



KUNGL
TEKNISKA
HÖGSKOLAN

Institutionen för Energiteknik

ATT KONVERTERA R22-INSTALLATIONER

*Anders Johansson, Civ.ing.
Per Lundqvist, Docent
Kungl. Tekniska Högskolan
Institutionen för Energiteknik
100 44 Stockholm
anders@thermo.kth.se*

ATT KONVERTERA R22-INSTALLATIONER

Anders Johansson och Per Lundqvist

INNEHÅLL

<i>Inledning</i>	4
<i>Att konvertera något</i>	5
<i>Några begrepp</i>	5
<i>Vilka ersättningsmedier finns det?</i>	6
<i>Bara ett köldmediebyte</i>	7
<i>Olika ”regler” för olika applikationer</i>	7
Kylmaskiner.....	7
Värmepumpar.....	7
<i>Aggregat – Konvertering</i>	8
Olika resultat i olika aggregat.....	8
Kompakta aggregat med plattvärmväxlare.....	8
System med tubpannevärmväxlare.....	9
System med receiver.....	9
Luft-luft-system och luft-vätske-system.....	9
Luft-vätske- och vätske-luft-aggregat.....	10
<i>Varför är det så svårt att förutspå utfallet?</i>	11
Man kan inte räkna som man brukat.....	11
Ett exempel: Typisk luftkonditioneringsapplikation.....	11
Ett exempel: Villavärmepump (bergvärme).....	12
<i>Man kan göra mer!</i>	12
Suggasvärmväxlare (R404A och R417A – kylmaskiner).....	12
Sänka kondenseringstemperaturen (Alla – kylmaskiner).....	12
Minska behovet (Alla – både kylmaskiner och värmepumpar).....	13
Varvtalsreglering.....	13
<i>Värt att tänka på...</i>	13
<i>Andra alternativ</i>	14
<i>En liten varning</i>	14
<i>Slutsats</i>	14
<i>Litteratur</i>	15
<i>Bilaga 1: GWP och ODP för olika köldmedier</i>	16
Global Warming Potential, GWP och HGWP.....	16
Ozone Depletion Potential, ODP.....	16
<i>Bilaga 2: Total Environmental Impact</i>	17
<i>Bilaga 3: Lite om de ”nya” köldmediernas termodynamiska egenskaper etc.</i>	18
Temperaturglide.....	18
Oljor och smörjmedel.....	18
<i>Bilaga 4: Tillståndsdigram</i>	19

INLEDNING

Köldmediet R22 har under många år varit Sveriges vanligaste köldmedium. R22 har använts i en lång rad olika applikationer; Från villavärmepumpar av olika slag till lågtemperaturfrysar, och från kyldiskar till stora fjärrvärmepumpar. Den första januari 2002 träder ett påfyllnadsstopp för R22 (och andra så kallade HCFC-medier) i kraft. Detta innebär att man inte får fylla på nytt R22, för att ersätta sådant som kan ha läckt ut eller efter ett ingrepp i aggregatet, i befintliga aggregat. Det är emellertid inte liktydigt med att man inte skulle få använda R22 i befintliga, fungerande, aggregat.

Det finns flera sätt att gå till väga om det är så att man står inför situationen att man inte längre kan använda sin kylmaskin eller värmepump längre, eftersom den kanske måste fyllas upp med ytterligare köldmedium – med mer R22 – vilket efter första januari 2002 alltså inte längre är tillåtet. Det är inte självklart vilket tillvägagångssätt det är som är bäst. Vad som ger lägsta möjliga kostnad för ägare eller brukare, men som också uppfyller andra möjliga krav man kan ha på installationen; den installation av vilken kylmaskinen eller värmepumpen är en del. Genom att vidga perspektivet till att inkludera detta, samt att ta hänsyn till brukarens behov och möjligheten att ändra detta, ökar möjligheterna att uppnå den lösning som ger bäst energieffektivitet, minsta miljöpåverkan, samt bäst ekonomi för ägaren och användaren.

I denna skrift skall vi försöka redogöra på ett (förhoppningsvis) lättförståeligt sätt dels för de olika alternativ som står till buds, men också vilket utfall man kan förvänta sig utav olika val.

Köldmedium	Typ	Ersätts med	Stopp för nyinstallation	Stopp för påfyllning	Stopp för användning
R12, R502, R500	CFC	R134a, R404A, R507A	1/1 1995	1/1 1998	1/1 2000
R22	HCFC	Olika	1/1 1998	1/1 2002	–

Tabell 1 Det Svenska utfasningsschemat för CFC- och HCFC-medier.

ATT KONVERTERA NÅGOT

I kyl och värmepump tekniska sammanhang har *konvertering* varit liktydigt med att byta ut det gamla köldmediet i en maskin mot ett annat i samband med utfasningen av R12 (ett s.k. CFC-medium). I fallet med R12 fanns det en ersättare, R134a, som var så lik R12 att man kunde byta ut det gamla miljöfarliga köldmediet mot det mer miljövänliga utan att man påverkade det enskilda aggregatets prestanda nämnvärt. Då påverkades heller inte de kringliggande systemens prestanda och beteende nämnvärt av ingreppet.

I fallet med R22 är det lite mer komplicerat, eftersom det inte finns någon ersättare till R22 som är så lik R22 som R134a var likt R12. Det finns med andra ord inget nytt köldmedium man kan byta ut det gamla (R22) mot och utan andra åtgärder få samma eller åtminstone liknande egenskaper och prestanda som före köldmediebytet i alla anläggningar.

NÅGRA BEGREPP

För att den fortsatta texten skall bli lite mer (lätt)begriplig kommer här några begrepp som fortsättningsvis kommer att användas att förklaras.

Köldmedium Varje kompressordriven kylanläggning behöver ett arbetsmedium för att fungera. Detta benämns köldmedium. Olika applikationer, dvs olika temperaturnivåer, behöver olika köldmedier för att fungera bra. Köldmedier kan delas in i två grupper: Naturliga och Syntetiska. Till de naturliga köldmedierna räknas bl.a. koldioxid (R744), propan (R290), ammoniak (R717) och Iso-butan (R600a). Till de syntetiska räknas de s.k. freonerna d.v.s. CFC- och HCFC-medier (innehåller kloratomer) men även de nyare HFC medierna. De vanligaste här är R134a, R404A, R407C och R417A.

Kylprocessen Köldmediet kokar i förångaren vid lågt tryck och skapar på så sätt kylan. Kompressorn suger kontinuerligt bort den bildade gasen från förångaren och höjer trycket på denna. Köldmediet kondenserar i kondensorn och avger på så sätt värme till omgivande system. Köldmediet återförs till förångaren via en strypanordning och processen kan börja på nytt.

Kapacitet Med kapacitet avses genererad kyleffekt [kW] för kylmaskiner, och avgiven värmeeffekt [kW] för värmepumpar.

Effektivitet Med effektivitet, energieffektivitet, avses här den s.k. köldfaktorn för kylmaskiner, och värmefaktorn för värmepumpar. *Köldfaktorn* är ett mått på hur stor kyleffekt [kW] man får ut per tillförd eleffekt [kW] till kompressorn. *Värmefaktorn* är på samma sätt ett mått på hur stor värmeeffekt [kW] man får ut per tillförd enhet eleffekt [kW] till kompressorn. Det är naturligtvis gynnsamt att ha en effektiv kylmaskin eftersom man då får en lägre driftkostnad för samma kyl- eller värme effekt. Det är ju emel-

lertid långt ifrån säkert att hela luftkonditioneringsinstallationen är effektiv bara för att t.ex. vätskekylaggregatet som genererar kylan är det.

Aggregat	Ett aggregat är den enhet, maskin, som genererar värmen eller kylan: Värmepumpen eller vätskekylaggregatet t.ex.
Installation	En installation är det större system (VVS-system t.ex.) som aggregatet är en del av.
Applikation	En applikation brukar i lexikon beskrivas som ett <i>behov</i> och metoden att <i>uppfylla</i> detta. Villavärmepump är en sorts applikation, och luftkonditionering är exempel på en annan.
Fyllnadsmängd	Den mängd köldmedium [kg] som finns i t.ex. kylmaskinens köldmediekrets.
Indirekt system	Med detta menas att man använder ett andra medium som får distribuera den genererade kyleffekten och värmeeffekten till de platser de skall upp- tas/avges. Denna typ av system gör att man kraftigt kan minska fyll- nadsmängden i köldmediekretsen. Vanliga typer av sådana sekundära medier är vatten och vatten med någon form av fryspunktssänkande till- satts (t.ex. glykol).

VILKA ERSÄTTNINGSMEDIER FINNS DET?

Det finns idag egentligen fem olika alternativa ersättningsmedier för R22, att använda i befintliga maskiner: R134a, R404A, R507A, R407C och R417A. R134a är ett rent medium, emedan de tre andra är blandningar av rena köldmedier. Man har i dessa fall blandat rena medier för att uppnå egenskaper som anses vara gynnsamma i olika applikationer. R407C och R417A är de enda utav dessa medier som är specialdesignade för att användas i befintliga R22 maskiner. Man skall dock vara medveten om att de i huvudsak är designade för luftkonditioneringsapplikationer, och inte alltid fungerar så bra i andra applikationer eller i alla olika typer av aggregat. R507A är mycket lik den betydligt vanligare R404A som redan är en etablerad ersättning för CFC mediet R502.

Olika köldmedietillverkare har ofta egna namn på köldmedier, t.ex. Isceon 59 (R417A från Rhodia), och SUVA 9000 respektive KLEA 66 (R407C från DuPont respektive ICI) etc., men t.ex. R407C har samma sammansättning oavsett tillverkare. R-numret, t.ex. R134a, är något som tilldelas genom den Amerikanska organisationen ASHRAE (American Society of Heating, Refrigeration and ventilation Engineers). Det används dock över hela världen som system för benämning av köldmedier. Det förekommer dock att man skriver t.ex. CFC-12, HCFC-22 och HFC-134a.

BARA ETT KÖLDMEDIEBYTE

Den ”enklaste” formen av konvertering – ett köldmediebyte – innebär att man inte gör några andra ingrepp i aggregatets kretsutformning eller i de omgivande systemen förutom oljebyte. Det är dessutom viktigt att man dessutom optimerar aggregatets fyllnadsmängd. I detta fall kommer utfallet av denna att bli enligt tabellen nedan. Det hela förutsätter att aggregatet ifråga är lämpat att arbeta med det givna köldmediet (mer om detta senare).

Om man måste fylla på köldmedium p.g.a. att aggregatet har läckt måste naturligtvis läckan tätas i samband med köldmediebytet

Köldmedium	Kapacitet (Kyl-/värmeeffekt)	Energieffektivitet (Köld-/värmefaktor)
R134a	60 – 70 %	85 – 125 %
R404A	90 – 105 %	75 – 85 %
R507A	90 – 105 %	75 – 85 %
R407C	85 – 100 %	85 – 95 %
R417A	75 – 85 %	85 – 95 %

Tabell 2 Ändringen i kapacitet och effektivitet relativt det aggregatet hade med R22 som arbetsmedium. (Källa: Johansson, 2001b)

OLIKA ”REGLER” FÖR OLIKA APPLIKATIONER

Den grövsta indelningen i applikationstyper man kan göra är i värmepumpar respektive kylmaskiner.

Kylmaskiner

Kylmaskiner är ofta överdimensionerade (kyleffekt). Detta gäller framför allt luftkonditioneringsapplikationer. En eventuell överdimensionering gör att aggregatet får korta gångtider med många stillestånd (ON/OFF). De är dessutom ofta ganska snålt dimensionerade när det gäller värmeväxlarnas relativa storlek, vilket leder till att de ganska ofta är förhållandevis ineffektiva – de har låg köldfaktor. Det har dock varit en trend de senaste åren mot att även kylmaskiner blivit mer effektiva. Nya aggregat är m.a.o. mer energieffektiva än gamla och har ofta lägre köldmediefyllning. Man skulle kunna säga att man börjat anamma ett s.k. LCC perspektiv (LCC = Life Cycle Cost). Driftskostnaden är ofta en mycket stor del i en sådan kalkyl.

Värmepumpar

Värmepumpar dimensioneras normalt för att täcka endast en del av det maximala värmeeffektbehovet. Eftersom man endast har några få dagar per år med riktigt låga utomhustemperaturer, kan man dimensionera en värmepump för att täcka kanske halva det maximala effektbehovet. Man får då ändå en täckning av det årliga värmeenergibehovet på upp till 90 %. I nybyggda välisolerade enfamiljshus sitter det ofta en frånluftsvärmepump som täcker kanske

30 % av det maximala värmeeffektbehovet, men ändå ca 70 % av det årliga värmeenergiebehovet. Konkurrens och offentliga upphandlingar och tävlingar har gjort att de flesta värmepumpar är mycket energieffektiva från början.

I de fall mark-, berg- och frånluftsvärmepumpar behöver konverteras är det viktigt att man inte förlorar värmeeffekt. Att värmefaktorn kanske sjunker en aning spelar mindre roll för den årliga driftkostnaden. Om man skulle konvertera dessa till något medium som sänker värmeeffekten (med R134a kanske -30%) men samtidigt höjer värmepumpens värmefaktor (+10 %), minskar effekttäckningen till kanske 40 % (ursprungligen 50 %). Detta leder till att värmepumpens energitäckning sjunker från 90 till knappt 80 %. Man måste alltså tillföra betydligt fler kWh elektricitet för att täcka det effektbehovet de kalla dagarna på året. För en värmepump i 5kW:s storlek, i ett hus med ett årligt värmebehov på 25000 kWh betyder detta en höjd driftkostnad på 1000 till 1500 kronor, naturligtvis beroende på elpris. Leverantören (tillverkaren) av värmepumpen bör kunna hjälpa dig med mer detaljerad information och rekommendationer.

AGGREGAT - KONVERTERING

Det finns många olika typer av aggregat, och det finns olika typer av applikationer. Det är emellertid mycket svårt att exakt ange hur ett aggregat kommer att uppföra sig utan att studera det i detalj. De värden som anges i tabell 2 är ungefärliga och visar snarast på hur stor spridningen är och hur svårt det är att göra precisa generella utsagor om förväntad prestanda efter en konvertering.

Olika resultat i olika aggregat

Om man jämför tabellens värden med motsvarande för R12/R134a ser man att spridningen är betydligt större. Detta innebär att både praktiska erfarenheter från liknande aggregat måste vägleda tillsammans med mer teoretiska överväganden. Om en entreprenör lovar 95 % av den ursprungliga kapaciteten utan att i detalj känna till aggregatet bör man vara försiktig...

När man i ett aggregat använder ett arbetsmedium som detta aggregat inte är konstruerat för, påverkas maskinens prestanda i olika stor utsträckning beroende på ersättningsmediets egenskaper. Hur stor ändring man får i kapacitet och effektivitet vid ett givet val beror dels på vilken applikation det är frågan om, men kanske framförallt på hur aggregatet ursprungligen är konstruerat när det gäller storleken på värmeväxlarna. Värmepumpar har i allmänhet relativt stora värmeväxlare för att uppnå högsta möjliga effektivitet (små temperaturdifferenser), emedan kylmaskiner i allmänhet har mindre värmeväxlare för att spara pengar. Naturligtvis finns det undantag från regeln. Som tabell 2 visar är det vanligaste att man får både lägre kapacitet och lägre effektivitet.

Nedan följer en indelning av olika aggregattyper; en konverteringsrelevant indelning.

Kompakta aggregat med plattvärmväxlare

En typ av aggregat som blivit allt vanligare är de kompakta aggregaten med plattvärmväxlare. Detta är system med liten fyllnadsmängd. Exempel på vanliga applikationer för denna kategori är små vätskekylare och moderna villavärmepumpar. Dessa aggregat lämpar sig väl för

en konvertering som inskränker sig till köldmedie- och oljebyte. Denna typ av kompakta maskiner lämpar sig väl för R407C (Kapacitet och effektivitet c:a 95% av R22 i de flesta applikationer). Det rör sig om relativt nya aggregat så en konvertering är ofta ett ekonomiskt sunt alternativ.

System med tubpannevärmeväxlare

Denna kategori av aggregat är i allmänhet större och (ofta) lite äldre maskiner. De har även relativt stor fyllnadsmängd. Vilka arbetsmedium som fungerar mer eller mindre bra är kopplat till vilka typer av tubpannevärmeväxlare det är frågan om. Hur stort kapacitets – och effektivitetsbortfallet blir är svårt att säga generellt utan beror på många anläggningsspecifika parametrar.

Tubpannekondensorer

Bortsett från att värmegenomgången i värmeväxlaren försämras påtagligt, är dessa i allmänhet inte något större problem för R407C och R417A om kondenseringstemperaturen inte är för låg (under 40°C). Den försämrade värmegenomgången gör att aggregatets effektivitet blir lägre. R134a, R404A och R507A fungerar utan större komplikationer.

Tubpanneförångare

Det finns inga generella hinder för något ersättningsmedium i fallet med tubpanneförångare med sk. invändig förångning.

I de (få) fall systemet är utrustat med tubpanneförångare med sk. utvändig förångning ska *inte* R407C eller R417A användas överhuvudtaget. R134a fungerar bra, och R404A respektive R507A fungerar ganska bra.

System med receiver

En receiver, eller recipient, är ett tryckkärl i köldmediekretsen som används som buffert för att säkerställa korrekt fyllning i värmeväxlarna. Det finns i princip två typer av receiver: Hög- och lågtrycksreceiver. Det är relativt vanligt med olika typer av receiver i större mer komplicerade kylmaskiner och värmepumpar. I system med receiver är R407C och R417A direkt olämpliga att använda som ersättningsmedier. R134a fungerar däremot bra, och R404A och R507A fungerar ganska bra.

Luft-luft-system och luft-vätske-system

Med luft-luft-system menas ett aggregat som har direkt luftkyld kondensor och luftvärm� förångare. De förekommer i olika applikationer men luftkonditionering och värmepumpar är nog de vanligaste. De kan ha lite olika storlek och komplexitet i utförandet, men en vanlig form är billigare sk. splitaggregat. Det är mycket svårt att ange hur ett specifikt aggregat kommer att påverkas när det gäller prestanda. Detta är något som förstärks i och med att anläggningens beteende under t.ex. avfrostning kan påverkas mycket (både till det bättre och till det sämre).

Enkla splitaggregat (luft-luft)

Dessa består av en utomhusdel med en värmeväxlare (förångare eller kondensor), fläkt, kompressor etc., och en innerdel med fläkt och värmeväxlare (kondensor eller förångare). De är ofta reverserbara och kan alltså köras både som luftkonditionering och värmepump (inte samtidigt). I dessa fall är det i allmänhet två alternativ som är intressanta: Byt ut aggregatet

eller byt ut det befintliga köldmediet (R22) mot *R417A* (Kapacitet och effektivitet relativt R22 är starkt beroende på utom- och inomhustemperaturen). Aggregaten är i detta sammanhang så billiga att större mer avancerade ingrepp knappast är lönsamma.

Mer komplexa luft-luft-aggregat

Dessa kan se ut på lite olika sätt; de kan ha kompressorn och delar av utrustningen för sig eller i anslutning till kondensorn. Det är även här mycket svårt att generella svar på hur ett specifikt aggregat kommer att uppföra sig. Det finns emellertid ett par varningar att utfärda.

- Lång sugledning är inte ovanligt i denna typ av aggregat. Man kan då få problem med oljeåterföringen om man väljer att göra ett köldmediebyte från R22 till R417A.
- Vissa luftkylda kondensorer har speciell utformning på rördragningen som var lämplig då R22 användes, men som kan vara mindre lämplig om *R407C* eller *R417A* används. Detta kan leda till instabilitet och andra driftproblem.

Luft-vätske- och vätske-luft-aggregat

Dessa två kan var för sig även delas in i två grupper: Värmepumpar och kylmaskiner. De senare används ofta för luftkonditionering och liknande applikationer. Det är tveksamt om det överhuvudtaget förekommer vätske-luft-värmepumpar. Gemensamt för dem är att de har en sida (kondensor- eller förångarsidan) med direkt värmeutbyte med utom- eller inomhusluft, och den andra sidan (förångar- eller kondensorsidan) utrustad med ett indirekt system. T.ex. radiatorvatten.

Luft-vätske (Värmepumpar)

En luft-vätske-värmepump har i allmänhet en utomhusdel med förångare, kompressor etc. i ett ”paket”. En fläkt drar luft genom förångaren. Värmen avges (ofta) inomhus till radiatorvattnet i en vattenkyld kondensor. I denna typ av anläggningar kan alla typer av ersättningsmedier användas. En frånluftsvärmepump kan sägas vara av detta slag, även om förångaren tar upp värmen i en frånluftkanal istället för utomhus.

Luft-vätske (Kylmaskiner)

En luft-vätske-kylmaskin, för t.ex. luftkonditionering, sitter en luftkyld kondensor utomhus tillsammans med kompressorn etc. Förångaren tar sin värme från ett sekundärt system som distribuerar den genererade kyleffekten ut i t.ex. en fastighet. I detta fall kan man få samma problem med *R407C* och *R417A* som var fallet med luft-luft-system. *R134a*, *R404A* och *R507A* fungerar bättre.

Vätska-luft (Kylmaskiner)

I luftkonditioneringsapplikationer och liknande med ett system där man har vattenkyld kondensor och luftberörda förångare kan man i princip använd alla tillgängliga ersättningsmedier. Man bör dock vara lite försiktig med *R417A* här, eftersom denna typ av aggregat ofta har långa sugledningar vilket kan ge problem med oljeåterföringen till kompressorn. (Jfr. *luft-luft-aggregat* ovan.)

VARFÖR ÄR DET SÅ SVÅRT ATT FÖRUTSPÅ UTFALLET?

Svårigheten att förutspå utfallet av olika konverteringsalternativ beror dels på hur aggregatet är dimensionerat i sin applikation. Dvs. hur stor kapacitet (kyl- eller värmeeffekt) aggregatet har i förhållande till behovet. Dels hur aggregatet i sig är dimensionerat. Dvs. hur stora värmeväxlare etc. är. Till detta kommer att utformningen av köldmediekretsen (sug- och vätskeledningar) kan vara mycket olika. Allt detta påverkar utfallet av en konvertering, eftersom inget av de fem kommersiellt tillgängliga alternativen är tillräckligt likt R22; inte så likt R22, som R134a är likt R12. Man kan emellertid göra vissa grova utsagor dels om i vilka typer av aggregat olika alternativ är mindre lämpliga, och dels hur aggregatets dimensionering påverkar ändringen av köld- respektive värmefaktorn då ett visst alternativ väljs.

Man kan inte räkna som man brukat

När det blev aktuellt att fasa ut R12, och man valde att ersätta det med R134a i både nya och befintliga installationer, var det ganska enkelt att uppskatta aggregatets prestanda efter en tänkt konvertering. Man kunde lätt räkna ut ganska precis hur stor kyleffekt och hur energieffektiv maskinen skulle bli med det nya arbetsmediet. Eftersom R134a termodynamiskt sett är mycket likt R12 kunde man helt enkelt anta att man vid samma omgivande temperaturer skulle få samma förångnings- och kondenseringstemperatur. Med dessa 'kända' är det ganska enkelt att räkna ut kapacitet och effektivitet. När det så blivit dags att fasa ut R22 ur befintliga aggregat, är det många som tror att det fortfarande är så enkelt. Det är det inte!

Som nämnts tidigare är inget av de på marknaden tillgängliga ersättningsmedierna för R22 så lika R22 som R134a var likt R12. Detta gör att aggregatets ursprungliga dimensionering påverkar utfallet kraftigt. Så kraftigt att en jämförelse mellan förväntad prestanda för olika alternativ vid samma förångnings- och kondenseringstemperaturer i allmänhet är helt värdelös. Vid Institutionen för Energiteknik på Kungl. Tekniska Högskolan har man de senaste 15 åren tittat på olika konverteringsrelaterade frågor, både i laboratoriet och med i stor mängd fältmätningar på verkliga installationer. De senaste fyra åren har ett projekt om just utfasningen av R22 bedrivits. Erfarenheterna från dessa 15 års forskning, inte minst från de senaste fyra åren, visar att jämförelser av det slag som beskrivits ovan är i stort sett meningslösa. Aggregatets och installationens ursprungliga dimensionering påverkar som sagt utfallet väldigt mycket. Om man studerar tabell 2, som är baserad på erfarenheter från dessa mätningar och en stor mängd avancerade datorsimuleringar, ser man att utfallet sprider sig väldigt mycket. Detta är något man inte ser om man beräknar kapacitet och energieffektivitet vid givna förångnings- och kondenseringstemperaturer. Man får i allmänhet inte samma förångnings- och kondenseringstemperaturer efter en konvertering till t.ex. R134a eller R407C som man hade med R22 i maskinen; och de avviker mycket!

Ett exempel: Typisk luftkonditioneringsapplikation

Som tabell 1 visar kan man räkna med att om man byter ut det gamla arbetsmediet i en typisk vätskekylare i en luftkonditioneringsapplikation mot t.ex. *R134a* kommer man förlora ca: 35 á 40 % i kyleffekt. Detta gör att värmeväxlarna belastas med mindre värmeeffekt, vilket i sin tur gör att temperaturdifferenserna i värmeväxlarna minskar. De mindre temperaturdifferenserna gör att det totala temperaturlyftet för kylmaskinen att arbeta emellan blir mindre, vilket ger en högre energieffektivitet, uppåt +25% mot vad aggregatet hade med R22.

Detta gäller för typiska vätskekylaggregat, men inte alla: Det typiska (lite äldre) vätskekylaggregatet är utrustat med ganska små värmeväxlare (små värmeväxlarytor) och har en ganska låg energieffektivitet från början. Om man då minskar ytbelastningen i värmeväxlarna minskar temperaturdifferensen..

Ett exempel: Villavärmepump (bergvärme)

Den typiska (lite nyare) villavärmepumpen som kan vara aktuell för konvertering är redan från början energieffektiv. Man gör inga vinster i energieffektivitet genom att minska dess kapacitet eftersom den bl.a. är utrustad med stora värmeväxlare (stora värmeväxlarytor). Den är utrustad med plattvärmeväxlare, kompakt kretsutformning och har relativt liten fyllningsmängd utan några receiver. Denna typ av aggregat går i princip att konvertera till vilket alternativ som helst (gäller ej de med sk. direktförångning i berg där man kan få problem om man använder *R407C* eller *R417A*), men eftersom det visar sig att det rent ekonomiskt är viktigt att man inte förlorar värmeeffekt lämpar sig *R407C*, och i vissa fall *R404A* och *R507A*, väl. Att byta ut *R22* mot *R134a* ger dels normalt ingen vinst i energieffektivitet och den förlorade värmeeffekten måste sörgas för på annat sätt – oftast med elektricitet.

Problemet är att det finns egenheter i alla installationer och aggregat som gör att vissa alternativ fungerar bättre eller sämre än andra i just den specifika installationen eller aggregatet.

MAN KAN GÖRA MER!

Resultaten redovisade i tabell 2 gör att man kan tycka att situationen ser hopplös ut, men genom att låta göra ingrepp i aggregatets kretsutformning eller i de kringliggande systemens utformning kan man bättra på situationen betydligt.

Suggasvärmeväxlare (R404A och R417A – kylmaskiner)

Köldmedier som *R417A* och *R404A* kan leverera betydligt högre kyleffekt och köldfaktor (i paritet med den ursprungliga eller rent av högre) genom att man installerar en så kallad suggasvärmeväxlare i köldmediekretsen. Detta kostar naturligtvis lite, men den besparing man gör i och med att energieffektiviteten höjs betalar i allmänhet sig detta ganska snart p.g.a. lägre driftkostnader. Man kan säga att man anpassat kylmaskinen till det nya arbetsmediet.

Sänka kondenseringstemperaturen (Alla – kylmaskiner)

Ibland kan man komplettera den övriga installationen med t.ex. ytterligare en kylmedelskylare, för att på så sätt sänka returtemperaturen på kylvattnet till kondensorn. Om man sänker returtemperaturen på kylvattnet till kondensorn sjunker kondenseringstemperaturen och kyleffekten stiger tillsammans med energieffektiviteten.

Minska behovet (Alla – både kylmaskiner och värmepumpar)

Oavsett om man sänker aggregatets energieffektivitet eller inte, får man ändå ett sänkt drivenergibehov om man minskar sitt behov av tillförd värme eller kyla. Hur kan man då minska sitt behov av kyla eller värme? Dels kan man ibland sänka behovet av levererad kyleffekt t.ex., genom att bättre trimma den övriga delen av installationen. Och kanske börja styra denna på ett bättre sätt. Genom bättre trimning och reglering kan man sänka sitt behov av tillförd energi en hel del. Ofta kan man minska t.ex. solinstrålningen genom fönster genom att montera markiser eller liknande, och att tilläggsisolera taket i villan kan vara en god investering.

Varvtalsreglering

Genom att byta från R22 till R134a och genom att komplettera aggregatet med varvtalsreglering kan intressanta synergieffekter uppnås; aggregatet får längre gångtider vid dellast med bibehållen hög effektivitet och kapacitet kan ökas med ca 20 % av vad R134a skulle ge utan varvtalsreglering. Naturligtvis måste dimensioneringen av aggregatet och ekonomin ses över vid en dylik åtgärd.

VÄRT ATT TÄNKA PÅ...

När är det lönt att utföra en mer genomgripande konvertering med ingrepp i den övriga installationen? När är det bäst att genomföra endast ett köldmediebyte? När är det en bra affär att helt enkelt byta ut det gamla aggregatet mot ett nytt, kanske mot annan (ny) teknik? Det är naturligtvis omöjligt att ge några generella riktlinjer men man bör tänka på det följande:

- Att genomföra ett köldmediebyte men samtidigt passa på att anpassa aggregatet för det nya arbetsmediet är ofta en mer långsiktig, energieffektiv, lösning, utan att man drar på sig stora investeringar.
- Är det frågan om en gammal maskin, en maskin som snart är avskriven etc., är det ofta lika bra eller bättre att byta ut aggregatet mot ett nytt. Framför allt på luftkonditioneringssidan har aggregaten (vätskekylarna etc.) blivit mycket mer energieffektiva de senaste åren. På detta sätt kan ju även s.k. naturliga köldmedier som propan, ammoniak och koldioxid övervägas. Ammoniak och propan kräver åtminstone delvis indirekta system (t.ex. i livsmedelsbutiker). Indirekta system är idag vanligt i nya installationer med alla typer av köldmedier. Detta möjliggör mycket små fyllnadsmängder.

ANDRA ALTERNATIV

Det finns naturligtvis andra sätt att angripa konverteringsproblematiken på. Det finns dels andra sätt att dels lösa frågan med att byta aggregatet, och dels andra sätt att lösa sin energi-användning och kostnaderna för denna. Man har ju idag möjlighet att byta ut konventionella kylaggregat mot t.ex. fjärr- eller frikylalösningar i vissa fall. Ett annat alternativ man har som fastighetsägare är ju att lägga ut (s.k. Out-Sourcing) drift, service och kanske rent av ägandet av fastighetens energisystem till ett annat företag. Kostnaden för detta måste naturligtvis vägas mot de mindre bekymren...

EN LITEN VARNING

Vissa köldmedier (*R407C* och *R417A*) är inte lämpade för vissa aggregat. De har termodynamiska egenskaper som gör att de inte fungerar bra tillsammans med vissa kretsutformningar. Att använda dessa köldmedier i maskiner med denna typ av kretsutformning är inte lämpligt, utan kommer att leda till försämrade prestanda. Kompetenta kylentreprenörer och grossister kan hjälpa dig med mer information, och skall veta när dessa köldmedier är lämpliga eller inte. För den som är intresserad kan mer detaljerade beskrivningar av denna problematik hämtas på: 'www.egi.kth.se/retrofit'. En mycket detaljerad publikation är den fullmatade guide som med jämna mellanrum utges av det tyska tillverkaren Bitzer (Bitzer refrigerant Report). Denna kan kostnadsfritt nedladdas från 'www.bitzer.de'. I övrigt tillhandahåller de flesta köldmedietillverkare information som är relativt lättillgänglig via Internet även om information ofta vänder sig till kylbranschen och inte slutanvändarna.

SLUTSATS

Man bör inte se utfasning av R22 i kyl- och värmepumpanläggningar som en fråga om att absolut bibehålla kyl- eller värmekapacitet. Man bör i stället vidga perspektivet till att innefatta den övriga installationen och brukarens behov av t.ex. inomhusklimat. På detta sätt ökar möjligheterna att uppnå den lösning som ger bäst energieffektivitet, minst miljöpåverkan (genom minskat energibehov) och ekonomi för ägaren och brukaren. Det handlar alltså inte bara om att byta ut en kemikalie mot en annan den här gången.

LITTERATUR

Det har skrivits en uppsjö artiklar, avhandlingar, rapporter och konferensbidrag som på olika sätt berör avvecklingen av R22. Nedan finns återgivet en liten del av det som skrivits de senaste åren. En del är programvara.

- Bitzer (2000), *Refrigerant Report 9*, Bitzer Kühlmaschinenbau GmbH, Sindelfingen
- Gabrieli C. (2000), *HFC mixtures as replacements for HCFC-22 in large-scale heat pumps and chillers*, doctoral thesis, Department of Heat and Power Technology, Chalmers University of Technology, Gothenburg
- Herbe L. (1997), *CFC and HCFC Refrigerant Retrofit. A Theoretical, Practical and Environmental Evaluation of Alternatives*, Teknologie Licentiat avhandling, Inst. för Energiteknik, Kungl. Tekniska Högskolan, Stockholm
- Johansson A. (1999), *Replacement of Refrigerant R22 – Energy Efficiency and Environmental Consequences*, Bidrag till seminarium vid KTHs 'Research School of Environmental Management' på KTH Mars 9-10 1999, Kungl. Tekniska Högskolan, Stockholm
- Johansson A., Lundqvist P. (1998), *Optimal Distribution of Condenser Area for Retrofits*, Proceedings of the International Refrigeration Conference at Purdue University 1998, Purdue University, West Lafayette
- Johansson A., Lundqvist P. (1999), *In-Situ Measurement of Circulated Composition in Refrigeration and Heat Pump Systems Using Zeotropic Refrigerant Mixtures*, Proceedings from the 20th International Congress of Refrigeration, IIR/IIF, Sydney.
- Johansson A., Lundqvist P. (2001a), *A Method to Estimate the Circulated Composition in Refrigeration and Heat Pump Systems Using Zeotropic Refrigerant Mixtures*, International Journal of Refrigeration, vol. 24, no.8, pp.798-808, Elsevier Science Ltd
- Johansson A., Lundqvist P. (2001b), *Ersättning av R22 i nya och befintliga anläggningar – Energieffektivitet, ekonomi och miljökonsekvenser*, Slutrapport från Energimyndighetens kollektivforskningsprogram K limat21, Statens Energimyndighet (STEM), Eskilstuna
- Klein S., Alvarado F. (2000), *Engineering Equation Solver – EES*, Datormjukvara, F-Chart Software, Middleton.
- McLinden M. et al (1998a), *NIST Standard Reference Database 23: Refprop 6.1*, Datormjukvara, U.S. Department of Commerce, Technology Administration, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg
- McLinden M. et al (1998b), *Thermodynamic properties for the alternative refrigerants*, International Journal of Refrigeration, vol.21, no.4, pp.323-338, Elsevier Science Ltd
- Onlinekällor**
- ARTI (2001), *FERRET*, refrigerant reference database of the *Air-Conditioning and Refrigeration Technology Institute (ARTI)*, James M. Calm Engineering Consultant, Great Falls

BILAGA 1: GWP OCH ODP FÖR OLIKA KÖLDMEDIER

När man jämför olika köldmediers miljöpåverkan brukar man titta på deras förmåga att påverka växthuseffekten (GWP och HGWP) respektive deras förmåga att bryta ner stratosfäriskt ozon (ODP)

Global Warming Potential, GWP och HGWP

Global Warming Potential är ett mått på hur "bra" ett köldmedium är på att bidra till växthuseffekten.

- *GWP* jämför med koldioxid. Koldioxid, CO₂, har alltså GWP=1.00. Koldioxid är den viktigaste växthusgasen.
- *HGWP* jämför samma sak men har CFC-köldmediet R11 som referens. R11 har m.a.o. HGWP=1.00.

Ozone Depletion Potential, ODP

Ozone Depletion Potential är ett mått på hur "bra" ett köldmedium är på att bryta ner det stratosfäriska ozonskiktet. Referensen är i detta fall R11, som alltså har ODP=1.00. Som tabellen nedan visar har R22 ett ODP på 0.055, och det är alltså därför vi i Sverige skall fasa ut det samma.

Köldmedium	GWP	HGWP	ODP
R22	1900	0.35	0.055
R134a	1600	0.28	~ 0.00
R404A	4540	0.80	~ 0.00
R407C	1980	0.39	~ 0.00
R417A	2570	0.44	~ 0.00
R507A	4600	0.81	~ 0.00
R410A	2340	0.39	~ 0.00
R290 (Propan)	~ 20	~ 0.00	~ 0.00
R717 (Ammoniak)	< 1	~ 0.00	~ 0.00

Tabell 3 GWP, HGWP och ODP för olika köldmedier. (Källa: ARTI, 2001)

BILAGA 2: TOTAL ENVIRONMENTAL IMPACT

TEWI kan sägas vara ett sätt att jämföra hur mycket koldioxid eller koldioxid-ekvivalenter t.ex. ett vätskekylaggregat genererar i olika länder. "Olika länder" är viktigt eftersom den genomsnittliga kilowattimmen som genereras i en nation beror på den lokala energimixen: Hur många kg koldioxid skapas för att generera 1 kWh elektricitet i Sverige, Norge eller säg, EU i genomsnitt. Man delar upp TEWI i tre komponenter.

1. Direkta utsläpp av arbetsmedium under drift.
2. Utsläpp i samband med utrangering av aggregatet.
3. Utsläpp av koldioxid vid produktionen av drivenergin (el)

Alltså: $TEWI = \text{Direkt}_{\text{Läckage}} + \text{Direkt}_{\text{Återvinning}} + \text{Indirekt}_{\text{Användning}}$

Matematiskt kan man uttrycka det som följer:

$$TEWI = [GWP \times L \times n \times m] + [GWP \times m(1 - \alpha_{\text{återvunnet}})] + [n \times E_{\text{Årligt}} \times \beta]$$

Där... $GWP = \text{Global Warming Potential [Relativt CO}_2]$

$L = \text{Andel årligt läckt mängd köldmedium [-]}$

$n = \text{Anläggningens livslängd [år]}$

$m = \text{Fyllnadsmängd [kg]}$

$\alpha_{\text{återvunnet}} = \text{Andel återvunnet vid utrangering [-]}$

$E_{\text{Årligt}} = \text{Energiförbrukning [kWh]}$

$\beta = \text{CO}_2\text{-utsläpp per kWh producerad el [kg-CO}_2\text{/kWh]}$

TEWI kan vara ett bra verktyg att använda om man vill jämföra den miljöbelastning olika konverteringsalternativ ger upphov till. Det kan emellertid vara svårt att veta värdet på de olika komponenterna. Hur mycket läcker egentligen anläggningen? Hur stor del av det kvarvarande köldmediet lyckas man återvinna när aggregatet en gång skrotas? Och kanske det svåraste: Vilken energimix kan man räkna med? Man brukar säga att Sveriges genomsnittliga koldioxidproduktion per kWh el är ungefär 0.04 kg-CO₂/kWh elektricitet, men det är ju inte säkert att man köper en genomsnittlig kWh. I dag har man ju faktiskt möjlighet att köpa sk. "grön-el", utan någon koldioxid produktion. Dvs. 0.0 kg-CO₂/kWh elektricitet vid elgenereringen.

Om man jämför TEWI för olika konverteringsalternativ, visar det sig att den minsta miljöpåverkan får man om man minskar sitt värme-/kylbehov och ökar installationens energieffektivitet (både enskilda aggregat och hela övriga installationen). Eller, om man väljer att byta ut t.ex. vätskekylaggregatet mot en frikylalösning...

BILAGA 3: LITE OM DE "NYA" KÖLDMEDIERNAS TERMODYNAMISKA EGENSKAPER ETC.

Temperaturglide

Flera av de ersättningsmedier för R22 (som går att använda i befintliga aggregat) som är tillgängliga på marknaden är blandningar av rena medier: R404A, R407C, R417A och R507A. Av dessa är det tre som har en sk. temperaturglide. Dessa tre är R404A, R407C och R417A. *Temperaturglide* kallas ofta bara för *glide*, och kommer sig av att temperaturen då vätskan kokar ökar från det att första bubblan bildas tills dess att sista droppen kokar bort om trycket är konstant. Till skillnad från rena medier som vatten, som ju kokar vid konstant temperatur om trycket hålls konstant. Att t.ex. dessa tre blandningar kokar under stigande temperatur beror på att det är de mest flyktiga komponenterna i blandningen kokar bort först (alltså vid lägst temperatur) och de minst flyktiga sist (alltså vid högst temperatur). Andra mer kända blandningar av detta slag är t.ex. glögg och andra alkoholhaltiga drycker.

Ett problem man får vid hanteringen av dessa glide-behäftade blandningar uppträder då man förvarar dem i köldmedieflaskor och -tankar. I dessa behållare finns köldmediet i både vätskefas och gasfas samtidigt, men vätskefasen kommer inte att ha samma sammansättning som vätskefasen. (Gasen kommer att innehålla mer av de flyktigaste komponenterna och vätskefasen mer av de mindre flyktiga.) Har man tappat flaskan på en del köldmedium kan skillnaden i sammansättning vara så stor att det ställer till stora problem vid användningen av det resterande köldmediet i ett aggregat: Det kan dels bli svårt att få aggregatet att gå stabilt men det blir framför allt svårt att försöka uppskatta maskinens prestanda efter konverteringen, eftersom man inte (längre) har det köldmedium i aggregatet som man tror.

R404A har väldigt liten temperaturglide, så man får sällan dessa problem med detta köldmedium. R407C och R417A däremot har ganska stor temperaturglide (uppåt 5-7°C), och då kan man få problem. R507A är en sk. azeotrop blandning (jfr. alkohol och vatten vid 96%-alkoholkoncentration) och uppför sig väsentligen som ett rent medium.

Oljor och smörjmedel

R134a, R404A, R407C och R507A är sk. HFC-medier, och kräver speciella oljor för att fungera i kylmaskiner och värmepumpar. Vanligtvis använder man s.k. polyolesteroljor till denna typ av köldmedier. I system med R22 användes mineraloljor, alkylbensenoljor eller blandningar därav, dessa fungerar alltså inte med HFC-medier. Däremot fungerar de med R417A som är en blandning av HFC-medier och ett kolväte. Det sista fungerar som 'oljebärare', och löser sig i oljan så att denna kan följa med köldmediet runt i systemet utan att fastna i någon för detta olämplig komponent.

Det är viktigt att man rengör systemet från gammal olja då man går från R22 till något HFC-medium. Även om man med R417A kan använda den gamla oljan (mineral- eller alkylbensenoljan) är det i alla fall lämpligt att byta denna mot ny mineralolja e.dyl., eftersom den helt enkelt kan vara dålig efter några års drift.

BILAGA 4: TILLSTÅNDSDIAGRAM

På de följande sidorna följer tillståndsdigram (entalpi-tryck-digram; $h, \log-p$) för följande köldmedier:

- R22
- R134a
- R404A
- R407C
- R417A
- R507A
- R410A
- R290 (Propan)
- R717 (Ammoniak)

















