

Alternativ till R 404A

”Nätverket BELIVS är ett ledande nätverk som skapar värde, ökar kunskapen och verkar för energieffektivisering i livsmedelslokaler. ”



Alternativ till R 404A

Alternatives to R 404A



Lennart Rolfsman

Projektnummer: BF20

År: 2017

Beställargruppens medlemmar



Axfood AB



Bergendahls Food AB



City Knalleland



Coop Sverige AB



ICA AB



IKEA



Max Hamburgerrestaurang

BELIVS Innovationskluster
RISE Research Institutes of Sweden
Box 857, 501 15 Borås
www.belivs.se
belivs@ri.se

Summary

This report is intended for owners of refrigeration systems affected by the F-gas regulation EU/517/2014. Most in focus is the refrigerant R 404A as the stop date for service is coming close. Most of the alternatives are already introduced and used since some years except for the new HFO refrigerants. The typical Swedish retail refrigeration system is still different from that in other countries. This is due to the rules about refrigerant charge at maximum 50 kg HFC refrigerant for temperatures above 0°C from early 1990. Most of the larger systems are indirect.

Keywords: Phasing out refrigerants, F-gas regulation, new alternatives, retail refrigeration

Förord

BELIVS Innovationskluster

Verklig nytta skapas när aktörer inom livsmedelslokaler möter experter inom energieffektivisering och utbyter erfarenheter och kunskap. Det möjliggör innovationsklustret BELIVS – mötesplats och nätverk för verkligt förbättrad och ökad energieffektivisering i livsmedelslokaler.

BELIVS är nätverket samt mötesplatsen för samarbete – för att minska energianvändningen i livsmedelslokaler – mellan myndighet, näringsliv, offentliga aktörer, akademi och utrustningsleverantörer. BELIVS är en naturlig mötesplats för alla intressenter inom området livsmedelslokaler – där mat förvaras, tillagas, äts och köps. Butiker, lager, bensinstationer – likväl som kök, bagerier och snabbmatsrestauranger – rymms inom området.

Genom att driva utvecklings- och demonstrationsprojekt tillsammans med medlemmarna visar och tydliggör nätverket och innovationsklustret BELIVS att – och även hur – energieffektiva system och teknik fungerar i verkligheten. Målet för BELIVS är att få ut energieffektiva system och produkter snabbare på marknaden. BELIVS har också den viktiga uppgiften att föra ut erfarenheter till hela livsmedelskedjan, bl a via BELIVS webbplats www.belivs.se. BELIVS är en katalysator, möjliggörare och kunskapsbank samt ett verktyg till verklig nytta för hela livsmedelsbranschen.

Varför BELIVS?

Elanvändningen för livsmedelslokaler behöver sjunka. EU har nationella energi- och miljömål om energieffektivisering. Arbetet stöds av Energimyndigheten och 2011 startade de tillsammans med aktörer inom livsmedelslokaler samt professionella kök, Energimyndighetens Beställargrupp Livsmedelslokaler, BELIVS. Antalet intressenter och aktörer har ökat sedan start, så 2015 utvecklades BELIVS vidare till att även vara ett innovationskluster. BELIVS ska hjälpa Sverige att nå de energimål som är uppsatta.

BELIVS finansieras av Energimyndigheten (Projekt nr 41295-1).

Innehållsförteckning:

Summary	4
Förord	5
BELIVS Innovationskluster	5
Varför BELIVS?	5
Innehållsförteckning:	6
Författarens förord	7
Sammanfattning	8
1 F-gasförordningen och förutsebara följor i marknaden	10
1.1 Historia	10
1.2 Huvuddragen i förordningen	10
1.3 Direkta förbud.....	11
2 Varför utfasning av R 404A	12
3 Huvudalternativ för ersättning av R 404A	13
3.1 Konvertering	13
3.2 Ombyggnad	13
4 Teknik	14
4.1 Två ICA butiker (Rogstam Jörgen, 2016)	16
4.2 Tre medelstora butiker	16
4.3 Ombyggnad	16
4.3.1 Plug-in för både kyl och frys, även för kylrum	17
4.3.2 Centralsystem för kyl och plug-in för frys	17
4.3.3 Centralsystem för kyl och frys med direktförångning	18
4.3.4 Centralsystem för kyl och frys, med glykolkrets	18
4.4 Några övriga tekniska parametrar	19
5 Ekonomi	20
6 Säkerhet	23
7 Råd till beställare inför beslut om R 404A	24
8 Fortsatta studier	25
Litteraturförteckning	26
A. Något om CO2 system.....	27
B. Konvertering.....	29
C. Ombyggnad	35

Författarens förord

Den svenska kylmarknaden har gradvis förändrats. Det finns snart ingen tillverkning av aggregat för butikskyla kvar inom landet. Installatörer köper och installerar aggregat och system i svenska butiker. Konstruktionen av system utförs ofta av konsulter som till stor del väljer och dimensionerar både system och komponenter. Beställare är lite olika beroende på hur butiken är ansluten till respektive butikskedja. I vissa kedjor sker allt centralt i andra bestämmer handlaren det mesta. Oberoende av vem som beslutar om inköp krävs det beställarkompetens. I en tid av stora förändringar kan det bli problem att vara informerad och ha en bra beställarkompetens. Det finns då tydliga risker att inköp styrs av installatörer med en lösning eller säljare med kanske dålig kompetens eller målinriktad agenda.

Den här rapporten är tänkt att vara en sammanställning av möjliga alternativ för en befintlig butik som måste anpassas till gällande miljökrav.

Inom traditionell forskning som finns bra representerad inom Sverige skrivs rapporter och doktorsavhandlingar. Doktorsavhandlingar består ofta av ett antal välskrivna och väl dokumenterade artiklar i utländsk fackpress och blir så småningom en avhandling. Det vore bra om finansiärer i Sverige kunde publicera dessa artiklar på sin hemsida löpande för att ge de verkliga mottagarna, beställarna möjlighet att ta del av innehållet. Samtidigt pekar detta på det sedan urminnes tider stora glappet mellan traditionell forskning och de svenska småföretagarnas svårighet att tillgodogöra sig resultaten. En professor på MIT (Massachusetts Institute of Technology) undersökte på sent 80-tal hur forskning togs emot på företag. Han pekade på helt egenutnämnda "gatekeepers" som läste och förmedlade resultat inne i företagen. Denna helt tillfälliga lösning borde på något sätt väsentligt stärkas och underlättas speciellt för applikationsinriktad forskning.

Sammanfattning

Vid årsskiftet 2019-2020 blir service av det idag vanligaste köldmediet i butiker, storkök och mindre livsmedelsindustri förbjudet. Detta är en av bestämmelserna i F-gasförordningen EU/517/2014. Årtalet visar när den publicerades.

Det är nu hög tid att ägare till system med köldmediet R 404A börjar agera. De montörer som arbetar inom kylbranschen har full sysselsättning idag och de representerar ett yrke med stor brist på arbetskraft, under år 2017 utnämnt till det största bristyrket totalt sett. Med allt det arbete som skapas av F-gasförordningen finns risk att inte kunna göra det bästa för varje system eller att någon ägare bli stående med en icke fungerande anläggning.

Syftet med den här rapporten är att presentera möjliga alternativ för att avveckla R 404A.

I förordningen finns det en avvecklingsplan från 2015 till 2030 med nedskärningar av den kvot av växthusgaser som tillverkare och importörer får sälja inom EU. Nedtrappningen har ett extra brant steg 2018. Den stora prisstegringen under 2017 på 1000% för R 404A kommer under de kommande åren att utvidgas till andra köldmedier med hög växthuspåverkan.

De två alternativ som finns är konvertering och ombyggnad. Konvertering innebär små ändringar och byte av arbetsmedium i kylsystemet. De alternativa medierna kommer samtliga att bli aktuella för utfasning inom de närmast 10 åren. Ombyggnad avser att byta till ett arbetsmedium som inte kommer att vara hotat av utfasning. Den som väljer konvertering kommer att skjuta upp ombyggnaden ett antal år. Med en väl fungerande anläggning är det ett bra val.

Samtidigt som ett större ingrepp görs i kylsystemet kan det vara läge att se på möjlig energieffektivisering. Stråvan bör vara följande.

- Ge kompressorerna i systemet lägsta möjliga tryckuppsättning. Detta innebär att både på den kalla och varma sidan i systemet är åtgärder med mindre kostnader väldigt lönsamma.
- Kompressorerna bör momentant passa till aktuellt kylbehov under hela året. På vintern är klimatet i en butik mycket torrare än på sommaren, dessutom behöver alla diskar inte kylas samtidigt. Momentant kan det skilja mer 1:10 i last. Detta innebär att dagens system med i värsta fall en kompressor för all last som inte kan dellastas är väldigt olönsamt även om inköpet såg billigt ut.
- Vid beställning av arbeten är det lämpligt att fråga efter möjliga åtgärder för att sänka driftkostnaden.

En anläggningsägare bör veta om något fel kan slå ut hela kylsystemet. Med alla värden som finns i varor är det en olämplig lösning.

De nya köldmedier som i ett längre perspektiv blir möjliga att använda är HFO (som är kemindustrins försök att behålla markanden) och två nygamla; propan och CO₂.

Av de nya medier som är aktuella för långvarig hållbarhet är de flesta i olika grad brandfarliga. Faktiskt alla utom CO₂. Man bör dock veta att CO₂ är giftigt och kan vid utsläpp med för stor koncentration leda till dödsfall. Den här nya verkligheten skall en beställare vara medveten om och alltid veta om det anlitate installations och serviceföretaget har personal utbildade för det nya. Även rådgivande konsulter måste ha god kännedom om alternativens säkerhetsfrågor.

En kort sammanfattning av ombyggnadsalternativ är

Små butiker

- Fristående plug-in diskar sammankopplade med ett vattensystem totalt sett billigast räknat på 10 år.
- Ett centralt system för kyl med CO₂ och kanske plugg-in för frys.
- Möjligen kan ett uppdelat centralt system för kyl byggas med HFO. Detta måste dock beräknas och riskanalyseras för varje installation. HFO är brandfarliga.
- Totalt centralt CO₂ system betydligt dyrare än andra alternativ både investering och under 10 år.

Medelstora butiker

- Frys med plug-in och kyltemperaturer med centralt system.
- Centralt system med CO₂ eller indirekt både kyl och frys med propan eller HFO i maskinrummet.

Stora butiker

- Centralt system med CO₂ ute butiken. Idag byggs bara med så kallad direktförångning, men möjligt är att bygga med pumpcirkulation för hela butiken.
- Centralt system med indirekt av något slag både för kyl och frys. Maskinrum med vilket möjligt medium som helst. Möjliga är CO₂ propan och HFO. Dessutom tillräckligt stort även ammoniak.

När ett alternativ skall välja är utgångsläget alltid den befintliga anläggningen. Hur mycket kan vara kvar av det befintliga.

Generellt gäller att sämsta utgångsläget är så kallad direktförångning med R 404A i hela systemet. På kort eller lång sikt krävs en radikal ombyggnad.

Slutligen; som ansvarig för ett kylsystem med R 404A: börja agera nu!

1 F-gasförordningen och förutsebara följor i marknaden

1.1 Historia

I Sverige är F-gasförordningen den tredje lagstiftningen om köldmedier av globala klimatskäl. Den första lagstiftningen var den svenska versionen av Montrealprotokollet. Avsikten var att rädda jordens ozonskikt. I Sverige infördes år 1991 certifiering av servicemontörer och företag, krav på små köldmediefyllningar och på täthetsprovning av kylsystem. Dessutom skrevs grunden i den svenska kylnormen om och växte från ett litet häfte år 1965 till fullmatade pärmar. Tvångsmässigt införande av förebyggande underhåll med kravet på läcksökning resulterade i väsentligt minskande läckage och mycket mindre arbete i början av sommarsäsongen då kapacitetsbehoven ökar. Den övervägande mängden kylsystem med pumpad glykol är ett resultat från den Svenska Köldmedieförordningen. Lösningen var ett krav för köldmediesystem som annars skulle ha haft > 50 kg HFC fyllning. HFC är de köldmedier som kom att ersätta de ozonpåverkande som fasades ut.

Nästa steg i lagstiftningen blev den EU gemensamma F-gasförordningen som kom år 2006. Syftet med förordningen var att minska globala uppvärmningen genom att hålla köldmedier inne i de slutna kylsystemen. I Sverige blev den då beslutade certifieringen av servicepersonal och företag ingen stor sak eftersom det hade funnits i över 10 år. Detta gällde även regelbunden läcksökning som infördes inom hela EU.

Det har visat sig att läckagen och påverkan på global uppvärmning inte blev tillräckligt bromsad. EU har nu beslutat att fasa ut köldmedier med stor påverkan på global uppvärmning. Den skärpta F-gasförordningen har varit gällande sedan 2015. Det kan vara värt att notera att Internationella kyltekniska föreningen IIR anger att 2014 kom 7,8 % av växthusgaspåverkan från köldmediesystem fördelat på 37 % direkta läckage och 63 % från produktionen av den el som systemen drivs med. En prognos utan den nya F-gasförordningen sätter total inverkan 2030 till 15 %. Det borde därför ha varit intressant att kräva mer effektiva system och inte bara köldmediebyte.

1.2 Huvuddragen i förordningen

En bra sammanställning av förordningen i EU och i Sverige se ref (SKVP)

Förordningen innehåller förutom certifiering och täthetsprovning ytterligare två metoder för att minska utsläppen. Nedtrappning av köldmedier med hög GWP (Global Warming Potential) och ett antal direkta förbud. GWP mäts i CO₂ ekvivalenter, och visar hur mycket mer ett köldmedium påverkar jordens uppvärmning än CO₂. Nedtrappningen innebär att företag som skall föra in köldmedier på den gemensamma marknaden tilldelas en kvot som anger mängden tillåtna CO₂ ekvivalenter för det kommande året. Den totala mängden kvoten av CO₂ ekvivalenter på marknaden för varje år finns angiven i förordningen se tabell 1. Den högra spalten är kvotens förändring från steget före.

Tabell 1. Trappsteg och förändring av kvoten från ett steg till nästa

År	GWP kvot	Nedtrappning per år
2015	100	0
2016	93	7
2017	93	0
2018-2020	63	32
2021-2023	45	29
2024-2026	31	31
2027-2029	24	23
2030	21	13

För köldmedium som omfattas av förordningen finns ett fastslaget värde. CO2 har värdet 1 och R 404A har värdet 3 922. De som för in köldmedier på marknaden kommer att välja vad de säljer och sätta ett pris på köldmedier som inte minskar företagets vinster. Resultatet nu på hösten 2017 hittills är upp mot 10ggr stegring av priset på R 404A. Nästa år kan det förväntas högre priser och troligen brist på mediet. Alla nu vanliga köldmedier (se tabell 2) inklusive de som marknadsförs som direkta ersättare kan förväntas vandra samma väg fram till 2030.

1.3 Direkta förbud

För butiker gäller att närmast i tiden är ett direkt förbud att fylla på system med nytillverkad R 404A efter 2019. Förbudet gäller system med mer än 10 kg fyllning (egentligen 40 ton CO2 ekvivalenter i lagen).

Samtidigt blir det förbjudet att sälja system och kommersiella kyl och frysskåp med R 404A. Från 2022 utvidgas förbudet till medier med GWP>150. Det gäller skåp generellt och centraliserade kylsystem med flera moduler för kommersiell användning med en nominell kapacitet på minst 40kW. I kombination med CO2-frys kan sammankopplade system för kyl tillåtas ha GWP< 1500.

Tekniskt innebär systemkraven att de enda tillåtna medierna kända idag för nyinstallation efter 2021 är HFO, HC och CO2. Det skulle kunna vara möjligt att även använda ammoniak som är mycket använt inom industriell kyla. Av de möjliga medierna är alla utom CO2 brandfarliga. CO2 och ammoniak är giftiga.

2 Varför utfasning av R 404A

Varför har R 404A drabbats av förbud medan inget annat köldmedium hanteras separat? Svaret finns nog bara i lagstiftarens arbetsdokument. Men en gissning är att av de vanligaste medierna sticker GWP för R 404A ut. Dessutom används mediet i platsbyggda system som ger större läckage än fabriksbyggda vätskekylaggregat av olika slag. Naturvårdsverket i USA, EPA anger normalt läckage i butikssystem till 25 % av fyllningen årligen. Detta är då i det som nedan beskrivs som system med köldmedium anslutet till varje disk från ett centralt maskinrum.

Vanliga applikationer med R 404A är butiker av alla storlekar och mindre kyl och frysrum. Utanför Sverige existerar få glykolsystem. Möblerna är antingen plugg in eller anslutna direkt till ett köldmediesystem. I Sverige har detta sedan tidigt 90-tal bara varit för kyldiskar och kylrum med en total fyllning < 50 kg. De större systemen på kontinenten har ofta 10ggr så mycket fyllning som de svenska. Detta leder även till fler läckageställen och mer läckage. Det kan vara värt att notera att vanan att ange läckage i % av fyllningen leder till fel i jämförelse med andra länders läckage. Om läckaget i Sverige är säg 3 % av 40 kg dvs. 1,2 kg så är en inte ovanlig siffra utanför Sverige minst 6 % av säg här 400 kg som ger 24 kg läckage. EPAs siffra på 25 % skulle i exemplet ge ett årligt läckage på 100kg.

3 Huvudalternativ för ersättning av R 404A

Det finns två tydliga tekniska vägar för utfasningen av R 404A; konvertering och ombyggnad. Dessa beskrivs mer i detalj i kapitel 4-6.

3.1 Konvertering

Konvertering är den skenbart enklaste vägen ut ur R 404A beroendet. Att bara med mindre åtgärder kunna fortsatt köra systemet som det är, med ett annat köldmedium. Vilket är skenbart eftersom flera av de använda medierna redan inom något eller några år blir utfasningsalternativ. För nya och bra system är drop-in troligen det mest ekonomiska alternativet.

3.2 Ombyggnad

Ombyggnad är som ordet antyder en större investering än konvertering. Vad som skall göras i en ombyggnad bestäms utifrån den befintliga anläggningen, dess skick och ägarens önskemål. I anläggningen skall naturligtvis även alla kylmöbler ingå i beslutet.

4 Teknik

Indelning av butiker i storlek med avseende på livsmedelskyla är liten, medel och stor. Medel är det som ICA med ett engelskt uttryck kallar supermarket. Hur kylsystemet ser ut före ändringar beror delvis på butikens storlek.

I samtliga butiker finns det kyl och frysmöbler ute i butiken. Ofta även kyl och frysrum utan tillträde för kunder. I både möbler och rum kyls varorna med luft ungefär som i ett vanligt hushållsskåp. Den cirkulerande luften kyls med en kall värmväxlare som är ansluten till ett aggregat som sitter nära eller är gemensamt för flera diskar i ett maskinrum. Alla kylsystem är till för att flytta värme från en låg temperatur till en högre. Åt andra hållet sköter naturen om utan några tekniska system. För att jämföra med hushållsskåp så finns på baksidan av dessa ett varmt trådnät med smala rör. Värmen som läcker in i skåpet transporteras med kylsystemet från skåpets låga temperatur på insidan till "trådnätet" med en högre temperatur än omgivande luft. Från trådnätet går värmen ut i rummet. På samma sätt finns det en varm sida i butiksaggregaten. Värmen förs utomhus till en apparat som kyls av uteluften. Den varma sidan kan utnyttjas direkt för uppvärmning av butiken eller via en värmepump. Systemet i en värmepump är generellt liknande det beskrivna kylsystemet, men när intresset är att få värme kallas apparaten värmepump.

Om kylaggregatet sitter i anslutning till disken eller i disken kallas den plug-in disk. Namnet anger att vid installation skall det göras några få anslutningar t ex el och avlopp för avfrosthsvatten. Plug-in diskar kan idag vara betydligt större än tidigare och en kund ser ingen skillnad på plug-in eller centralt ansluten disk. Med plug-in hamnar värmen oftast i butiken. En möjlig lösning för att undvika uppvärmning av butiken är att ha den varma sidan ansluten till ett vatten eller glykolsystem som skapar möjlighet att återanvända värmen t ex för uppvärmning vintertid och sommartid dumpa värmen utomhus. För centrala system finns liknande lösningar. Det kan vara värt att notera att i stort sett alla butiker i Sverige producerar tillräckligt mycket värme även vintertid för att värma hela butiken.

Centrala kylsystem är i Sverige av två olika typer:

- Ett indirekt distributionssystem med antingen någon vätska som inte fryser typ glykol som finns i bilar eller ett fasändrande CO₂ system (mer om CO₂ se Bilaga 1).
- Ett direkt kylsystem med köldmedium ute i butiken.

Med ett indirekt system kan valet av köldmedium ¹i maskinrummet vara friare än om köldmediet finns ute i butiken. De alternativa köldmedier som finns att tillgå på längre sikt är alla giftiga och/eller brandfarliga. Hänsyn till detta måste tas vid konstruktion och senare drift av systemen.

Sedan lång tid har behovet av att kunna exponera fler varor kylda eller frysta varit en trend. I många butiker med centrala kylsystem har tillkommande behov lösts med plug-in diskar.

Med utgångspunkt från butikens storlek kan en schablon vara:

- Små butiker typ bensinstationer upp till små supermarket klarar sig idag bra med plug-in system. En annan variant av befintliga system är en central för kyltemperatur dvs > 0°C och plug-in för frys.
- Medelstora har ofta helt direkta centrala system eller plug-in för frys.
- Stora butiker har (om de inte har byggts om nyligen) centrala indirekta system för kyl och centrala indirekta med pumpad CO₂ eller direkt med R 404A för frys.

För kyltekniska komponenter och produkter finns inom EU energieffektivitetskrav i förordningen för Ecodesign (ecee, <https://www.ecee.org/ecodesign/>). De flesta känner

¹ Köldmedium kallas det arbetande mediet i ett kylsystem.

igen det som görs för hushållsprodukter med indelningen i A-B-...., efter produktens energieffektivitet. På samma sätt finns det krav på diskar och komponenter som condensing units. Condensing unit är ett kylaggregat med kompressor, kondensor och styrsystem som ansluts till förångaren i en disk. Tyvärr har inga krav ställts på hela centrala kylsystem. Detta innebär att fortfarande kan det säljas "billiga" system som är väldigt dyra redan på några få år när driftkostnaden räknas in.

En helt färsk rapport från (Toby, 2017) anser att det inte finns några oberoende redovisningar av jämförelser mellan olika verkliga systems effektivitet. En möjlig orsak till detta kan vara att mätningar av det slaget tar tid och anses dyra. Konvertering

För att ett köldmedium och ett befintligt kylsystem skall passa ihop finns det en mängd tekniska krav som måste uppfyllas. Skall dessutom smörjoljan i kompressorn kunna behållas blir kravlistan lite längre. Kemiindustrin vill gärna ha kvar marknaden för köldmedier. Därför finns det nu medier som skall passa för att byta ut R 404A med mindre ändringar i det befintliga kylsystemet. Dessa medier brukar kallas drop-in medier eftersom tanken är att bara byta köldmedium.

Tabell 2. Aktuella köldmedier

Köldmedium	GWP CO2 ekv	Typ av medium
R 32	675	HFC
R 134	1 430	HFC
R 290 propan	3	HC
R 407F	1 825	HFC
R 404A	3 922	HFC
R 448	1 387	HFC/HFO
R 449	1 397	HFC/HFO
R 452	2 140	HFC/HFO
R 600a Isobutan	3	HC
R 744 CO2	1	CO2

Möjliga drop-in medier för att ersätta R 404A är i listan ovan framförallt R 448 och R 449. Dessutom används R 452 som är konstruerat för att passa inom mobil kyla. Dess höga GWP gör den mindre intressant för användning i stationära anläggningar. I väldigt dåliga fryssystem kan det kanske motiveras eftersom de övriga två riskerar kompressorhaveri med höga tryckrörstemperaturer. R 452 kan antas vara nästa köldmedium med väldigt snabb prisstegring på grund av sitt höga GWP

Beteckningen HFC innebär att köldmedierna inom denna grupp omfattas av reglerna i F-gasförordningen. HFO är kemiindustrins nya lösning på köldmedier. Utan att blandas med t ex HFC är HFO brandfarliga men de här angivna blandningarna är avsedda att inte vara brandfarliga under normala omständigheter. HC är kolväten vilka inte omfattas av F-gasförordningen. Propan är välkänt för de flesta och isobutan är det som används inom hushållskyla i Europa sedan sent 90-tal.

Priset på två vanliga alternativa medier (R 448 och 449) har i november 2017 förvarnats om 20 % prishöjning inom 2017. Detta kan ses mot bakgrund av prisstegringen på R 404A som hittills under 2017 är 1000 %. Steget efter en konvertering blir att om några år göra en ombyggnad till ett mer långsiktigt alternativ.

För några exempel på konvertering se bilaga 2. Redovisat finns 5 exempel som visar lite av skalan på befintliga system, där intresset speciellt är olikheten i effektivitet.

4.1 Två ICA butiker (Rogstam Jörgen, 2016)

Ett stort system med ICA MAXI som exempel finns en glykolkrets för kyl och på varma sidan, fryser med pumpad CO₂ se bilaga 1. Systemen har ingen eller liten anpassning av kompressordrift till kylbehov. Varje disk startar kylning genom termostat och magnetventil oberoende av andra diskar. Med de indirekta systemen sker en viss utjämning av kylbehov, varför kompressorn får lite längre drifttid vid varje start. En kompressor är en maskin som komprimerar gas från ett lägre till ett högre tryck. Driftkostnaden beror på hur stor tryckskillnaden från insug till utlopp är. Kyl och frysaggregat i maskinrummet har låg driftpunkt för kompressorn under den tid som inte alla diskar kallar på kyla samtidigt vid största fuktighet i butiken. Detta inträffar några timmar-dagar i augusti. Dessutom är det höga trycket som kompressorn arbetar mot onödigt högt under vintern. Tillsammans borde den här anläggningen kunna gå med 2 ggr bättre effektivitet under året dvs halva driftkostnaden, med några mindre investeringar. Kunde dessutom diskarna kommunicera med maskinrummet och därmed "säga till" när framledningstemperaturen till en viss disk är för hög kan ännu mer vinnas i driftkostnad genom att inte kyla de indirekta systemen mer än nödvändigt.

Den andra butiken är en ICA Supermarket med direktexpansion dvs köldmedium ute i alla diskar och rum. I princip gäller samma som för den stora butiken men utan någon kapacitetsutjämning i något indirekt system. Den ännu större variationen i drift och långa sugledningar från butik till maskinrum skapar en hög gastemperatur före kompressorn och med R 449 en hög tryckrörstemperatur speciellt efter fryskompressorn. Denna temperatur är högre än den var med R 404A och är förväntad. Temperaturen skapar en förhöjd risk för haveri i kompressorns tryckventiler. Dessutom förlorar kompressorn mer än 20 % av sin kapacitet jämfört med ett system utan stora värmeförluster i sugledningen. Att bygga om det befintliga systemet till hög effektivitet som för det större systemet ovan är svårare och dyrare.

4.2 Tre medelstora butiker

Samtliga är exempel på relativt bra anläggningar, konverterade till R 448. Fryssystemen är samtliga med direktförångning och de specifika problem som det medför. Se diskussionen kring Supermarket ovan.

Kylsystemen är i två fall indirekt och i ett fall direkt. Samtliga har en styrning av kompressorkapacitet med mer än en kompressor så att kapaciteten grovt kan balanseras mot behovet.

Värmeavgivningen till fjärrkyla i ett fall, till värmeåtervinning och kylmedelkylare i ett fall och det tredje med bara kylmedelkylare. Skillnaden mellan dessa är att värmeåtervinningen tvingar upp trycket på varma sidan 10-15°C som vintertid ökar den totala driftkostnaden med minst 20 % i värsta fall med 45%. Troligen är den ökningen fullt acceptabel och ger en lägre värmekostnad än andra alternativ. Observera kravet på värmeväxlarna i ventilationsaggregaten skall acceptera den låga vattentemperaturen för uppvärmning. Dessa värmeväxlare måste vara stora.

4.3 Ombyggnad

Befintliga system präglas till stor del av den svenska lagstiftningen från tidigt 1990 tal. Större system har kylsystem med glykolkrets i kylställena och ofta även på den varma sidan från aggregatens kondensorer till kylmedelkylaren utomhus. För fryser finns det två alternativ, köldmedium ute i diskarna eller ett pumpat CO₂ system ute i butiken.

Mindre system har köldmedium även ute i butiken för kyltemperaturer. Dessutom finns det butiker med eller utan dörrar och lock på möblerna. Till dessa parametrar kommer även värmeåtervinning, styrsystem och framtidsplaner.

Existerande glykolsystem för kyl och pumpad CO₂ för frys där de finns kan behållas, om inte isoleringen är väldigt dålig. Det syns speciellt sommartid som fukt eller frost utanpå rören. Med ett indirekt system finns full frihet att välja vilket köldmedium som helst i maskinrummet. Bra alternativ är i de fallen propan och CO₂. De nya HFO medierna med GWP < 150 har ännu inte installerats i Sverige men möjligen i någon pilotanläggning utanför Sverige. HFO i lite större system kräver indirekta system eftersom medierna är brandfarliga.

Vid ombyggnad till CO₂ kopplat med ett transkritiskt system (se bilaga 1) även i diskarna kommer all installerad kylutrustning inklusive diskarna att behöva bytas ut.

Andra möjligheter är att i små och medelstora butiker dvs. upp mot 1 000 m² säljyta använda plugg-in diskar som kommer att friställa det som idag är maskinrum. En plugg-in disk är en fristående kylmöbel som kan vara en frysgondol på många meter eller en 6 plans kyldisk på 4-5 meters längd. Disken behöver alltid elanslutning, ofta avlopp, i en del fall anslutning för säkerhetsventil och kylvatten till kondensorn.

Det mest effektiva köldmediet i plugg in diskar är propan. Regelverk för brännbara köldmedier är väldigt nära publicering i Sverige som en kylnorm för brandfarliga köldmedier. EU kommissionen har dessutom givit CEN i uppdrag att öka möjliga mängder propan i kylsystem. CEN är den europeiska standardiseringen Skälet är att GWP är lågt och att effektiviteten är väldigt bra.

Ytterligare ett alternativ för en butik med glykol för kyl och direkrförångning för frys är plugg-in för frys och centralsystem för kyl.

Med en ombyggnad finns alltid möjligheten samtidigt förbättra energieffektiviteten. Hur mycket som skall göras bör bestämmas i en lönsamhetskalkyl. Kostnaden är möjlig att få offert på och vinsterna för olika insatser kan ofta bestämmas relativt enkelt. Det finns några enkla regler att förhålla sig till oberoende av vilken ombyggnadslösning som väljs.

Sträva efter

- Alltid lägsta möjliga kondenseringstryck, trycket efter kompressorn
- Alltid högsta möjliga förångningstryck, trycket före kompressorn
- Dellasta kompressorer till att passa mot momentan last över hela driftsområdet
- Sätt in styrning av både avfrostning och karmvärme.

Nedan beskrivs några olika möjliga systemlösningar utifrån existerande system.

4.3.1 Plug-in för både kyl och frys, även för kylrum

Inga dörrar på existerande möbler. R 404A i samtliga kylsystem. Systemet är vanligast i små butiker inklusive bensinmackar. Även många kök ser ut på det här sättet förutom att skåpen har dörrar.

Fyllningen per system är under 10kg varför dessa inte omfattas av R 404A serviceförbud. Det kan dock inträffa att det inte finns köldmedium att tillgå för service redan före år 2020.

Det finns egentligen ingen anledning förutom möjligen butikskedjans interna miljöpolicy att byta ut allt. Gör en plan för att byta till plug-in med dörrar under de kommande åren. Ställ kravet på diskarna att vara med vattenkrets för att inte värma butiken med all värme när den inte behövs. Se över hyreskontraktet och om ett utnyttjande av värmen från diskarna är lönsam, planera för värmeåtervinning.

4.3.2 Centralsystem för kyl och plug-in för frys

Med eller utan dörrar på möblerna. Alla system med R 404A. Systemet är vanligt i små till medelstora butiker och i olika typer av storkök.

Frysdelen kan löpande under några år bytas till nya plug-in med kolväte, oftast propan men även samma som i hemutrustning sedan sekelskiftet isobutan kommer att fungera bra.

Om kyldelen byggs om till CO₂ centralkyla kan naturligtvis även frysdelen göras likadan.

Kyldelen kan byggas om till att bara vara plug-in med vattenkrets eller bli ett nytt centralsystem. De två möjligheter som finns vid ombyggnad är följande.

- Bygg om eller byt ut diskarna till glykolsystem och sätt propansystem i maskinrummet.
- Byt ut all kylutrustning till CO₂ system transkritiskt.

4.3.3 Centralsystem för kyl och frys med direktförångning

Med eller utan dörrar på befintliga diskar. Systemet är vanligt för mindre och medelstora butiker. Begränsningen var tidigare 50 kg köldmediefyllning då kravet var att installera indirekt kylsystem, men utan några sådana krav på fryssystemet. Skälet var att de befintliga lösningarna för indirekta system var dåliga ur energisynpunkt. Idag finns möjliga indirekta fryssystem, pumpad CO₂ eller ammoniak-vatten. Det senare blir dyrt i en butik och passar bäst i t ex isbanor. Pumpad CO₂ individuellt för varje förångare är ett av utvecklingsmålen för ett företag som tillverkar CO₂ aggregat. Ett enklare system är det som redan finns i många svenska butiker, med en central pump för många diskar. Se bilaga 1.

Sätt dörrar och lock på möbler oberoende av övrig lösning. Anpassa det nya systemet till minskningen på 40-50% av kylbehovet beroende på valet av dörrar.

Plug-in för frys är även i den här storleken en möjlig och ofta bra lösning. Detta mot bakgrund av att om det befintliga systemet är gammalt är dess energieffektivitet nästan skrämmande dålig. Plug-in diskar omfattas av Ecodesignkraven sedan ett antal år inom EU. Centrala system är ännu inte en del av dessa EU krav som de flesta känner igen från t ex hushållsvaror.

Lösningen för kyltemperatur kan vara plug-in med vattenkrets eller centralsystem.

Centralsystem för kyl kan utformas på två olika sätt. Direktförångning med CO₂ eller en glykolkrets i butiken och något tillåtet köldmedium i maskinrummet, samtliga av dessa blir i framtiden brandfarliga. Vilket som blir bäst över tid måste individuella offerter avgöra.

4.3.4 Centralsystem för kyl och frys, med glykolkrets

För kyl i butiken och från maskinrummet till kylmedelkylaren utomhus, ofta på taket. Detta är det vanligaste systemet för stora och medelstora butiker. Ibland med en pumpad CO₂ krets i butiken för frys.

Om inte de indirekta systemen är i väldigt dåligt skick bör de behållas. Det ger både ett billigare ombyggnadsalternativ och troligen den i framtiden lägsta drift och servicekostnaden. Dessutom kommer den lösningen att skapa möjlighet för att välja köldmedium i maskinrummet helt fritt. Dessa kan vara propan, CO₂ eller någon av de nya HFO medierna med GWP < 150.

Om alla rörsystem i butiken anses dåliga mest i så fall beroende på dålig isolering kan allt bytas till CO₂ transkritiskt. Detta är det dyraste att installera eftersom även samtliga diskar behöver bytas. Rätt utfört kan CO₂ bli lika driftekoniskt som t ex propan, men då krävs att alla tekniska möjligheter utnyttjas och en stor gaskylare/ kondensator vid drift sommartid. Transkritisk drift är bara ekonomisk med stor temperaturändring på det kylande mediet i gaskylaren. Det är skälet varför värmepump för tappvattenvärmning är bra med CO₂.

4.4 Några övriga tekniska parametrar

Fastighetsuppvärmning

Alla kylsystem kan bidra till och oftast klara all uppvärmning (Toby, 2017) av butiken. Dessutom finns ofta ytterligare värme. Beroende på typ av system behövs olika extra investeringar. Det finns idag många exempel på svenska butiker som värms med värmen från livsmedelskylaren.

I en befintlig butik är ofta värmebatterierna i luftaggregaten små, eftersom uppvärmningen har skett med elpanna eller fjärrvärme. För att inte behöva byta värmeväxlare i luftaggregaten blir kravet upp mot 60°C framledning, detta gäller även för värmning av tappvatten, radiatorer och många luftridåer. För "vanliga" köldmedier är då investeringen i en värmepump nödvändig.

Med ett fullt utbyggt modernt CO2 system följer även möjligheten att producera värme för uppvärmning. Om driftkostnaden för kyla+ värme blir lika bra som det bästa icke CO2 systemet är inte visat även om bra utredningar finns redovisade.

Kranvärme och avfrostning

Dessa två faktorer kan tillsammans förstöra det bästa systemets energieffektivitet. Båda funktionerna kan styras på butikens luftfuktighet med moderna styrsystem. Har dessutom butikens möbler dörrar och lock minskar behovet ytterligare.

5 Ekonomi

En ekonomisk realitet som många ägare till kylanläggningar instämmer i är att utgångspunkten för planering inför köldmedieutfasningen är det idag befintliga kylsystemet. Ytterligare parameter är förutsebar utveckling det närmaste decenniet. Under den tiden kommer kylmöblerna i många butiker att både ha bytts ut och ökat i antal. Ofta är befintliga system inte energieffektiva för att ge ett mildt omdöme. Sanningen är att många befintliga system är väldigt dåliga ur energisynpunkt. Utvecklingen beskriven som F-gasförordningen innebär att kraven fram till 2030 är kända. De okända faktorerna är teknisk utveckling som nu accelererar och om nuvarande drop-in medier finns på marknaden om 10 år.

Konvertering som innebär byte av köldmedium och mindre ändringar beroende på vilket medium som väljs som drop-in har en låg kostnad i första omgången. Med ett rimligt nytt system kan konvertering vara en bra lösning. Är systemet däremot gammalt med ett omodernt styrsystem är det klart ekonomiskt att bygga om nu. I samband med ombyggnad är det läge att se över energieffektiviteten i systemet. Hur skiljer sig då typiska system från ett bra?

Det i bilaga 2 redovisade Supermarket systemet kan anses vara ett typiskt system. Ett bra finns sedan några år i ICA City Knalleland i Borås, ombyggnaden finns redovisad i en BeLivsrapport (Rolfman & flera, 2014). I ett kylsystem för mejeri, mjölkrum och ett drygt 20-tal diskar byggdes grundsystemet med indirekt R 404A om för att nå en högre effektivitet. Det som gjordes i ICA City Knalleland var att:

- Sätta dörrar på både nya och gamla diskar inklusive mjölkridån.
- Byta de två kompressorerna till 4 stycken tillsammans lika stora som en av de utbytta. Två av de nya med varvtalsstyrning. Samtliga kompressorer tål 15°C kondensering
- Sätta in ett modernt styrsystem för både nya och gamla diskar så att framledningstemperaturen kan hållas till -1°C vid +4°C i diskarna. Temperaturen i glykolsystemet är nu satt till +1°C. Varje individuell disk kan vid behov kalla på lägre framledning.
- Varvtalsstyrning av fläktar i befintlig kylmedelkylare.
- Mätningar före och efter ombyggnad.

Resultatet blev 50 % minskning av kylbehovet och 2,5 ggr bättre effektivitet. Detta kan även uttryckas som 80 % lägre driftkostnad inklusive pumpar, fläktar, kompressorer och den avfrostning som numera inte inträffar. Avskrivning som rak Pay off lägre än 3 år. Dessutom sattes värmepumpar in för att värma butiken och en näraliggande 3 vånings kontorsbyggnad med värmen från det här och övriga kylsystem i butiken. Avskrivningstiden på värmeinstallationen blev knappt 4 år, inklusive mycket rördragning med isolerade rör och en helt ny värmepumpcentral.

En annan BeLivsrapport (Gustavsson & flera, 2015) har sett på ombyggnad och konvertering av ett fryssystem. Utgångsläget kan sägas vara ett standard direkt fryssystem med R 404. Genom beräkningar av driftsdata och verkliga offerter för en installation beräknades både konvertering och ombyggnadsalternativ. Här räknades den från början befintliga pumpade CO2 kretsen in som nyinstallation. Om en sådan finns från början blir propan det klart billigaste alternativet. Det stokastiska utfallet av kylbehov i diskar har inte simulerats i rapporten. Detta innebär att samtliga system blir under drift sämre varför investeringen betyder mindre om den inte även omfattar varvtalsstyrning av kompressorer.

Tabell 3. Resultat från (Gustavsson & flera, 2015)

Köldmedium	System	Driftenergi MWh/år	Investering tSek	Nuvärde tSek 10 år/ 3%
R 404	Direkt	227		1 900
R 407F	Direkt	212	80	1 800
R 448	Direkt	218	205	2 005
Propan	Pumpad CO ₂	198	760	2 400
CO ₂	Direkt	192	980	2 600

Siffror från en större organisation anger följande ombyggnadsalternativ för små butiker som exempel se bilaga 3.

Tabell 4. Kostnader för olika alternativa ombyggnader i små butiker

Teknik			
	CO ₂ central kyla	Plugg in propan	Diff CO ₂ -plugg in
Maskin Msek	1,5-2,2		
Möbler Msek	0,7-1,1	0,8-1,4	
Värmepump Msek		0,06	
Investering Msek	2,2- 3,3	0,86-1,46	1,3- 0,8
Energi kyla MWh	80-120	110-130	
Drivenergi för lokalvärme MWh	15	40-50	
Summa EI MWh	95-135	150-180	-(55- 45)
Summa drift Msek	0,1- 0,14	0,15-0,18	-(0,05-0,04)

Med dessa siffror kommer inte CO₂ att vara det lönsammaste alternativet. Här är då inte kommande service medräknad. Något krav på läcksökning finns inte men det är lämpligt att åtminstone någon gång per år läcksöka båda systemen. CO₂ är ett betydligt mer komplicerat system med högre tryck och alltid platsinstallerat. Plugg in har fler kompressorer. Ett rimligt antagande är att Plugg in inte blir dyrare ur service synpunkt. Vad ett maskinrum värderas till är olika för befintliga butiker.

Det förekommer många jämförelser mellan olika alternativa lösningars energieffektivitet. I flera fall jämförs gamla dåliga system med nya bra. Det kan sägas motsvara traditionell ombyggnad. Om olika ombyggnadsalternativ skall jämföras gäller att se på den aktuella lösningen för varje alternativ. En sådan jämförelse av verkliga installationer ligger utanför det här förprojektet. Att direkt hämta data från installerade övervakningssystem kräver genomgång av aktuella mätpunkter och kalibrering på plats. Normalt mäts inte kylasten, vilket skulle behövas för att kunna jämföra mellan olika installationer. Det vore en bra fortsättning på det här projektet.

De befintliga systemen är dramatiskt olika vid samma kylast. Den direkta orsaken till dessa skillnader är teknisk, men bakomliggande är låg beställarkompetens och i värsta fall dålig vägledning. För samma kylbehov finns det variationer på 1 till 4 ggr i driftkostnad, som är enkelt att verifiera, se mejeriombyggnaden ovan. Utöver dessa skillnader tillkommer mindre poster för onödig avfrostning och karmvärme.

En slutsats att dra från dessa stora variationer är att en riktigt byggd anläggning lönar sig att behålla i drift genom drop-in under lång tid. Byte till något annat ger ingen eller liten minskning av driftkostnaden, men en stor investering som inte kan återvinnas med bättre driftkostnad.

6 Säkerhet

Kravet på säkerhet gäller för produkter, personal, kunder och byggnad. Här förutsätts att den globala risken följer gällande lagar och i många fall även företagspolicy. Den senare kan vara långt mer krävande än gällande lagar. Vilka risker introduceras med ett kylsystem? Dessa kan sammanfattas som

- Brandfarliga medier
- Giftiga medier
- Maskinskada som påverkar produkter

Av de idag kända ersättningsmedierna är samtliga på något sätt skadliga vid större utsläpp. De medier som marknadsförs under beteckningen HFO eller i fallet R 32 som är ett HFC medium är samtliga brandfarliga. CO₂ påverkar i större mängd andningen och kan vara dödligt. Det finns en gräns i kylsäkerhetsstandarden som anger praktisk övre gräns. Den är naturligtvis olika beroende på medium. För CO₂ har den satts till 0.1 kg/m³ luft. Innebörden är att i 1 000 m² med 3 m i tak får fyllningen inte överstiga 300 kg CO₂. Det kan sedan diskuteras hur mycket som kommer ut och hur väl gasen sprider sig på höjden. Propan är mest känt som bränsle. Dessa risker kan och måste vara med i all planering. Det finns lagar, regler och praxis för hur brandfarliga ämnen skall hanteras. En ny branschnorm för brandfarliga köldmedier är i stort sett färdig i Sverige. Se även på om tung gas kan rinna ner i något källarutrymme med mindre golvyta och andra typer av butiker eller verksamhet.

Produktsäkerheten är förutom brandfrågan även om kylan kan försvinna efter ett maskinfele. Typiska maskinfele är läckage och haverier av systemgemensamma komponenter. I enskilda diskar kan även olika fel som bara drabbar den disken förekomma. Viktigast att se på är enstaka gemensamma komponenter. Enstaka pumpar eller kompressorer som slår ut ett helt system. Tänk på att en glassdisk klarar bara några få timmar innan glassen börjar smälta vid -15°C. Både säkerhet och energieffektivitet mår bra av minst två helst tre kompressorer i ett centralsystem.

För produktsäkerhet gäller att drop-in diskar är säkrare än ett gemensamt centralsystem. Centralsystem i större butiker bör vara flera av varandra oberoende system.

7 Råd till beställare inför beslut om R 404A

Vänta inte en dag till med att planera för utfasning av R 404A.

Skälen till att det är bråttom är brist på tekniker för åtgärder och att brist på köldmedium kan förväntas redan innan 2020, då det blir förbud för service av R 404A system med > 10kg fyllning.

Vem skall hjälpa till med planeringen?

Om det vanliga kylföretaget har full kompetens är de säkert en bra partner. Full kompetens innebär att de har arbetat med alternativen och vill sälja det som är bäst för butiken. Dessutom bör de ha utbildat sina tekniker på alternativen dvs. konvertering, CO2 och brandfarliga medier. Tyvärr har de flesta av företagen inte gjort det. Dessutom har flera installationsföretag bestämt sig för att sälja full ombyggnad till CO2 i första hand eller i värsta fall som enda alternativ. Skälet är väldigt klart, vinstmaximering för det egna företaget både nu och i framtiden. Många i branschen förväntar sig mycket underhåll av transkritiska CO2 system. Därför kan flera installatörer vara obenägna att sälja t ex plug-in diskar. Samma fråga bör ställas till en konsult. Hur mycket erfarenhet finns från konstruktion och beställning av alternativa lösningar.

Vilka alternativ är intressanta i butiken?

Hur framtidsplanering och möjlig finansiering ser ut vet bara butikens ägare. Nedan presenteras några frågeställningar som är relevanta att ställa sig.

- Hur är det nuvarande kylsystemet?
- Finns ett centralt kylsystem?
- Är det indirekt i kyl och kanske även i frys?
- Tag in och diskutera med flera installatörer om det första budet är att kasta ut hela den befintliga installationen.
- Finns finansiering för en stor ombyggnad?
- Finns planer för någon större utbyggnad av någon del i butiken?
- Kan värmen från kylanläggningen användas, hur ser hyreskontraktet ut?

Egna iakttagelser i systemet

Om det på kompressorens manometrar står lågtryck runt -20 till -30°C och högtryck över 35°C speciellt vintertid kan systemet bli väldigt mycket mer energieffektivt.

Om det inte finns dörrar och lock på diskar kan kylbehovet sänkas med 40-50% och driftkostnaden med ännu mer om samtidigt kylsystemet anpassas till det mindre kylbehovet.

Om det speciellt sommartid fuktas på rörisoleringar eller tom fryser på bör hela rörsystemets isolering ses över.

8 Fortsatta studier

Verkliga jämförelser genom fältmätningar saknas enligt (Toby, 2017). Sådana vore bra med tanke på att många butiker kommer att lösa sin utfasning av R 404A genom konvertering. Totalt i världen är EU främst när det gäller utfasning av speciellt R 404A. Det kommer att finnas både bra mätobjekt och behov i många år framåt.

En annan aspekt som ofta försvinner som kanske mindre glamorös är att bibehålla ett bra system på sin bästa nivå under hela livstiden. Hur mycket kostar dessa olika system i underhåll? För att citera en gammal regionchef från 80-talet i Sveriges då största kylföretag. Ett indirekt system i en butik gav honom mindre än 20 tkr årsomsättning i service medan ett direkt normalt gav 150 tkr. Om den skillnad dessa siffror indikerar fortfarande är aktuell kommer de mest komplicerade systemen med höga tryck att kräva mycket service. En reell genomgång om något år av olika alternativa lösningars underhåll och bibehållande av effektivitet vore välkommen.

Hur de brandfarliga medierna hanteras av installatörer, tas emot av kunder och om några olyckstillbud har registrerats. Det kan vara värt att inse att okända risker anses större än välkända. Jämförelsen mellan flyg och bilresa är vanlig där många tror att flyg är farligare än bil. Även avseende köldmedieval kan man se att ammoniak som av industrin har valts i alla tider anses farligare än vad det är av de som inte har någon kunskap och erfarenhet.

Litteraturförteckning

coulomb et. al. (2017). *The Impact of the Refrigeration sector on climate change*. Paris: IIR.

eceee. (n.d.). <https://www.eceee.org/ecodesign/>.

Gustavsson, O., & flera, m. (2015). *Undersökning av alternativ till R404A*. Borås: BeLivs.

IWMAC. (2017). *System bild och mätdata*. Trondheim: IWMAC.

Rogstam Jörgen, m. f. (2016). *Utvärdering av en potentiell R404A-ersättare fältprov med R449A*. Eskilstuna: Energimyndigheten.

Rolfsman, L., & flera, m. (2014). *Dörrar på öppna kyldiskar och anpassning av*. Borås: BeLivs.

SKVP. (n.d.). alltomfgas.se.

Toby, P. (2017). *Making the transition to clean cold*. Birmingham: University of Birmingham.

A. Något om CO2 system

Det finns idag 3 grundtyper av CO2 system: pumpad CO2, kaskad CO2 och transkritisk CO2.

Pumpad CO2

Systemet innehåller ingen kompressor utan pumpar ut CO2 i vätskefas till förångare i diskar och rum. Där kokar en del av vätskan till gas. Returflödet till vätskeavskiljaren är en blandning av vätska och gas. Gasen kondenseras till vätska vid samma tryck som den har förångats vid.

Fördelar jämfört med traditionella direkt system

- bara en magnetventil i varje disk.
- -värmväxlaren i disken blir väsentligt mer effektiv när vätska kokar på hela ytan
- det behövs ingen överhettning av gasen för att förhindra vätska till kompressorn vilket innebär att elektronisk expansionsventil inte behövs
- ingen cirkulerande olja i butikssystemet

Nackdelar jämfört med traditionella direkt system

- vätskan i returen måste skiljas från gasen för att säkerställa att pumpen arbetar med vätska
- det behövs en pump
- det behövs en värmväxlare för att kondensera returgasen
- distributionssystemet har små rördimensioner och kan dras i samma isolering fram och retur

På den senaste kyldagen i Sverige okt 2017 redovisade en numera amerikansk ursprungligen dansk tillverkare av CO2 aggregat ett pågående utvecklingsarbete för att erhålla "pumpcirkulation" individuellt i varje disk. Syftet är att få samma fördel som finns med att ha det här beskrivna men redan befintliga systemet. Den redovisade utvecklingen kommer troligen att ta många år innan den är säker i drift.

Pumpcirkulation används alltid i större industriella system där energieffektivitet har varit väsentligare än i butikskyla.

Kaskad CO2

Systemet används för frys och innehåller kompressor som lyfter trycket till nivån för kyltemperaturen.

Systemet kan vara utfört som pumpad CO2 eller med DX. Det senare är vanligast i butikssystem. Från kyltemperaturen finns sedan ett annat kompressorsystem med ett annat köldmedium som lyfter upp till värmen till en nivå som kan dumpas utomhus eller återvinnas. DX eller direktförångning innebär att köldmediet finns ute i butiken

Systemet används för att undvika transkritiska CO2 system.

Transkritisk CO2

Idag det vanligaste system när det finns tillgång till högtrycks CO2 kompressorer. Trycket ligger i storleksordningen 100bar att jämföra med traditionella kylsystem med som max upp mot 20 bar.

Systemet kallas transkritiskt när driftpunkten hamnar ovanför kritiska punkten som är 31°C och 74 bar.

Transkritisk drift är mindre energieffektiv än subkritisk, varför mer investering behövs för att höja effektiviteten. Subkritiskt innebär att systemet arbetar under den kritiska punkten. Detta är det normala för alla andra köldmedier.

I Sverige är antalet timmar under ett år få med transkritisk drift. Ett välbyggt system kan därför energimässigt konkurrera med mer traditionella kylsystem.

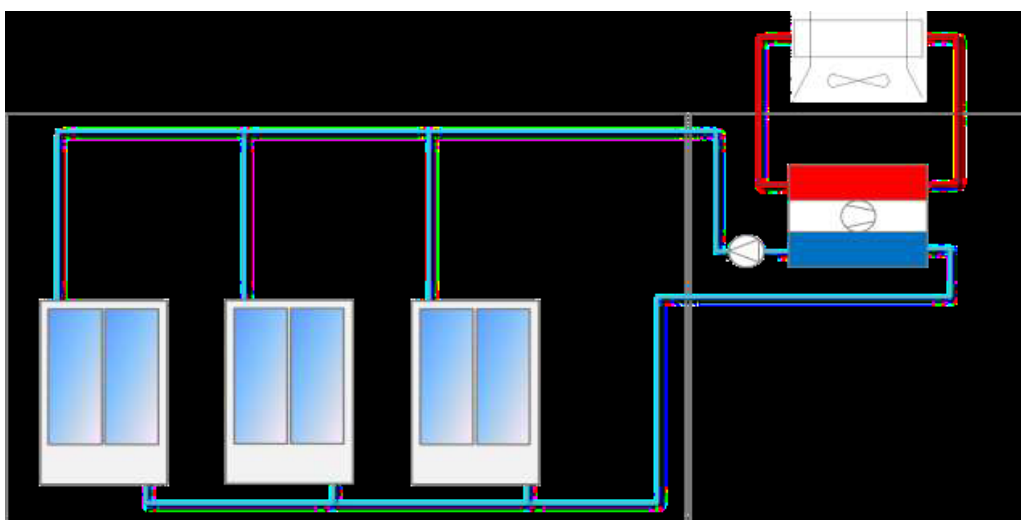
B. Konvertering

Två ICA butiker (Rogstam Jörgen, 2016)

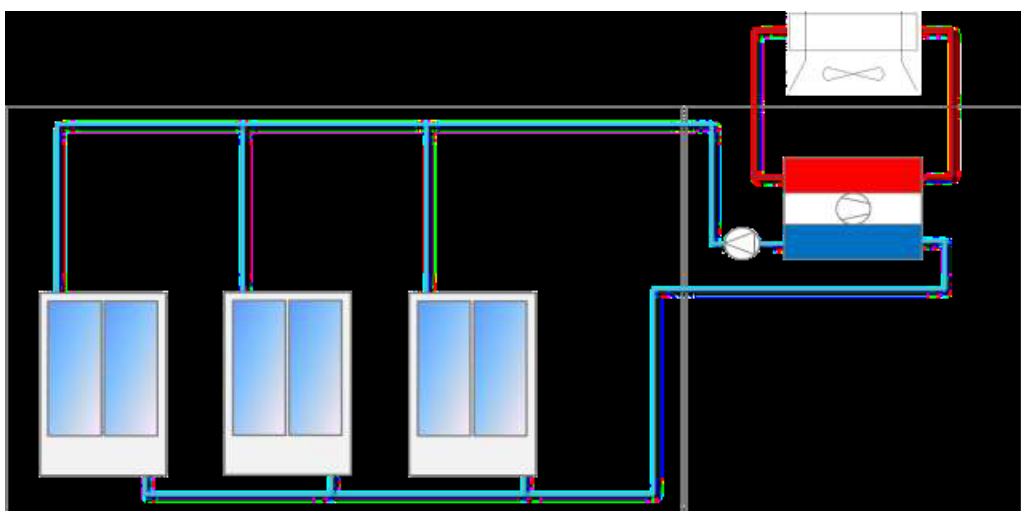
Direkta konverteringar har redovisats för två ICA butiker, en MAXI och en Supermarket. Här redovisas data från rapporten.

I rapporten redovisas ett projekt som innebar att konvertera två butiker från R 404A till R 449. Det senare är marknadsfört som ett dropp-in medium. Uppgiften var att med minsta möjliga ändring utföra ett köldmediebyte.

Butik 1 en ICA MAXI har ett indirekt glykolsystem för kyltemperaturer och ett indirekt pumpat CO2 system för frystemperaturer. För båda systemen finns aggregat med R 404A i maskinrummet som konverterats till R 449. Aggregaten är på varma sidan kopplade till ett indirekt system med en kylmedelkylare utomhus. Det borde i båda systemen ha visats en pump även i den varma (röda) kretsen.



Figur 1. Kylsystemet i ICA Maxi från Rogstam J. 2016



Figur 2. Fryssystemet i ICA Maxi från Rogstam J. 2016

Figurerna ovan kan synas lite förvirrande, eftersom figur 1 med indirekt pumpad glykol och figur 2 med indirekt pumpad CO2 ser helt lika ut. I verkligheten är det väldigt stor skillnad på de två systemen. Glykol arbetar genom att ändra temperatur, medan CO2 arbetar med att förångas i diskarna och kondensera i maskinrummet. Skillnaden i verkligheten märks genom att för CO2 är

- Rördimensionerna väsentligt mindre
- Pumparbetet väsentligt mindre
- Värmeöverföringen i värmeväxlaren väsentligt högre dvs man kan ha mindre värmeväxlare

Vid konverteringen uppnåddes stabila driftsfall för både kyl och frys.

Resultaten avseende COP dvs verkningsgraden för kyl är lika för de två medierna och för frys ungefär 7% bättre för R 449 efter konverteringen.

De indirekta systemen har bidragit till den regler tekniskt lugna driften. Möjligen även kapacitetsreglering av kompressorer även om det inte nämns i rapporten.

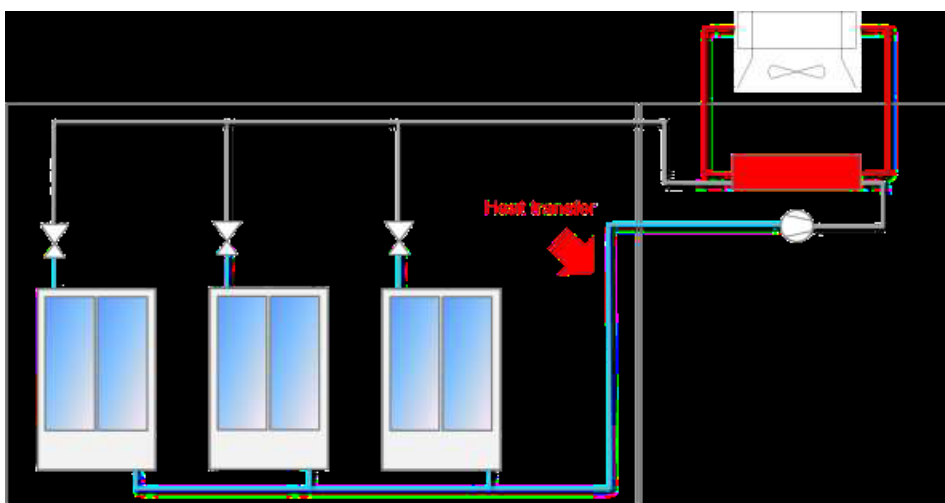
En nackdel som bytet har visat är en högre tryckrörstemperatur i frysallet.

Det rapporterade projektets syfte var att undersöka hur systemen reagerar vid en konvertering med minsta möjliga ingrepp. Vad mer hade kunnat vara ekonomiskt att genomföra samtidigt?

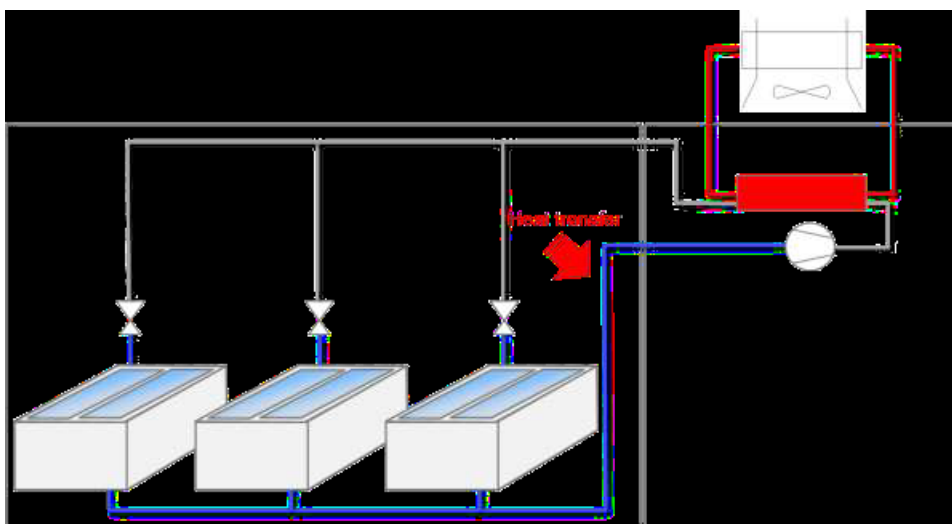
I både kyl och frys har överhettningen erhållits i förångaren. Detta har givit upp mot 10°C lägre förångningstryck än nödvändigt. Med installation av separat värmeväxlare för överhettning hade den totala driftkostnaden kunnat sänkas med ungefär 25%.

Vidare lever vi i ett land som har en årsmedeltemperatur på 6°C där anläggningarna står. Att då arbeta med över 30°C och upp över 40°C i kondenseringstryck är onödigt. Med en sänkning av temperaturen som kanske kan genomföras bara genom att ändra en inställning kan ge minst $10^{\circ}\text{C} \cdot 2,5\%$ per °C = 25% av driftkostnaden. Dessa två siffror kan adderas. På den här anläggningen borde en minskning av driftkostnaden med 50% eller en fördubbling av effektiviteten vara möjlig och lönsam.

Rapportens andra butik en ICA Supermarket har direktförångning i hela systemet. Köldmediet finns ute i alla kylmöbler. Dessutom verkar inte det finnas någon kapacitetsreglering på kompressorerna. För kyltemperaturerna var förångningen onödigt låg ungefär som i butik 1. Effektivitet och kylbehov har inte kunnat uppskattas ur mätningarna med den väldigt ostabila drift som systemet har. Orsaken är dålig balans mellan kompressor och last, ingen kapacitetsreglering, och enkel styrning. Efter konverteringen klarar systemet samma förhållanden som före.



Figur 3. Kylsystemet i ICA Supermarket från Rogstam J. 2016



Figur 4. Fryssystemet i ICA Supermarket från Rogstam J. 2016

Fryssystemet i butik 2 är även det ostabilt men bättre än kylsystemet. Sammanfattningsvis är ett problem den höga tryckrörstemperaturen. Vid höga lufttemperaturer någon gång under sensommaren finns det en ökad haveririsk. Det som sägs ovan för butik 1 gäller i stort även butik 2. Här är dock förångningen ute i diskarna varför investeringen i suggasväxlar måste genomföras i varje disk. Dessutom kommer de långa sugledningarna att suga värme från sin omgivning och i alla fall ge en hög kanske alltför hög suggastemperatur. Det kan diskuteras om suggasen från fryssystemet borde ha kylts innan det kommer till fryskompressorn. Hur detta skall göras är en inte självklar konstruktionsuppgift. En lösning är att sätta in en värmväxlare som kyls via en termostatisk expansionsventil eller kanske ett kapillär rör med en magnetventil förreglad på kompressorn och med en termostat som styr gastemperaturen till 0°C eller lägre.

Vad hade kunnat göras utan kravet på minsta ingrepp för att förbättra systemen.

I båda butikerna låg förångningstemperaturen som är kompressorns nedre arbetspunkt på -25°C för kyl och -40°C för frys. Stanna upp och fundera över att det behövs 20-30°C lägre arbetspunkt för kompressorn än den önskade förvaringstemperaturen i diskar och rum. Ställ dessa siffror mot några tumregler.

-varje grad högre förångning gör kompressorn 6% större

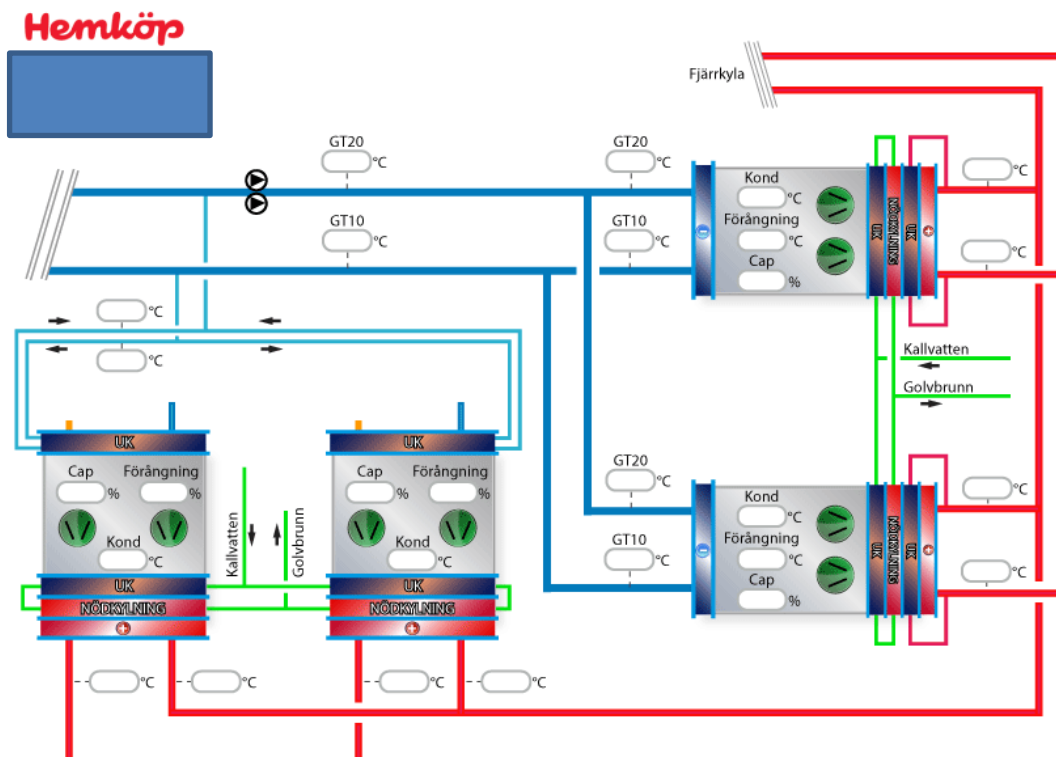
- varje grad högre förångning ger 2-3% lägre elförbrukning

Maxibutikens kyl och fryssystem arbetar med en överhettning i förångaren på 9-10°K. Om överhettningen i stället hade lagts i en extern vvx hade förångningen varit lika mycket högre och driftkostnaden hade på årsbasis sjunkit med ungefär 25 % totalt. Att i Sverige med en årsmedeltemperatur ner mot 6°C ha kondenseringstemperaturer över 30°C eller mer hela året är bara väldigt tråkigt att se. Med bättre styrda vvx borde åtminstone 10°C lägre tryck vara möjligt under stora delar av året. Detta skulle ge minst 20 % lägre driftkostnad totalt. Dessa båda förbättringar är möjliga att addera. Att med relativt små ingrepp kunna sänka driftkostnaden med upp mot 50 % på årsbasis borde intressera de flesta ägare.

Tre medelstora butiker (IWMAC, 2017)

Dessa 3 är konverterade till R 448 utan uppgradering av energieffektivitet.

1 Stockholm innerstad



Figur 5. Livsmedelskyla i butik Stockholm innerstad från IWMAC

Systemet i Figur 5 har:

- Ansluten till fjärrkyla på kondensorsidan.
- Kyl glykolsystem med hög framledningstemperatur som även underkyler fryssystemet.
- Frys med direktexpansion.
- Både kyl och frys underkyls med tappkallvatten.

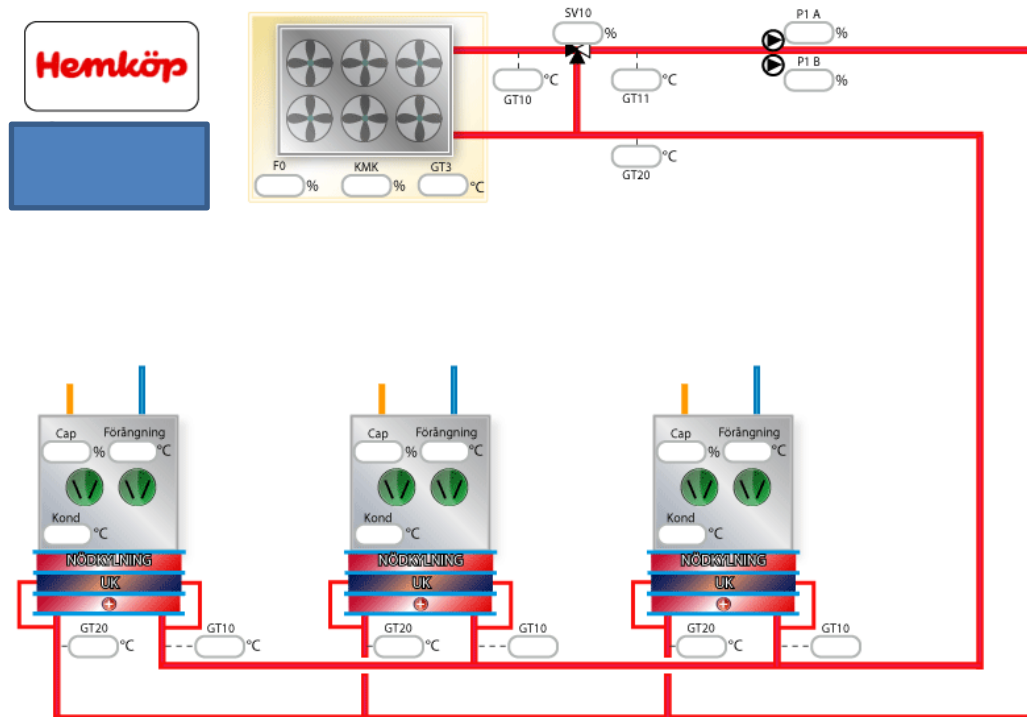
Kylsystemet arbetar med relativt hög framledningstemperatur, omkring -3°C men beroende av lasten ute i diskarna. Kyl och frysbehov styrs till största delen av butikens luftfuktighet. Innebörden är att vintertid med låg luftfuktighet är kylbehovet lågt medan det normalt är maximalt någon gång i augusti. Skillnaden mellan högsta och lägsta kan bli upp mot 1:5 beroende på övrig belastning i disken. Framledningstemperaturen för glykolen till en disk bestämmer möjlig temperaturdifferens mellan luften i disken och den kallare glykolen. Om den differensen inte räcker för att överföra all värme från disken till glykolen kommer temperaturen i disken att stiga. I moderna styrsystem finns en kontakt mellan maskinrum och disk som ger möjligheten att styra ner framledningstemperaturen när det behövs. Styrsystemet måste sedan kunna återställa ett högre värde när det är möjligt. En enstaka disk kan försämra hela systemets effektivitet. Kedjans svagaste länk ställer kravet.

Fryssystemet arbetar med mer än en kompressor, varför driften blir något lugnare än de som bara har en maskin. Vid lägre laster kallar inte alla diskar på kyla samtidigt vilket ger en obalans mellan kylbehov och kapacitet om den senare inte kan styras. Med flera kompressorer kommer en stegreglering som innebär att bara så många kompressorer är igång som svarar mot behovet. Även här indikerar mätningen att förångningen går ner mot -38°C eller lägre vid låga laster.

Driften med fjärrkyla på kondensorn ger en låg temperatur året runt som utnyttjas till vad kompressorerna klarar i låg kondensering.

Totalt sett är detta ett exempel på ett relativt bra system som kan gå ett antal år till med det R 448 som det har konverterats till.

2



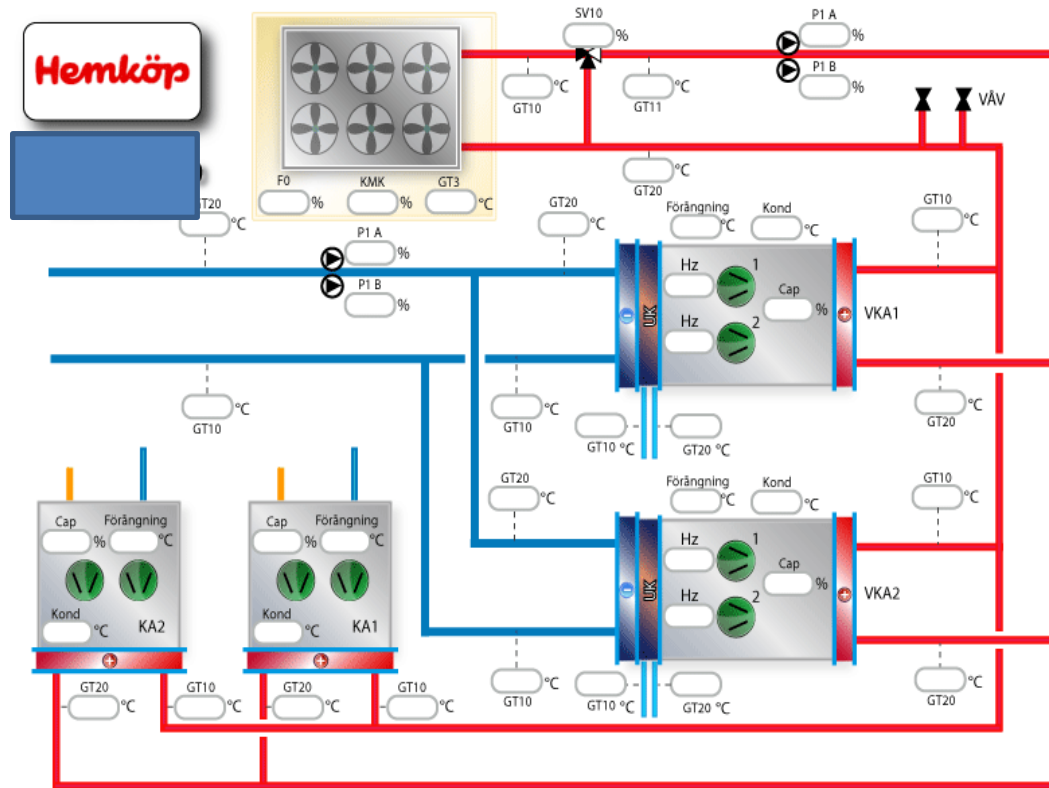
Figur 6. Livsmedelskyla från IWMAC

I figuren ovan visas 3 stycken aggregat två för kyl och ett för frys. Direktexpansion för både frys och kyl. Varma sidan den röda med kylmedel inställd för att ge kondensering inställd för att vara låg ner mot vad kompressorerna klarar. Den övre fyrkanten med 6 stycken fläktar är kylmedelkylaren som avger värmen utomhus. Underkylning med kylmedelkretsen i både kyl och frysaggregaten. Ingen värmeåtervinning.

Börvärden för både kyl och frys påverkade av behovet av överhettning för att styra expansionsventiler i diskar och rum.

Systemet har de nackdelar som direktexpansion utan kapacitetsreglering av kompressorer ger. Låga förångningar ger onödigt hög driftkostnad och kan ge haveri speciellt för frysaggregaten sommartid när utetemperaturer är höga. Konverteringen till R 448 ger högre tryckrörstemperatur än motsvarande för R 404A.

3



Figur 7. Livsmedelskyla från IWMAC

I figuren ovan visas 4 stycken aggregat två för kyl och två för frys-systemet för kyl är indirekt och för frys direkt. Det indirekta kylsystemet det blå arbetar med högsta möjliga framledningstemperatur som vid en dag med 6°C ute innebär kring -4°C. Kondenseringen styrs via den indirekta kylmedelkretsen som behöver drygt 30°C till värmeåtervinningen.

Fryssystemet har samma fördelar och nackdelar som de andra två liknande systemen.

C. Ombyggnad

Se ombyggnadsalternativen utifrån vilka slutresultat som finns avseende systemval.

Bara Plug-in är en möjlig lösning för mindre och medelstora butiker. Dessutom kan det vara befogat för frysavdelningen i en medelstor butik. Om butiken har någon annan lösning före ombyggnad blir detta en fullständig nyinstallation. Fördelen är att den kan genomföras planerat under en längre tid om nackdelen med olika typer av diskar kan accepteras. Vilket köldmedium som skall väljas i de nya diskarna kan diskuteras men ett bra och vanligt alternativ kommer att vara propan. Köldmediet är energieffektivt och billigt. Nackdelen är att en riskanalys skall göras utom för de minsta diskarna, men det gäller även för andra brandfarliga medier. CO₂ är inte idag ett tillgängligt alternativ för plug-in. Fördelen med den här lösningen är att tillverkaren måste energideklarerat sin produkt enligt Ecodesign förordningen. Därmed är det lättare att jämföra produkter från olika tillverkare.

En nackdel med propan i plug-in som syns i jämförelsen med CO₂ i Ekonomi är att propan verkar vara mindre energieffektivt. Bakgrunden är att tillverkare av kompressorer för propan inte har förstått eller brytt sig om att hitta en bra smörjolja. Att använda ett kolväte tillsammans med en mineraloljebaserad olja ger okontrollerbar inlösning av gas i oljan. För att bibehålla säker smörjning krävs då att olja blir varm genom att kompressorn får arbeta mer. Varm olja har mindre inlösning en kall och därmed en högre viskositet, tvärt mot vad man kanske tänker sig. Tidigare har inte energifrågor varit något försäljningsargument, men idag börjar det bli mer viktigt. Det finns bra lösningar på oljevalet, som kommer att bli verklighet även i dessa kompressorer.

Centralsystem med köldmedium ute i butik för kyl och frys

Av de aktuella köldmedierna efter 2022 är det egentligen bara CO₂ som är möjligt. Övriga är brandfarliga. En installation av bara CO₂ i en butik innebär ett totalt utbyte av hela installationen maskinrum, rör och diskar. Det blir därmed en dyrbar ombyggnad. Ombyggnaden är möjlig i alla storlekar av butiker, men är inte det mest lönsamma i små butiker. Hur det ser ut med lönsamheten i stora butiker är oklart. Mycket beror på om det är möjligt att återanvända något av den befintliga installationen.

Det frågetecken som kan resas för en sådan ombyggnad är kring underhållskostnaden. De idag lite äldre CO₂ systemen har varit läckagebenägna, men tillverkare och installatörer har lärt sig en hel del om att undvika alla förband som inte är svetsade eller lödda. Packningsförsedda skruvade förband ger läckagerisker när systemet har varit i drift några år. Dessutom kräver de komplicerade systemen duktiga montörer och servicemän. Ett faktum är att bara några få % av montörer har gått utbildning för arbete med dessa högtryckssystem. Dessutom för att nå en bra energieffektivitet kräver systemen en högre grad av styrsystem än vad som tidigare varit vanligt.

Centralsystem med indirekt distribution i butik.

För att kunna använda de nya köldmedierna HFO med GWP<150 och även det nygamla propan krävs indirekta system i butiken. Samtliga av dessa köldmedier är brandfarliga. För att motivera ett centralt system krävs åtminstone en medelstor butik. Egentligen borde pumpad CO₂ användas för både kyl och frys systemen, men inget finns byggt i en svensk butik för kyltemperaturer. Idag finns komponenter för att bygga sådana system och därmed kunna få ner rördimensionerna till liknande de för direkt CO₂. Pump och temperaturdifferens i en extra värmexlaren kan likställas med de direkta systemens behov av överhettning. En mer konventionell dvs existerande lösning är pumpad CO₂ för frys och glykol för kyltemperaturer. Då finns möjligheten att använda vilket hållbart köldmedium som helst i maskinrummet. Hur olika centrala systemlösningar är ur ekonomisk synpunkt kan bara aktuella offerter avgöra. Ett antal butiker i Danmark byggdes för > 10 år sedan med pumpning till kyltemperaturer och dx till frys, även frys försörjd med vätska från pumpen. Idag borde dubbla pumpsystem ge en bättre drift.

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,200 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 200 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB
Box 857, 501 15 BORÅS
Telefon: 010-516 50 00
E-post: info@ri.se, Internet: www.ri.se

Energi och cirkulär
ekonomi
RISE Rapport 2017:
ISBN: