dimensioneret til 32 baro på højtrykssiden, 25 baro ved fordamperne og 19 baro på sugesiden af kompressoren, hvor der ved alle disse lokationer er placeret sikkerhedsventiler. Det har senere vist sig, at kompressorleverandøren accepterer 25 bar på sugesiden af kompressoren, hvorfor hele lavtrykssiden kunne være dimensioneret til 25 bar. Endvidere er der placeret sikkerhedsventiler med de nævnte indstillingstryk alle steder med mulighed for indspærring af væske.

For det aktuelle CO₂-anlæg skal hverken beholdere eller rørsystem konstruktionsgodkendes (kontrolklasse 3). Olieudskiller og receiver er kommercielt tilgængelige beholdere med maksimalt driftstryk på hhv. 32 og 33 bar. De benyttede pladevarmevekslere er specielle kobberloddede vekslere med maksimalt driftstryk på 45 bar. Skueglas, tørrefiler, afspærringsventiler og ekspansionsventiler har alle maksimale driftstryk, der ligger over 32 bar. Fordamperne er dimensioneret til 25/30 bar, og der er placeret en sikkerhedsventil ved hver fordamper.

Hele rørsystemet samt de fleste af de benyttede komponenter er standardvarer, som findes kommercielt på markedet. De anvendte kobberrør er ligeledes standard kobberrør. På anlægget anvendes 3/8" og 1/2" kobberrør. Kobberrør i SF Cu F20 med en beregnings-spænding på 175 N/mm² kunne i disse dimensioner holde til 140 bar (sikkerhedsfaktor på 1,5).

Sikkerhed

Sikkerhed – maskinrum

Propananlægget er opstillet i et maskinrum i en tæt og ventileret kasse. Kassens mekaniske ventilation, som altid er i drift, sikrer et konstant undertryk i kassen (i forhold til det omsluttende maskinrum) på 10 Pa samt en ventileret volumenstrøm på 150 m³/h.

Kassen vil således kunne betragtes som en zone 2, hvor udstyrets tæthedsgrad skal svare til IP 54. Maskinrummet omkring kassen specificeres som uklassificeret område. En trykvagt (differenstrykstranducer) registrerer hele tiden, om det angivne undertryk opretholdes. Hvis dette ikke er tilfældet, afbrydes strømmen til alt ikke ex-sikret udstyr i maskinrummet (alt udstyr ekskl. nødllys, mekanisk ventilation og trykvagt). Gennem ventilationskanalen fra kassen til omgivelserne er trykgas- og væskerør ført og forbundet til kondensatoren, der er opstillet på taget af bygningen.



Figur 8: Brandsikret kasse med ventilationskanal til propananlæg

CO₂-anlægget er opstillet i selve maskinrummet, hvorfra væske- og sugerør er forbundet til frostmøblerne. Maskinrummet er opbygget med naturlig ventilation (gitterrest nederst i døren). Ved udslip af CO₂ i maskinrummet vil gassen lægge sig ved gulvet og automatisk blive ventileret bort. Maskinrummet har endvidere monteret CO₂-detektor, der registrerer CO₂-gas ved 4000 ppm. Under 5000 ppm (0,1 kg/m³) påvirker CO₂ ikke mennesker selv ved lang tids ophold i denne atmosfære. Med en fyldning på 6 kg skal vi således have et volumen på over 60 m³ for at ligge under denne grænse. De eneste rum, hvis volumen er mindre end 60 m³ med fare for CO₂-udslip, er maskinrummet og frostrummet. Det er derfor valgt at installere CO₂-detektorer i disse rum med tilhørende alarm.

Kølemiddel: R290 og CO₂	
Fyldningsmængde (masse);	6 kg/6 kg
Rumvolumen (HxBxD) Maskinrum; 3x2, 6x1,5 = 11,7 m ³ Kasse; 1,4x2x1 = 2,8 m ³	
Efter EN 378 og tillæg til IEC 335-2-40 Ventilationskrav; $V = 50x(m)^{2/3}$ (m ³ /h)	150 m ³ /h
Beredskabsstyrelsen Ventilationskrav; Tømning af rummet for gas inden for 10 min.	2,8 m ³ /10 min x 60 = 16,8 m ³ /h
Klassificering af rum	
Kassen	zone 2 – IP54
Maskinrummet	Uklassificeret område
Ventilationsudstyr og ventilationskanal	zone 1 – dvs. ex-sikret

Sikkerhed – drift

Alle kompressorer (propan og CO₂) har monteret høj- og lavtrykspressostater. Propankompressorerne har endvidere intern oliepumpe, hvorfor der på disse kompressorer er monteret oliedifferenspressostater. Pressostaterne på propananlægget udgøres af tryktransducere, hvor selve behandlingen af signalet samt kontaktorer er placeret uden for kassen i eltavlen i maskinrummet.

Under drift af anlægget skal trykket i CO₂-anlægget hele tiden holdes under 32 bar af propananlægget. Det vil således ikke være muligt at køre med CO₂-kompressoren, uden at propananlægget kører. I et sådant tilfælde vil CO₂-kompressoren falde ud på højtrykspressostaten. Imidlertid vil propankompressoren pga. mulighederne regulering af kapaciteten (frekvensstyring og cylinderudkobling) stort set køre hele tiden (på nær i afrimningsperioderne), hvilket gør, at der ikke reelt er noget problem. Ved opstart efter afrimning vil propananlægget starte samtidig med CO₂-anlægget.

Sikkerhed – stilstand (CO₂)

Stilstand vil i forbindelse med køleanlæg i butikker praktisk talt aldrig forekomme. Kun ved fejl (strømafbrydelse) kan det ske. Under stilstand vil trykket i CO₂-anlægget stige langsomt. Ekspansionsventilerne til CO₂-fordamperne vil være lukkede og højtrykssiden vil derfor være afspærret mellem kompressorens trykventil og ekspansionsventilen. Pga. varmeindtrængningen vil trykket her stige langsomt. En spiral med brine (-10°C) er lagt omkring receiveren. Den cirkulerende brine vil køle (kondensere) CO₂. Dog vil brinesystemet efterhånden blive opvarmet og sammen med varmeindtrængningen til CO₂-systemet forårsage en trykstigning. Trykket vil stige fra det normale kondenseringstryk på 26,5 baro (-10°C) til 32 baro (-2°C) (sikkerhedsventilens indstilling) på 3 til 4 timer. Der er på det aktuelle anlæg valgt blot at anvende sikkerhedsventil, således at der efter 3 til 4 timers stilstand af propananlægget vil blive blæst CO₂ af til omgivelserne. Afblæsningen vil foregå roligt, hvor CO₂'en siver ud af sikkerhedsventilen med ca. 0,4 kg/h. Afblæsning til omgivelserne er den billigste og mest rentable metode til reduktion af trykket for CO₂-anlæg i supermarkeder /2/. En anden løsning kunne være at anvende en ekspansionsbeholder, men investeringen til denne er simpelthen for stor.

Sikkerhed – service

Ved service af propananlægget kan montøren afbryde trykvagten, således at kassen kan åbnes, uden at strømmen til maskinrummet afbrydes. Dette gøres ved hovedtavlen i kælderen vha. en nøgleafbryder. Nu kan montøren servicere propananlægget, uden at anlægget stopper. Da der nu ingen sikkerhed er i forbindelse med et eventuelt udslip af gas (propan), skal montøren medbringe en *propandetektor*, som ved lyd og lys vil advare ham om et eventuelt udslip (koncentrationer over 4000 ppm). Under service holdes døren til maskinrummet åben. Forekommer der udslip fra anlægget under service, og detektoren advarer montøren, skal han straks forlade rummet og gå i kælderen, hvor strømmen til maskinrummet afbrydes.

Service af anlægget

Ved service af køleanlægget er det vigtigt at være opmærksom på de specielle egenskaber, propan og CO₂ har:

<i>Propan</i>	<i>CO₂</i>
<ul style="list-style-type: none"> – Brandfarligt kølemiddel Ild og rygning er forbudt i maskinrummet under alle omstændigheder!!! – Gasdetektor skal altid anvendes i maskinrummet, når vakuemet til propankassen brydes!!! – Kølemiddel påfyldes og tømmes udenfor ved receiver! – Al udslip af propan i maskinrummet skal undgås!!! – Ved udslip af propan i maskinrummet skal al strøm til ikke ex-udstyr afbrydes!!! 	<ul style="list-style-type: none"> – Anvend CO₂-detektor ved arbejde i rummet – Kølemiddel påfyldes og tømmes ved receiver i maskinrummet. Ved tømning placeres slange i udsugning – Pas på - tøris kan dannes af CO₂-væske ved hurtig sænkning af tryk (<5,18 bar) – Pas på - CO₂ arbejder ved meget høje tryk, og trykket skal holdes under 30 bar vha. propananlægget – Pas på - meget høje tryk i alle rørledninger også i sugeledninger

Tabel 7: Huskereglere ved service af hhv. propan- og CO₂-anlæg

CO₂-anlægget skal stoppes og tømmes, før propananlægget stoppes, hvis større service af propananlægget skal gennemføres! Ved stoppet propananlæg vil trykket overstige tilladelige grænser inden for 2 til 3 timer!

Propan:

Påfyldning og tømning af propan sker udendørs ved receiveren. Propananlægget suges tomt ved pump-down og tømmes ved fyldeventil ved receiver (udendørs). Propan kan tømmes direkte ud i atmosfæren – men koster 250 kr/kg.

Propan påfyldes ved fyldeventil placeret efter receiveren. Afspærringsventilen på receiverens afgangsside lukkes. Anlægget er påfyldt ca. 6 kg propan. Under drift kan skueglasset anvendes til at påfylde den korrekte mængde.

CO₂:

CO₂-anlægget stoppes og tømmes ved langsom afblæsning til atmosfæren gennem slange til omgivelserne (uden for rummet). CO₂ koster 15 kr/kg og kan påfyldes igen. Tømningen skal ske langsomt, således at trykket i anlægget ikke kommer under 5,18 bar, mens der stadig er væske. Ellers dannes der tøris i anlægget.

CO₂ kan og må kun påfyldes anlægget, hvis propananlægget kører korrekt (ellers kan trykket ikke holdes nede). CO₂ påfyldes ved receiveren i maskinrummet (trykket her er lavere end mætningstrykket for CO₂ ved stuetemperatur). Kølemidlet kan påfyldes ved stilstand af kompressor, men for at bestemme den korrekte fyldningsmængde skal kompressoren køre. I dette tilfælde anvendes skueglasset ved receiveren. Ved påfyldning under drift påfyldes kølemidlet langsomt for at undgå for høje tryk efter kompressoren.

Anvend anordning med reduktionsventil og manometre fra f.eks. Hydro Gas.

Før opstart skal man sikre sig, at de enkelte kølemiddelkredse er funktionsdygtige. Først skal brinekredsen startes op. Her er gennemskyldning og afluftning essentiel for anlægget funktion. Endvidere skal pumperne og pumpetryk kontrolleres (maskinrum).

Herefter kan propananlægget startes. Evakuering af anlægget er væsentlig samt kontrol af olieniveau i kompressor. Påfyld propan udendørs efter receiver, som beskrevet i afsnittet.

Efter opstarten af propankompressoren kan anlægget efterfyldes. Efter at propananlægget er startet og kører korrekt, kan CO₂-anlægget startes. Hvis anlægget har været trykløst, skal det evakueres, og kølemiddel påfyldes.

Propananlægget:

- Service
 - Min. 97,5% ren propan skal anvendes
 - Svejselodde med baggas og holde anlægget rent (vakuum skal holdes ved 1,5 mbar)
 - Under 50 ppm fugt i anlægget (tørrefilter og fugtindikator)
 - Ventilation i rummet ved service.

CO₂-anlægget

- Service
 - Min. 99,9% ren CO₂
 - Lodde med baggas og holde anlægget rent (vakuum skal holdes ved 1,5 mbar)
 - Under 50 ppm fugt i anlægget (tørrefilter og fugtindikator)
 - Ventilation i rummet ved service

Styring

Styringen af anlægget er bygget op om separate styringer af hhv. kompressorer og møbler. Der anvendes styringer fra Danfoss til både møbler og kompressorer. Kompressorerne styres efter konstant sugetryk. Propananlægget arbejder ved -14°C , hvilket giver en fremløbs-temperatur af brinen på ca. -10°C og en kondenseringstemperatur for CO_2 -anlægget ligeledes på -10°C . Møblerne styres gennem AdapKool uafhængigt af køleanlægget. For møblerne kan blæsere, kantvarme og afrimninger styres. Endvidere styres kondensatorblæsere og pumper uafhængigt af kompressorerne. Ekspansionsventilerne til de to propanfordampere (brinekøler og kaskadeveksler) anvender deres egen regulator, hvor der udelukkende styres efter overhedningen.

Propankompressorer

- Disse kompressorer styres vha. en Danfoss AKC 25H5
- Kompressorerne styres udelukkende ved fordampetrykket (sættes som udgangspunkt til 3 bar abs. $\sim -14^{\circ}\text{C}$)
- Propananlægget må ikke startes, uden at brinepumperne kører
- Der er ikke kobling til kondensatoren
- Sikkerhed i form af oliedifferens- og højtrykspresostater tilkobles
- Ekspansionsventilerne (propan) lukkes ved kompressorstop.

Propankondensator

- Blæsere styres vha. Güntners egen VLT og styring (setpunkt er 27°C)
- Der er igen kobling til det øvrige anlæg.

Ekspansionsventiler til propan

- Leveres med egen styringsmoduler fra Staefa
- Mulighed for ekstern indgang, hvor ventiler kan lukkes ved kompressorstop.

Brinepumper

- Anlægget monteres med 2 brinepumper. Den ene er reguleret, mens den anden blot er håndstyret. Den regulerede pumpe monteres med Grundfos' egen styring
- Pumperne stoppes ved sikkerhedspresostat, hvis ikke tryk i fremløb opretholdes (med forsinkelse).

CO_2 -kompressor

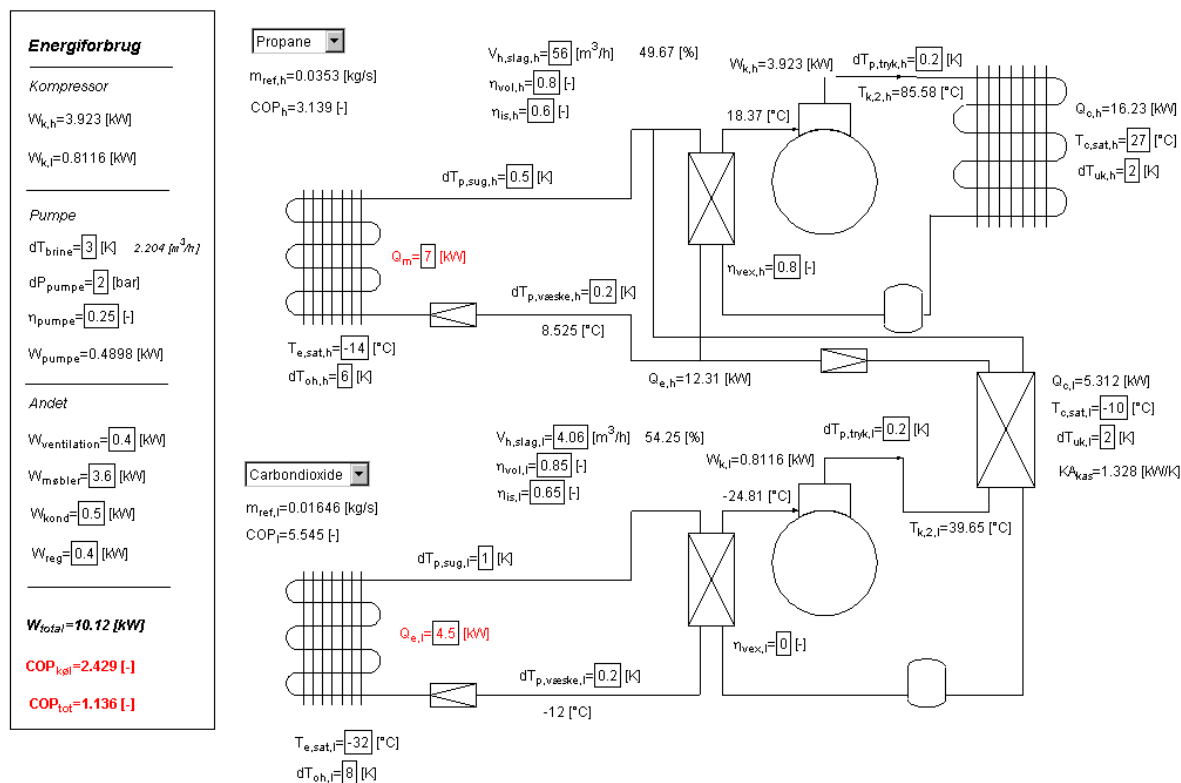
- Styres ved vha. AKC 25H5, hvor fordampertemperaturen som udgangspunkt sættes til 14 bar abs. ($\sim -32^{\circ}\text{C}$).
- Kompressoren må ikke startes uden at propananlægget kører
- Høj- og lavtrykspresostat tilkobles (der er ikke oliepumpe på kompressor).

Det eneste område omkring styringen, som er lidt specielt, er sikringen af det høje tryk i CO_2 -anlægget. Dette gøres ved, at der er en tilbagekobling fra CO_2 -anlægget, der kan tvangsstarte propananlægget, hvis trykket på CO_2 -siden bliver for højt. Endvidere må CO_2 -kompressoren ikke startes, medmindre propananlægget kører. Dette håndteres ved en setpunktsforskydning i regulatoren til propankompressoren.

Funktion af CO₂/propananlægget (målinger)

Gennem AdapKool har det været muligt at overvåge anlægget nøje gennem den hidtidige driftsperiode. I det følgende skal de overordnede konklusioner opridses omkring anlæggets drift. Det er valgt at tage udgangspunkt i driften set over en hel uge, nemlig uge 28.

Ud fra målingerne kan den gennemsnitlige kapacitet af anlægget vurderes. Her fra kan den gennemsnitlige drift af anlægget beregnes. Resultatet er som vist på nedenstående figur:



Figur 9: Gennemsnitlig drift af anlægget (beregnet)

I det følgende skal målingerne kort gennemgås.

Kompressorer

Kompressorerne er både for propan og CO₂ sat op med frekvensomformer. Dette giver muligheden for kontinuerlig kapacitetsregulering. Imidlertid vil der i forbindelse med afrimninger (morgen og aften) kunne komme væsentlige variationer. Nedenstående tabel viser kompressorernes drift i uge 28.

Gennemsnit for uge 28		Propankompressorer	CO ₂ -kompressor
Sugetryk	[°C]	-14,2 (min/max = -20/-10)	-32,0 (min/max = -40/-26)
Afgangstryk	[°C]	27,2 (min/max = 24/29)	-10,2 (min/max = -16/-3)
Sugetemperatur	[°C]	25,1 (min/max = -1/27)	-8,9 (min/max = -32/8)
Trykgastemperatur	[°C]	85,7 (min/max = 73/91)	59,6 (min/max = 31/88)
Kompressor kap. ¹	[%]	50,3 (min/max = 0/94)	51,7 (min/max = 0/100)
Drifttid	[%]	99,3	74,7

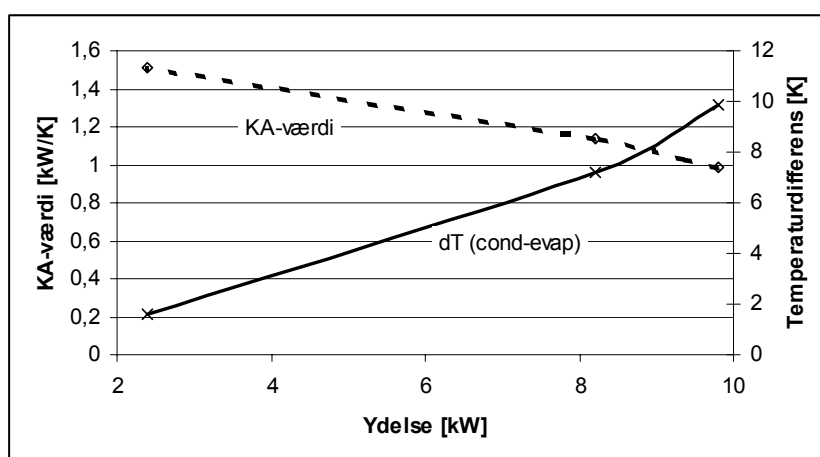
¹Den gennemsnitlige kompressorkapacitet er baseret på slagvolumen, således har CO₂-kompressoren i gennemsnit haft 50% af sit slagvolumen indkoblet.

Begge kompressorer er kun ca. 50% belastet i gennemsnit. Propananlægget har maksimalt været 94% belastet, mens CO₂-kompressoren har været 100% belastet. Den høje kapacitet på anlægget findes typisk efter afrimninger. Endvidere ses at propankompressorene køretid har været næsten 100%, mens CO₂-kompressoren kun har haft en køretid omkring 75%. Dette skyldes CO₂-anlæggets lidt ringere evne til at kapacitetsregulere sammenlignet med propananlægget (kun én kompressor).

Kaskadeveksleren

Kaskadevekslerens effektivitet har stor betydning af anlæggets effektivitet. Det er derfor vigtigt at dimensionere veksleren således, at temperaturdifferensen ikke bliver for stor. I dette anlæg er der benyttet en kobberloddet pladevarmeveksler fra SWEP med 60 plader. Af Figur 9 ses det, at kaskadeveksleren gennemsnitligt er belastet med 5 til 6 kW, hvilket svarer til en temperaturdifferens på 4 til 5K.

Ud fra 3 uafhængige driftssituationer med forskellige belastninger af veksleren, hvor driften har været nogenlunde konstant, er temperaturdifferens og kaskadevekslerens KA-værdi beregnet.



Figur 9: Kaskadevekslerens temperaturdifferens og KA-værdi afhængig af ydelse

Som det ses, er temperaturdifferensen meget afhængig af ydelsen. Dette bliver endda forstærket ved, at vekslerens KA-værdi falder med stigende ydelse.

Tryktab

Det var som udgangspunkt forventet, at tryktabet i sugeledningen på CO₂-anlægget skulle ligge omkring 0,8K ved fuldkapacitet. Det målte tryktab ligger omkring 0,5K, hvilket primært skyldes den lavere kapacitet på anlægget.

Brinetemperatur

Fremløbstemperaturen for brinen (propylenglykol) ligger mellem -10 og -8°C.

Luftkølere

For at vurdere møblernes fordampere og varmevekslere kan man kigge på de elektroniske ventilers drift. For brinemøblerne ser driften således ud:

<i>Møbel</i>	<i>Gennemsnitlig åbningsgrad af ventil</i>	<i>Gennemsnitlig afrimningstid</i>
Kølegondol	10%	20 min
Mælkefront	60%	21 min
Kølerum	88%	27 min

Som det ses, er primært kølerummet hårdt belastet, da rummet stort set hele tiden kalder på kulde (termostat on). Afrimningen foregår uden elvarme, hvilket gør afrimningstiderne acceptable.

Ligeledes kan frostmøblerne vurderes. Her er det dog vigtigt at skelne mellem ventilens to forskellige åbningsgrader:

- ◆ **Åbningsgrad (overhedning)**
De elektroniske ventiler styrer efter overhedningen af CO₂-gassen ved afgang fra fordamperen. I denne driftssituation kalder møblet på kulde, men ventilen kan godt stå lukket pga. at kriteriet om f.eks. 6K overhedning skal overholdes (siger noget om ventilens kapacitet i forhold til fordamperen)
- ◆ **Termostatåbningsgrad**
Den procentuelle tid af hele driftstiden, hvor ventilen arbejder – møblet kalder på kulde (termostat on). (siger noget om fordampers kapacitet med en given fordampertemperatur overfor møblets belastning)

For frostmøblerne ser situationen nu således ud:

<i>Møbel</i>	<i>Gennemsnitlig åbningsgrad af ventil</i>	<i>Gennemsnitlig termostatåbningsgrad</i>	<i>Gennemsnitlig afrimningstid</i>
Frostgondol	20%	90%	20 min
Frostrum	15%	55%	15 min

Fra ovenstående kan man konkludere, at ekspansionsventilerne er rigeligt store, mens vekslerne dog er rimeligt belastede (høje termostatåbningsgrader). Dette betyder, at vekslerne enten ikke effektive nok (for lille areal), eller at fordampertemperaturen er for høj. Det ser dog ud som om, at der ikke er nogen problemer med at holde temperaturen i møblerne (se senere).

Afrimning

Luftkølerne med brine afrimes ved naturlig afrimning. Brinetilførslen stoppes, mens luften stadig cirkulerer, da ventilatoren kører. Langsomt varmes veksleren op til et givent setpunkt, hvorefter kølingen starter igen.

Frostfordamperne afrimes ved, at ekspansionsventilen lukkes. Da kompressoren stadig er i drift og holder sugetrykket nede, vil fordamperne hurtigt tømmes for kølemiddel. Ventilatorerne stoppes, og elafrimningen starter. Efter ca. 15 min. er overfladetemperaturen af fordamperen oppe på ca. 7°C, og ekspansionsventilen åbner for kølemiddeltilførslen. Vandmængden, der stadig klæber til ribberne, fryses fast, og ventilatorerne startes.

Det nye anlæg sammenlignet med det gamle

For at sammenligne energiforbruget mellem det nye og gamle anlæg er der gennemført før- og eftermålinger af energiforbruget.

Dette afsnit indeholder en sammenligning mellem det nye og gamle anlæg, men indledes med en beskrivelse af det gamle anlæg.

Det gamle anlæg

Ved renovering af butikken på Juelsmindevej er hele køleanlægget udskiftet, og alle møbler er udskiftet med nye. Det gamle anlæg var på mange områder udtjent og gør derfor en sammenligning svær.

Det gamle anlæg var udrustet med enkeltstående kondenseringsunits med hhv. R12 (25 kg) på køl og R502 (15 kg) på frost. Summen af installerede mærkepladeeffekter er hhv. 6,6 kW på køl og 3,3 kW på frost.

Anlægget var opbygget som et remoteanlæg med én kondenseringsunit (til kølerummet) placeret i kælderen, mens de øvrige kondenseringsunits var placeret i et skur udendørs. Det gamle anlæg er vurderet til en gennemsnitlig kuldeydelse på 8 og 2 kW for hhv. køl og frost.

Ydre konditioner

Et andet perspektiv, der skal undersøges i forbindelse med sammenligning af energiforbrug mellem to anlæg, er variationerne i de ydre konditioner. Her har konditionerne i de respektive måleperioder imidlertid været meget identiske:

<i>Måling</i>	<i>Middeltemperaturer [°C]</i>		<i>Bemærkning</i>
	<i>Udetemp.</i>	<i>Indetemp.</i>	
Gamle (uge 19/20)	17,9	23,2	Min./Maks. = 7,0/31,2 Min./Maks. = 20,5/26,2
Nye (uge 28)	17,4	22,4	Min./Maks. = 26,5/11,3 Min./Maks. = 19,7/25,9

Tabel 8: Ydre konditioner i måleperioderne

Med baggrund i disse middeltemperaturer vurderes det ikke nødvendigt at korrigere for variationerne i de ydre konditioner.

Sammenligning af møbeltemperaturer

Nedenstående tabel opsummerer målingerne af møbeltemperaturer for hhv. det gamle og nye anlæg for før- og eftermåleperioderne (uge 19/20 og uge 28).

Temperatur [°C]	Mælkefront ¹ (ny/gl)	Frostgondol ² (ny/gl)	Kølegondol (ny/gl)	Kølerum ³ (ny/gl)
Middel	3,4/8,1	-18,4/-10,9	2,1/3,1	3,6/-
Maks.	12,1/14,1	-/15,4	8,5/10,2	7,3/-
Min.	2,1/2,1	-22,0/-19,1	0,4/-1,2	2,6/-

¹ Den gamle mælkefront var uden låger og i temmelig dårlig stand

² Den gamle frostgondol havde svært ved at holde temperaturen (både de nye og de gamle er uden låg)

³ Formålingerne på det gamle anlæg blev ødelagt af kompressorsvigt.

Som det ses, holdes lufttemperaturerne med det nye anlæg fint omkring setpunkterne på ca. 2 til 3°C for køl og -18 til -20°C for frost.

Måling af energiforbrug

Det er tidligere set, at en sammenligning mellem det nye og gamle anlæg kan være urimelig pga. de 2 anlægs ulige stand. Andre ting, der gør en sammenligning meget svær, er, at den nye butik har en helt anden fordeling af kuldebehov på køl og frost.

Butik	Belastning [kW]		Bemærkning
	Køl (-10°C)	Frost (-35°C)	
Gamle	10,5 / 8,0	2,5 / 2,0	Normeret ¹ / aktuel middel
Nye	7,4 / 7,0	6,2 / 4,5	Normeret/ aktuel middel

¹ Normeret værdi fundet ved anvendelse af programmet /1/.

For at kunne lave en egentlig sammenligning er det således også nødvendigt at kunne korrigerer for de forskellige kuldebehov for hhv. køl og frost.

For det nye anlæg er det totale energiforbrug (el) til alle komponenter, der vedrører køl og frost, blevet målt. Dette energiforbrug indeholder forbrug til møbler (afrimning, lys, kantvarme og blæsere), kompressorer, pumper, kondensatorblæser samt ventilation af maskinrum i gennemsnit). Formålingerne er blevet foretaget på det gamle anlæg, hvor kun energiforbruget til kompressorer, kondensatorblæsere, fordamperblæsere og afrimninger er medtaget.

Vurdering af energiforbrug for det gamle anlæg og det nye propan/ CO₂-anlæg

Energiforbruget til køl og frost i et supermarked består af mange forskellige bidrag. I forbindelse med møbler og rum bruges energi (el) til ventilatorer, afrimning, kantvarme og lys. Selve køleanlægget bruger energi (el) til kompressorer, pumper, kondensatorblæser samt andet energiforbrugende udstyr i forbindelse med regulering af anlægget (dette udgør dog en lille del). Endelig forbruges også energi i forbindelse med maskinrummet f.eks. til ventilation og lys. Alle disse bidrag skal medtages for at få et korrekt billede af hele installationens elenergiforbrug. Det overraskende i denne fremstilling er nok, at selve køleanlæggets energiforbrug kun udgør en mindre del.

Propan/ CO₂-anlægget

Energiforbrug i forbindelse med møbler og rum:

Energiforbrug	Ventilatorer	Afrimning ¹	Kantvarme	Lys ²
Mælkefront	528 W	0 W 15 min.	0 W	420 W
Kølerum	110 W	0 W 10 min.	0 W	100 W
Kølegondol (Side + Ende)	198 W	1965 W 20 min. (55 W)	0 W	0 W
Grøntreol	66 W	0 W 20 min.	20 W	0 W
Frostrum	210 W ³ (175 W)	2500 W 12 min. (42 W)	965 W (637 W) (dag/nat=85/50%)	280 W
Frostgondol (Side + Ende)	198 W ⁴ (112 W)	6875 W 20 min. (191 W)	644 W (dag/nat=100/100%)	0 W
Total (middel)	1189	288	1281	800
Total (max)	1310	11340	1629	800

¹ Alle møbler afrimes 2 gange i døgnet² Alt lys er slukket om natten (20.00 – 9.00)³ I off-periode og natdrift kører ventilator 20% med cyklus på 10 min.⁴ I off-periode og natdrift kører ventilator 35% med cyklus på 10 min.

Tallene i parentes tilkendegiver den gennemsnitlige effekt over døgnet

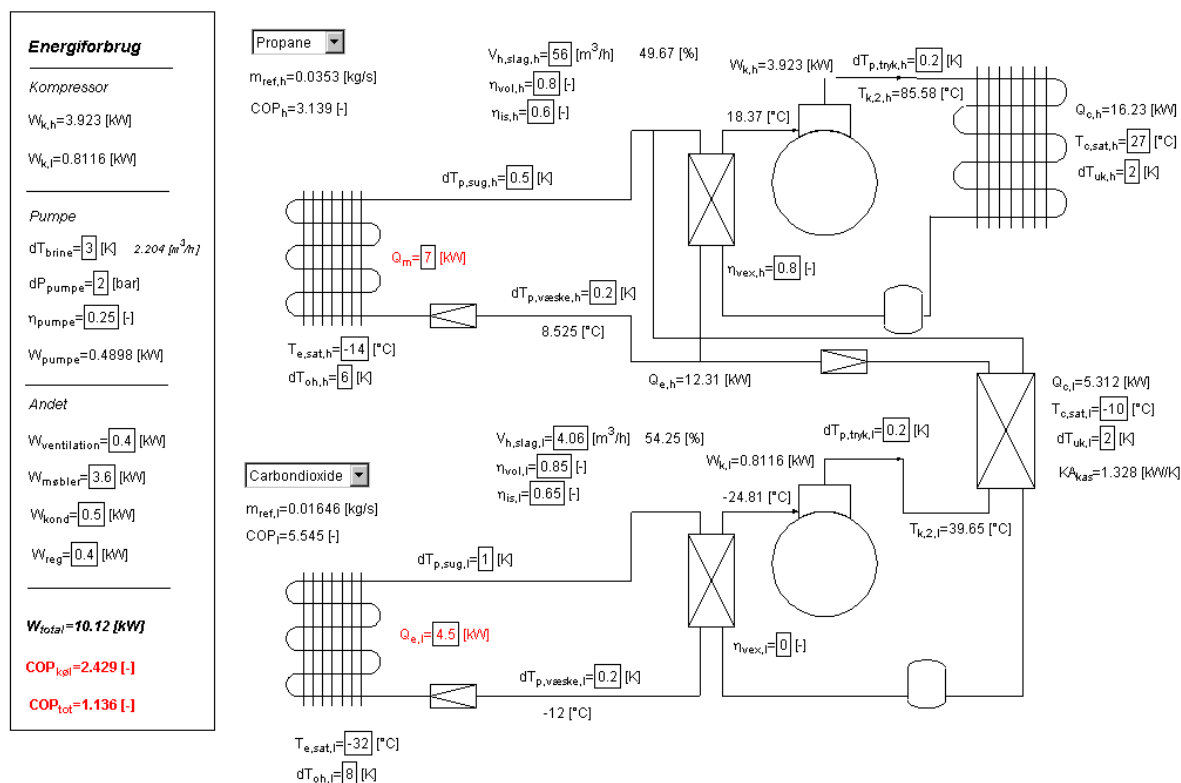
På frostmøblerne er anvendes nathævning på 1K (20.00 – 9.00), ellers ikke nathævning.

Afrimning af møbler og rum foregår 2 gange i døgnet hhv. morgen og aften. Ud fra ovenstående skema kan den gennemsnitlige effekt (fordelt over døgnet) til de 4 formål (ventilatorer, afrimning, kantvarme og lys) beregnes til 3558 W.

Herudover kommer:

- ◆ Ventilation i maskinrum: 400 W
- ◆ Pumper: 500 W ($\Delta P = 2$ bar, $Q = 4$ m³/h, $K_{ap} = 80$ %)
- ◆ Kondesatorblæser: 2 stk. af maks. 340 W heraf ca. 500 W.

Nedenstående figur viser de forskellige gennemsnitlige bidrag til elenergiforbruget samt anlæggets totale energiforbrug, som er målt til 10,1 kW i middel.



Figur 10: Overblik over energiforbruget på anlægget

Hvis man isoleret kigger på energiforbruget til kompressorer, pumpe, kondensator- og fordamperblæsere samt afrimninger fås energiforbruget til ca. 7,1 kW i gennemsnit.

Gamle anlæg

For det gamle anlæg er effektforbruget i måleperioden gennemsnitligt 7,2 kW. Dette energiforbrug indeholder effektforbrug til kompressorer, kondensator- og fordamperblæsere samt afrimninger.

For at korrigere energiforbruget pga. den forskellige fordeling af kuldebehovet på hhv. køl og frost skal dette omregnes. Her anvendes COP for det gamle anlæg for hhv. køl (1,3) og frost (2,4).

Omregningen ses af nedenstående tabel:

	Middel forbrug/ ydelse [kW]		Bemærkning
	Køl (-10°C)	Frost (-35°C)	
Butik			
Gamle	8,0	2,0	Normeret kuldebehov
Nye	7,0	4,5	Normeret kuldebehov
Differens	-1,0	2,5	Ny – Gammel
COP	2,4	1,3	Beregnet
Effektforbrug	-0,4	1,9	+1,5 kW

Det korrigerede energiforbrug for det gamle anlæg kan således estimeres til ca. 8,7 kW, hvis dette anlæg skal levere samme ydelse på hhv. køl og frost som det nye.

Konklusion på energiforbrug

Som det kan ses af ovenstående, kan følgende opsummeres:

Energiforbrug for hhv. nye og gamle anlæg inkl. elenergiforbrug til kompressorer, pumpe, kondensator- og fordampere samt afrimning:

	Middel elforbrug [kW]	Bemærkning
Butik		
Gamle	8,7	Korrigeret for gammel
Nye	7,1	Målt for nye anlæg

Tabel 9: Konklusion på energiforbrug for hhv. det gamle og nye anlæg

Herved ses det, at besparelsen for det nye anlæg ligger omkring 20%, når der ses bort fra effektforbruget for både det nye og gamle anlæg til kantvarme, lys og ventilation.

Vurdering af pris for traditionelt og propan/CO₂-anlæg

Indledningsvis skal det understreges, at den aktuelle case ikke er særligt egnet for en pris-sammenligning mellem propan/CO₂-anlægget og et traditionelt anlæg. Dette skyldes, at anlægget er meget lille, og at en del af de omkostninger, der påløber propan/CO₂-anlægget, ikke er proportionale med anlægsstørrelsen og derfor netop påvirker den aktuelle sammenligning væsentligt. Følgende antagelser ligger til grund for sammenligningen:

- ◆ De to anlæg, der sammenlignes, er vist i bilag 1
- ◆ Begge anlæg er udstyret med frekvensomformere (1 stk. på hhv. køl og frost)
- ◆ Begge anlæg er udstyret med AdapKool og AKC25H5 til regulering af kompressorer
- ◆ Begge anlæg er lagt ud til samme kapacitet
- ◆ Alle omkostninger er medtaget i sammenligningen (møbler, rum, komponenter, isolering, el- og kølemontage, ventilation og maskinrum samt bygningsmæssige arbejder).

Endvidere beror sammenligningen på estimer af priser, som ikke umiddelbart er kendte, og man skal derfor passe på ikke at lave forhastede konklusioner på baggrund af den opstillede sammenligning.

Endvidere understreges det, at propan/CO₂-anlægget er et prototypeanlæg, hvor der ligger mange muligheder for en senere økonomiske optimering.

Traditionelt anlæg

Et traditionelt anlæg til det aktuelle supermarked ville bestå af et køl- og frostanlæg med parallelkoblede møbler. Anlægget ville have fælles kondensator og receiver og bestå af 2 Copeland scroll kompressorer på hhv. frost (-35°C og 7 kW) og køl (-10°C og 9 kW).

Det oprindelige tilbud så således ud:

Position 1:	Kølerum med fordamper	37.600 kr.
Position 2:	Frostrum med 3 glasdøre.....	75.400 kr.
Position 3:	Grøntreol (tilslutning af eksisterende)	5.000 kr.
Position 4:	Mælkefront.....	53.200 kr.
Position 5:	Malmø	109.800 kr.
	<i>Total:</i>	<i>281.000 kr.</i>
Position 6:	Anlæg og montage	
	AdapKool.....	50.000 kr.
	Køl/frost.....	184.000 kr.
	El.....	44.600 kr.
	<i>Total:</i>	<i>278.600 kr.</i>
<hr/>		
Total pris ekskl. moms		559.600 kr.
<hr/>		

Propan/CO₂-anlæg

Ses der på køleanlægget, er opbygningen sammenlignet med et konventionelt anlæg noget mere kompliceret. Dette har primært konsekvenser på følgende områder:

- ◆ Flere komponenter (2 kaskadevekslere, 1 pumpe, brinekreds, dobbelt receiver/tørrefilter/smudsfilter/skueglas og ekstra ekspansionsventiler til propan)
- ◆ Kaskadeanlægget er svejst op i stålør (certifikat rør og fittings)
- ◆ Kaskadeanlægget er mere kompliceret i sin opbygning
- ◆ Isolering af både fremløb og retur fra møbler
- ◆ Styring er mere kompliceret
- ◆ Maskinrum og detektorer.

Gennem projektet er der sammen med en italiensk leverandør udviklet fordampere til CO₂. Tre fordampere er produceret hhv. til de to Arneg møbler og én til frostrummet (ECO STE 75 – CO₂). Prisen er kun marginalt højere (ca. 1.000 kr. pr. veksler), hvilket signalerer, at prisen med tiden ikke forventes at blive højere end for de veksler, vi kender i dag. Varmevekslerne til brine er ligeledes ikke forbundet med en merpris. Endvidere vurderes, at montagen af møbler ikke medfører en meromkostning.

Position 1:	Kølerum med fordamper	37.600 kr.
Position 2:	Frostrum med 3 glasdøre.....	75.400 kr.
Position 3:	Grøntreol (tilslutning af eksisterende)	5.000 kr.
Position 4:	Mælkefront.....	53.200 kr.
Position 5:	Malmø	109.800 kr.
	<i>Total:</i>	<i>281.000 kr.</i>
Position 6:	Anlæg og montage	
	Propananlæg	109.900 kr.
	CO ₂ -anlæg	40.317 kr.
	Brineanlæg.....	40.430 kr.
	Ventilation	29.260 kr.
	Bygning.	8.000 kr.
	AdapKool.....	50.000 kr.
	Køl/ frost (montage)	85.000 kr.
	El (montage)	65.000 kr.
	<i>Total:</i>	<i>427.907 kr.</i>
<hr/>		
Total pris ekskl. moms		708.907 kr.

Sammenlignes de to anlæg ses, det at propan/CO₂ – anlægget bliver ca. 27% dyrere svarende til 149.307 kr.

Som forklaring af denne merprisen kan følgende nævnes:

- ◆ Propananlægget er svejst op i stålrør – her ligger en forøgelse af omkostninger i form af materialer og arbejdstid (10.000 kr).
- ◆ Montage af køleanlæg samt brinekreds (inkl. isolering) har en meromkostning på ca. 20.000 kr.
- ◆ Elentreprisen er endvidere blevet noget dyrere pga. en mere avanceret styring af anlægget samt montage af elektroniske pressostater 20.000 kr.
- ◆ Den anvendte kondensator er en godkendt veksler fra Güntner. Denne veksler har en merpris på ca. 5.000 kr. i forhold til en konventionel kobber/aluminiumsveksler (25 kW).
- ◆ For ekstra komponenter (som nævnt tidligere) ligger der på det aktuelle anlæg en meromkostning på 20.000 til 25.000 kr.
- ◆ Der er i forbindelse med ventilation af propananlægget samt opbygning af maskinrum meromkostninger på ca. 35.000 kr.
- ◆ 2 stk. stationære CO₂-detektorer samt 1 stk. mobil gasdetektor til i alt ca. 12.000 kr.
- ◆ De to indsprøjtningssystemer til propan (Siemens/Staefa) er tilsammen ca. 5.000 kr. dyrere, end hvad man muligvis kunne finde på markedet.

Ser man på fremtiden og skal vurderer et noget større anlæg (f.eks. 3 gange større) kommer regnestykket imidlertid til at se noget anderledes ud. Lad os antage, at et traditionelt supermarked alt inklusive koster 1.500.000 kr. Ud fra ovenstående meromkostninger kan følgende tabel opstilles:

	Beskrivelse	Pris/meromkostning [kr]
Traditionelt supermarked		1.500.000
Meromkostninger Propan/ CO ₂ (estimeret)	Propananlæg (hvis kobberør kan anvendes, er denne merpris mindre)	20.000
	Montage (køl)	40.000
	Montage (el)	20.000
	Kondensator	10.000
	Ekstra komponenter	40.000
	Ventilation, kasse, maskinrum	40.000
	Detektorer	20.000
Total meromkostning		190.000 (13%)

Tabel 10: Sammenligning af traditionelt R404A-anlæg og propan/CO₂-anlæg (full-scale)

Det vurderes således, at et propan/CO₂-anlæg i denne størrelse kan laves for en merpris mellem 10 til 15% set i forhold til prisen på hele installationen. Ses merprisen i forhold til installationen fratrukket møbler og rum (andrager omkring 55% af totalprisen for denne størrelse supermarked), fås en merpris på ca. 30%.

Konklusion

Der er igennem dette projekt designet, opbygget og indkørt en ny type køleanlæg til anvendelse i supermarkeder. Gennem projektet er det demonstreret, at det er muligt at anvende køleanlæg udelukkende baseret på naturlige kølemidler uden et merenergiforbrug til følge.

Køleanlægget i Lokal Brugsen på Juelsmindevej blev startet op den 26. maj 2000. Over sommeren 2000 er der opsamlet data fra anlægget (temperaturer, tryk og total energiforbrug).

Køleanlægget har siden opstarten kørt uden fejl eller problemer. Anlægget har opfyldt de tilsigtede konditioner samt overholder -20°C i frostmøblerne og $+2^{\circ}\text{C}$ i kølemøblerne. Specielt under meget varme forhold har anlægget vist gode egenskaber. Endvidere er afrimningstiderne afkortet på frostmøblerne og ligger omkring 15 min.

Ud fra de opsamlede energimålinger for hhv. det nye og gamle anlæg kan energibesparelsen vurderes. Flere faktorer spiller dog ind på denne sammenligning. Der er således forsøgt korrigeret for forskellige kuldeydelse på hhv. køl og frost mellem anlæggene, andre møbler og forskellige temperaturer i møblerne, da det gamle anlæg ikke kunne overholde temperaturerne i møblerne. Det understreges endvidere, at det gamle anlæg på flere punkter var udtjent! Det totale energiforbrug er reduceret med 10%, mens energiforbruget til selve køleanlægget (kompressor + kondensator + pumpe) er reduceret med 20%. Set i forhold til et nyt optimeret anlæg med direkte anvendelse af R404A vurderes energiforbruget neutralt.

Ud fra erfaringerne fra projektet vurderes det at merprisen for et propan/ CO_2 -anlæg i et middelstort supermarked (30/60kW) vil ligge omkring 10 til 15% af totalinstallationen inkl. montage.

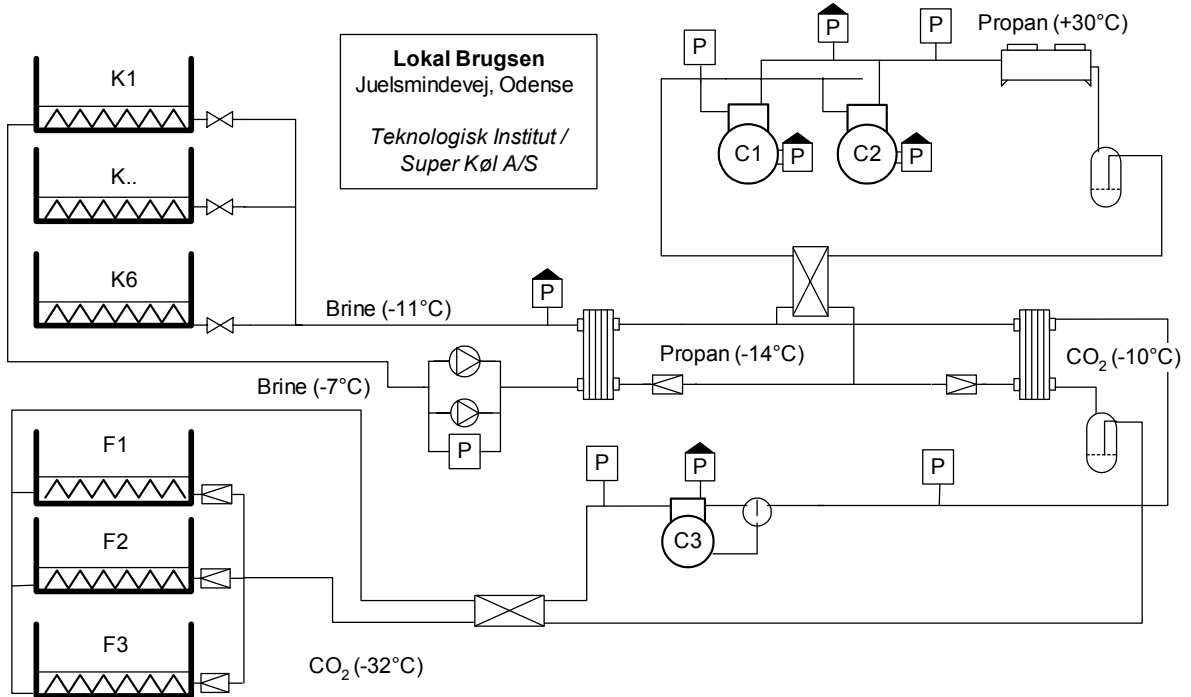
Der vil i den nærmeste fremtid være stærk fokus på de naturlige kølemidler, og tendensen bliver forstærket i fremtiden. Den direkte anvendelse af de naturlige kølemidler kan dog ikke accepteres, mens anvendelse af deciderede indirekte systemer heller ikke foretrækkes pga. højere energiforbrug. Det beskrevne anlæg med direkte anvendelse af CO_2 som kølemiddel har på alle områder vist stort potentiale. Det vurderes derfor, at denne type anlæg vil vinde indpas i fremtiden.

Referenceliste

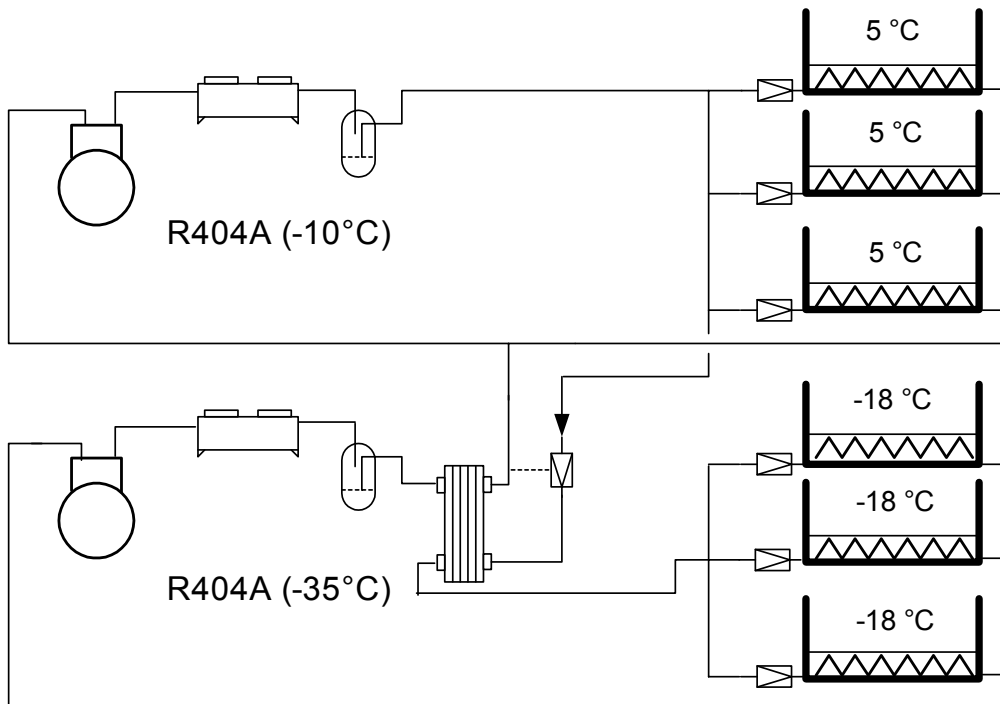
- /1/ ETA-Consult, H.V. Holm, P.O. Danig, B.D. Rasmussen; M.J. Skovrup: ”Energitest af remote køle- og frostanlæg i handels- og servicesektoren”. Projekt er gennemført for Energistyrelsen, 1998.
- /2/ ”Indirekte Køleanlæg med Naturlige Kølemidler. Sikkerhedsforanstaltninger i CO₂-køleanlæg”. Lars Bay Møller, Teknologisk Institut Energi; Lars Reinholdt, Sabroe Refrigeration A/S; Per Henrik Jensen, DTU, Energiteknik; Jan Zangenberg, Danfoss A/S. Miljø- og Energiministeriets Forskningsprogram EFP 94, 1997 / ET-ES98-2

Bilag 1: Anlægsskitser

Propan/CO₂ – anlæg som det er bygget i Odense



Traditionelt referenceanlæg med R404A som kølemiddel (underkølingsanlæg)



2000-10-27

KGC/MEF

q:\koel\svp\web-side\vidensdatabase\rapporter\rapport_3.doc

Bilag 2: Anlægstegninger (det totale anlæg)

2000-10-27

KGC/MEF

q:\koel\svp\web-side\vidensdatabase\rapporter\rapport_3.doc

Bilag 2: Anlægstegninger (propananlægget)

Bilag 3: Styklister for propankøleanlæg

Pos	Antal	Benævnelse	Specifikation / leverandør	Certifikat
1	2	Kompressor	Bitzer / *	Godk. f. propan
2	1	Luftkølet kondensator	Tegn. 1-2-092-00030-0-6 / Güntner	Certif. i henh. til AT godkendelse
4.1	1	Pladevarmeveksler	Propan/Glykol: 10 kW, B25x44 (R290/PG), PN-000208-03 / SWEP	Certif. i henh. til AT godk. **
4.2	1	Pladevarmeveksler	Propan/CO2: 7 kW, B25x60 HP (R290/CO2), PN-000208-04 / SWEP	Certif. i henh. til AT godk. **
4.3	1	Pladevarmeveksler	Propan/Propan: 2 kW, B12x22 (R290/R290), PN-? / SWEP	Certif. i henh. til AT godk. **
5.1	1	Elec. Ekspansionsventil	Staefa – 10 kW	Godk. f. propan
5.2	1	Elec. Ekspansionsventil	Staefa – 7 kW	Godk. f. propan
6.1	1	Sikkerhedspressostat LT	Bourdon tryktransmitter Type E913-022-B22R/ZE	Godk. f. propan
6.2	2	Sikkerhedspressostat HT	Bourdon tryktransmitter Type E913-027-B22R/ZE	Godk. f. propan
7.1	1	Manometer LT	Tempress	Godk. f. propan
7.2	1	Manometer HT	Tempress	Godk. f. propan
8.1	1	Afspæringsventil DN20	GEA Revalco type FS15S00 / *	Godk. f. propan
8.2	1	Afspæringsventil DN20	GEA Revalco type FS15S00 / *	Godk. f. propan
8.3	1	Afspæringsventil DN20	GEA Revalco type FS25S00 / *	Godk. f. propan
8.4	1	Afspæringsventil DN20	GEA Revalco type FS25S00 / *	Godk. f. propan
8.5	1	Afspæringsventil DN15	GEA Revalco type FS25S00 / *	Godk. f. propan
8.6	1	Afspæringsventil DN15	GEA Revalco type FS25S00 / *	Godk. f. propan
9	2	Skueglas	DN 25 Type MLI 25 D / Danvalve	Prøvetryk 35 bar
10	1	Tørrefilter 1 ltr.	DCY 754	Godk. f. propan
11	1	Rør Ø21,3/2,0	DIN 17175-St35.8.I, ADM W4	DS/ISO 10204 3.1.B
12	1	Rør Ø26,9/2,6	DIN 17175-St35.8.I, ADM W4	DS/ISO 10204 3.1.B
13	1	Rør Ø33,7/2,6	DIN 17175-St35.8.I, ADM W4	DS/ISO 10204 3.1.B
14.1	4	Svejsenipler 10 mm	Ermeto, Series L, PN315, -40 – 120°C DIN 3859 / ***	Godk. f. propan
14.2	4	Vinkler 18 mm	Ermeto, Series L, PN315, -40 – 120°C DIN 3859 / ***	Godk. f. propan
14.3	4	Adapter 1/2" – 18 mm	Ermeto, Series L, PN315, -40 – 120°C DIN 3859 / ***	Godk. f. propan
15	1	Rør Ø60,3/2,6	DIN 17175-St35.8.I, ADM W4	DS/ISO 10204 3.1.B
16	2	Oliedifferenspressostat	Bourdon tryktransmitter Type E913-022-B22R/ZE	Godk. f. propan
17	30	Svejsøbøjninger 2x1/2" / 10x3/4" / 5x1"	DIN 2605-1 / *** DIN 17175-St35.8.I, ADM W4	DS/ISO 10204 3.1.B
18	3	Reduktioner (svejse) 1 stk. 2"-1" / 3 stk. 1"-3/4" 1 stk. 3/4" – 1/2"	DIN 2616 Del 2 / *** DIN 17175-St35.8.I, ADM W4	DS/ISO 10204 3.1.B
19	1	Endebund (svejse) 2"	DIN 2617-2 / *** P265GH, EN 10028-2, ADM W4	DS/ISO 10204 3.1.B
20	4	T-stykker (svejse) 1 stk. 1/2" / 2 stk. 3/4"	DIN 2615-1 / *** DIN 17175-St35.8.I, ADM W4	DS/ISO 10204 3.1.B
21	4	Stopventil DN4	GEA Revalco TAH 4 incl. pos. 1 til 5 / *	Godk. f. propan
22	1	Rør 18/1,5	DIN 2391-St35.8.I, ADM W4	DS/ISO 10204 3.1.B

* Leverandør H. Jessen Jürgensen A/S: Dokumentation forelægges ved ibrugtagning

** Kopi af godk. fremlægges ved ibrugtagning / *** Se i øvrigt bilagte indkøbsspecifikation medvidere

Bilag 4: Styklister for CO₂-anlæg og brinekredsCO₂-anlæg

Pos.	Antal	Komponent	Leverandør
41	2	Kompressor til CO ₂ - med frekvensomformer	Bitzer
42	1	Olieudskiller	Skaneks
43	1	Receiver	Skaneks
44	2	Pladevarmevekslere - Propan/CO ₂ : 7 kW - Propan/Glykol: 10 kW	SWEP
45	3	Elektroniske ekspansionsventiler - 1950 W (-30°C) - 1050 W (-30°C) - 3200 W (-30°C)	Danfoss AKV
46	4 12	Afspærringsventiler 1/4" GBC6s loddetilslutninger 3/8" GBC10s loddetilslutninger	Danfoss (35 bar) GBC
47	4	Skueglas SGI10s 3/8"x3/8" loddetilslutninger	Danfoss SGI (35 bar)
48	1	Tørrefilter DN303S 3/8" loddetilslutninger	Danfoss DN (35 bar)
49	2	Sikkerhedspressostater KP5, 8-32 bar, differens 1,8 – 6 bar	Danfoss KP 5 (32)
50	2	Manometre - HT - LT	Tempress
51	1 1	Sikkerhedsventiler - 32 bar - 19 bar	Henry Skaneks
52	1	Fordampertryksregulator "Benyttes ikke"	Danfoss KVR (28 bar)
53	1	Starttryksregulator KVD R12-R22-R502, 1/2" loddetilslutninger 3-20 bar, PB 28 / MWP 400 psig	Danfoss KVD (28 bar)

Brineanlæg

Pos.	Antal	Komponent	Leverandør
20	1 1	Centrifugalpumper CRE4-40, differens-tryktransmitter (reguleret) CRE4-40, potentiometer (standby)	Grundfos
21	5 6 10	Afspærringsventiler (Type 346) ABS DN32 (40 mm) ABS DN25 (32 mm) ABS DN10 (16 mm)	GF
22	6	Reguleringsventiler	Danfoss
23	5	Flowbegrænsere ASV-Q	Danfoss
24	1	Ekspansionsbeholder	-
25		Rørsystem i ABS d = 40/ 32/ 16 mm	GF
26	1	Luftudskiller	Pneumatex
27	6	Luftskruer	-

2000-10-27

KGC/MEF

q:\koel\svp\web-side\vidensdatabase\rapporter\rapport_3.doc

Bilag 5: Tegning af supermarkedet

Bilag 6: Volumener og fyldningsmængder på anlægget*Propan:*

<i>Komponent</i>	<i>Volumen</i>
Kondensator	15 l
Pladevarmeveksler (propan/PG)	2 l
Pladevarmeveksler (propan/CO ₂)	2,5 l
Receiver/tørrefilter	2 l
Rørsystem inkl. øvrige komponenter	5 l
<i>Total</i>	<i>26,5 l</i>

Heraf vurderes den totale propanfyldning at være ca. 6 kg.

CO₂:

<i>Komponent</i>	<i>Volumen</i>
Kondensator	2,5 l
Receiver	4 l
Tørrefilter	0,5 l
Fordampere (4,1 + 1,6 + 1,6)	5,3 l
Rørsystem inkl. øvrige komponenter	2,5 l
<i>Total</i>	<i>14,8 l</i>

Heraf vurderes den totale CO₂-fyldning at være ca. 5 kg.

Brineanlæg:

<i>Komponent</i>	<i>Volumen</i>
Pladevarmeveksler	2 l
Pumper	1 l
Fordampere (12,5l+4,3l+4*8l)	50 l
Rørsystem inkl. øvrige komponenter	35 l
<i>Total</i>	<i>90 l</i>