NUTEKs utvecklingsprogram

ALTERNATIVA KÖLDMEDIER

Rapport nr 4, 1995

Projekt A1 - Konvertering
Delrapport 1

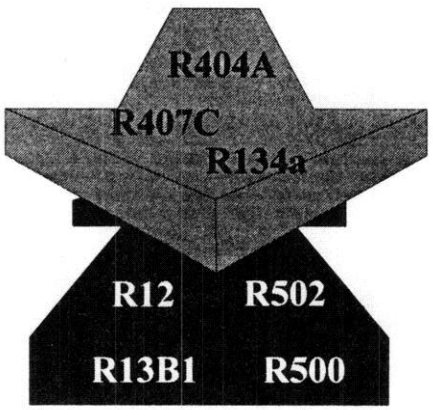
Per Lundqvist
Lars Herbe

Sekretariatet för
ALTERNATIVA
KÖLDMEDIER
CIT
Chalmers Teknikpark
S-412 88 Göteborg.
Tel 031-772 36 91
031-772 36 96
Fax 031-41 80 56
e-mail:
lil@cit.chalmers.se

Denna rapport ingår i en serie projektrapporter, som redovisar resultat från utvecklingsprogrammet ALTERNATIVA KÖLDMEDIER i vilket samverkar företagen ABB STAL Refrigeration i Norrköping, AKA Kyla i Stockholm, Alfa Laval Thermal i Lund, Electrolux i Stockholm, ElektroStandard i Katrineholm samt forskare vid avd för Kylteknik, KTH och inst för Värmeteknik och Maskinlära, CTH samt avd för Värmeöverföring, LTH .

VETENSKAP OCH KONST

KTH



Konvertering

Delrapport 1

Per Lundqvist
Lars Herbe

Stockholm 1995

Projekt A1 - Konvertering

PROJEKTET INGÅR I NUTEKPROGRAMMET: ERSÄTTNING AV MILJÖFARLIGA MEDIER I KYLANLÄGGNINGAR OCH VÄRMEPUMPAR

Institutionen för Energiteknik
Avd. för Tillämpad termodynamik och kylteknik

Kungl Tekniska Högskolan,
Stockholm

Department of Energy Technology
Div. of Applied Thermodynamics and Refrigeration

The Royal Institute of Technology,
Stockholm, Sweden

INNEHÅLLSFÖRTECKNING SID

Innehållsförteckning 2
Sammanfattning 3
Executive summary 5

1. Bakgrund och syfte 6
2. Projektets omfattning 6
3 Delprojekt I, Erfarenheter av konvertering från R12 (och R500) till R134a 8
4. Delprojekt II, Erfarenheter R502 till R404A (eller motsv.) 8
5. Delprojekt III, Pilotkonvertering av R22 9
6. Rapportering 9
7. Organisation och samarbete 10
8. Referenser 10

BILAGOR

Bil 1. Nuläget på köldmediesidan 11
Bil 2. CFC and HCFC Refrigerants retrofit - Experiences and results 22
Bil 3. R12 retrofit - a Swedish perspective 30
Bil 4. Att jämföra köldmedier för konvertering från R22... 38
Bil 5. Konvertering av mjölktankar från R22 till R407C 42
Bil 6. R407C - en zeotrop som alternativ till R22 48

SAMMANFATTNING

Projekt "konvertering" ingår i forskningsprogrammet "Ersättning av miljöfarliga medier i kylanläggningar och värmepumpar. Den totala budgeten för programmet är 28 MSKR och finansieras av NUTEK och delar av den svenska kylbranschen[1].

Projekt konvertering behandlar ett flertal aspekter vad gäller övergång från klorerade köldmedier såsom R12, R502 och R22 till mer miljövänliga arbetsmedier. Konvertering innebär vanligtvis att relativt lite ändras på den ifrågavarande anläggningen. I princip innebär det att det oönskade köldmediet, t.ex. R12 ersätts med ett köldmedium med liknande egenskaper, t.ex. R134a. Den metod detta sker på har dock visat sig vara mycket viktig. Denna studie behandlar utfallet av ett stort antal konverteringar med avseende på driftsegenskaper, kemisk stabilitet och livslängd.

Den planerade tidtabellen för avveckling av ozonnedbrytande köldmedier är summerad i tabell 1. Planerna för R22 är beslutade av den svenska riksdagen och förslaget är nu på remiss hos EFTA, GATT och EU (En fullständig av nuläget ges i bilaga 1).

ASHRAE Nummer	Typ av köldmedium	Importstopp[2] /Installationsförbud	Påfyllnadsstopp	Användningsförbud	Andel av den totala köldmediefyllningen[3] i Sverige /5/
R12	CFC	1/1 1995	1/1 1998	1/1 2000	32%
R500	CFC	1/1 1995	1/1 1998	1/1 2000	6%
R502	CFC	1/1 1995	1/1 1998	1/1 2000	12%
R22	HCFC	1/1 1998	1/1 2002	1/1 2015[4]	50%

Tab. 1. *Avvecklingsplaner för de vanligaste ozonnedbrytande köldmedierna.*

Projektet är indelat i tre delprojekt:

- I, Konvertering från R12 och R500 (CFC)
- II, Konvertering från R502 (CFC)
- III, Konvertering från R22 (HCFC)

De tre delprojekten skiljer sig en hel del i innehåll även om mycket naturligtvis är gemensamt. Delprojekt I behandlar i huvudsak resultatet från genomförda konverteringar. En relativt omfattande intervjuundersökning om konverteringsmetoder har kombinerats med upprättande av en databas innehållande analysresultat av oljeprover från konverterade anläggningar. Jämförelsen visar att de anvisningar för konverteringsmetoder som idag finns är fullt tillräckliga om de följs till punkt och pricka. Man kan dock urskilja ett antal mycket intressanta detaljstudier. Ett exempel är fukts inverkan på den kemiska stabiliteten för de esteroljor som används i konverterade kylanläggningar[5].

[1] AKA Kyla, Stockholm, ABB Stal Refrigeration AB, Norrköping, Electrolux AB, Stockholm, Electro Standard AB, Katrineholm and Alfa Laval Thermal AB, Lund.

[2] Från icke EU-länder.

[3] I den undersökning som refereras /5/ bortses från förekomsten av övriga köldmedier.

[4] I enlighet med EU-beslut EU menar troligen användning i nya anläggningar men tidigare produktionsnedskärningar diskuteras.

[5] Alla kylanläggningar inehåller mer eller mindre fukt. De esteroljor som används med klorfria köldmedier är mer känsliga mot fukt och, desvärre, även mer benägna att uppta fukt under hanteringen.

Delprojekt II är inriktat på konvertering av anläggningar med arbetsmediet R502. Här har köldmedietillverkarna föreslagit ett antal olika sk. *köldmedieblandningar* för ersättning. Det mest vanliga idag har beteckningen R404A som består av tre komponenter (52 % R143a/ 44% R125/ 4% R134a).

Delprojekt III är inriktat på konvertering av R22-anläggningar. En viktig fråga här är skillnaden i egenskaper mellan sk zeotropa köldmedieblandningar (två- eller trekomponents-blandning som kokar och kondenserar vid *glidande* temperaturnivå). Ett antal pilot-konverteringar studeras/har studerats där R22 har ersatts med huvudkandidaten R407C (23% R32/ 25% R125/ 52% R134a).

Projektledare: Tekn. Dr. Per Lundqvist, KTH tel 08 - 790 74 52 fax 08 - 20 30 07
Controller: Klas Berglöf, AKA Kyla AB tel 08 - 629 01 10 fax 08 - 98 98 98
Forskare: Lars Herbe, KTH, tel 08 - 790 74 12 fax 08 - 20 30 07

EXECUTIVE SUMMARY

The project "Retrofit" is part of the research program "Replacement of Non-Environmentally Safe Refrigerants In Heat Pumps and Refrigerators"[6]. The total budget of the program is 28 MSKR and it is sponsored by NUTEK and parts of the Swedish refrigeration industry[7].

The project retrofit covers several aspects of refrigerant retrofit from CFC and HCFC (chlorinated) refrigerants to environmentally safe refrigerant alternatives. Since retrofit normally means a substitution from a chlorinated refrigerant such as R12 to a *similar* refrigerant with comparable characteristics (for example R134a) relatively little has to be changed in the refrigerant plant. *The method used* for the retrofit is however important. The study deals with the outcome of several retrofits performed during the last years with respect to performance, chemical stability and lifetime.

The scheduled timetable for refrigerant retrofit is summarised in table 1. The plans for R22 is decided by the Swedish government and EU, GATT and EFTA are notified.

ASHRAE Number	Type o f refrigerant	Stop for Import and new installations	Stop for refill after leakage	Stop for Use	Approximate share of the total amount of refrigerants in Sweden
R12	CFC	1/1 1995	1/1 1998	1/1 2000	32%
R500	CFC	1/1 1995	1/1 1998	1/1 2000	6%
R502	CFC	1/1 1995	1/1 1998	1/1 2000	12%
R22	HCFC	1/1 1998	1/1 2002	1/1 2015	50%

Table 1. *Scheduled timetable for refrigerant retrofit in Sweden.*

The project is, divided into three parts:

- I, Retrofit from R12 and R500 (CFC)
- II, Retrofit from R502 (CFC)
- III, Retrofit from R22 (HCFC)

The three sub-projects differ somewhat in content. Sub-project I is mainly directed to experiences from R12 and R500 retrofit. An extensive interview survey and construction of a database (with results from analysis of oil samples) are the basis for a number of more detailed studies such as influence of moisture on ester oil stability and material compatibility.

Sub-project II is directed towards retrofit of refrigeration plants operating with R502. A number of different *refrigerant blends* have been suggested by the refrigerant manufacturers. The most common today is R404A which is a blend of three components (52 % R143a/ 44% R125/ 4% R134a).

Subproject III deals with the replacement of the HCFC R22. An important issue is the difference in performance for so called *zeotropic refrigerant blends* (a two- or three- component mixture that evaporates and condenses at a gliding temperature). A number of *pilot-conversions* from R22 to the key candidate R407C (23% R32/ 25% R125/ 52% R134a) are studied with respect to the performance characteristics .

---

[6] The Swedish title is" ERSÄTTNING AV MILJÖFARLIGA MEDIER I KYLANLÄGGNINGAR OCH VÄRMEPUMPAR

[7] AKA Kyla, Stockholm, ABB Stal Refrigeration AB, Norrköping, Electrolux AB, Stockholm, Electro Standard AB, Katrineholm and Alfa Laval Thermal AB, Lund.

1. BAKGRUND OCH SYFTE

Arbetet inom projekt konvertering har bedrivits på KTH, Institutionen för Energiteknik, avd för tillämpad Termodynamik och Kylteknik, Stockholm. Arbetet har skett i samarbete med AKA Kyla, Klas Berglöf. Arbetets art har dock inneburit att många andra har bidragit med värdefulla synpunkter. Här bör främst Elisbeth-Sven Nilsson (SMR), Kenneth Weber (ETM), Egil Ohlsson (Svensk Butiksservice), Krister Svanholm (Kylteknik i Kalmar) samt Thomas Hallerdt (Telia) nämnas. Många andra har blivit kontaktade i samband med den intervju-undersökning som genomfördes under sommaren 1994.

Detta är en relativt kortfattad första delrapport för projektets första år. Syftet med denna är att ge en bild av den utveckling projektet tagit samt att kort referera de artiklar som producerats under det gångna året. Delar av de resultat som framkommit har redovisats såväl skriftligt och muntligt.

Syftet med projektet har i första hand inte varit att utveckla konverteringsmetoder för kylbranschen. Utvecklingen på detta område ligger redan långt framme i Sverige. Utan överdrift kan man nog säga att den svenska kylbranschen är världsledande på konvertering. Syfte har i stället varit att följa upp utfallet av redan genomförda konverteringar för att på så sätt studera de mekanismer som styr utfallet av en konvertering vad det gäller prestanda, livslängd, kemisk stabilitet etc. Utvecklingen på köldmediesidan är naturligtvis av största intresse varför en stor del av projektet ägnats åt detta ämne.

2. PROJEKTETS OMFATTNING

Tre principiella delområden identifierades inledningsvis för projekt konvertering (om de mest aktuella arbetsmedierna beaktas):

- I, Konvertering från R12 (och R500) till R134a
- II, Konvertering från R502 till R404A (eller motsvarande)
- III, Konvertering av R22 till "R32 blends" (t.ex. SUVA 9000 och Klea 66)

Av dessa intar konvertering av R12 (och R500) anläggningar en särställning enär ett förhållandevis stort erfarenhetsmaterial från fältet föreligger. Då signaler från myndighetshåll anvisar en skärpt hållning till R22 är det angeläget att tidigt inleda studier av konvertering av dessa anläggningar. De erfarenheter som kan sammanställas från konvertering av R12 anläggningar (och R502) bör ligga till grund för R22 konvertering. Utöver detta tillkommer konvertering till R23 av lågtemperatursystem arbetande med R13, R13B1, R503 etc.

Ämnesområdet konvertering är naturligtvis mycket stort. Syftet med projektet är både att ta ett översiktligt grepp på problemområdet och att gå på djupet i några väsentliga frågor. Urvalet för dessa detaljstudier baserar sig på de slutsatser som inledningsvis kunde dras via intervjuer och den under året sammanställda databasen. Då informationsflödet är stort måste litteratur och branscherfarenheter ständigt beaktas. En flexibel projektplan är därför väsentlig för projektets genomförande. Figur 1 är ett försök att grafiskt illustrera arbetsgången under den tid som projektet varit igång:

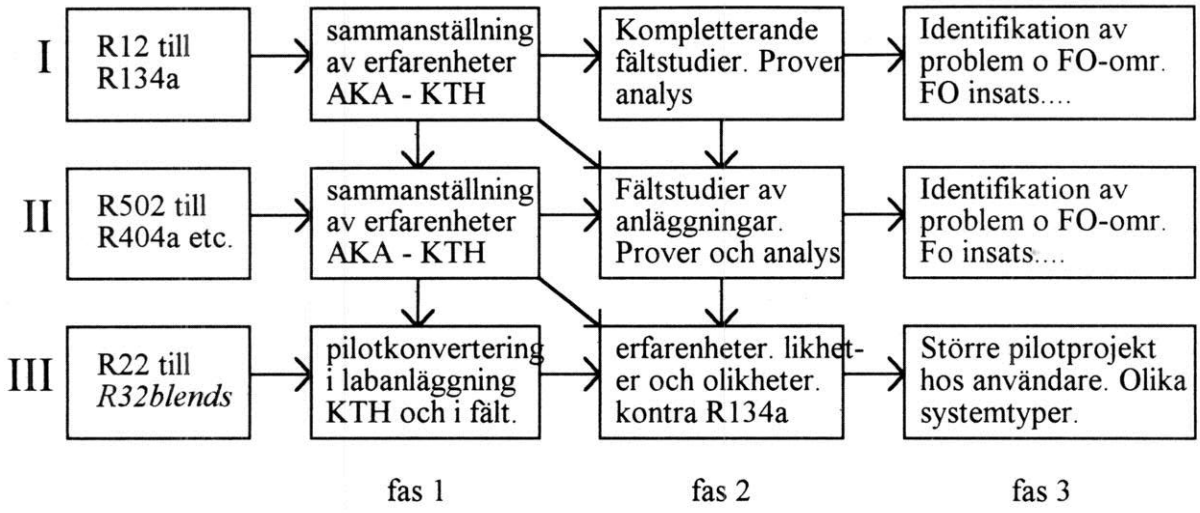


Fig 1. Schematisk uppläggning av projekt A1 - Konvertering

Tanken med uppläggningen är att en systematisk uppföljning och sammanställning av erfarenheter från konkreta konverteringsprojekt kan ge en generell kunskapsuppbyggnad och spridning av konverteringsproblematiken. Därigenom bör kostnaderna vid konvertering kunna sänkas och driftssäkerheten samt energieffektiviteten vid efterföljande drift kunna förbättras i framtida konverterade anläggningar. Intressanta delfrågor som inledningsvis identifierades är:

- Lämpliga ersättningsmedier (på kort och lång sikt)
- Kemiska aspekter (sammansättningar, restprodukter, renhet ,etc)
- Energimässiga konsekvenser (energiförbrukning, köld/värmefaktor)
- Materialfrågor (packningars resistens, läckage, etc.)
- Nedbrytningsprocesser

Vad gäller konvertering från R12 till R134a är de rent energi- och värmeöverföringsmässiga aspekterna väl studerade sedan tidigare. En bra jämförelse ur detta perspektiv togs fram redan 1990 vid institutionen i BFR-rapport no R13:1990. Rapportens namn är "Köldmediet HFC 134a" av Petterson och Thorsell /1/. Rapporten behandlar utförligt en jämförelse mellan R12 och R134a ur ett termodynamiskt perspektiv men även resultat från kompressorprover redovisas. Rapporten kan rekvireras från Svensk Byggtjänst. Andra intressanta fenomen såsom värmeövergång har exempelvis utförligt behandlats av Hambræus i en doktorsavhandling med titeln "Flow Boiling of Pure and Oil Contaminated Refrigerants" /2/.

Materialfrågor har behandlats av såväl köldmedie- som komponenttillverkarna. Man har idag en god uppfattning om vilka material som är kompatibla med R134a och esteroljor. Vad som däremot är mindre väl undersökt är de kemiska aspekterna (sammansättningar, restprodukter, renhet ,etc) samt de nedbrytningsprocesser som kan antas förorsakas av höga fukthalter. Denna brist på tillförlitlig information har varit huvudorsaken till utformningen av projektdel I: Erfarenheter av konvertering från R12 (och R500) till R134a.

3. DELPROJEKT I, ERFARENHETER AV KONVERTERING FRÅN R12 (OCH R500) TILL R134A

Vi har genom AKA kyla´s försorg fått tillgång till ett större antal oljeprover från konverterade kyl och värempumpanläggningar. Materialet har genomgåtts i flera omgångar i samarbete mellan AKA och KTH. Materialet har systematiserats så att likheter och skillnader i konverteringsförfarande (metoder, oljebyten, komponentbyten etc.) kan studeras. Syftet har varit att eventuella anläggningsproblem (driftsstörningar, haverier, kapacitetsförändringar etc.) skall kunna korreleras mot dessa data. Eventuella orsakssammanhang kan då identifieras. Dessa oljeprover har kompletterats med liknande uppgifter från Mobil Oil i Uddevalla. Samtliga uppgifter har samlats i en databas som fortlöpande uppdateras. Detta arbete beskrivs vidare i bilaga 2. Arbetet har presenterats såväl muntligt och skriftligt i flera omgångar /3,4,5/. En artikel för tidskriften Scanref föreligger för närvarande /6/. Tillsammans med detta har litteraturstudier inom ämnet genomförts (internationellt såväl som nationellt).

Resultaten från databasstudien och den inledande branschundersökningen (studiebesök och djupintervjuer med entrepenörer inom konverteringsområdet) visade tillsammans med litteraturstudier att en egen provrigg för prover av blandningar av köldmedium, oljor, fukt och olika metaller skulle vara intressant. Syftet med denna är främst att isolera inverkan av olika kombinationer av restmineraloljehalt och fukt. En sådan rigg är nu färdigställd i Kyltekniks laboratorium. Sk sealed-tube tests kan nu utföras i enlighet med ASHRAE standard 97-1989. Provrör fylls med en blandning av R134a, esterolja och fukt. till detta kan så olika halter av föroreningar tillsättas. Provet placeras i en särskild ugn där förloppen accelereras vid olika temperaturnivåer. Anläggningen beskrivs kortfattat i bilaga 2.

Utöver detta har en sk termosifonkrets färdigställts vid institutionen. Här kan i princip förloppen i en kylanläggning (förångning, kondensering, oljemedsläpning etc) simuleras utan att någon kompressor finns i kretsen. Även denna rigg beskrivs i bilaga 2.

4. II, ERFARENHETER R502 TILL R404A (ELLER MOTSV.)

Erfarenheter från konverteringar från R502 till i huvudsak R404A (52 % R143a/ 44% R125/ 4% R134a) föreligger i begränsad omfattning i jämförelse med konvertering av R12-anläggningar. Eftersom R404A är en trekomponentblandning uppstår en del nya frågeställningar med denna typ av arbetsmedium. Anledningen till detta val är att det inte finns något lämpligt **rent** ämne som kan ersätta R502. Intressant är att ett flertal **olika** trekomponentblandningar har föreslagits som ersättning för R502. Studier av dessa medier har forlöpande gjort vid institutionen.

Eftersom flertalet av dessa medier (dock ej R404A) är sk "glide-köldmedier" uppstår en hel del nya intressanta aspekter och problem, inte minst på definitionsområdet. En del reflexioner på detta rapporteras i bilaga 4 "Att jämföra köldmedier för konvertering från R502..." i en omarbetad version av en artikel presenterad på ett seminarium arrangerat av Nordiska ministerrådet i september 1994. I litteraturen förekommer en hel del jämförelser av olika köldmedier med avseende på såväl termodynamiska egenskaper, komponent- och anläggningsprestanda. Det är då viktigt att ett enhetligt system för jämförelse finns utarbetat. Ett försök till ett sådant är det amerikanska AREP-programmet /9/ (Alternative Refrigerant Evaluation Program) med sin Japanska motsvarighet JAREP /10/. Detta system förklaras i bilaga 4.

5. III, PILOTKONVERTERING AV R22

Dessa frågeställningar är än mer intressanta när R22 ersättningar betraktas. Det idag vanligaste föreslagna köldmediet är R407C (23% R32/ 25% R125/ 52% R134a). Köldmediet är en sk azeotrop med en förhållandevis stor glide (ca 7K). En del erfarenheter av detta köldmedium har under hösten/vintern insamlats vid institutionen. Här kan i huvudsak tre projekt identifieras:

- Konvertering av sk gårdstankar i samarbete med Kylteknik i Kalmar, SMR, ARLA och AKA Kyla (bilaga 4) /7/
- Laboratoriemätning på R22 och R407C (Bilaga 5) /8/. Anläggningsprestanda och värmeövergång i en mindre kylanläggning med plattvärmeväxlare.
- Studie av tubpanneanläggning konverterad från R22 till R407C i samarbete med Kalmar kylteknik och AKA Kyla.

Arbetet med konvertering av sk gårdstankar är nu inne i sin tredje fas. Inledningsvis genomfördes verkstadsprover hos Kylteknik i Kalmar. Resultaten från dessa redovisas i bilaga 4. Dessa mätningar utföll med goda resultat för den konverterade anläggningen. Fas två bestod i huvudsak av de laboratorieprover som rapporteras i bilaga 5. Arbetet utfördes av Hammarberg/Nyman under hösten 1994. Bilaga 5 är en kondenserad version av rapporten. Fas tre är nu påbörjad med fältmätningar på bondgårdar. Mätvärden är f.n. under analys.

Det tredje projektet av de ovan rapporterade är mycket intressant då anläggningstypen troligen är den minst lämpade för en konvertering till ett zeotropt köldmedium med stor glide. Tyvärr föreligger endast preliminära resultat då mätningarna nyligen är påbörjade.

Utöver dessa tre delområden (I-III) pågår ett annat intressant konverteringsprojekt tillsammans med Naturvårdsverket. Det handlar om konvertering av lågtemperaturprocesser från R13, R13b1 och R503 till nya arbetsmedier /11/. Arbetet väntas vara klart under maj/juni 1995. Arbetet kommer att publiceras av Naturvårdsverket.

6. RAPPORTERING

Respektive delmoment rapporteras fortlöpande till ledningsgruppen för NUTEK-programmet. Övrig rapportering planeras för tre olika målgrupper:

- Populärvetenskaplig nivå för i första hand brukare och *pressreleaser* för massmedia.
- Branschinriktad nivå för rapportering till entrepenörsledet och branschtidskrifter.
- Vetenskaplig nivå för internationell publicering i vetenskapliga tidskrifter eller på konferenser.

Denna rapport innehåller följande fristående bilagor:

Bil 1. Nuläget på köldmediesidan
Bil 2. CFC and HCFC Refrigerants retrofit - Experiences and results"
Bil 3. R12 retrofit - a Swedish perspective
Bil 4. Att jämföra köldmedier för konvertering från R502...
Bil 5. Konvertering av mjölktankar från R22 till R407C
Bil 6. R407C-en zeotrop som alternativ till R22 - En sammanfattning

7. ORGANISATION OCH SAMARBETE

Projektledare:	Tekn. Dr. Per Lundqvist, KTH tel 08 - 790 74 52 fax 08 20 30 07
Controller:	Klas Berglöf, AKA Kyla AB tel 08 - 629 01 10 fax 08 - 98 98 98
Forskare:	Lars Herbe, KTH, tel 08 - 790 74 12 fax 08 20 30 07

8. REFERENSER

/1/ Petersson, B., Thorsell, H., 1990, "Köldmediet HFC 134a", BFR rapport no R13:1990, ISBN 91-540-5156-8.

/2/ Hambraeus, K., 1993, " Flow Boiling of Pure and Oil Contaminated refrigerants", Doctoral Thesis, Trita REFR report No 93/10.

/3/ Lundqvist, Per, 1994, "Experiences from CFC-12 to HFC-134a retrofit - A Swedish perspective", Nordisk Seminar om Alternative Kuldemedier, Oslo

/4/ Lundqvist, Per, 1994, " Att jämföra köldmedier för konvertering från R502...", Presentation vid informationsdag på NUTEK 1995-02-09

/5/ Herbe, L., Lundqvist, P., "Projekt A1 - Konvertering", Presentation vid informationsdag på NUTEK 1995-02-09

/6/ Herbe, L., 1995, "Konvertering på KTH", Artikel skriven för tidskriften Scanref, ej publicerad ännu.

/7/ Lundqvist, Per, 1995, "Konvertering av mjölktankar från R22 till R407C", Delrapport 1 för SMR.

/8/ Hammarberg, G., Nyman, H., 1994, "R407C - en zeotrop som alternativ till R22", Examensarbete i kylteknik.

/9/ Godwin, D., Menzer, M., 1993, "Results of Compressor Calorimeter Tests in ARI's R-22 Alternative Refrigerants Evaluation Program", ASHRAE/NIST Refrigerant conference, Gaitersburg.

/10/ Morikawa, Y., "R-22, R-502 Alternative Refrigerant Evaluation Program in Japanese Industry", ASHRAE/NIST Refrigerant conference, Gaitersburg.

/11/ Järvinen, M, 1995, Titel ej klar, Examensarbete i Kylteknik vid KTH i samarbete med SNV, under slutförande

Köldmedier - nuläge och framtidsutsikter

Per Lundqvist, Lars Herbe, KTH

BAKGRUND

Många upplever idag den snabba utveckling som sker på köldmediesidan som förvirrande och svårgripbar. Denna artikel är ett försök att reda ut en del centrala begrepp och samtidigt peka ut riktningen för framtiden. Artikeln är skriven ur ett svenskt, eller kanske europeiskt, perspektiv. Inställningen till brännbara arbetsmedier såsom Propan och Isobutan är annorlunda i USA där motståndet mot dessa medier fortfarande är starkt.

Utvecklingen av nya köldmedier har pågått under ett flertal år och det största gemensamma försöket att utvärdera de nya förslagen är det amerikanska AREP-programmet[1]./1/. Programmet har sin motsvarighet i det Japanska JAREP /2/. Ett stort antal köldmedier, rena såväl som blandningar, har provats av företag och organisationer inom kylbranschen över hela världen. De olika prover som har gjorts, och hur resultaten kan tolkas, beskrivs översiktligt i bilaga 4 i denna rapport /3/. Parallellt med detta har forskning bedrivits på universitet och högskolor över hela världen. I Sverige är främst två institutioner aktiva på området:

- Kungliga Tekniska Högskolan (KTH), Institutionen för Energiteknik, avd för Tillämpad termodynamik och Kylteknik, i Stockholm under ledning av prof. Eric Granryd
- Chalmers Tekniska Högskola (CTH), Institutionen för Värmeteknik och Maskinlära under ledning av prof. Tore Berntsson.

AVVECKLINGSPLANER FÖR OZONNEDBRYTANDE KÖLDMEDIER

Det finns idag klara riktlinjer för när konvertering av kylanläggningar med ozonnedbrytande arbetsmedier skall ske /4/. De absolut vanligaste köldmedierna som initialt berörs är R12, R500 och R502. Regeringen har fattat principbeslut om att anta Naturvårdsverkets förslag. En proposition (1994/95:119) har förelagts riksdagen i syfte att få en bred förankring för ett antal miljöåtgärder. Avvecklingsbesluten finns med i denna proposition. Förslaget har anmälts till EFTA, GATT och EU. Sverige har svarat EU att förslagen kommer att genomföras. Följande gäller alltså för våra fyra vanligaste köldmedier /4/:

ASHRAE Nummer	Typ av köldmedium	Importstopp[2]/ Installations-förbud	Påfyllnads-stopp	Användnings-förbud	Andel av den totala köldmediefyllningen[3] i Sverige /5/
R12	CFC	1/1 1995	1/1 1998	1/1 2000	32%
R500	CFC	1/1 1995	1/1 1998	1/1 2000	6%
R502	CFC	1/1 1995	1/1 1998	1/1 2000	12%
R22	HCFC	1/1 1998	1/1 2002	1/1 2015[4]	50%

Tab 1. *Avvecklingsplaner för de vanligaste ozonnedbrytande köldmedierna. Den procentuella fördelningen baserar sig på rapporten "Kyl- och värmepumpanläggningar i Sverige" /5/.*

[1] AREP står för Alternative Refrigerant Evaluation Program
[2] Från icke EU-länder.
[3] I den undersökning som refereras /5/ bortses från förekomsten av övriga köldmedier.
[4] I enlighet med EU-beslut, EU menar troligen anv. i nya anläggningar men tidigare nedskärningar diskuteras.

KONVERTERING ELLER NYBYGGNAD

Det är viktigt att skilja på konvertering och nybyggnad när man diskuterar de nya köldmedierna. Förutsättningarna för att välja ett nytt köldmedium, utan negativa miljöeffekter, är naturligtvis större vid en nyprojektering än vid en konvertering av en befintlig anläggning. I det senare fallet är kraven på det nya köldmediet av den arten av att något enstaka köldmedium, eller i vissa inget alls, uppfyller kraven till 100%. Anläggningens status och kvarvarande livslängd inverkar helt naturligt på valet mellan konvertering och nybyggnad.

KONVERTERINGSMETODER

De inom kylbranschen utarbetade konverteringsmetoderna fungerar tillfredsställande i de allra flesta fallen om fukthalten för den använda esteroljan kan hållas på en låg nivå (ca 50 ppm) /6/. Vad som inte är lika självklart är huruvida gamla kylanläggningar skall konverteras eller om man skall bygga nytt. Denna bedömning måste ske från fall till fall. Konverteringsanvisningar har utarbetats av t.ex. AKA Kyla AB /7/. En utförlig konverteringsmanual publicerades helt nyligen av SINTEF i Trondheim /8/.

I huvudsak skiljer man på två olika konverteringsmetoder: Antingen används den s.k. *oljebytarmetoden* eller något slags *konverteringsaggregat*[5]. Oljebytarmetoden innebär upp till fyra oljebyten eller tills restmineraloljehalten understiger 1%. Med ett konverteringsaggregat krävs, i princip, endast ett oljebyte.

VAL AV KÖLDMEDIUM

Det finns ett relativt stort antal föreslagna köldmedier som är aktuella idag. De flesta av dessa är av HFC-typ. Några av dem är fortfarande relativt oprövade medan andra, främst R134a, är väl beprövade. Ett relativt stort antal anläggningar har idag konverterats från R12 (och R500) till R134a. Även konvertering av anläggningar med arbetsmediet R502 har påbörjats. Här är det främst köldmedieblandningen R404A som blivit aktuell /9/.

Konvertering av R22 anläggningar har studerats, men här ligger arbetet till stor del på forskningsnivå. Ett intressant ersättningsmedel för R22 är R407C som är en sk köldmedieblandning. R407C är, till skillnad från R404A, ett ***zeotropt*** köldmedium[6]. Detta innebär att kokning och kondensering inte längre sker vid konstant temperatur. Detta brukar ofta refereras till som ***glide*** (begreppet förklaras mer ingående senare i texten). De för- och nackdelar detta innebär för kylprocessen studeras f.n. på många håll. Syftet med denna sammanställning är i huvudsak en orientering om de alternativa köldmedier som diskuteras idag. Systemtekniska, såväl som värmeöverföringsmässiga aspekter rapporteras separat inom det gemensamma NUTEK programmet för alternativa köldmedier.

Flera av de köldmedier ssa medier är idag, av olika skäl, inte lämpliga vid konvertering av befintliga anläggningar. Detta gäller framförallt de brännbara arbetsmedierna propan och isobutan där en konvertering kan innebär stora merkostnader på grund av säkerhetsaspekterna. På samma sätt är det i stort sett omöjligt att konvertera en befintlig anläggning till ammoniak (NH_3). För nybyggnation är naturligtvis dessa medier av stort intresse. I sex tabeller ges exempel på föreslagna ersättningsmedel för, i tur och ordning R12 (R500), R502 och R22. Lämplighet vid konvertering diskuteras i tab. 3,5,7. Dessa mediers för och nackdelar redovisas

[5] Ett antal olika aggregat finns idag på marknaden.
[6] R404A är inte en azeotrop. Den ligger dock mycket nära med en liten s.k. glide.

översiktligt med några korta kommentarer. Som ett komplement till informationen i tabellerna anges mediernas ångtryckskurvor i figur 1-3.

R12, R500

ASHRAE Nummer	Sammansättning Viktsproc. (%)	ODP	HGWP	Glide	Normal Kokpunkt	Volymetrisk köldalstring[7]	Handelsnamn	Not
R12	R12 100%	1	3.06	0 K	-29.8	100%	Olika	CFC
R500	R12/R152a 73.8/26.2%	0.738	2.22	0 K	-33.5	114%	Olika	CFC/ Azeotrop
R134a	R134a 100%	0	0.24	0 K	-26.1	98%	Olika	
R152a	R152a 100%	0	0.03	0 K	-24.0	101%	Olika	Något Brännbar
R600a	R600a 100%	0	0	0 K	-11.7	53%	Isobutan	Brännbar
RC270	R270 100%	0	0	0 K	-32.9	125%	Cyklopropan	Brännbar
R600a/ R290	R600a/R290 t.ex: 50/50%[8]	0	0	Olika	beror på konc.	89%	Olika	Brännbar/ zeotrop
R717	R717 100%	0	0	0 K	-33.3	202%[9]	Ammoniak	Brännbar / Giftig

Tab 1. *R12, R500 och möjliga ersättningar vid konvertering eller nybyggnation.*

Huvudalternativet för R12 konvertering är som tidigare sagts R134a. De brännbara medierna har främst blivit aktuella i mindre hermetiska system (i huvudsak kyl och frys för hembruk). Ett mindre antal pilotanläggningar har dock byggts med propan.

SAMMANSÄTTNING

I tabellen förekommer några olika begrepp. Sammansättningen anges då vissa medier är blandningar mellan rena köldmedier. En blandning kan ibland uppträda som ett rent köldmedium, dvs det kokar och kondenserar med konstant temperatur. Man brukar säga att köldmediet är en ***azeotrop***. Blandningen mellan kolväten som isobutan och propan (R600a/R290) är ett exempel på det motsatta. Här kokar köldmedieblandningen med ***glidande temperatur*** och samtidig koncentrationsförskjutning. När allt köldmedium är förångat återfås ursprungskoncentrationen. Denna typ av köldmedier brukar benämna ***zeotroper***. Ett exempel på en aktuell zeotrop är R407C som föreslås som en ersättare till R22.

I litteraturen diskuteras ofta riskerna med koncentrationsförskjutningar. Med detta menar man att den cirkulerande sammansättningen avviker från den initialt påfyllda (det som fanns i flaskan). Konsekvenserna av detta kan vara en något förändrad karakteristik och, i vissa

[7] Den volymetriska köldalstringen är beräknad för en grundprocess arbetande med 0°C Förångning och 60°C kondensering. Ingen underkylning och ingen överhettning. För de köldmedier som uppvisar glide är förångnings och kondenseringtemperaturen definierad enligt AREP /3/.

[8] Olika sammansättning har provats för ersättning av R12 i vitvaror av tex Electrolux.

[9] En kondensering på 60°C är högt för Ammoniak. Forskning pågår dock för att höja den övre gränsen för ammoniak.

extremfall, risk för att köldmediet blir brännbart. Mycket av det som rapporteras i litteraturen tyder dock på att farhågorna för koncentrationsförskjutningar är överdrivna.

Orsakerna till koncentrationsförskjutningar kan vara:

- *Apparattekniska orsaker.* Då koncentrationen är olika på den först avkokade köldmedieångan finns det en förutsättning att "destillera" köldmediet med den effekten att den mest svårkokande komponenten anrikas i förångaren. På samma sätt kan en komponent anrikas i gasfas i en tubpannekondensor (med försämrad värmeövergång som följd).
- *Läckage.* Om läckan finns där koncentrationen avviker från den cirkulerande kan sammansättningen ändras.
- *Olika löslighet i kompressoroljan.* Om en av flera komponenter har betydligt större löslighet i kompressoroljan kan den cirkulerande sammansättningen avvika från den påfyllda.

Av ovannämda "problem" är det troligen den försämrade värmeövergången i vissa kondensortyper som är av störst vikt (framförallt tubpannor). Läckage har behandlats såväl teoretiskt som experimentellt med slutsatsen att läckage inte innebär några större koncentrationsförändringar. I fall med mycket små fyllnadsmängder och relativt mycket kompressorolja kan koncentrationen påverkas av detta.

ODP och HGWP

ODP står för Ozone Depletion Potential, dvs köldmediets förmåga att bryta ned ozon i stratosfären. Värdena i denna artikel är hämtade från FERRET, en väl ansedd amerikansk databas /10/. HGWP (eller GWP) är motsvarande beteckning på köldmediets bidrag till växthuseffekten. När HGWP anges används köldmediet R11 som referens. GWP anger att CO_2 är referensen. Enligt naturvårdsverket bör, vid val av köldmedium, ett nollvärde på ODP prioriteras framför ett lågt värde på HGWP /11/.

GLIDE

Den temperaturändring som uppstår vid kokning och kondensation med zeotropa köldmedier brukar i dagligt tal kallas för ***glide*** (eller temperaturglidning). Ibland refereras till ***glide-köldmedier*** i stället för zeotroper. Storleken på "gliden" varierar för olika köldmedieblandningar från några tiondelar upp till 20 K.

Temperaturglidningen innebär såväl för- som nackdelar. Fördelarna är en potential för höjd verkningsgrad om motströms värmeväxlare används. Nackdelen är en något försämrad värmeövergång i förångare och kondensor. I vissa typer av värmeväxlare kan en kraftigt försämrad värmeövergång erhållas (t.ex. tubpannekondensorer med utvändig kondensering på rör). Till detta ***kan*** oönskade fenomen som t.ex. koncentrationsförskjutningar tillkomma.

I samband med begreppet glide kan det vara på sin plats att rekapitulera de definitioner som idag kommit till användning för begreppet förångnings- och kondenseringstemperatur. För rena medier är detta inget problem men för zeotropa köldmedieblandningar erfordras en annan definition (överenskommen i det sk AREP-programmet /1/):

Förångningstemperaturen definieras av medelvärdet på köldmedietemperaturen efter strypventilen och temperaturen då den sista vätskedroppen förångas i förångaren (temperaturen på

övre gränskurvan). Motsvarande definition för kondenseringstemperaturen är medelvärdet på temperaturen på den första och sista kondensatdroppen som bildas i kondensorn (temperaturen på övre och nedre gränskurvan vid samma tryck). Dessa definitioner kan till en början verka otympliga men de ger ändå en rättvisande bild av kylprocessen. En mer fullständig beskrivning ges i /3/.

En hel del intressant forskning kring dessa typer av arbetsmedier utförs idag, inte minst i Sverige. I samband med detta har material publicerats i olika forum. En någorlunda lättläst introduktion till *glideköldmedier* gavs nyligen av P. Rohlin i Tidningen Scanref /12/. Det mest aktuella f.n. är en doktorsavhandling som behandlar köldmedier med glide vid CTH av Marine Högberg. Arbetets titel är "Non-azeotropic Mixtures as Working Fluids in Heat Pumps: A Theoretical and Experimental Study" /13/.

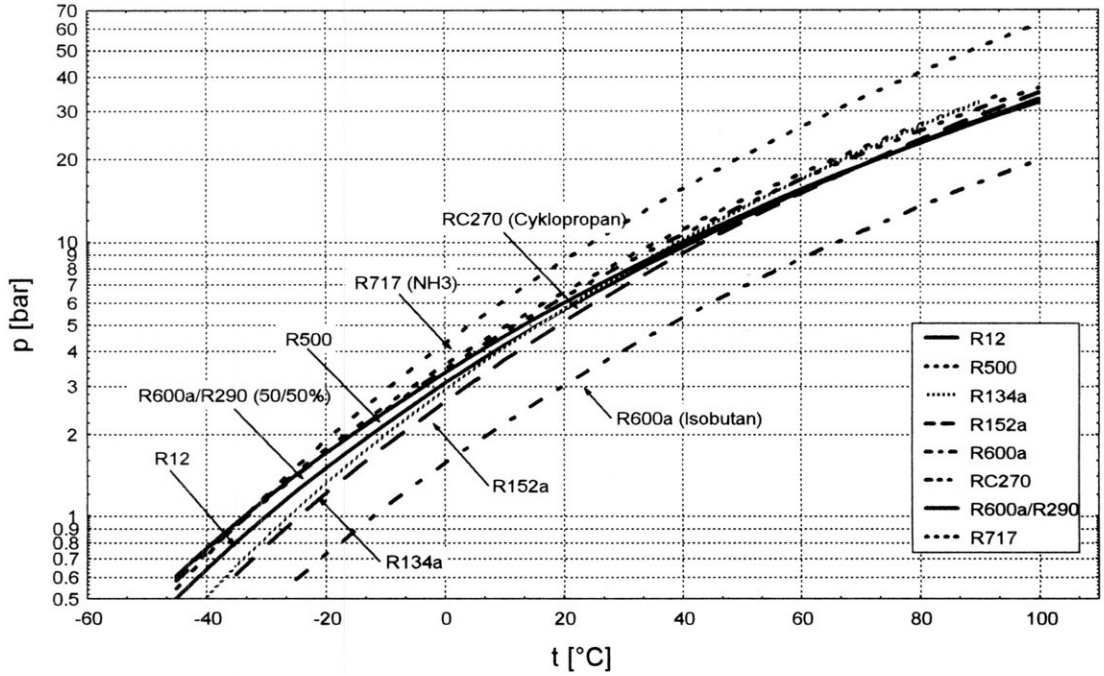
NORMAL KOKPUNKT OCH VOLYMETERISK KÖLDALSTRING

En jämförelse av köldmediets kokpunkt vid atmosfärstryck ger en indikation på hur väl köldmediet *passar* rent termodynamiskt vid en konvertering. Om den normala kokpunkten avviker kraftigt kommer även trycknivåerna efter en konvertering att skilja sig kraftigt. Till detta skall en jämförelse av köldmediets volymetriska köldalstring läggas. Det är ett mått på den kyleffekt som fås med en kompressor med lika slagvolym. I tabell 1 är den beräknad för en sk. grundprocess arbetande mellan 0°C förångning och 60°C kondensering. Här fås en indikation på om kompressorn i anläggningen behöver justeras. Köldmediernas ångtryckskurva ger en bild av hur trycknivåerna ser ut över hela temperaturområdet. Figur 1-3 har därför inkluderats som ett komplement. Beräkningar av ångtryckskurvor och grundprocess har gjorts i ett dataprogram för termodynamiska data för köldmedier, *Refprop 4.0* /14/.

ASHRAE Nummer	Konvertering	Nya Anläggningar	Fördelar	Nackdelar
R12				
R500				
R134a	Ja	Ja	Väl beprövad Goda metoder finns för konvertering	Kräver esterolja
R152a	Ja	Ja	Beprövad Bra verkningsgrad Mineralolja	Ngt brännbar Marknadsförs ej av köldmedietillverkarna
R600a	Tveksamt	Ja	Billigt Bra verkningsgrad Mineralolja	Brännbar Lägre kyleffekt
RC270	Tveksamt	Ja	Bra verkningsgrad Mineralolja	Hög tryckrörstemp Oprövad
R600a/ R290	Tveksamt	Ja	Billigt Mineralolja	Glide[10] Brännbar
R717	Nej	Ja	God verkningsgrad Känd teknik	Dyrt i små system Ej så hög kondensering Giftig/Brännbar

Tab 2. *Lämplighet för konvertering kontra nybyggnation samt för och nackdelar med köldmedier i tabell 1.*

[10] Att ett köldmedium har en glide upplevs idag av många i huvudsak som en nackdel. Det finns dock tillämpningar då detta, rent termodynamiskt, innbär en potential för betydande verkningsgradsförbättringar.



Figur 1. *Ångtryckskurvor för R12 och R500 ersättningar. Kurvorna baserar sig på beräkningar utförda med Refprop 4.0 /14/. För glideköldmedier är endast den sk bubbelpunktskurvan representerad.*

KONVERTERING ELLER NYBYGGNAD

Tabell 3 är ett försök att subjektivt värdera de föreslagna köldmedierna med avseende på lämplighet för konvertering eller nybyggnad. Några kortfattade för- och nackdelar anges. Dessa får ses som författarnas egna ståndpunkter. Uppfattningen om vissa köldmedier varierar kraftigt. Ett ***ja*** i rutan för konvertering innebär inte att köldmediet förutsättningslöst kan användas. Ett ja innebär att inga ***större*** tekniska hinder råder. Av naturliga skäl är möjligheterna större vid nybyggnation än vid konvertering. Ett belysande exempel är huruvida brännbarheten för R152a är att betrakta som ett större tekniskt hinder. Denna fråga behandlas inte i denna översiktliga artikel.

Riskbedömningar för installationer med propan/isobutan har nyligen behandlats av Jan-Erik Nowacki inom NUTEK- programmet (projekt B1 Riskanalyser).

R502

Förutsättningarna för konvertering av R502 anläggningar är något annorlunda än för R12. Det finns ingen motsvarighet till R134a för dessa anläggningar (ett rent ämne med passande ångtryckskurva och volymetrisk köldalstring). I stället har ett flertal olika alternativa köldmedieblandningar föreslagits av de olika köldmedietillverkarna som i detta fall valt något olika strategi. Denna kortfattade rapport medger tyvärr inte jämförelser av dessa olika blandningar.

På samma sätt som för R12 ges här motsvarande tabeller och kurvor för R502 och dess föreslagna ersättningsmedel. Den volymetriska köldalstringen är här beräknad för en grundprocess som arbetar mellan -30°C och +30°C. För en verklig anläggning bör naturligtvis

en jämförelse göras vid de aktuella temperaturnivåer som gäller. R404A har hittills dominerat marknaden i Sverige. Orsaken till detta är att den är en sk "nära azeotrop", dvs den har mycket liten glide och uppför sig därför som ett rent köldmedium.

ASHRAE Nummer	Sammansättning Viktsproc. (%)	ODP	HGWP	Glide	Normal Kokpunkt	Volymetrisk köldalstring[11]	Handelsnamn	Not
R502	R22/R115 48.8/51.2%	0.283	4.02	0 K	-45.4	100%	Olika	CFC
R404A	143a/125/134a 52/44/4%	0	0.94	0.3 - 0.7 K	-45.8/ -44.9	99%	HP 62[12] FX 70	Nära azeotrop
R407A	32/125/134a 20/40/40	0	0.49	4.6 - 6.4 K	-45.5/ -38.9	97%	KLEA60	zeotrop
R407B	32/125/134a 10/70/20	0	0.70	2.5 - 4.1 K	-47.3/ -42.9	98%	KLEA61	zeotrop
R507	125/143a 50/50	0	0.96	ca 0 K	-46.7	102%	AZ 50	Nära azeotrop
R290	R290 100%	0	0	0 K	-42.1	87%	Propan	Brännbar
R717	R717 100%	0	0	0 K	-33.3	97%	Ammoniak	Brännbar Giftig

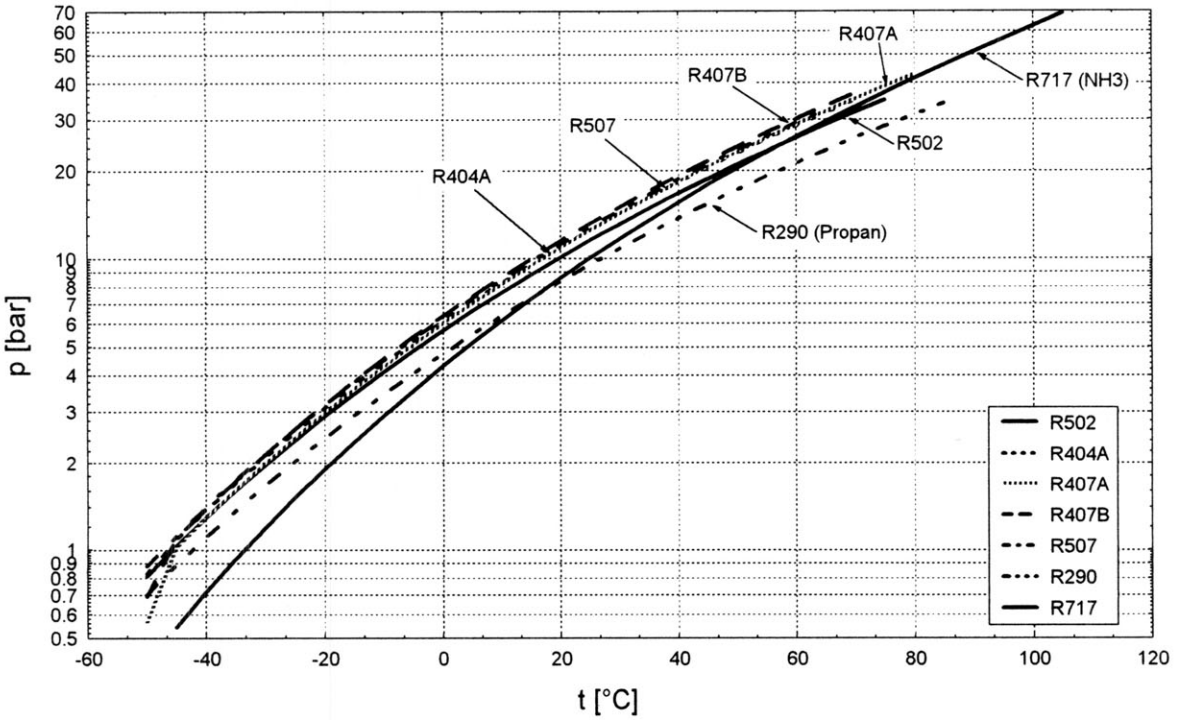
Tab. 3. *R502 och möjliga ersättningar vid konvertering. R404A är det idag vanligaste alternativet. R407A och B är sk zeotroper.*

ASHRAE Nummer	Konvertering	Nya Anläggningar	Fördelar	Nackdelar
R502				
R404A	Ja	Ja	Väl beprövad Erfarenheter finns	Kräver esterolja
R407A	Ja	Ja	Kan ge god köldfaktor om gliden kan utnyttjas på rätt sätt	Kräver esterolja glide
R407B	Ja	Ja	Kan ge god köldfaktor om gliden kan utnyttjas på rätt sätt	Kräver esterolja glide
R507	Ja	Ja		Kräver esterolja
R290	Tveksamt	Ja	Mineralolja	Brännbar
R717	Nej	Ja	God verkningsgrad Känd teknik	Dyrt i små system Giftig/Brännbar

Tab. 4. *Lämplighet för konvertering kontra nybyggnation samt för och nackdelar med köldmedier i tabell 3.*

[11] Den volymetriska köldalstringen är beräknad för en grundprocess arbetande med -30°C Förångning och +30°C Kondensering. Ingen underkylning och ingen överhettning. För de köldmedier som uppvisar glide är förångnings och kondenseringtemperaturen definierad enligt AREP /3/.

[12] Egentligen SUVA HP62



Figur 2. *Ångtryckskurvor för R502-ersättningar. Kurvorna baserar sig på beräkningar utförda med Refprop 4.0 /14/. NH_3 är inte tänkt som ett konverteringsmedel utan är endast medtagen för fullständighets skull. För glideköldmedier är endast den sk bubbelpunktskurvan representerad.*

R22

På samma sätt som för R502 är de alternativa köldmedierna för R22 blandningar av flera komponenter eller naturliga köldmedier såsom propan eller ammoniak. Det mest aktuella för konvertering är R407C som nu provas i ett flertal anläggningar i laboratorium och på fältet. Ett projekt som pågår refereras i bilaga 5 där konvertering av mjölktankar från R22 till R407C beskrivs.

På sikt är intresset stort för blandningar av R32 och R125 som dessvärre ger en förhöjd trycknivå i systemet och därmed ej lämpar sig för konvertering. Blandningen R32/R125 studeras för närvarande av ett flertal aktörer. En aktuell rapport med titeln "Skruvkompressor-prestanda med köldmedieblandningen R32/125" /15/ föreligger för närvarande. Här har prestanda för en skruvkompressor ingående studerats i ett samarbete mellan ABB Stal Refrigeration i Norrköping och KTH kylteknik (projektet ingår i NUTEK programmet under D2). Detta arbete fortsätter med studier av köldmedierna R404A och R407C.

För nya anläggningar är propan ett mycket intressant alternativ och många projekt pågår för närvarande. En del kyl- och värmepumpanläggningar finns idag på marknaden med propan eller isobutan som arbetsmedium. Som ett exempel saluför nu ElectroStandard i Katrineholm sin frånluftvärmepump AquaES 380/480 med propan som arbetsmedium.

ASHRAE Nummer	Sammansättning Viktsproc. (%)	ODP	HGWP	Glide	Normal Kokpunkt	Volymetrisk köldalstring[13]	Handelsnamn	Not
R22	R22 100%	0.055	0.37	0 K	-40.8	100%	Olika	HCFC
R407C	32/125/134a 23/25/52	0	0.29	5-7 K	-43.6/ -36.8	97%	SUVA 9000[14] KLEA66	Glide
R410A	R32/R125 50/50	0	0.41	ca 0 K	-52.7	141%	AZ20	Nära azeotrop
R410B	R32/R125 45/55	0	0.49	ca 0 K	-51.8/	137%	SUVA 9100[10]	Nära azeotrop
R290	R290 100%	0	0	0 K	-42.1	82%	Propan	Brännbar
R717	R717 100%	0	0	0 K	-33.3	112%	Ammoniak	Brännbar Giftig
R507	125/143a 50/50	0	0.96	ca 0 K	-46.7	96%	AZ50	Nära azeotrop

Tab. 5. *R22 och möjliga ersättningsmedier. För konvertering är troligen endast R407C aktuell då R410A och B ger betydligt högre systemtryck vid lika driftstemperaturer.*

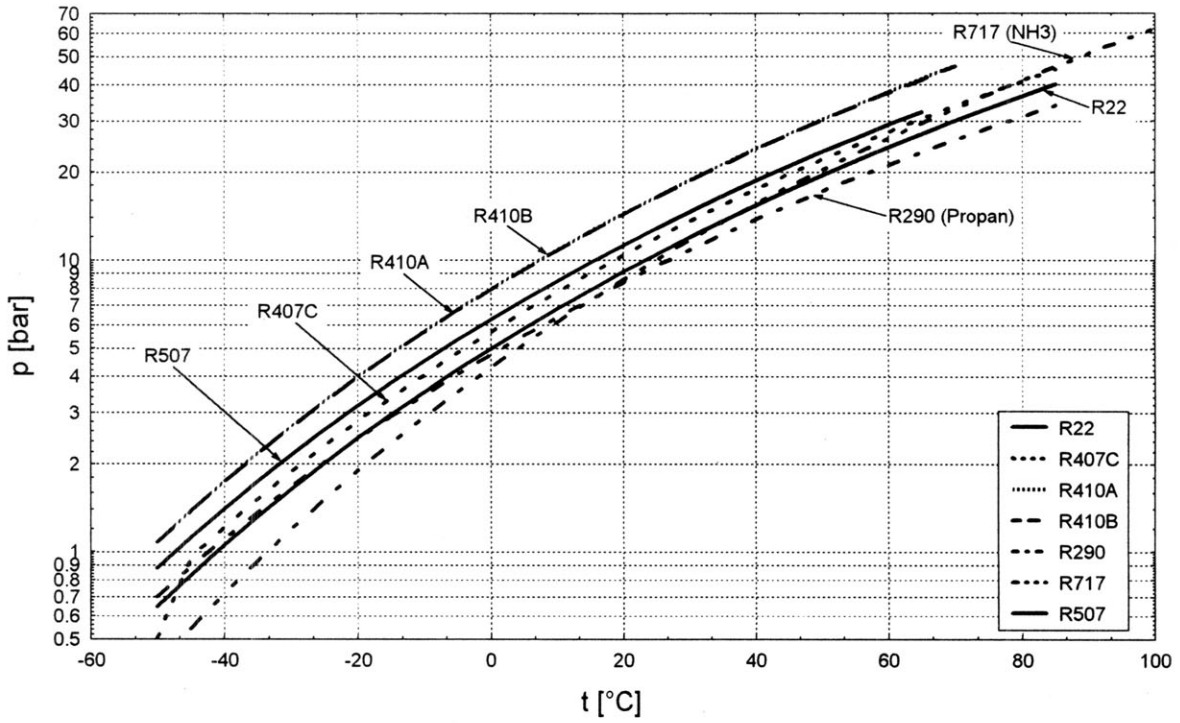
ASHRAE Nummer	Konverering	Nya Anläggningar	Fördelar	Nackdelar
R22				
R407C	Ja[15]	Ja	Liknar R22 i ångtrycks kurva och köldalstring vid moderata förångningstemperaturer. Lägre tryckrörstemperaturer	Glide Lägre köldalstring vid låga förångningstemperaturer (<-10°C)
R410A	Tveksamt	Ja	Ingen glide	Högre tryckнivåer
R410B	Tveksamt	Ja	Ingen glide	Högre tryckнivåer
R290	Tveksamt	Ja	Bra termodynamiskt	Brännbar
R717 (ammoniak)	Nej	Ja	Bra termodynamiskt	Dyrt i små system
R507	Ja	Ja		

Tab. 6. *Lämplighet för konvertering kontra nybyggnation samt för och nackdelar med köldmedier i tabell 5.*

[13] Den volymetriska köldalstringen är beräknad för en grundprocess arbetande med -5°C Förångning och +45°C Kondensering. Ingen underkylning och ingen överhettning. För de köldmedier som uppvisar glide är förångnings och kondenseringtemperaturen definierad enligt AREP /3/.

[14] Egentligen SUVA AC9000 resp SUVA AC9100

[15] Då R407C har en förhållandevis stor glide måste detta beaktas för att en tillfredsställande verkningsgrad bibehålls



Figur 3. *Ångtryckskurvor för R22 ersättningar. Kurvorna baserar sig på beräkningar utförda med Refprop 4.0 /14/. NH_3 är inte tänkt som ett konverteringsmedium utan är endast medtagen för fullständighets skull. För glideköldmedier är endast den sk bubbelpunktskurvan representerad.*

REFERENSER

/1/ **Godwin, D., Menzer, M.**, 1993, "Results of Compressor Calorimeter Tests in ARI's R-22 Alternative Refrigerants Evaluation Program", ASHRAE/NIST Refrigerant conference, Gaitersburg.

/2/ **Morikawa, Y.**, "R-22, R-502 Alternative Refrigerant Evaluation Program in Japanese Industry", ASHRAE/NIST Refrigerant conference, Gaitersburg.

/3/ **Lundqvist, P.**, 1994, " Att jämföra köldmedier för konvertering från R502...", Presentation vid informationsdag på NUTEK 1995-02-09

/4/ **Rosenqvist, P**., 1995, "Myndighetskrav i Sverige och internationellt", Föredrag vid informationsdag på NUTEK, 9/2 1995.

/5/ **Göransson, P.**, et.al., 1994, "Kyl- och värmepumpanläggningar i Sverige", Rapport utarbetad av ÅF-VVS PROJEKT för Kylbranchens Samarbetsstiftelse, KYS

/6/ **Herbe, L.**, 1995, " Projekt A1. konvertering", Föredrag vid informationsdag på NUTEK, 9/2 1995.

/7/ **Berglöf, K.**, 1995, "Experience of retrofits to new HFC Refrigerants", Workshop Proceedings, Consequenses of (H)CFC Replacement in HVAC Applications, Gothenburg, september 7-8, 1994

/8/ Konverteringsmanual , SINTEF

/9/ **Berglöf, K.**, 1995, "Gamla och nya medier, tillgång och användning", Föredrag vid informationsdag på NUTEK, 9/2 1995.

/10/ **Calm, J.M.**, 1995, "FERRET, Refrigerant Database - version 1.15", 10 887 Woodleaf Lane, Great Falls, VA 22066-3003 USA

/11/ **Per Rosenqvist**, SNV, Muntligt samtal

/12/ **Rohlin, P**., 1994, "Köldmedieblandningar som arbetsmedier i kyl- och värmepumpanläggningar", Scanref 1993, nr 4 (kondenserad version)

/13/ **Högberg M.**, 1995, " Non-azeotropic Mixtures as Working Fluids in Heat Pumps: A Theoretical and Experimental Study", Doktorsavhandling vid CTH, Institutionen för Värme och kraftteknologi.

/14/ **McLinden, M.O., et. al,** 1993, "REFPROP Refrigerant Properties Database: Capabilities, Limitations and future directions", ASHRAE/NIST Refrigerant conference, Gaitersburg.

/15/ **Bjerkensjö, P.O.,** 1995, "Skruvkompressor-prestanda med köldmedieblandningen R32/125", Examensarbete i Kylteknik, KTH

CFC and HCFC refrigerants retrofit - - experiences and results[1]

Lars Herbe, Per Lundqvist

INTRODUCTION

Refrigerant retrofit is nowadays a well-known conception in the refrigeration branch. Conversion from CFC-12 to HFC-134a has been going on for five years with good results. R32-blends and R404A have been introduced on the market as a replacement for R-22 and R502. In Sweden several companies have started to convert to these media's. The results so far are promising when plant performance, i.e. kind of evaporator and condenser, age, COP etc., is taken into consideration.

Conversion from CFC to HFC media's involves a mixture of different substances. For example: A conversion from R12 and mineral oil to R134a and ester oil always leads to a mixture of the four substances, irrespective of how well the conversion work is carried through or which method that is used. In addition there will be moisture and metals (Fe, Al and Cu) present in most cases.

This paper discusses how high levels of residual mineral oil, residual CFC and moisture that are commonly found in converted plants. Maximum permissible levels are also discussed.

The chemical stability in a refrigerant or heat pump plant depends on many factors. Presence of the substances mentioned above, in combination with high discharge temperatures, may lead to number of problems such as:

- chemical instability.
- hydrolyse of the ester oil with alcohol and acid as a result.
- copper plating. The acid affects the copper which is set free and transported to the hot parts of the compressor where it migrates.

In order to examine the effect of different parameters, the work has been concentrated on three main areas. These are:

- Investigation of current retrofit practice with respect to conversion methods and practical experiences.
- Database of results from laboratory analysis of oil samples from converted plants.
- Lab tests of combinations of R134a, ester oil, residual R12, residual mineral oil and moisture.

CURRENT RETROFIT PRACTICE

A number of randomly selected enterprises in the refrigeration and heat pump branch were interviewed about their experiences from conversion. The enterprises ranged from consultants to installation and service companies. Together they handled approximately 20 000 converted plants, from small reciprocating compressor units to big central heating plants (heat pumps).

[1] A more extensive version of this paper was presented at the 19th International Conference of refrigeration, August 20-25, 1995, The Hague

The interview questions were divided into two main parts: questions about experienced problems, and questions about problems they had heard about.

Conclusions

All the interviewed companies believed that problems with copper plating and formation of acid could be avoided if only the recommended values were considered, i.e. residual mineral oil < 1% and moisture < 50ppm. The conclusions were:

- No problems will occur if the recommended values are followed.
- It is very important with a low moisture content, which is achieved by:
  - careful evacuation. A pressure level < 150Pa (1,5mbar) at t>15°C during 12h.
  - dry ester oil. The oil should not be exposed to the environment at any time. Several methods for oil filling without air contact have been developed.
- The fears for copper plating are exaggerated.

DATABASE

In corporation with two chemical laboratories, Mobil Oil in Sweden and Invicta in Norway, a database has been set-up. The database contains 600 test results from oil samples from converted refrigeration and heat pump plants, mainly R12 to R134a. The samples are taken before and after conversion. The database is a kind of register where each test result shows the levels of residual mineral oil, moisture, Fe, Al and Cu etc. There are totally 20 different substances for each sample. One can also se type of compressor, type of oil and operating time. The aim of collecting this material has been to:

- retrieve a good statistical basis on levels of residual mineral oil, moisture, acid and metals in existing plants.
- find new correlation's - for example combinations of materials leading to problems.
- be able to use the experiences in conversion of R502 and R22 plants, later on in the project.

What can be found in the refrigerant circuit?

Frequently occurring substances can be studied in the database. A collation of the substances measured in a standard oil analysis are shown in figure 1. The samples are randomly selected and comes from different converted plants.

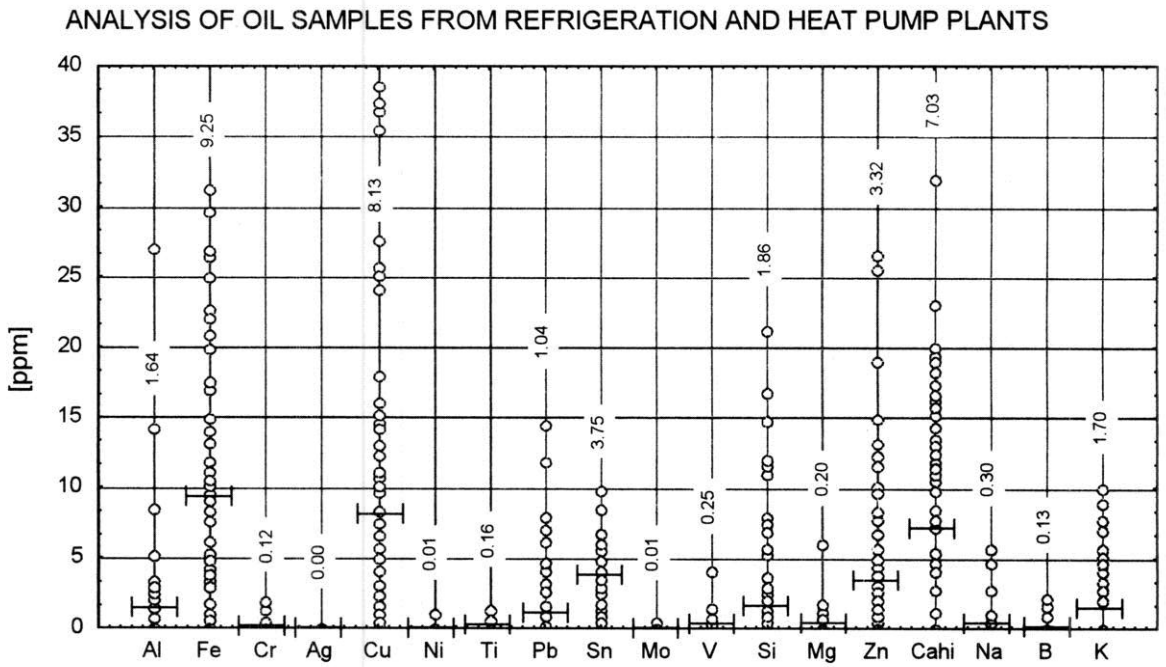


Figure 1. *Environment in refrigeration and heat pump plants.*

Each dot in the diagram represents a converted plant. Mean values are marked with a horizontal bar and with a number. For example the mean concentration of copper is 8,13 ppm, iron 9,25 ppm, aluminium 1,64 ppm and so on. The mean values are quite high depending on a few samples with extremely high levels, taken from plants which have had a break down. A better way of representing concentration levels, is in a histogram, see figure 2-6.
Some substances in figure 1, that are to be mentioned are: aluminium, iron and copper which indicates high compressor wear. Tin and lead comes from solder, valves and valve seats. Copper, tin, nickel and aluminium comes from valves and fittings made of brass and bronze alloys. High levels of silicon indicates that the filter-drier needs to be changed.

A better way to illustrate the concentration distribution for each substance is in a histogram. The following diagrams show the concentration distribution of copper, iron, aluminium, residual mineral oil, moisture and TAN in oil samples from converted refrigerant and heat pump plants. For example: 35% of the samples contained < 1 ppm of copper, see fig. 2. Adding the piles one can see that 75% of the samples contained < 7-8 ppm of copper. In the same way it is possible to establish that 75% of the samples contained:

- < 10 ppm iron.
- < 0,7-0,8 ppm aluminium.
- < 5% residual mineral oil.
- < 130 ppm moisture.
- < 0,07 mgKOH/g, TAN (Total Acid Number)

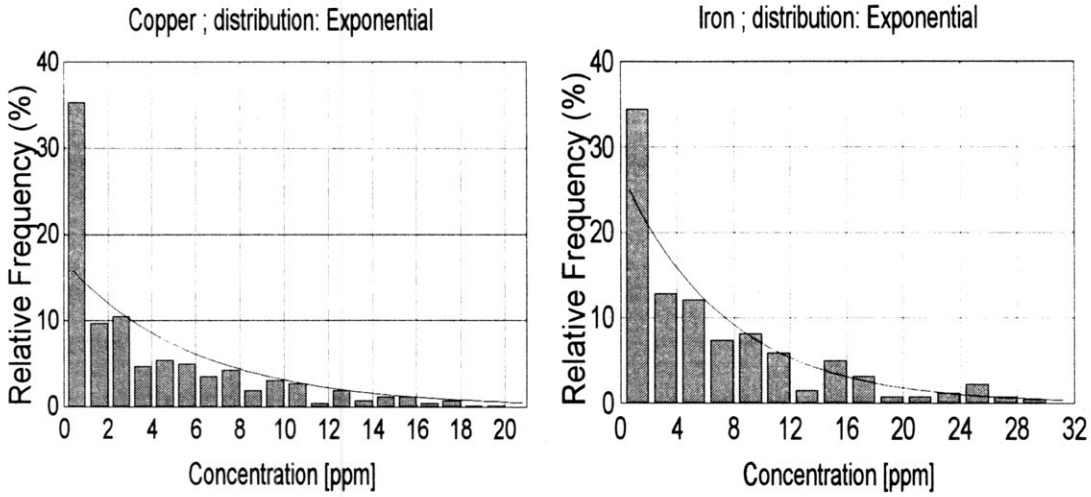


Figure 2 ,3. *Percentile distribution of Cu and Fe in oil samples from converted refrigeration and heat pump plants.*

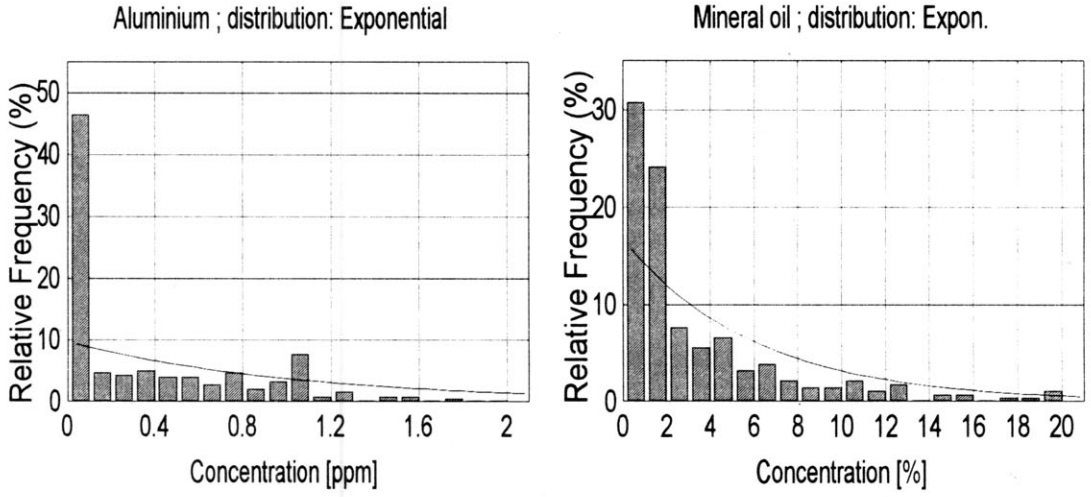


Figure 3, 4. *Percentile distribution of Al and residual mineral oil in oil samples from converted refrigeration and heat pump plants.*

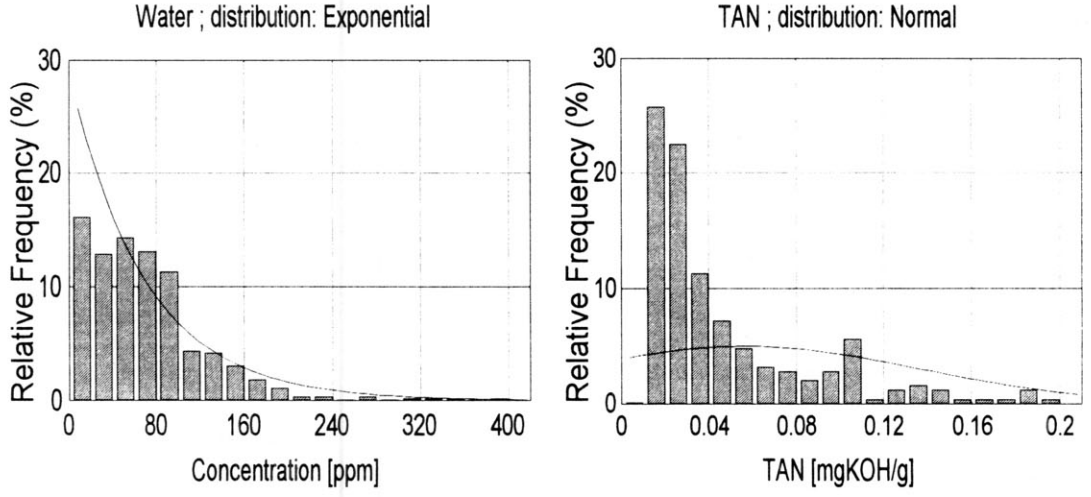


Figure 5, 6. *Percentile distribution of moisture and acid in oil samples from converted refrigeration and heat pump plants.*

At low moisture levels (<50ppm) the concentration distribution does not correspond to the expected exponential distribution, depending on different analyse methods used by different laboratories. By the same reason the distribution of TAN is irregular at low levels. The lowest detectable level is TAN = 0,01 mgKOH/g (Total Acid Level) with the presently used method.

The levels in the diagrams above are likely to be higher than if samples were taken on randomly selected plants in field operation. The reason for this is that some samples are taken due to some kind of problem or shortly after a conversion to check if the levels are low enough.

It has been difficult to find new correlation's, due to the great number of depending parameters. Figure 8. shows however a well known correlation. A high moisture content combined with high levels of Cu, Fe and Al causes high acid levels.

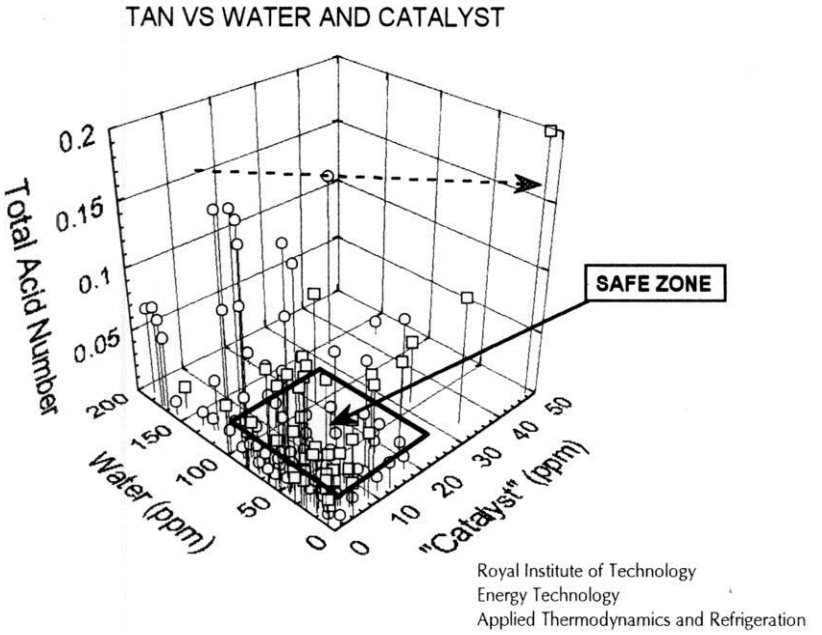


Figure 8. *Acid versus water and "catalyst". The catalyst is the mean value of Fe-, Al- and Cu-content.*

Figure 8. also shows that low levels of "catalyst" and moisture results in low acid levels.
Oil samples with high levels of acid and water but low catalyst levels, are probably taken just after a conversion. The ester oil has just started to hydrolyse to acid and alcohol. The acid has not yet affected the copper /1/2/3/. These samples are found as high piles in the left corner of diagram 8.
Oil samples with high catalyst (metal) and acid levels but low levels of water, are probably taken after long operating time. The water content has been consumed by hydrolysis, and the acid formed has affected the copper. The samples are found as high piles in the right corner.
If the samples were taken after a longer operating time, the high piles at the left corner of the diagram, would have ended up in the right corner, according to the above reasoning.

Results from Database study

After a comparison of the results from the database and the interview the following can be established:

- The maximum "tolerable" levels given by the refrigeration companies corresponds to the levels observed in the database. (Since the interviewed companies were randomly selected within the refrigeration branch their test results must be represented in the database.) Obviously they practise what they preaches.
- One can se which levels that are normal and acceptable, i.e. without any danger for acid formation, copper plating etc.. The interview gave at hand that no problems have occurred among the companies, and it is known by the database which levels that actually exists. These levels are: residual mineral oil < 2 - 5 % and moisture < 50 ppm.

LAB TESTS

Independently of which retrofit method used, there is a lot of money to save, partly in material (oil, refrigerant) and partly in work, if the maximum approved levels could be only slightly increased. Therefore laboratory tests has been initiated to examine the chemical stability in a system with various levels of moisture, residual mineral oil and residual R12.
The method chosen is Sealed Tube Tests in accordance with ANSI/ASHRAE Standard 97-1989, "Sealed glass tube method to test the chemical stability of material for use within refrigerant systems" /4/. Large refrigerant and oil enterprises have been contacted to investigate the work done in the area, to avoid doing unnecessary tests /5/6/7/8/9/10/.
The results so far indicate that the chemical stability is unaffected by moderate levels of moisture and mineral oil, (moisture <50ppm and min. oil <2%).
Different tested combinations are:

TEST MATRIX

HFC134a	CFC12	MIN OIL	MOIST	POE OIL	TIME	TEMP	Fe,Al,Cu
					OF AGING		
[%]	[ppm]	[%]	[ppm]	[%]	[DAYS]	[°C]	
	100	0	0		7	175	YES
	200	1	5		14	200	NO
	300	2	10		21		
	500	4	50		28		
	1000	10	100		56		
		15	200				
		20	500				
			1000				
			10000				

Figure 9. *Test matrix, Sealed Tube tests and Thermosiphon circulation circuit. Due to the number of possible combinations a selected number of tests will performed.*

The results from the tests will be presented orally at the conference.

Thermosiphon circulation circuit

As a complement to the sealed tube tests a thermosiphon circuit made of glass has been constructed. By using glass as the construction material the number of parameters affecting on the system can be controlled. In addition the process is similar to the one in a refrigeration system. There is a circulation of oil and refrigerant and the refrigerant undergoes a phase change. It is also possible to study the transportation of oil in the system.

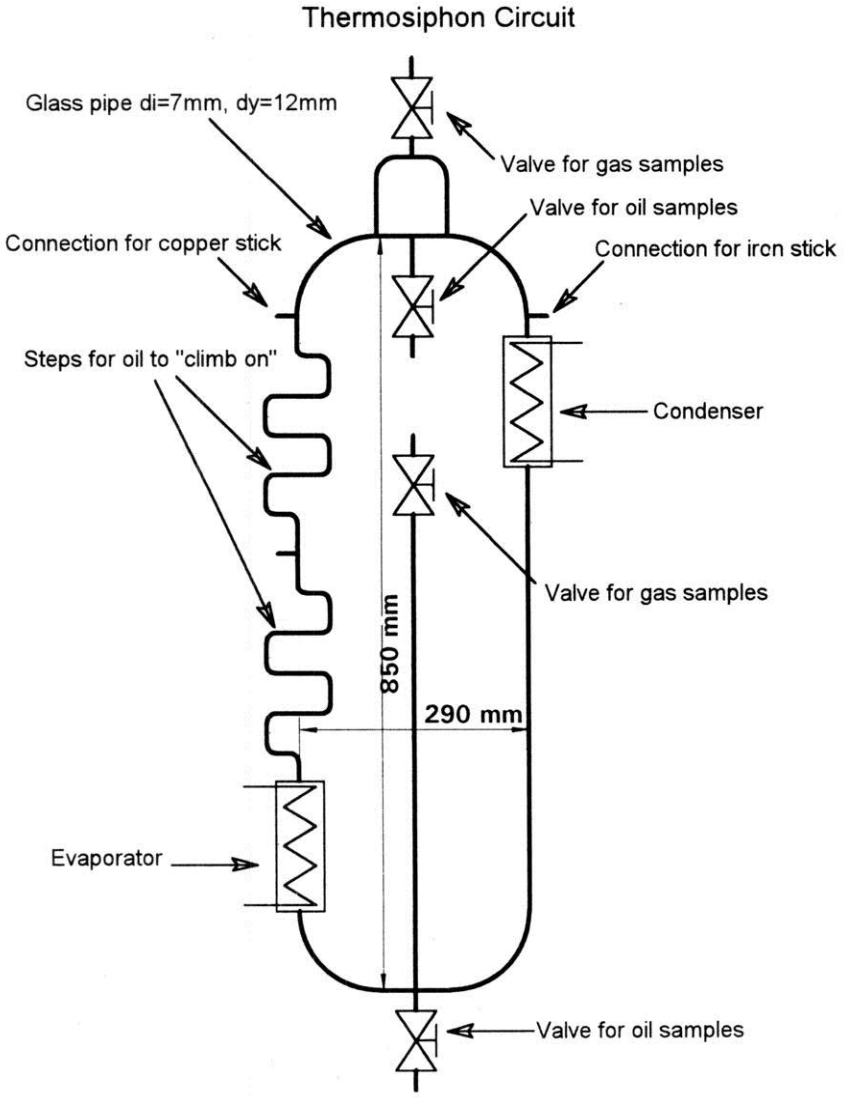


Figure 10. *Thermosiphon circulation circuit.*

Function: The refrigerant boils in the electric heated evaporator. After the evaporation the gas drags the oil along, upwards through the "steps". The horizontal steps are made for the oil to "climb" on. After the oil refrigerant mixture has passed the highest point it is lead down into the condenser. The driving "force" is the difference in weigh for the refrigerant/oil mixture in the both columns.

Oil and gas samples are taken through the four valves. There are three outlets were copper and iron sticks can be inserted, to examine transportation of copper to iron (copper plating).

REFERENCES

1. Masaki Nomura, Katsumi Sakitani, Susumu Hiodoshi, Masahiro Minowa, Tatsuya Kato, Daikin Industries Ltd, Osaka, Japan, "Evaluation of oils applicable to HFC134a", ASHRAE/NIST Refrigeration conference, Purdue, 1994.
2. Stephen Kujak, Todd Waite, The Trane Company, Wiscosin, USA, "Compatibility of motor materials with polyolester lubricants: Effect of moisture and weak acids", ASHRAE/NIST Refrigeration conference, Purdue, 1994.
3. Mikael Carlsson, Håkan Westlander, Industriell Ekonomi, KTH, "Konvertering av kylanläggningar", projekt inom högrekursen, Stockholm, 1994.
4. ANSI/ASHRAE Standard 97-1989, "Sealed glass tube method to test the chemical stability of material for use within refrigerant systems", Atalanta, 1989.
5. Information concerning "Factors Affecting Copper Plating Phenomena...", Du Pont Chemicals, Wilmington, Delaware, USA.
6. Information concerning Thermal and hydrolytic stability of ester oils, Castrol International, Reading, UK, 1994.
7. Information concerning Stability in systems with ester oil and R134a, CPI Engineering Services INC., Midland, USA, 1994.
8. Information concerning Typical physical properties of ester oils, Mobil Oil AB, Danderyd, Sweden, 1995.
9. Personal communication with P D Guy and Tore Kofstad, ICI Klea England and Norway, 1995.
10. Personal communication with Klas Berglöf, AKA Kyla, Stockholm, Sweden, 1995.

ABSTRACT

This paper discusses levels of acid, moisture and residual mineral oil in converted refrigerant and heat pump plants. The work has been concentrated on three main areas:

- Current retrofit practice.
- Database of results from laboratory analysis of oil samples from converted plants.
- Lab tests of combinations of R134a, ester oil, residual R12, residual mineral oil and moisture.

The current retrofit practice study, shows that most commonly used methods are satisfying as far as the moisture level is kept low. A comparison with the database study shows that measured values are at level with the target values, given by the refrigeration companies. As a complement Sealed Tube Tests have been initiated in order to further clarify the effect of different combinations of contaminants.

Experiences from CFC12 to HFC134a retrofit - a Swedish perspective[1]

Tekn. Dr. Per Lundqvist

Introduction

Replacement of R12 and R500 to R 134a in existing heat pumps and refrigerator is now well under way. The procedure for a so called *retrofit* have been frequently discussed in the refrigeration society. Several detailed guidelines for retrofit have been issued from compressor manufacturers or component suppliers /1,2/. The number of converted plants are however still a fraction of the total number and a lot of work remains to be done.

As all introductions of new technology there are some distinct phases in time:

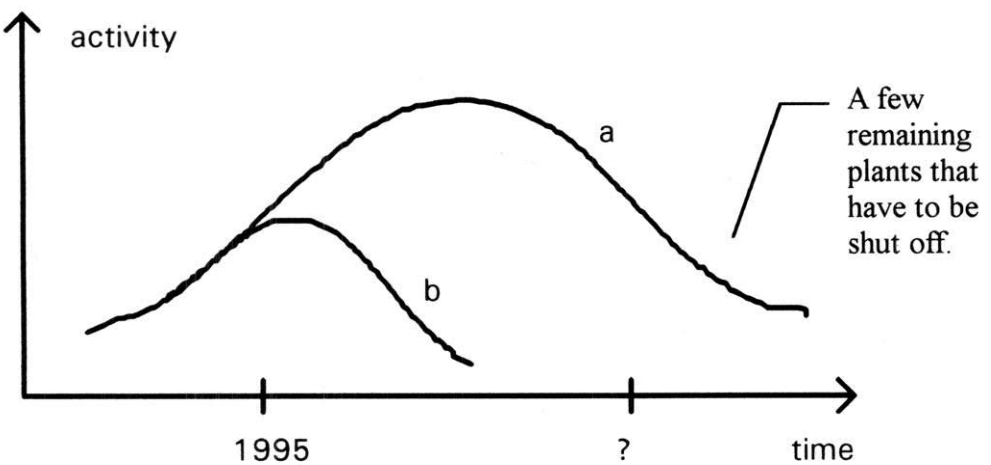


Figure 1. *Conversion activities*

The first phase, until now, has been characterised by the early pioneers. The work have, in Sweden, resulted in a relatively large number of converted plants and a great deal of experience. We are now entering the phase where the refrigeration society, as a whole, need to take action in the conversion activities. There are two curves in figure 1. In order to keep up with the agreed timetable for CFC-replacement[2], it is our duty to make sure that we make it to curve a!

In order to succeed, the results and experiences from conversions need to be *spread* to the refrigeration society in an objective way. If there are problems these have to be discussed. The difficulty, so far, is that the focus has been more on the problems than on the causes. This paper will briefly describe one project aiming to *scatter the clouds* for the future.

The situation in Sweden will first be described with respect to conversion activities.

---

[1] Paper at "Nordiska Ministerrådes" seminar:"Nordisk Seminar om Alternative Kuldemedier" OSLO, 27 September, 1994

[2] Stop for refilling 1998, Stop for use 2000.

Conversion activities

Some detailed experiences from conversions will be covered in a later section of this paper. The following overview is a result of interviews with a number of persons active in the field. Note that the numbers mentioned are rough estimates (This section originates largely from a presentation by Prof. Eric Granryd, KTH, Stockholm in September 1994 /3/.)

Large Heat Pumps:

In total there are about 100 large heat pumps in operation with heating capacities > 2 MW in Sweden. The average capacity of these is about 13 MW. The most frequent refrigerant originally installed is R12, but a number of these units are using R500, and several R22 (especially the largest). An estimate of the total refrigerant charge in these units points to about 700 tons of R12 and R500.

The first one to be converted was a large heat pump plant in Stockholm which was rebuilt from using R500 to instead use R134a /4/. It was in operation with R134a in June 1991 with very good availability since then. The work involved changes in the compressors, new packing materials, O-rings, oils, safety valves and control system. The necessary changes of the turbo compressors may be different in different systems: Changing compressor wheels, rotational speed and, in one case, an addition of a third compressor stage.

An enquiry among companies converting large heat pumps to use HFC-media indicates that a number of the plants have been converted to use R134a. Approximately 10 large units have been converted and are presently in operation with R134a. A few (about 5 units) are in the process of being converted and are thus under work, and still a few more have scheduled their change of refrigerant and may be classified as "orders".

For other types of heat pumps installed in commercial buildings, private homes etc. the degree of conversions is difficult to judge. The situation is probably similar to that for commercial installations (perhaps even a smaller degree of conversion).

Commercial installations:

This is a very important and active sector for conversion to new refrigerants. The sector contains installations in stores (which is the largest), in agricultural installations (primarily milk cooling tanks) and installations for process cooling of equipment in small industries, electronic installations and computer rooms as well as for air conditioning.

There are more than 6000 *shops*, primarily *grocery stores and large warehouses*. Many of these have more than one refrigerating systems, often several units, to keep foodstuff chilled or frozen. The total number of systems are at least 20 000 units and the total amount of CFC in these refrigerating plants is estimated to about 600 tons (R12 and R502).

One of the relatively large contractors in Sweden claims that they *have converted 800 (!) out of about 1000 systems* in their consumers stock from R12 to R134a and about 15 from R502 to R404a. Another contractor services one of the largest chains with about 2700 shops in which there is about 8000 refrigerating systems. Out of these *8000 systems about 150 have been converted* from R12 to use R134a (June 1994) and from R502 to use R404A.

Still another actor in this area promotes an alternative approach and have converted only few installations to use R134a. Instead the advice is to make a more thorough examination of the installation, exploring the possibilities to rebuild the plant so that the refrigerant charge is minimised, most often by using indirect systems. This solution also give a flexibility for future developments. One installation is done using *propane* in a central brine-cooler, and the experiences from that work are so far very positive.

Developments are also on the way using *ammonia* for relatively small brine cooling units. By using compact heat exchangers units with much smaller refrigerant charges can be built today than what used to be standard praxis. This increases the possibilities to use combustible or toxic refrigerants. There is an interest among some installers and developers to work with such systems.

Another area is *milk coolers:* The largest organisation in Sweden for handling milk is ARLA. They have an ambitious program for conversion from R12 to R134a. In total there are among their members about 16000 milk cooling tanks with originally R12, and still about 2000 units built for using R22.

Each year 20 to 30% of the milk coolers are moved. A standard procedure have been introduced to make a conversion to R134a in connection with such a change in installation. This means that a very rapid change is in progress. Today it is believed that perhaps 20% of all R12 milk coolers (or about 3000 units) have been converted. Experiments with conversion of milk coolers with R22 to R407c have started.

Process cooling equipment is another type of application. One of the largest user of special cooling equipment is Telia, the main telecom company in Sweden. Installations using R12 and R500 are being converted to use R134a. In the Stockholm region 6 installations of this type have been converted until today. This corresponds to 10% of the stock. The situation is believed to be similar in other regions of the country. For older plants the philosophy is to run the plants as long as it functions well and in the meantime prepare for a more thorough redesign of the plant. Installations using R22 are not being converted.

Mobile AC-systems:

Both Volvo and Saab-Scania are, since 1993, using R134a in their AC-installations in cars in production. Saab was the first one out introducing R134a in their passenger cars already in 92/93. No conversion of existing car Ac-installations is reported.

Some Refrigerant statistics...

The Swedish E.P.A (Naturvårdsverket) receives reports of installations with more than 10 kg of refrigerant charge. In November 1993 these reports covered more than 20 000 plants with more than 110 000 refrigerating systems (>10 kg charge). From the reports it can be concluded that the amount of refrigerant leakage is decreasing, especially for R12-systems. The numbers reported for R12 show leakage rates for 1990 of 24%; for 1991: 19% and for 1992: 17%. The leakage rates are reported to be smaller for R22 and R502 than for R12.

The **total installed amount of R134a** in plants which have been converted (primarily form R12) is estimated to be **300 to 350 tons** by end of August 1994.

The following table illustrates the **imports** of different refrigerants to Sweden for use in refrigerating systems. It is based on statistical data by a Swedish association of suppliers to Refrigeration industry (Svenska Kylgrossisters Förening).

Table 1 **Sales of Refrigerants in Sweden, tons/year.**
(Excluding charge in units imported filled with refrigerant)

Year:	**1990**		**1991**		**1992**		**1993**	
Type	Shipment	Returns	Shipment	Returns	Shipment	Returns	Shipment	Returns
CFC12	380	-22	335	-30	324	-33	293	-59
HCFC22	564	-26	565	-50	522	-42	435	-28
CFC500	151	-5	126	-10	113	-11	89	-9
others*)	31	-2	33	-1	53	-10	181	-47
Miscellaneous	-	-23	-	-25	-	-	-	-

*) Primarily HFC134a

One of the obvious observations is that the amount of CFC used as refrigerants only recently has started to decrease. The numbers for 1994, unfortunately not available at present time, will most probably show a steeper decrease in sales for CFC (R12 and R502).

The numbers related to the amount of *returned refrigerants* are an indicator of the activity on the field to convert or rebuild plants. The numbers for CFC12 and for "others" show an increasing trend the last year, but still at quite a low level. It may be taken as an indicator that the conversion activities just recently has started. This is quite logical: In short, the time up to 1992 was a period of test installations and "pilot plants". The result from these must first be evaluated, before installers dare to recommend their customers to make a conversion and the customers dare to make the investment. The conversion activities really started on the field during the last year, 1993. It will be interesting to see the numbers in the statistics for 1994.

Ongoing research

The number of problems and the scope of developments are immense in connection to a fast phase out of the use of CFC- and HCFC media in refrigeration. Difficult challenges stimulate co-operation and an example of this is a newly started co-operative program aiming to develop technical solutions, compile systematic experiences and knowledge of value in the work to reduce use of CFC and HCFC in refrigerating systems and in heat pumps.

There are five industrial companies involved: ABB Stal Refrigeration AB, AKA Kyl AB, Alfa Laval Thermal AB, Electrolux AB and Electro Standard AB. The research is carried out at the companies and/or at Dept of Applied Thermodynamics and Refrigeration, Royal Institute of Technology and at Dept of Heat and Power Technology, Chalmers University

The program is financed by the participating industrial companies (60%) and by NUTEK (40%). The total budget for three years is about 28 MSEK. For planning there is a management group with one representative from each participating organisation, including NUTEK. The Swedish Environmental Protection Agency has also one chair in this group. A brief outline of different projects in the present first year program is as follows:

- **A1, Existing plants**: Experiences and systematic feed back information from conversions to environmental friendly refrigerants. .
- **B1, B2, B3, Possibilities to increase use of natural, combustible or toxic, media as refrigerants**: Risk assessments, Properties, Applications in small systems
- **C1, Mixtures**: Heat transfer in boiling and condensing NARMs
- **D1, D2, Heat exchangers and compressors:** Performance and characteristics of (compact) heat exchangers with "new" refrigerants, Performance and characteristics of screw compressors with "new" refrigerants
- **E1, Systems**: Design and optimisation

Project A1 - conversion

An outline of the project plan is given in figure 2

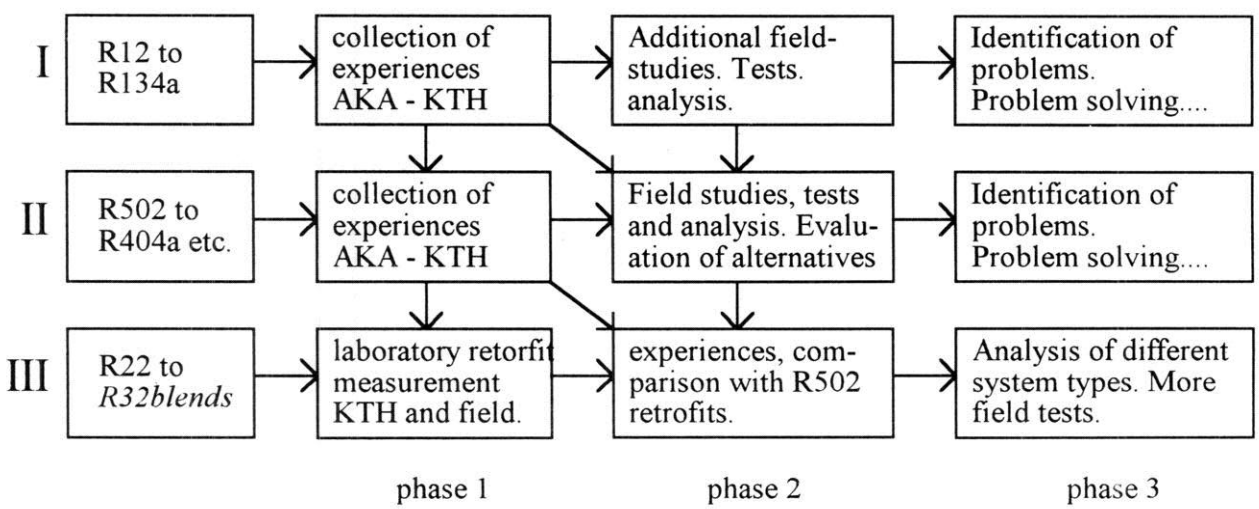


Figure 2. *Outline of project A1 - "Retrofit"*

The project is a joint venture with KTH and AKA Kyla, Klas Berglöf. One PHD-student, Lars Herbe, has been working full time with the project since early may 1994. Since I am responsible as a project leader I will here give some preliminary results.

The tasks during the first five month have been:

- Survey of performed retrofits (R12 and R502) and interviews with technicians involved in retrofits. A question sheet was filled out regarding experiences and results. Based on these answers study tours to ongoing conversions were undertaken. A continuos monitoring of some of the plants is planned.
- Collection of analysis results for oil samples from converted refrigeration plants. Two large analysis laboratories have supplied us with results from several hundreds of oil tests taken the last three years (some of the information is classified). One example is given below. The tests have been gathered in a database where different parameter easily might be studied.
- Design and construction of test equipment for laboratory studies of refrigerant and oil stability. One test will be a sealed tube tests with moisture, refrigerant, residual mineral oil and catalyst. The other test is an *inert* glass tube thermosiphon refrigerant circuit. The idea here is to *isolate* the typical behaviour of oil and refrigerant in a circuit without adding a wide variety of materials (elastomers, compressor parts, electric motors, expansion valves etc.). Different materials will be inserted in the circuit in a controlled way.

Apart from this work a joint program with the Swedish dairy association (SMR) have so far resulted in a test and evaluation of R407c as a R22 substitute. This project is continuing with detailed laboratory tests at KTH where special interest is given to the behaviour of the heat exchangers in R22 and R407c.

The ester oil used with R134a is much more hygroscopic in comparison to the mineral oil used with R12. Figure 3 show the results from an experimental evaluation of the amount of water in both types of oil as a function of exposure time in air (The temperature of the air and the relative humidity are not given).

Figure 3. *Moisture content in Mineral and Ester oil (POE) /5/.*

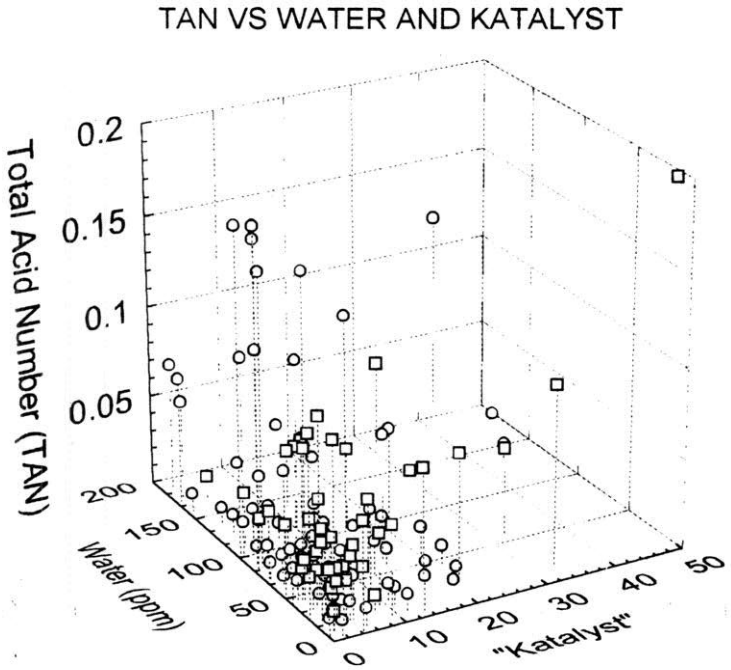


Figure 4. *Preliminary results from oil sample anaysis /6/.*

Figure 4 shows some preliminary results from the compilation of oil tests. It is generally believed that the acid number (TAN) is a result from a decomposition of the ester oil (POE). The reaction is (basically):

Ester + $H_2O \Rightarrow$ Acid + Alcohol

The reaction speed may be accelerated by the amount of metal in the oil (Fe, Cu, Al etc.). The sum of these are, in figure 4, collected in the variable "Catalysts". It can easily be seen that most of the oils tested show both low water and catalyst content (healthy plant). The tests indicating high acid number have a large water content and/or a high content of metals. These samples are the most interesting to follow and these plants will be subject to further studies.

The results so far gives a good picture of what materials, except from oil and refrigerant, that **normally** might be found in the refrigeration circuit. The amount of water and residual mineral oil is, for example, an interesting combination for further studies.

Conclusions

Procedures for Conversion from R12 and R500 to R134a are at hand. If these are closely followed the risk of being unsuccessful is small. The cost for a retrofit is however largely affected of the required amount of man hours (especially if the oil flushing method is used). A better understanding of the outcome of retrofits in different types of equipment could lead to a simplified procedure (especially with respect to residual mineral oil). The most important parameter seems to be the moisture content of the ester oil. Analysis of oil samples from retrofitted plants indicate that, in several cases, priority has been given to a low residual mineral oil content.

References

1. Haukås, H.T, 1994, "Konvertering til HFC og HFC-blandinger - Erfaringer og anbefalinger", Scanref no1, 1994.
2. Berglöf, K., 1992, "Praktiska erfarenheter av konvertering av nya och befintliga anläggningar med HFC-134a", Rapport från AKA Kyla
3. Granryd, E., 1994, "CFC AND HCFC REPLACEMENT - Owerview Of Situation In Sweden", IEA HPC Workshop on Consequences of (H)CFC replacements in HVAC Applications, Gothenburg.
4. ABB STAL, 1992, "Konvertering till köldmedium HFC 134a i 25 MW värmepump, VP1 Hammarby"
5. Griffith, R.W., 1993, "Alternate Refrigerants for The Refrigeration Industry", ASHRAE/NIST Refrigerant conference, Gaitersburg
6. Herbe, L., 1994, "Preliminary results from oil sample statistics", Personal communication

Att jämföra köldmedier för konvertering från R502...

Tekn. Dr, Per Lundqvist

Inom projekt *Konvertering* ingår att studera konvertering av såväl R502 som R22 anläggningar. För R12 har enigheten om köldmedium varit stor bland tillverkarna. Detta är dock inte fallet när det gäller R502 och R22. Nedanstående tabell visar de vanligaste föreslagna ersättningsförslagen för ersättning av R502 (som vi här skall begränsa oss till).

ASHRAE nummer	Sammansättning viktsprocent (%)	ODP	GWP	Glide	Tillverkare	Handelnamn
R502	R22/R115 48.8/51.2	0.283	4.02	0 K	Flera	Flera
R404A	143a/125/134a *52/44/4*	0	0.94	0.3-0.7 K	Dupont Elf	SUVA HP62 FX70
R407A	32/125/134a *20/40/40*	0	0.49	4.6-6.4 K	ICI	Klea 60
R407B	32/125/134a *10/70/20*	0	0.70	2.5-4.1 K	ICI	Klea 61
-	143a/32/125/134a *36/10/33/21*	0	0.73	2.4 -3.8 K	Hoecht	Reclin HX4
-	32/125/143a 10/45/45	0	0.89	0.3-0.7 K	Elf	FX40
R507	125/143a *50/50*	0	0.96	ca 0 K	Allied Signal	Genetron AZ 50
R290	Propan *100 %*	0	0	0 K	Flera	Propan

Tabell 1. *Exempel på föreslagna ersättningar för R502.*

Som framgår av tabellen kokar och kondenserar vissa av de föreslagna köldmedierna med en glidande temperatur (sk. *glide*) Vi kan särskilja tre grupper:

- Rena medier eller azeotroper (t.ex. R502)
- Nära azeotroper (t.ex. R404A)
- Zeotroper (t.ex. R407A)

Syftet med detta "papper" är inte att utse bästa kandidat utan snarare peka på några av de svårigheter som uppstår vid dylika jämförelser. Den stora frågan ur användarperspektiv är naturligtvis hur man ska veta vilken av dessa produkter som är bäst i *min* applikation. Det underlag som hitintills finns i form av tester är inte alltid så enkla att tolka. Syftet med denna skrift är att belysa några av fallgroparna.

Olika typer av tester

I litteraturen rapporteras i huvudsak tre olika typer av jämförelser och tester: Teoretiska beräkningar, s.k. kompressor - kalorimeterprover samt systemprover (sk *drop in test*)

Teoretiska beräkningar för att jämföra olika köldmedier är i sig inget nytt. Den stora skillnaden med de nya köldmedierna är att köldmediediagrammet i sig inte är tillräckligt som räknehjälpmedel om en koncentrationsförskjutning fås i någon del av processen. Som vi ska se senare innebär dessutom en fixering av förångningstemperatur ett iterativt förfarande. Behovet av beräkningsprogram har därför inspirerat köldmedietillverkarna att börja till-handahålla hjälpmedel i form av datorprogram med namn som *Klea-Calc och SUVA - mix*.

En av svårigheterna med de nya medierna är just definitionen av invanda begrepp såsom förångnings- och kondenseringstemperatur samt underkylning och överhettning. Detta belyses bäst med två h-log p diagram, ett för en azeotrop och ett för en zeotrop.

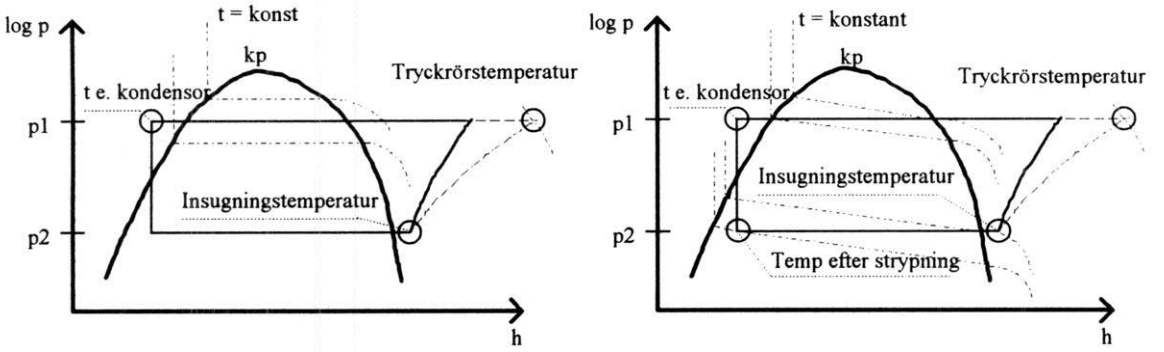


Fig 1-2 *Schematiskt köldmediediagram för R502 och t.ex. R407A*

Lägg märke till att isotermerna (streckade linjer) lutar i det fuktiga området för R407C (för R22 är tryck och temperaturlinjer parallella i det fuktiga området). Det är detta som ger upphov till den sk "gliden". Rent praktiskt innebär det att temperaturen i förångarens början är lägre än i slutet. Det omvända gäller i kondensorn. Detta innebär att begreppen förångningstemperatur och kondenseringstemperatur måste modifieras något för att ha någon mening. Det absolut vanligaste är som följer:

$$T_2 = \frac{T_{\text{e exp ventil}} + T_{\text{vid övre gränskurva}}}{2}, \quad T_1 = \frac{T_{\text{vid övre gränskurva}} + T_{\text{vid nedre gränskurva}}}{2}$$

I ord kan man säga att förångningstemperaturen, T_2, representeras av medelvärdet av temperaturen efter strypventilen och temperaturen på den sista köldmediedroppen som förångas. Detta innebär att ånghalten efter strypningen inverkar på förångningstemperaturen. Kondenseringstemperaturen representeras av medelvärdet av temperaturen på den första kondensatdroppen och på den sista ångblåsan som kondenserar (temperaturen på övre och nedre gränskurvan).

Definitionen av underkylning och överhettning varierar i litteraturen. Det vanligaste valet (tyvärr) baserar sig på en definition från nedre respektive gränskurva (i stort sett som för ett köldmedium utan glide) Detta innebär att temperaturen innan strypventilen, vid en jämförelse, blir olika beroende på köldmediets *glide*. Detsamma gäller för överhettningen. Utfallet av en teoretisk jämförelse är starkt beroende av ovan nämnda definitioner. I figur 3 jämförs utfallet av en teoretisk analys med underkylning och överhettning definierade **på två olika** sätt. Det mer realistiska alternativet innebär att temperaturen på suggas resp. vätska innan strypventilen sätts lika för all köldmedier oavsett glide (i detta fall 31.7 resp -19°C).

I figur 3 ser vi tydligt att kyleffekt och teoretisk verkningsgrad **förbättras** när den i litteraturen vanligen förekommande definitionen på överhettning och underkylning används. I den högra figuren illustreras några andra viktiga parametrar som med fördel kan studeras genom en teoretisk analys. ett stort tryckförhållande innebär att kompressorns volymetriska verkningsgrad minskar. Inget av de föreslagna medierna ger en nämnvärd höjning av tryckrörstemperaturen.

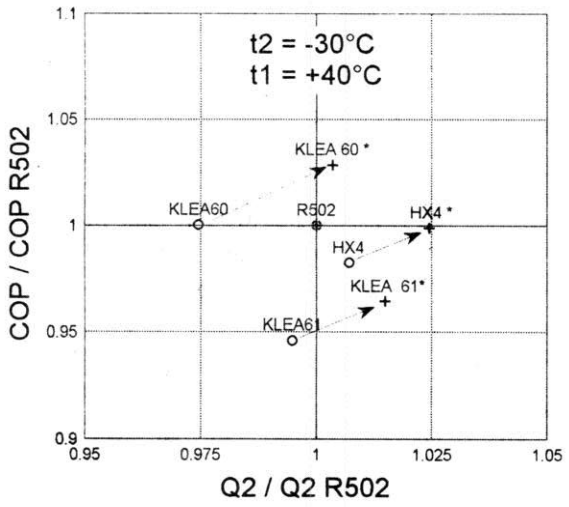


Fig 3. *Utfall av teoretisk jämförelse av Klea 60 Klea 61 och HX4 vid driftsfallet -30/+40°C med* ***två olika*** *definitioner på underkylning och överhettning.*

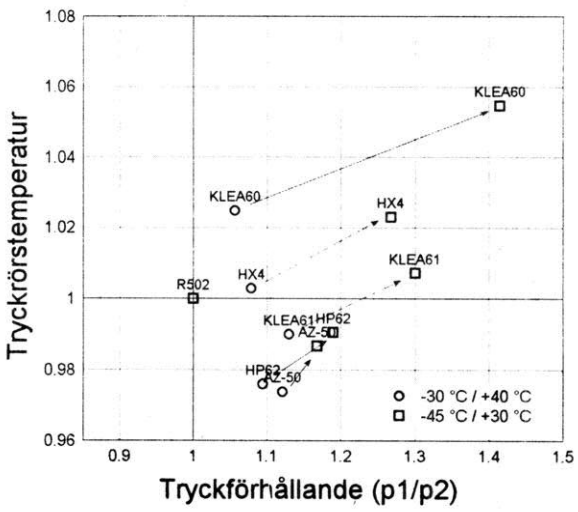
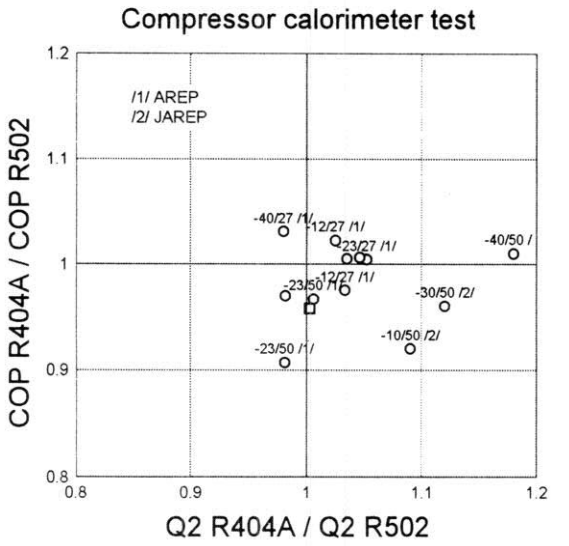


Fig 4. *Jämförelse av parametrar som tryckrörstemperatur och tryckförhållande för Klea 60, 61, HP 62, AZ 50 och HX4 vid två olika driftsfall.*

Kompressor-kalorimeterprover genomförs ofta i en sk gasrigg. I princip kan man säga att förhållandena för och efter kompressorn hålls konstant. Resultatet av dessa tester är naturligtvis beroende av att den cirkulerade koncentrationen verkligen är den avsedda. I stort sett bör dessa tester ge ungefär samma resultat som den teoretiska studien. Olika kompressorprestanda och mättekniska problem ger dock ofta en relativt stor spridning på resultaten. Två stora testprogram är AREP och JAREP (USA resp Japan). En intressant aspekt här är inlösen av köldmedium i kompressoroljan.



Figur 5. *Exempel på kompressor kalorimeterprov med köldmediet R404A. Olika anläggningar och olika driftspunkter (data från AREP o JAREP)*

Jämför skalan med föregående jämförelse. I figur 3 ligger alla punkter på +/-5% för både kyleffekt och Köldfaktor (COP). I figur 5 är spridningen +/-20%. Olika punkter representerar olika anläggningar och kompressorer vid olika driftsfall. Det intressanta är att tyngdpunkten i detta urvak av punkter ligger på ca 5% högre kapacitet och något försämrad köldfaktor. Detta stämmer någorlunda väl med en teoretiska beräkningen på samma sätt som i figur 3 (fyrkanten i figur 5) .Några punkter uppvisar dock kraftigt höjd kapacitet. Vad gäller köldfaktor rapporteras både förbättrad som försämrad köldfaktor. Slutsatsen är att man kan ofta argumentera för och mot ett köldmedium med hjälp av resultat rapporterade i litteraturen.

För framtida tester av olika ersättningar för R502 och R22 är det av yttersta vikt att använda temperaturdefinitioner redovisas väl. Prov på sammansättningen bör tas på t.ex. vätskeledningen från kondensorn.

"Drop-in" tester är svårast att utvärdera samtidigt som de säger mest om anläggningens totala prestanda efter ett byte till ett nytt köldmedium. Den stora skillnaden är att värmeövergången i värmeväxlarna, expansionsventilens funktion etc. inkluderas i mätningen. Det är också viktigt att ange graden av s.k. "soft-optimization", dvs hur mycket har gjorts för att anpassa anläggningen till det nya köldmediet. Om köldmediets glide är stor inverkar typen av värmeväxlare på utfallet av ett drop-in test.

Ett sätt att rapportera en anläggnings totala funktion med ett nytt köldmedium är att frångå förångnings- och kondenseringstemperaturerna och i stället betrakta den sk Carnotverkningsgraden baserat på den verkan processen har på sin omgivning. Enkelt uttryck kan man säga att medeltemperaturen på brine och kylvatten används för definition av den Carnotska köldfaktorn. Ett exempel i ges annat föredrag vid detta seminarium ("Några resultat från konvertering från R22 till R407C"). Fördelen med detta betraktelsesätt är att värmeövergången inkluderas i analysen. En värmekälla/sänka med väl matchad glide och motströms värmeväxlare kan mycket väl innebära en potential för bättre totalverkningsgrad.

Anledning till avvikelser

För den teoretiska beräkningen är resultatet i stort sett endast en funktion av de valda temperaturdefinitionerna (om pålitliga termodynamiska data föreligger). För kompressorkalorimeter prover och drop-in tester tillkommer ett antal möjliga orsaker till avvikelse mellan olika prover. Detta får vi återkomma till en annan gång...:

Slutsatser

Stor försiktighet måste iakttagas när tester av ny köldmedier skall utvärderas. De tester som uppvisar störst spridning i litteraturen är de sk drop-in testerna. Anpassningsnivån till det nya köldmediet varierar och inverkan av systemet är avsevärd. Dessa tester är de som bäst avspeglar en konvertering. Det är därför viktigt att tillräckliga data på systemet presenteras tillsammans med resultaten från provet.

Avslutningsvis bör det poängteras att **nykonstruktion** av anläggningar med glidande förångning ock kondensering innebär större friheter än vid konvertering. Detta innebär att potentialen i glidande förångning och kondensering till fullo bör utnyttjas.

Litteratur

Per Lundqvist, 1994, "Some reflections on R502 substitutes.....", Föredrag vid " Nordisk Seminar om Alternative Kuldemedier", OSLO, 27 September, 1994
Per Lundqvist, 1994, " Några resultat från konvertering från R22 till R407C", Tillämpad termodynamik och kyltekniks Industriseminarium på KTH, 30 nov.
Godwin, D., Menzer, M., 1993, "Results of Compressor Calorimeter Tests in ARI's R-22 Alternative Refrigerants Evaluation Program", ASHRAE/NIST Refrigerant conference, Gaitersburg.
Morikawa, Y., "R-22, R-502 Alternative Refrigerant Evaluation Program in Japanese Industry", ASHRAE/NIST Refrigerant conference, Gaitersburg.

Konvertering av mjölktank R22 till SUVA 9000 (R407C)

Tekn. Dr. Per Lundqvist

INLEDNING

Med anledning av de nu beslutade avvecklingen av köldmediet R22 har en pilotkonvertering av en mjölktank genomförts av Kylteknik i Kalmar (Christer Svanholm). Anläggningen har konverterats till Suva 9000 (R407C). Projektet är ett samarbete mellan SMR, AKA kyla, ARLA Medlemmar, Kylteknik KTH samt Kylteknik i Kalmar AB. Konverteringsarbetet och mätningarna har utförts av Kylteknik i Kalmar AB.

Denna rapport beskriver de resultat som har erhållits vid mätningar med ETM 2000 (kyldatorn). Det som gör dessa mätningar särskilt intressanta beror främst på att det föreslagna ersättningsköldmediet (R407C) är en sk *azeotrop*. Detta innebär att R407C kokar och kondenserar med *glidande* temperaturnivå (till skillnad från konventionella köldmedier) .För att öka förståelsen för köldmedier med sk "glide" har en kort beskrivning av dessa mediers termodynamiska egenskaper tagits med. (R407C består av 23% R32, 25% R125 samt 52% R134a)

SYSTEMET

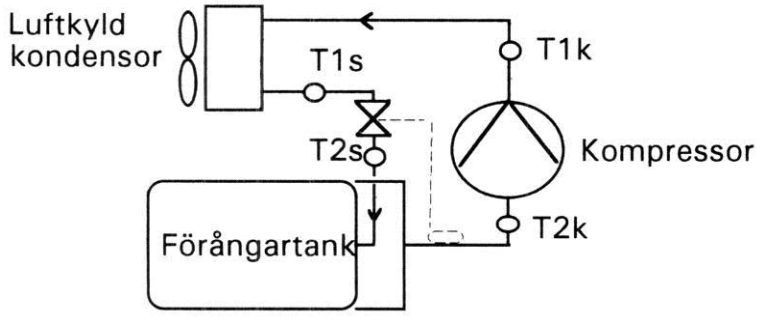


Fig 1 *Mjölktank med kylsystem (Schematiskt utförande). Värme upptas i förångaren av köldmediet (under kokning). Värme avges sedan i kondensorn till luften. För senare referens är temperaturen i kretsen markerad på fyra karakteristiska positioner: T2k - insugningstemperatur till kompressor, T1k - Tryckrörstemperatur, T1s - Temperatur efter kondensorn samt T2s - temperatur efter strypning.*

Köldmediet fördelas till förångarens båda sidor via en fördelare i botten på tanken (figur 2). Vissa fördelningsproblem kan konstateras (överhettningen varierar i den ena sugledningen från förångaren). Mjölktemperaturen (vatten i experimenten) registrerades med en givare nedsänkt i tanken. Omröraren förefaller ge en god omblandning.

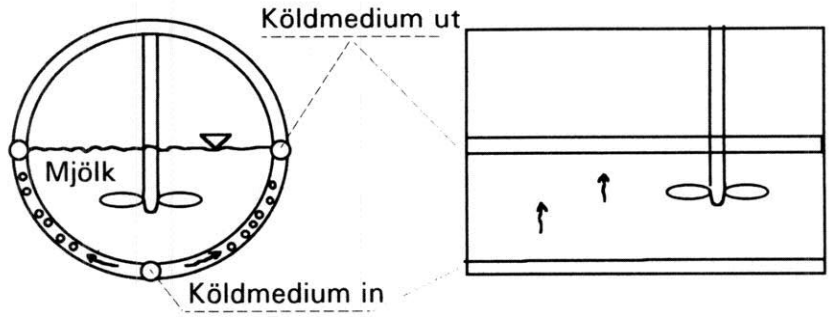


Fig2. *Mjölktanken (Förångaren). Vy från kort- respektive långsida. Köldmediet kommer in i botten på tanken och fördelas på förångarhalvorna via ett rör i botten.*

MÄTUTRUSTNING ETM 2000 "KYLDATORN"

Etm 2000 "kyldatorn" är en datalogger för enkel "på platsen mätning" på kylanläggningar och värmepumpar. Eleffekten till kompressorn mäts. Förångningstryck och kondenseringstryck tillsammans med erforderliga temperaturmätningar ger underlag för att beräkna köldmedieflödet genom kompressorn via en värmebalans. Kyleffekten fås sedan indierekt via köldmedieflöde och entalpiberäkningar. Mätmetoden är väl beprövad och ger ett gott underlag för bedömning av en kylanläggnings prestanda. I detta fall om värmeförlusterna i kompressorn är i samma storleksordning för R22 och R407C.

R22 OCH R407C I KÖLDMEDIEDIAGRAMMET

Såväl R22 som R407C kan på traditionsenligt sätt representeras i ett sk köldmediediagram (h-log p). De skiljer dock något i utseende på grund att R407C förångas resp kondenserar med *glidande* temperatur (temperaturändringen kallas ofta för *glide*).

I diagrammen är de storheter som uppmätts registrerade. För R22 är förångnings (T2) och kondenseringstemperaturer (T1) bestämda genom trycken p1 och p2.

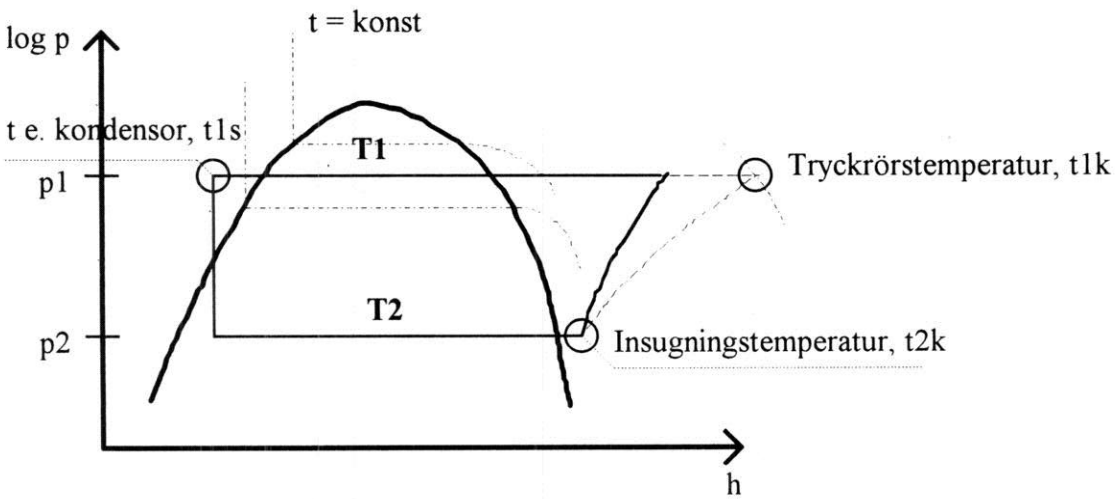


Fig3. *Köldmedidiagram för R22. För rena medier är förångnings resp kondenserings-emperatur endast en funktion av trycket. Detta innebär att förångnings respektive kondenseringstemperatur i praktiken ofta bestäms* ***via*** *en tryckmätning.*

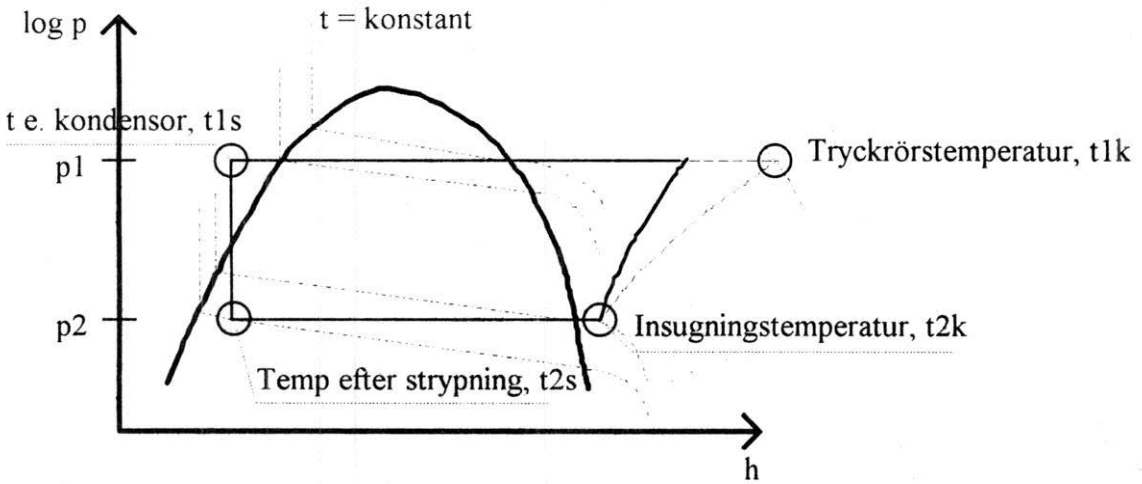


Fig 4. *Köldmedidiagram för SUVA 9000 (R407C)*

Lägg märke till att isotermerna (streckade linjer) lutar i det fuktiga området för R407C (För R22 är tryck och temperaturlinjer parallella i det fuktiga området). Det är detta som ger upphov till den sk "gliden". Rent praktiskt innebär det att temperaturen i förångarens början är lägre än i slutet. Det omvända gäller i kondensorn. Detta innebär att begreppen förångnings-temperatur och kondenseringstemperatur måste modifieras något för att ha någon mening. Det absolut vanligaste är som följer:

$$T_2 = \frac{T_{\text{e exp ventil}} + T_{\text{vid övre grä nskurva}}}{2} = \text{(Förångningstemperatur)}$$

$$T_1 = \frac{T_{\text{vid övre gränskurva}} + T_{\text{vid nedre gränskurva}}}{2} = \text{(Kondenseringstemperatur)}$$

Ovanstående defintioner illustreras i figur 5:

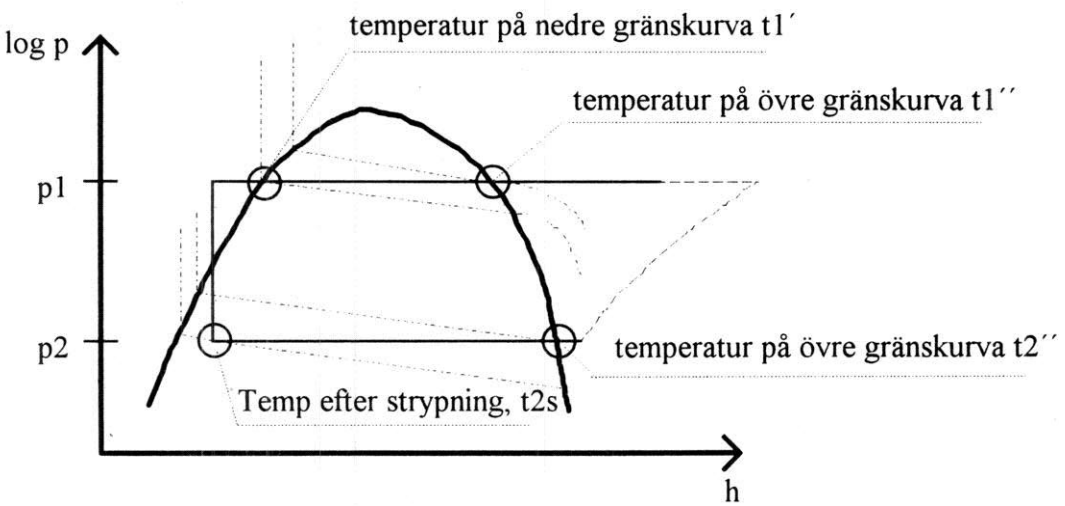


Fig 5. *Illustration av definitioner av förångnings och kondenseringstemperatur i enlighet med AREP (Alternative Refrigerant Evaluation Program).*

I ord kan man säga att förångningstemperaturen, T_2, representeras av medelvärdet av temperaturen efter strypventilen och temperaturen på den sista köldmediedroppen som

förångas (övre gränskurvan). Kondenseringstemperaturen representeras av medelvärdet av temperaturen på den första kondensatdroppen och på den sista ångblåsan som kondenserar (temperaturen på övre och nedre gränskurvan).

Dessa definitioner kan till en början verka otympliga men är tyvärr en förutsättning för en rimlig förståelse av dessa köldmedier. Den största svårigheten med att teoretiskt beräkna förångningstemperaturen är förmodligen att ånghalten efter strypningen inverkar på förångningstemperaturen.

RESULTAT FRÅN KONVERTERING AV R 22 TILL AC 9000 I MJÖLKTANK

Det första som har studerat är den praktiska funktionen hos mjölktanken - hur bra är den på att kyla ned en viss mängd mjölk? Fig 4 visar nedkylningstiden för R22 och AC9000. Temperaturen i tanken mäts med ett termoelement. Omröringen är kraftfull för att i första hand förhindra isbildning.

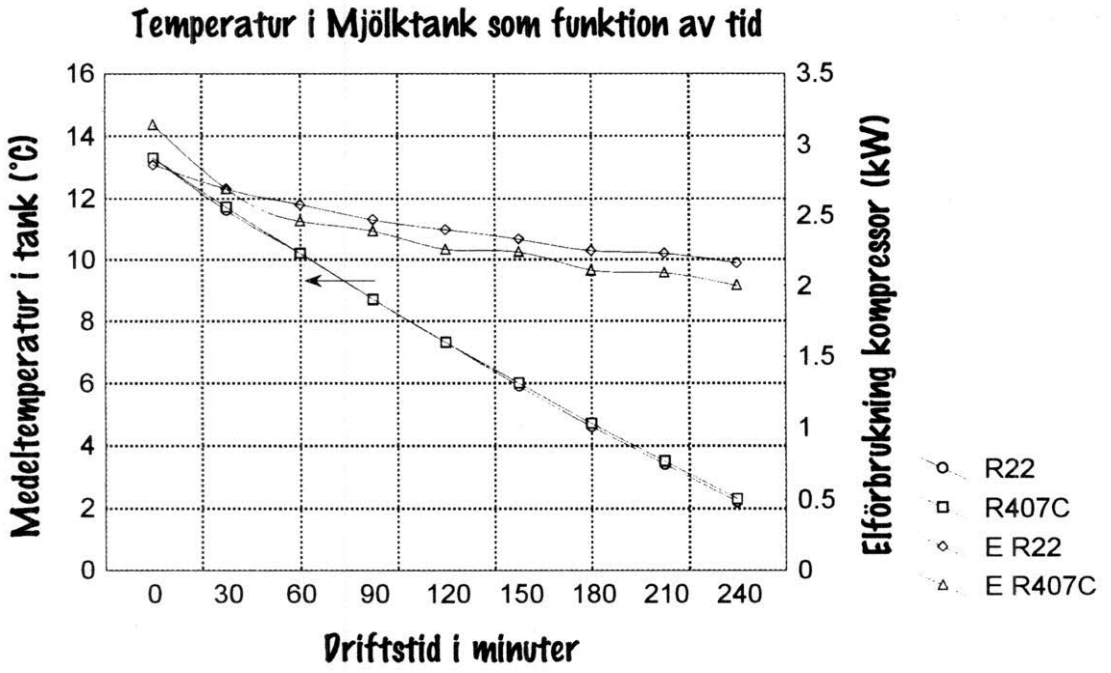


Fig 6. *Nedkylningstid med R22 och R407C. Elförbrukningen till kompressorn representeras på höger y-axel.*

Som synes är det omöjligt att skilja de två köldmedierna åt med avseende på nedkylningstiden. Intressant är att elförbrukningen generellt varit lägre efter konverteringen.

BERÄKNING AV KYLEFFEKT OCH KOMPRESSORVERKNINGSGRAD

De uppmätta storheter som ligger till grund för beräkningarna är:

- Suggastemperatur, T2k
- Tryckrörstemperatur, T1k
- Temperatur efter kondensorn, T1s
- Förångningstryck, P2
- Kondenseringstryck, P1
- Kompressorns effektförbrukning, E

Med hjälp av dessa värden kan överhettning och underkylning lätt beräknas och därefter processdata tas fram för att på så sätt räkna ut kyleffekt, Ködfaktor (benämns ofta COP) samt kompressorns isentropverkningsgrad. Den del av kompressormotorns eleffekt som överförs till köldmediet ansätts vid användandet av kyldatorn ETM 2000 till 93% av den totala, dvs 7% avräknas i form av förluster både i R22 och i AC9000 fallet. Denna metod har även tillämpats här.

Vid jämförande diagramberäkningar har ämnesdata hämtats ur köldmediediagram på konventionellt vis. D.v.s. processen har plottats med hjälp av uppmätta värden på tryck och temperaturer varefter de entalpier som behövts för beräkningarna lästs av. Detta ger en relativt god bild av hur de olika köldmedierna uppför sig i olika driftfall (diagramberäkningar medtas ej här).

För noggrannhetens skull presenteras endast de beräknade värdena som erhållits via köldmedieprogrammet Refprop 4.0 (Diagramavläsningar är tyvärr ganska onoggrannt). Detta program gör det möjligt att på ett enkelt sätt få goda köldmediedata för ett stort antal rena samt blandade köldmedier.

p1/p2	T1/T2 se ovan för def.	Tryckför-hållande.	Kyleffekt kW	Köldfaktor Q2/E	Isentrop verknings-grad
R22					
17.0/6.2	44.2/6.9	2.74	9.7	3.7	0.63
16.1/5.3	41.9/1.94	3.03	8.0	3.4	0.66
15.4/5.0	40.1/0.14	3.08	7.7	3.4	0.66
15.0/4.7	39.0/-1.75	3.19	7.4	3.4	0.66
AC 9000					
18.4/6.3	42/6.8	2.92	8.4	3.6	0.64
18.2/5.8	41.5/4.3	3.13	8.2	3.7	0.70
17.9/5.5	40.8/2.7	3.25	7.2	3.4	0.67
17.5/5.2	39.9/1.05	3.36	6.7	3.3	0.67
17.3/5.0	39.4/-0.10	3.46	6.4	3.3	0.68

Tabell 1 *Resultat från konvertering av mjölktank. Som synes är de två provserierna mycket svåra att åtskilja. Förångnings och kondenseringstemperaturerna för blir i stort sett desamma med R407C.*

Man bör dock inte dra alltför långtgående slutsatser av dessa körningar, men vissa tendenser har iakttagits. Isentropverkningsgraden (ett mått på kompressorns verkningsgrad) är i stort sett lika för AC 9000 jämfört med R 22, möjligen något bättre. Skillnaden mellan de två köldmedierna när det gäller köldfaktorn är inte stor. En konsekvens av den använda beräkningsmetoden (kyldatorn) är att om kompressorn av någon anledning drar mer ström så blir automatiskt kyleffekten högre då denna uträknas via en kompressorbalans. Mätningarna av nedkylningstid antyder att kyleffekten varit i stort sett identisk.

Ytterligare beräkningar pågår för att utröna huruvida en mindre koncentrationsförskjutning fås på cirkulerat köldmedium. Preliminära beräkningar antyder att en något högre kyleffekt kan fås om en stor del av köldmediet ligger i förångaren i form av vätska (denna anrikas på R134a).

FÄLTFÖRSÖK AV KONVERTERING FRÅN R22 TILL AC9000 I STORA OCH MEDELSMÅ ANLÄGGNINGAR.

Några fältförsök har gjorts med AC9000 som ersättning för R22. De konverterade anläggningarnas storlek samt tillvägagångssättet vid konverteringarna varierar kraftigt. Några trender kan dock urskiljas. Den största nackdelen med rapporterade fältförsök är att den verkliga sammansättningen inte har kontrollerats (vilket i och för sig är relativt besvärligt). Ett korrekt fyllnadsförfarande måste iakttagas. All fyllning måste exempelvis ske från vätskefas.

För kommande fältförsök vill vi poängtera vikten av att kontrollera den cirkulerade köldmediekoncentrationen. Detta påverkar starkt resultatens generalitet.

RESULTAT I LITTERATUREN

- I de flesta fallen är köldfaktorn (COP) i det närmaste oförändrad efter konverteringen. Det är däremot svårt att förespå huruvida kyleffekten samt effektförbrukningen kommer att öka eller minska. Rent teoretiskt bör en mindre höjning av kyleffekten fås vid höga förångningstemperaturer (>0°C).
- Hetgastemperaturen minskar.
- Kondenseringstryck samt temperatur tenderar att stiga något medan däremot förångningstryck och suggastemperatur sjunker en aning.
- Det har kunnat konstateras att blandningars sammansättningar ej påverkas nämnvärt vid små läckage. Vid större läckage (uppemot 50%) har mindre sammansättningsändringar kunnat påvisas.

R407C - en zeotrop som alternativ till R22

Hans Nyman och Gustav Hammarberg

Ett examensarbete i Kylteknik med titeln "R407C - en zeotrop som alternativ till R22" genomfördes på ett utomordentligt gott sätt under hösten vid Institutionen för Energiteknik, avd för Tillämpad Termodynamik och Kylteknik. Arbetet ingår i den systematiska uppföljningen av nya köldmedier som görs vid institutionen.

Provanläggningen har varit en mindre kylanläggning med plattvärmeväxlare och hermetisk kompressor. Systemet är utformat för att minimera risken för koncentrationsförskjutningar på grund av ansamling av vätskeformat köldmedium. Anläggningen är väl instrumenterad. Arbetet innefattar, förutom de systemtekniska parametrarna, studier av kompressorverkningsgrader och förhållandena i värmeväxlarna. Förångningen har varierats från -25 till +10°C. medan kondenseringstemperaturen har hållits konstant på 30,40 samt 50°C.

Förångnings och kondenseringstemperaturer är definierade enligt "Att jämföra köldmedier för konvertering från R502.." (Bilaga 3) Överhettning och underkylning är definierade från förångnings och kondenseringstemperatur (m.a.o konservativt). Jämförelsen presenteras dels på traditionellt vis med relativ köldalstring och köldfaktor som funktion av förångnings och kondenseringstemperatur och dels med hjälp av begreppet *Total Carnotverkningsgrad* baserad på medeltemperaturen för brine och kylmedel.

Här återges endast författarnas egen sammanfattning.

Per Lundqvist, KTH

Sammanfattning

Köldmedieblandningen R407C (SUVA 9000) har föreslagits som ersättning för HCFC-mediet R22. I detta examensarbete utreds om R407C kan ersätta R22. Arbetet har till största del varit experimentellt. En anläggnings totala prestanda och värmeövergången i värmeväxlarna har studerats vid konvertering från R22 till R407C. Även teoretiska betraktelser av zeotropa köldmedier har gjorts.
De i examensarbetet genomförda försöken är utförda i Institutionens för Energiteknik, Avdelningens för Tillämpad termodynamik och kyltekniks laboratorium. Försöksanläggningen är en väl instrumenterad kompressordriven kylanläggning, med helhermetisk kolvkompressor med en ungefärlig driveffekt på 2 kW och plattvärmeväxlare som kondensor respektive förångare.

R407C är, i den aktuella anläggningen, ett fullgott alternativ till R22 vid förångningstemperaturer högre än -5 °C och kondenserinstemperaturer lägre än 50 °C.
Vid förångningstemperaturer högre än -5 °C och kondenseringstemperaturer mellan 30 och 40 °C blir kyleffekten för R407C jämförbar med kyleffekten för R22 (mindre än 3% skillnad). Om förångningstemperaturen sänks till -15 °C blir kyleffekten för R407C 5-10% lägre än för R22. För 50 °C kondenseringstemperatur blir kyleffekten för R407C ca 10% lägre än för R22 vid förångningstemperaturer högre än -5 °C och ca 25% lägre vid -15 °C förångningstemperatur.
Köldfaktorn blir på motsvarande sätt mindre än 5% lägre för R407C än för R22 vid förångningstemperaturer högre än -5 °C och kondenseringstemperaturer mellan 30 och 40 °C. Sänks förångningstemperaturen till -15 °C blir köldfaktorn för R407C ca 5% lägre än för R22. För 50 °C kondenseringstemperatur blir köldfaktorn för R407C genomgående ca 10% lägre än för R22.

Ett sätt att jämföra olika kylprocesser är att jämföra deras totala carnotverkningsgrad, som är ett godhetstal för en kylprocess som helhet. Det zeotropa köldmediets glide innebär, teoretiskt, att mindre temperaturdifferens kan erhållas i värmeväxlarna på grund av en bättre anpassning mellan köldmedium-värmebärare och köldmedium-köldbärare. Detta är troligen orsaken till att anläggningen uppvisar lika bra total carnotverkningsgrad med R407C som med R22 vid låga temperaturlyft (ca 20 K temperaturskillnad mellan köld- och värmebärare). Vid höga temperaturlyft (ca 45 K) blir den totala carnotverkningsgraden lägre för R407C än för R22.

Vid konverteringen ersattes den i anläggningen befintliga mineraloljan till en för R407C anpassad esterbaserad olja. Kompressorns verkningsgrader påverkades inte av konverteringen från R22 till R407C. Däremot blev tryckrörstemperaturen 5 á 10 K lägre för R407C än för R22.

Vid de gjorda försöken framkom det att underkylningen för R407C behövde vara 1 á 2 K större för R22 för att undvika att okondenserat köldmedium nådde expansionsventilen. Detta kan bero på det komplicerade förhållande som råder vid kondensering av zeotropa köldmedier. Även förloppet vid förångning av zeotropa köldmedier är betydligt mer komplext än för rena medier. En vidare och mer ingående analys av dessa förlopp krävs för att bättre kartlägga dessa fenomen.

På grund av de zeotropa köldmediernas glide måste förångnings- och kondenserings-temperaturer samt överhettning och underkylning klart och tydligt definieras. Detta är viktigt för att underlätta jämförelser mellan olika försök med zeotropa köldmedier.