



KUNGL
TEKNISKA
HÖGSKOLAN

Institutionen för Energiteknik

PROJEKT: A2

ERSÄTTNING AV R22 I NYA OCH BEFINTLIGA ANLÄGGNINGAR

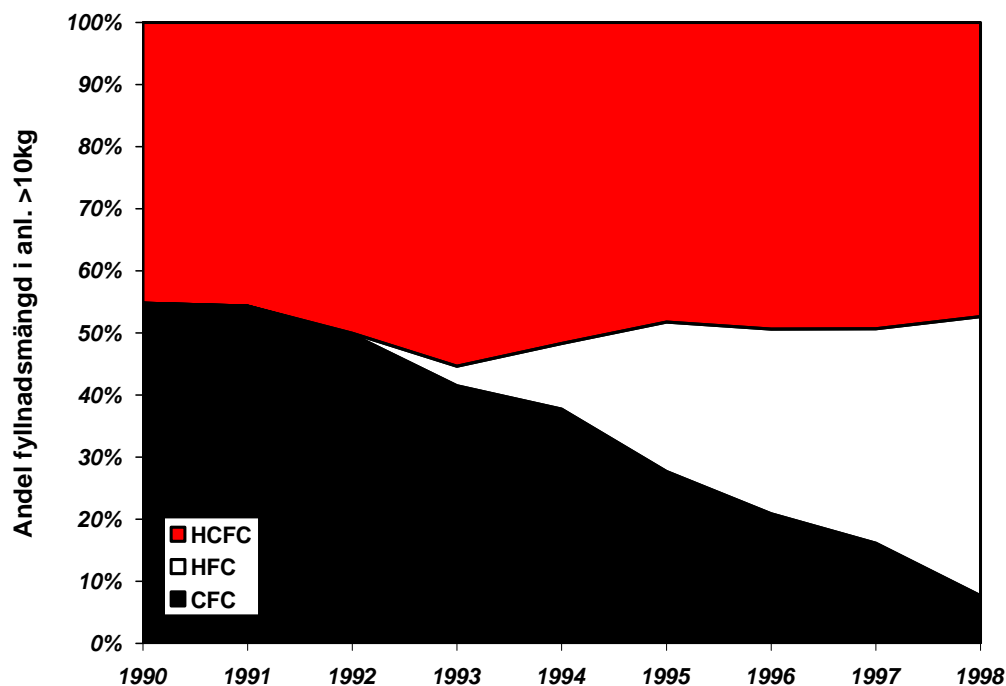
– ENERGIEFFEKTIVITET, EKONOMI OCH MILJÖKONSEKVENSER –

Anders Johansson
Per Lundqvist, Docent
Inst. för Energiteknik, KTH

Ersättning av R22 i nya och befintliga anläggningar – Energieffektivitet, ekonomi och miljökonsekvenser

Inledning

Från den första januari 2002 får vi ett förbud mot påfyllning av R22 i befintliga anläggningar i Sverige. Utfasningen av R22 inleddes i egentlig mening redan den första januari 1998 då nyinstallationsstoppet trädde i kraft. Sverige har alltså valt en, i ett internationellt perspektiv, tämligen offensiv väg vad gäller reglering och utfasning av ozonnedbrytande ämnen. R22 har traditionellt använts i en uppsjö applikationer, som villavärmepumpar, fjärrvärmepumpar, vätskekylare, reverserbara splitsystem etc, alla arbetande i olika temperaturintervall, med olika kretsutformningar och kringssystem, av användare med olika behov och önskningar. År 1998 stod HCFC-medier, i huvudsak R22, fortfarande för i runda tal 50% av den rapporterade fyllnadsmängden i kylmaskiner och värmepumpar i Sverige. Maskiner med R22 som arbetsmedium installerades fram till nyinstallationsstoppet 1998, och fram till dess tycks också väldigt få konverteringar av R22 anläggningar ha utförts. Det är först under senare delen av 1999 och under år 2000 som konverteringarna tycks ta fart. En fråga man då kan ställa sig är: Varför går det så trögt med utfasningen av R22, när det till synes gick så bra med R12? En del av svaret är att detta är ett i grunden annat problem än avvecklingen av R12. Ett problem som inte nödvändigtvis löses genom att man byter en kemikalie mot en annan.



Figur 1 Fram till 1998 har det utförts få konverteringar av R22 anläggningar. Källa: SNV (2000)

Studier inom projektet visar att det endast i undantagsfall är så att energieffektivitet och kapacitet bibehålls då endast ett köldmediebyte utförs vid en konvertering. Genom att vidga perspektivet och se till dels hela den installation i vilken t.ex. kylmaskinen är en del och dessutom se till brukarens behov och krav, och möjligheterna att påverka dessa, förbättras utsikterna att utföra en konvertering med bästa energieffektivitet, minsta möjliga miljöpåverkan och bäst totalekonomi för brukaren.

Den inledande formuleringen i projektbeskrivningen från 1997 löd...

.../ Konvertering från R22 till alternativa köldmedier är en problemkomplex som till stor del avviker från det som var fallet med CFC-medierna. För dessa medier har fokus legat på konverteringsteknik, oljor och materialkompatibilitet. Utvecklingen på dessa område är fortfarande dynamisk och en hel del intressant utveckling sker, inte minst på oljeområdet. När det gäller R22-utvecklingen kvarstår naturligtvis en stor del av det som gällde CFC-medierna, eftersom många av de ersättningsmedier som föreslagits är HFC-köldmedier eller blandningar därav, men för att förstå R22-problematiken måste vi vidga perspektivet /...

Redan i projektbeskrivningen visas det på att ersättningen av R22 i mångt och mycket är ett annat problem än ersättningen av R12. De, vid projektbeskrivningen, tillgängliga ersättningsmedierna hade egenskaper som gjorde att de inte utan vidare kunde användas utan att kylmaskinen eller värmepumpens egenskaper påverkas menligt. Det vidgade perspektivet innebar att maskinens roll och det system i vilket maskinen ingår måste tas i beaktande. Detta har visat sig vara en framkomlig och framgångsrik väg i arbetet med att ersätta R22 i befintliga anläggningar.

Summary:

January first 2002 there is a refill stop of R22 in existing facilities in Sweden, and since January first 1998 there has been a new installation stop for systems using R22 as working media. With an international perspective Sweden has chosen a rather rapid timetable for regulation and phase out of ozone depleting substances. Traditionally R22 was the preferred working media in a vast number of different applications such as heat pumps, liquid chillers, reversible split systems etc, all working within different temperature intervals, with different circuit layout and surrounding equipment, and by users with different needs and priorities. In 1998 R22 still stood for approximately 50 % of the total refrigerant charge in Sweden, and until then very few retrofits were conducted.

All of the presently available commercial alternatives to R22, present either a capacity or efficiency loss when used in old R22 systems. Often both. Thus, focusing on the working media alone will not solve the problems for the owners or users, and a wider perspective has to be chosen to obtain the most environmentally benign solution: A solution that also results in the best possible economical solution for the owner. I.e. this is not just a question of replacing a chemical.

The present work presents e.g. a systematisation of installations and an aid to help to decide how retrofits should be conducted.

Innehållsförteckning

Forskare och industrirepresentanter som arbetat med projektet.....	1
Samarbete med deltagande företag.....	1
Projektets syfte och mål.....	1
Projektets genomförande	2
Resultat	3
Exempel: Komfortkyla i kontorsfastighet	5
Kylmaskinen/Köldmediekretsen (figur 2a)	5
Installationen (figur 2b)	6
Ett vidgat systemperspektiv (figur 2c).....	6
Vetenskapliga och tekniska resultat	7
Systematisering av installationer	7
Publicerade artiklar.....	8
Artiklar under arbete.....	9
Kommunikation med Industrin.....	10
Examina	11
Energi och miljöpåverkan.....	11
Industriell relevans	11
Internationell samverkan	11
Projektets relevans inom programmet	12
Referenser	12
Appendix	13
Appendix A.....	13
Appendix B.....	13

Forskare och industrirepresentanter som arbetat med projektet

Anders Johansson, doktorand, Inst. för Energiteknik, KTH

Per Lundqvist, docent, Inst. för Energiteknik, KTH

Birgitta Govén, Telia AB (senare Skanova AB) (Telia)

Jerry Zetterqvist, Telia AB (senare Skanova AB) (Telia)

Kenneth Weber, ETM Kylteknik AB (ETM)

Karl-Olof Rydell, Rydell & Lembke AB (R&L)

Christer Svanholm, Kylteknik i Kalmar AB (KIK)

Klas Berglöf initialt, senare Gustav Hammarberg och Mats Blomqvist, AKA Kyla AB (AKA)

Samarbete med deltagande företag

I projektet har fem företag deltagit. Fyra av dessa har bidragit med eget arbete i projektet.

Telia Skanova är anläggningsägare. Skanova sköter också i storstadsområdena driften
Skanova av sina installationer. I övriga landet råder lite olika förhållanden. Inom koncernen har det gått ut order om att man skall driva ett aktivt miljöarbete. Hos Skanova, tidigare Telia Nättjänster AB, har man hittills sett lokalkyla i telefonstationer som core-business eftersom tele- och datacomutrustningen i deras lokaler riskerar att falla vid mer än 40 minuters driftstopp, vilket skulle kosta företaget miljonbelopp per minut. Driftsäkerheten är således viktig. I nya installationer väljs i allmänhet inte i första hand kompressorkyla, utan varianter på frikyla. Skanova har bidragit med eget arbete i form av konverteringar, mätningar, och feedback.

ETM ETM Kylteknik både bygger, renoverar och driver kyl- och värmepumpinstallationer. ETM har bidragit med eget arbete i form av konverteringar, mätningar, och feedback.

R&L Rydell & Lembke bygger kyl- och värmepumpinstallationer. R&L har bidragit med eget arbete i form av jämförande mätningar i sin verkstad, studiebesök och feedback.

KIK Kylteknik i Kalmar bygger och driver kyl- och värmepumpinstallationer. KIK har bidragit med eget arbete i form av studiebesök och feedback.

AKA AKA är i huvudsak grossist av kylmateriel, bygger också egna kylmaskiner och värmepumpar. AKA bidrog under projektets inledning med erfarenheter från det tidigare projektet rörande utfasning av CFC-medier, och erfarenheter från introduktionen av R407C på den svenska marknaden.

Projektets syfte och mål

Syftet med projektet som helhet har varit att klarlägga såväl tekniska, ekonomiska som miljömässiga konsekvenser av en övergång till nya klorfria köldmedier i stället för R22. Målet med projektet är tillräckligt nog kunna förutsäga energimässiga och praktiska konsekvenser av köldmedieval för olika anläggningskonfigurationer där man idag skulle välja R22 som köldmedium. Med tillräckligt menas här att kunskapen skall vara så stor att bästa köldmedievallet kan göras på grundval av de kunskaper som upparbetas i projektet. De

tekniska och energimässiga konsekvenserna sätts i analysen i perspektiv till ekonomiska och miljömässiga faktorer.

För att öka förståelsen och möjligheterna till mer generella bedömningar modelleras de uppmätta anläggningarna. Dessa modellstudier utgör grunden för mer generella förklaringsmodeller baserade på fysikaliskt rimliga ekvationer och samband. Detta arbete skulle innebära ett stort steg framåt då den systemtekniska kunskapen om zeotropa arbetsmedier är bristfälligt.

Datormodelleringen och de generella förklaringsmodellerna används som analytiskt stöd och som ett sätt att sprida kunskaperna inom och utom den akademiska sfären.

Projektets genomförande

Projektet A2, *Ersättning av R22 i nya och befintliga anläggningar*, har drivits som ett problembaserat projekt. Det har inte funnits någon etablerad forskningsmetod att tillämpa eftersom detta är ett tvärvetenskapligt projekt. Under projektets gång har de konceptuella modellerna problematiserats och förfinats, men också blivit mer generella och övergripande.

- I och med de första provkonverteringarna tillsammans med Telia (numera Skanova) uppkommer ett antal frågeställningarⁱ: Hur mycket ersättningsmedium skall man fylla i för att uppnå bästa möjliga prestanda (effekt och/eller effektivitet)? Kan man enkelt förklara varför t.ex. R417A ser ut att gå stabilt med mycket liten synbar överhettning? Erfarenheter utbyts med Karl-Olof Rydell på R&L, som tidigt gjort jämförande mätningar mellan R22, R417A, R407C, R404A och R290. R&L tillhandahåller projektet dessa mätningar.
- En datormodell börjar utarbetas för att studera inverkan av fyllnadsmängden i systemet. Datormodellen verifieras tidigt med mätningar på Institutionen för Energiteknik och med mätningar från R&L. Datormodellen/simuleringsverktyget förfinas och kompletteras under projektets fortsättning för att senare kunna anpassas för att studera och förklara fler fenomen.
- Vid senare köldmediekonverteringar hos dåvarande Telia Nättjänster studeras kretsutformningens inverkan på oljeåterföringen då R22 byts mot R417A. Ett sk. TEL-projekt tar fram ett enkelt beslutsstöd för Telia. Stödet har vissa brister, men de ansvariga på Telia är på det hela taget nöjdaⁱⁱ. Problemen med en alltför snäv systemsyn blir uppenbara: Att bara se till olika köldmediers termodynamiska egenskaper ger inte ett bra resultat. Att enbart betrakta t.ex. vätskekylaren löser inte brukarens problem. Att systematisera anläggningar med utgångspunkt från köldmediet och kylmaskinen fungerar inte; man måste se till hela installationen, och man måste se till både köldmediernas termodynamik, installationens funktion och applikation, samt brukarens behov (verkligt eller uppfattat).
- Ett problem som tidigt uppdagats i samband med användandet av zeotropa arbetsmedier är förändringar i den cirkulerade sammansättningen. Effekter av sammansättningsförändringar har naturligtvis uppdagats inom projekt A2. För att närmare studera fenomenet utarbetades en datormodell baserad på en enkel läckagemodell beskriven i Kim och Didion (1995). Med utgångspunkt från denna, Refprop 6ⁱⁱⁱ, och den generella ekvationslösaren EES^{iv} utvecklades en metod att mäta cirkulerad sammansättning i kylmaskiner och värmepumpar med zeotropa arbetsmedier, såsom R407C, R417A etc, utan att ta gas- eller vätskeprov. Metoden verifieras med experiment i en specialbyggd

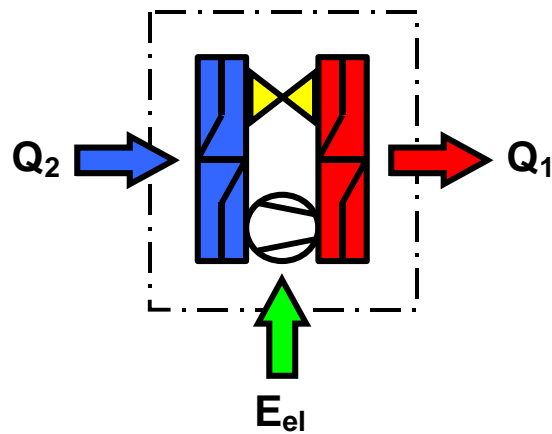
mättrigg på Avdelningen för Tillämpad Termodynamik och Kyltekniks laboratorium, men även med mätdata från Hill (1997) och ett examensarbete av Björn Olsson^v. Arbetet redovisades på IIR konferensen i Sydney 1999, och är accepterat för publikation i International Journal of Refrigeration under vintern/våren 2001. Se [Appendix B](#).

- Ett intressant konverteringsobjekt presenterades av Kenneth Weber (ETM) under vintern 1999. En bergvärmepump i storleksklassen 100kW med för korta borrhål konverterades från R22 till R134a. För att kompensera för kapacitetsförlusten och för att (i större utsträckning) möjliggöra kontinuerlig drift, försågs kompressorn med varvtalsreglering. Kompressorns varvtal tilläts öka med 20% från det tidigare fasta. Man kunde därmed kompensera något för den 40%-iga effektförlusten som annars erhållits. Något som redan före konverteringen enkelt kunde påvisas med datorverktyget.
- Under vårvintern 1999 hålls ett tvådagars seminarium i miljömanagement vid KTHs Centrum för Miljövetenskap. Varför tycks utfasningen av R22 gå så långsamt när utfasningen av R12 gick så ”enkelt”? Frågan har ställts av flera, bl.a. Naturvårdsverket. Det står härvidlag klart att ersättningen av R22 i befintliga anläggningar i första hand inte är ett installatörsproblem, utan ett brukarproblem. De aktörer som framgångsrikast löser problemet på ett ekonomiskt och energieffektivt sätt har en vidare syn på t.ex. vätskekylaggregatets användning. De äger antingen installationerna själva (t.ex. Telia, Systembolaget) eller/och de har driftansvar för hela installationen (t.ex. ETM, Dalkia). För dem handlar det om att upprätthålla en funktion. Detta kan göras på flera sätt, bl.a. med konkurrerande teknologier som fjärrkyla och fjärrvärme. För dessa innebär en köldmediekonvertering princip att en maskins livslängd förlängs och ett tillfälle då man även kan komplettera installationen med delvis nya lösningar. I vissa fall är det endast ett sätt att tillfälligt rädda äldre utrustning; då handlar det ofta om att göra minsta möjliga ingrepp, varför ett köldmedialternativ som R417A kan locka.
- En metod att systematisera anläggningar och installationer utvecklas. Det är viktigt ett brukarperspektiv väljs, eftersom det är de som måste fatta besluten och det är de som har ansvaret för installationen. Det är dessutom de, rimligen, som är stakeholders när det gäller besparingar vad gäller energi och miljö, men ytterst totalekonomi.

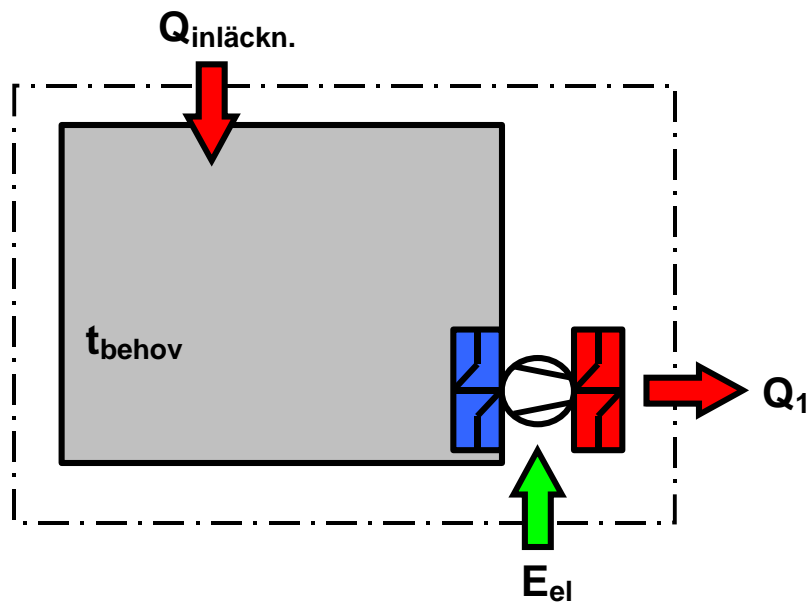
Resultat

Under projektets gång har man kunnat se, framförallt internationellt, hur fokus har förflyttats från arbetsmediet till en större systembetraktelse i samband med R22 ersättning. Detta kan till exempel ses i hur vilka egenskaper som tycks setts som viktiga. Om man har ersättningen av R12 med R134a i minne, ser R407C ut som en mycket bra ersättare för R22 (och det är det också ibland). R407C har i princip samma molmassa som R22, nästan samma normalkokpunkt och en tillräckligt lik ångtryckskurva. Med R407C skulle man alltså kunna byta en kemikalie mot en annan. Det uppfattades av många som så att vissa av egenskaperna hos den zeotropa blandningen gav svårtydda beteenden i vissa typer av system. Att byta en kemikalie mot en annan för att få ”samma” egenskaper hos anläggningen tycks alltså inte vara en framkomlig väg. (Ersättningen av R22 är med andra ord ett annat problem än ersättningen av R12 var.) På senare tid har fler och fler anammats synsättet att köldmediet är den femte maskinkomponenten i t.ex. ett vätskekylaggregat – arbetsmediet – och att denna vätskekylare är en del i ett större system^{vi}. Andra ersättningsmedier med andra egenskaper (och andra tekniker) har därefter också blivit aktuella. Fokus har alltså flyttats från köldmediet till det större system i vilket maskinen ingår.

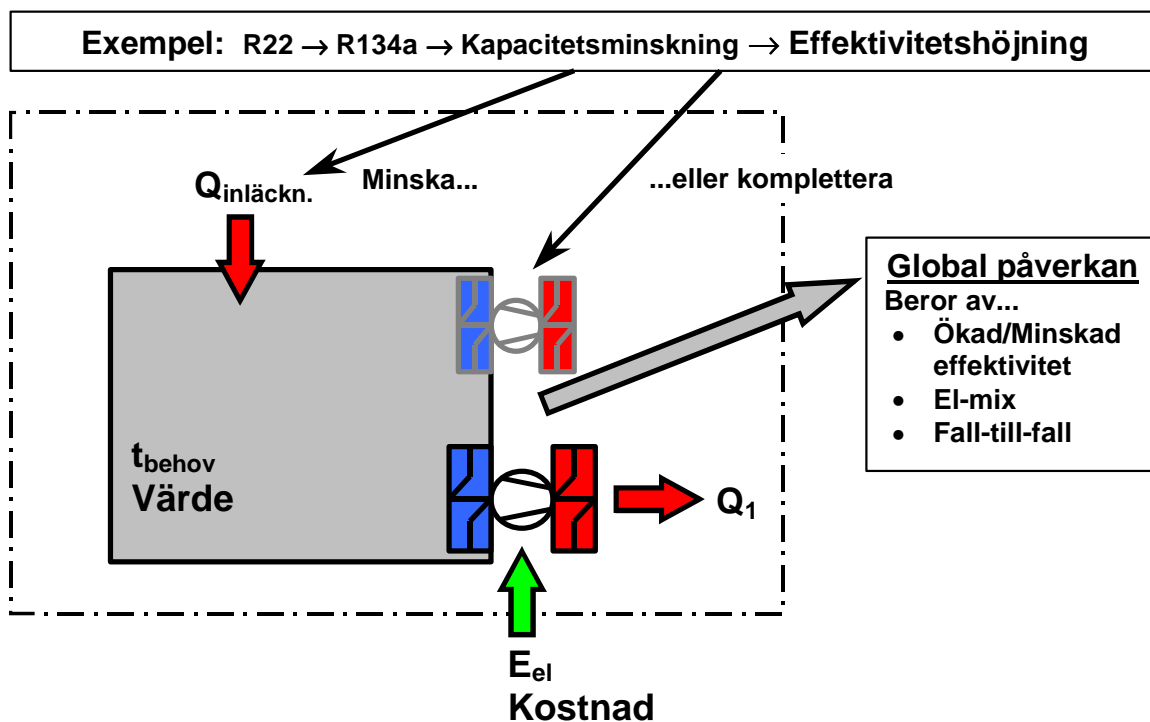
Nedan ges ett exempel på detta (jfr. figur 2a-c).



Figur 2a Ett traditionellt och ganska vanligt synsätt: Systemet begränsas till t.ex. kylmaskinen, eller rent av dess köldmediekrets.



Figur 2b Systemperspektivet vidgas till att inkludera en större del av installationen i vilken t.ex. kylmaskinen är en del.



Figur 2c Genom att vidga systemperspektivet ytterligare till att inkludera brukarens krav och behov, ges fler möjliga lösningar, vilka kan leda till en för brukaren lyckad konvertering.

Exempel: Komfortkyla i kontorsfastighet

I en kontorsfastighet i Stockholm tillhandahåller fastighetsägaren lokal- och komfortkyla till hyresgästerna. I installationen ingår det ett vätskekylaggregat vilket använder R22 som arbetsmedium. Fastighetsägaren har hört talas om nyinstallationsförbudet och det kommande påfyllningsförbudet för R22, och därför beslutat sig för att "göra något åt företagets köldmedieproblem". Det visar sig att trots de relativt korta årliga gångtiderna har man inte så stor överkapacitet i anläggningen under de varmaste sommardagarna. Vissa av hyresgästerna accepterar inte ett bortfall av lokalkyla, eftersom deras verksamhet till viss del är beroende av att temperaturen i lokalerna inte överstiger 24°C under mer än en timme. Inom företaget har man antagit en miljöpolicy om att man skall välja de mest miljövänliga, men samtidigt ekonomiskt fördelaktiga, lösningarna. Genom att anlägga tre olika systemsynsätt kan man nu komma till lite olika resultat vad gäller lämpliga åtgärder.

Kylmaskinen/Köldmediekretsen (figur 2a)

Om man bara ser till köldmediekretsen och önskar få en så energieffektiv maskin efter ett köldmediebyte som möjligt, utan att för den skull tappa kapacitet finns det väsentligen två alternativ: Byta ut arbetsmediet mot R407C eller R417A. Det förra leder i allmänhet till en liten effektivitets- och ofta kapacitetsminskning, och det senare till ungefär 20% kapacitetsförlust och liten effektivitetsminskning. Förutsatt att inga andra ingrepp görs, och att man fyller maskinen på samma sätt som den var med R22. Om man kan tänka sig att göra ingrepp i maskinens kretsutformning kan man till viss del kompensera för det eventuella effekt- och effektivitetsbortfallet. Att förse kompressorn med varvtalsstyrning, gör dels att

man kan kapacitetsreglera maskinen neråt, lägre kyleffekt när behovet av kyla är lägre, men också att man till viss del kan kompensera för en kanske 20% kyleffektförlust¹.

Installationen (figur 2b)

Om man inkluderar hela installationen får man fler möjligheter. Genom att t.ex. komplettera installationen med ytterligare en kylmedelskylare, kan man sänka kylvattnets returtemperatur ytterligare. Den sänkta returtemperaturen leder till sänkt kondenseringstemperatur, vilket minskar effekt- och effektivitetsförlusten om man t.ex. väljer att byta ut R22 mot R417A eller R134a. Om det är möjligt kan man tänka sig att kyla kondensorn med vatten från returledningen i ett eventuellt fjärrkylanät, vilket skulle leda till sänkt kondenseringstemperatur.

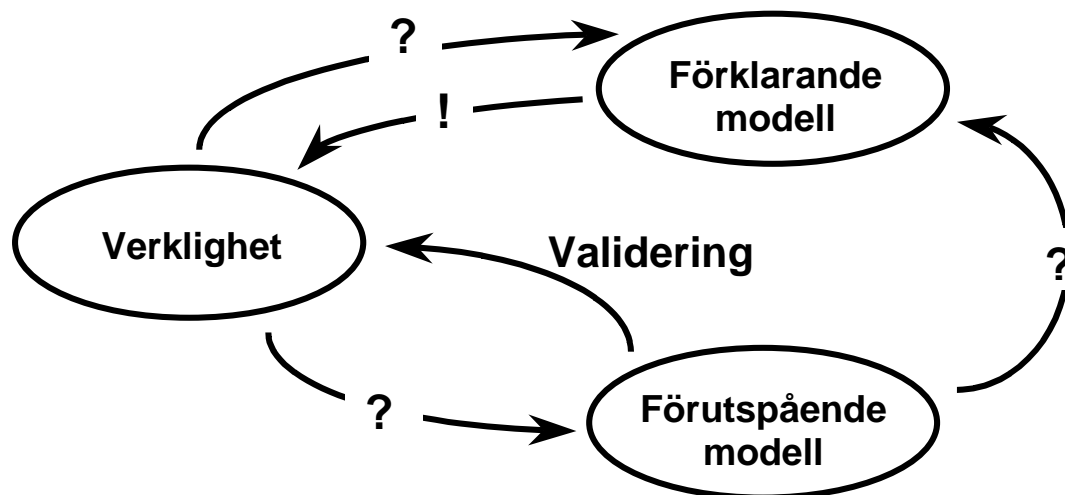
Ett vidgat systemperspektiv (figur 2c)

För fastighetsägaren innebär installationen för lokal- och komfortkyla, dels ett värde i form av de intäkter som denna genererar (möjlighet att ta ut lite högre hyra etc), men också kostnader i form av avskrivningar och driftkostnader. Detta ger ytterligare möjligheter. Genom att byta ut R22 mot R134a räknar man med att förlora c:a 40% i kyleffekt, men man räknar med att COP₂ stiger med 15-25% genom att värmeväxlarnas ytor blir relativt sett större vilket ger ett lite mindre temperaturlyft². Kapacitetsförlusten kan sedan kompenseras på två sätt: Antingen minskar man sitt kylbehov, genom att t.ex. montera markiser på den södervända fasaden, vilket automatiskt leder till minskat elenergiebehov – ”negawatt”. Eller också investerar man i ett nytt mindre, kompletterande, vätskekylaggregat, vilket ger möjlighet att dels kapacitetsreglera installationens kyleffekt i tre fasta steg (40%, 60% och 40%+60%), men som sannolikt också leder till längre livslängd p.g.a. längre gångperioder. Ytterligare alternativ för fastighets- och anläggningsägaren är att man byter ut maskinen mot ett helt nytt vätskekylaggregat, ett modernt med t.ex. ammoniak eller propan som arbetsmedium och högre års-COP₂ än det gamla, eller att man väljer att ansluta sig till ett fjärrkylanät.

Det är alltså inte självklart vad som ger störst miljövinst och bäst totalekonomi i det enskilda fallet. Den eventuella miljövinsten beror dels på hur man väljer att göra – markiser, kompletterande maskin med högre års-COP₂ eller fjärrkyla – men också på hur elektriciteten producerats (energimixen, CO₂/kWh) och/eller hur fjärrkylan producerats. I det senare fallet kan ju fastighetsägaren resonera som så, att det inte är deras problem. Dvs, fjärrkylagenereringen ligger utanför företagets systemgräns. På samma sätt beror vilken lösning som uppfattas som ekonomiskt fördelaktig på hur man skriver av denna typ av utrustning inom företaget, hur stor intäkt man menar att funktionen genererar, elpriset etc; men också hur stor (ekonomisk) risk man uppfattar att t.ex. ett byte av arbetsmedium innebär (risk för framtida driftstopp t.ex.).

¹ De flesta kompressorer klarar av att köras på 60 Hz istället för 50 Hz. Detta leder teoretiskt till en 20%-ig kapacitetshöjning.

² Se Appendix A.



Figur 3 Förklarande modeller kan ge svar på t.ex. varför vissa beteenden uppstår. Förutspående modeller ger (kanske) enklare och snabbare uppskattningar om t.ex. förväntad prestanda hos en anläggning efter en konvertering.

Vetenskapliga och tekniska resultat

Ett av projektets syften har varit att finna förklarande modeller för de beteenden som olika köldmedier uppvisar i en given anläggning. Det är emellertid viktigt att skilja på förklarande modeller och förutspående modeller, då de förra ofta blir svåra att använda till att förutsäga en given anläggnings beteende efter en konvertering. På samma sätt är ofta förutspående modeller tämligen dåliga på att förklara varför t.ex. utfallet av en konvertering från R22 till något alternativ blir som det blir. Förutspående modeller utformas ofta utifrån erfarenhet och aspirerar sällan på att vara en riktig fysikalisk beskrivning^{vii}. Förutspående modeller är emellertid något som ofta efterfrågas i branschen. Att utveckla en förutspående modell (t.ex. 'Telia chiller' i figur 4) kan vara ett sätt att lättare finna frågor och genom dessa utveckla nya modeller – nya förklarande modeller. Utifrån dessa förklarande modeller har sedan slutsatser kunnat dras; slutsatser som bidrar till att förbättra förutsättningarna för konverteringar från R22 till något alternativt arbetsmedium (Jfr. figur 3). Att använda förklarande modeller till att försöka förutspå en given anläggnings exakta beteende efter t.ex. en köldmediekonvertering är svårt och ger sällan särskilt bra resultat. Därför har vi inom projektet avstått från detta, till förmån för att söka förstå de fenomen och principer som gör den förklarande modellen.

Projektet har för projektets forskare lett till en större systemförståelse, både vad gäller sk. hårda system, så som kylmaskiner och värmepumpar liksom de system i vilka de återfinns, såväl som mjuka system, rörande t.ex. ledarskap och beslutsprocesser^{viii}.

Systematisering av installationer

För att förenkla för beslutsfattare i frågor rörande ersättning av R22 i befintliga installationer, har en systematisering av dessa installationer utförts^{ix}. Systematiseringen kan göras på flera sätt. Ett sätt skulle kunna vara att göra vad man skulle kunna kalla en **statisk** systematisering: Man skulle kunna försöka dela upp kylmaskiner och värmepumpar efter deras kretsutformning och annan hårdvara. För att utifrån detta sedan ge rekommendationer om lämpligt ersättningsmedium i varje enskilt fall. Denna statistiska systematisering tar ett slags ner-ifrån-och-upp-perspektiv, då den utgår från arbetsmediet. Eftersom inget av de på

marknaden tillgängliga ersättningsmedierna för R22 ger samma kapacitet och/eller effektivitet, alternativt uppvisar andra oönskade beteenden, kommer dessa således påverka hela det system i vilket kylmaskinen eller värmepumpen är en del. En sådan statisk systematisering får svårigheter att hantera kundens/brukaren/anläggningsägarens behov av kostnadseffektiv kyla/värme.

Ett annat sätt att göra en systematisering är att göra en mer **dynamisk** systematisering. En sådan systematisering utgår i detta fall från kundens/brukaren/anläggningsägarens behov av kostnadseffektiv kyla/värme: Ett uppifrån-och-ner-perspektiv. Då är det inte alls säkert att en köldmediekonvertering utan vidare åtgärder ger en speciellt energieffektiv, miljövänlig eller kostnadseffektiv lösning. Beroende på var kunden är belägen kan andra lösningar vara betydligt mer attraktiva. Man kan dels tänka sig ett fullständigt byte av teknik; byta vätskekylaggregatet mot en fjärrkylainstallation. Eller, ett kapacitetssänkande (men effektivitetshöjande) byte av arbetsmedium i den gamla kylmaskinen, och en komplettering med en ny, modern, maskin med högre energieffektivitet än den gamla hade, o.s.v. Systematiseringen, beslutstödet, kommer således att kunna ge olika rekommendationer beroende på t.ex. brukarens uppfattade behov.

Vissa typer av installationer, värmepumpar – i synnerhet villavärmepumpar, är ur brukarperspektivet ganska komplicerade att konvertera. Inte för att de är speciellt tekniskt komplicerade att konvertera, utan för att de från början är dimensionerade för att täcka kanske 50% av det maximala värmeeffektbehovet, vilket leder till en energitäckning på c:a 75-85%. Då en konvertering leder till försämrade prestanda (förlorad effekt leder till sänkt energitäckning) måste t.ex. villaägaren (i allmänhet) komplettera denna förlust med en investering i spetskapacitet. Det ökade behovet av spetseffekt sänker års-COP påtagligt, och leder till ökade kostnader för den enskilde. Att då bara se till arbetsmediet löser inte brukarens problem.

Ett beslutsstöd och en systematisering av installationer och återfinns i [Appendix A](#).

Publicerade artiklar

Under projektets gång har ett flertal artiklar publicerats både i internationella tidskrifter och konferenser så väl som seminarium. Datormjukvara har också producerats och distribuerats i huvudsak över Internet. Till detta kommer publikationer av material vid de årliga Klimat21-dagarna samt nyhetsbrev inom projektet. Brineprop är ett datorprogram som utvecklades för att fylla ett behov av dynamiskt tillgängliga köldbärardata i datormodeller inom projektet^x.

Nedan återfinns referenser till de reviewade artiklar som publicerats inom projektet:

Johansson A. (1999), *Replacement of Refrigerant R22 – Energy Efficiency and Environmental Consequences*, Contribution to seminar on environmental management at the Research School of Environmental Management at the Royal Institute of Technology Mars 9-10 1999, Royal Institute of Technology, 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. (2001), *A Method to Estimate the Circulated Composition in Refrigeration and Heat Pump Systems Using Zeotropic Refrigerant Mixtures*, International Journal of Refrigeration, accepted for publication in vol.24, Elsevier Science Ltd.

Lundqvist P. (1998), *n Refrigeration and Air-Conditioning*, Pre-prints, Joint meeting of the International Institute of Refrigeration Sections B and E, New Delhi.

Pitfalls in Experimental and Analytical Evaluation of Zeotropic Refrigerant Alternatives, Emerging Trends i

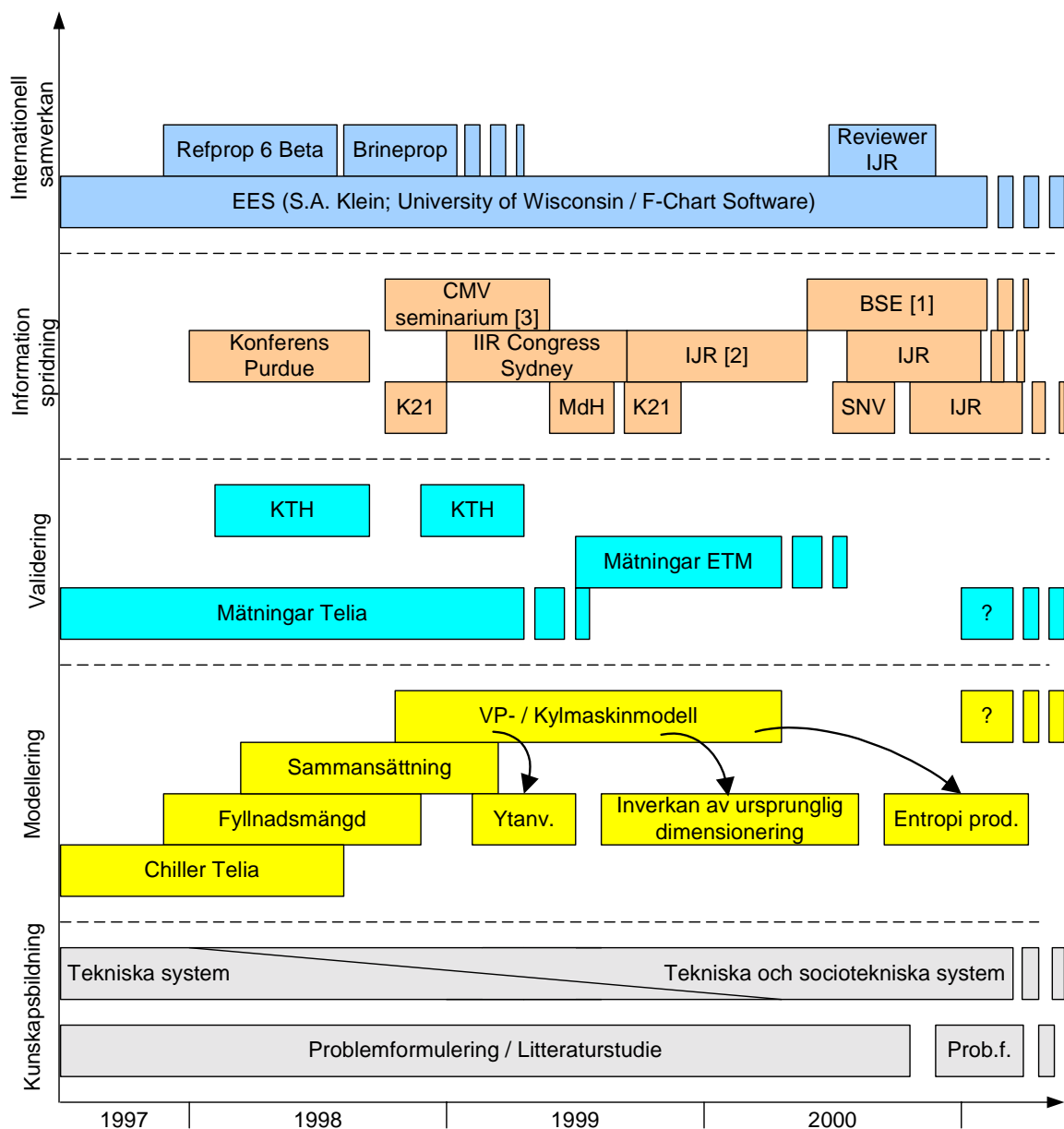
Lundqvist P. (1999), *R22 Retrofit: One Problem – Many Solutions*, Proceedings from the 20th International Congress of Refrigeration 1999, International Institute of Refrigeration (IIR/IIF), Sydney

Lundqvist P. (1999), *Estimation of Composition in Refrigeration and Heat Pump Systems Using Zeotropic Refrigerant Mixtures*, Proceedings from the 20th International Congress of Refrigeration 1999, International Institute of Refrigeration (IIR/IIF), Sydney

Artiklar under arbete

För tillfället arbetas det inom projektet med ett antal artiklar:

- Ledarskap och beslutsprocesser kring beslut och upprättande av regelverk rörande ersättningen/utfasningen av R22. Varför fattades beslut när de gjordes? Varför tycks utfasningen av R22 gå så trögt? Vad skiljer ersättningen av R22 ifrån ersättningen av R12?^{xi} Artikeln skrivs tillsammans med Fredrik Lagergren, doktorand på Inst. Energiteknik och Inst. för Industriell ekonomi och organisation på KTH. Artikeln avses att publiceras i *Energy Policy* alternativt *Business Strategy and the Environment*.
- *Strategies for R22 retrofits* är titeln på en artikel där titeln väl beskriver innehållet. Artikeln avses att publiceras i *International Journal of Refrigeration* alternativt *ASHRAE HVAC&R Research*.
- Hur olika ersättningsköldmedier påverkar systemprestanda beroende på systemets ursprungliga dimensionering. Artikeln avses att publiceras i *International Journal of Refrigeration*.
- En artikel med beslutstöd att använda vid konvertering av installationer med R22 som arbetsmedium i kylmaskinen eller värmepumpen. Artikeln kommer att publiceras i lämplig svensk branschtidskrift.



Figur 4 Timeline för projekt A2. [1] Business strategy and the environment; [2] International Journal of Refrigeration; [3] Centrum för miljövetenskap / Forskarskolan i Miljömanagement, KTH.

Kommunikation med Industrin

Projektets arbete har presenterats under de årliga informationsmötena inom Klimat21 (Klimat21-dagarna). Doktoranden har vidare redovisat resultat på de årliga Industriseminarierna vid Institutionen för Energiteknik på KTH, samt i samband med Svenska Kyltekniska Föreningens Stockholmsektions sammankomster. Vid *Kylspaning 2000* höll doktoranden ett 30 minuter långt föredrag med följande 40 minuter frågestund i ämnet, och en följande artikel att publicera i lämplig svensk branschtidskrift är under arbete för publikation under 2001. Doktoranden har även intervjuats av skandinaviska branschtidskrifter, och författat artiklar för publikation i dessa.

Examina

Det är avsikten att doktoranden under år 2001 skall avlägga teknologie doktorsexamen.

Energi och miljöpåverkan

I projektets titels andra del återfinns orden *energieffektivitet, ekonomi och miljöeffekter*, och projektet har en stark bäring på miljörelaterade frågor. Inte bara genom det att R22 skall ersättas av alternativa arbetsmedium med mindre direkt miljöpåverkan, utan också för att öka förutsättningarna för en lyckad konvertering hela systemet i vilket t.ex. kylmaskinen ingår ses över avseende kyl- alternativt värmebehov. Eftersom ett antal av de föreslagna substituten innebär en kapacitetsänkning kan detta vara nödvändigt; kapacitetsökningen innebär emellertid ofta en effektivitetsökning. Det är vår bedömning att ett flertal intressenter anammat vårt synsätt. Ett exempel på detta, är att den stora internationella kyltekniska IKK-mässan delvis ändrar innehåll och byter namn till *IKK: International Trade Fair for Refrigeration, Air Conditioning and Ventilation*.

Doktoranden har under projektets senare del konsulterats av Naturvårdsverket som sakkunnig i frågor rörande ersättningen av R22 i, i huvudsak, befintliga anläggningar.

Industriell relevans

Projektet har snarast en akut industriell relevans: Den första januari 2002 träder ett påfyllnadsstopp för R22 i kraft. I praktiken betyder detta ett användningsstopp för det befintliga arbetsmediet i många anläggningar varför dessa måste konverteras till antingen ett annat arbetsmedium, byggas om, alternativt bytas ut mot eller kompletteras med en ny, alternativt en annan teknologi för att uppfylla behovet av värme eller kyla. Det är viktigt att inte fokusera enbart på den enskilda maskinens arbetsmedium.

Internationell samverkan

Inom projektet har datormodeller spelat en central roll i kunskapsbildningen, utvecklingen av förklaringsmodeller. Den datormiljö man valt att arbeta i är en kommersiell programvara, *Engineering Equation Solver (EES)*, som ursprungligen utvecklats av professor Sanford Klein vid University of Wisconsin i Madison. Då programvaran är i ständig utveckling har projektets deltagare tjänat som bollplank under programmets utveckling. Likaledes agerade projektets forskare beta-testare för programvaran Refprop 6 från NIST då det var nödvändigt att få tillgång till bästa möjliga köldmediedata.

Förutom deltagande i internationella konferenser och liknande, har projektets forskare (Anders Johansson och Per Lundqvist) varit reviewers för International Institute of Refrigeration's (IIR) tidskrift *International Journal of Refrigeration*.

En effekt av projektets hemsida på Internet är att ett flertal, hittills, informella internationella kontakter knutits, t.ex. med EDF. Websidan har vid dags dato haft runt 1300 besökare sedan den sattes upp, med i snitt 30 besökare per vecka.

Projektets relevans inom programmet

I programskrivningens ”syfte och mål” sägs att programmet syftar till att...

.../ Utreda inom vilka användningsområden som de olika medierna kommer att visa sig mest lämpande och hur vi ska uppnå största möjliga energibesparing, både genom förbättring på komponentnivå och på systemnivå / samt / ge underlag för implementering av energi-, miljö- och kostnadseffektiva lösningar. /...

Genom att **inte** fokusera på enbart köldmediet ökar möjligheterna till att uppnå precis detta. Att ersätta R22 i befintliga installationer är inte ett installatörsproblem utan ett brukarproblem. För att uppnå bästa möjliga resultat för brukaren, anläggningsägaren, måste systemperspektivet vara dennes och inte i första hand installatörens alternativt köldmediets, om utfallet av konverteringen skall leda till minsta miljöbelastning, största möjliga energieffektivitet och för brukaren kostnadseffektiva lösningar. Att konvertera en installation innebär alltså **inte** att man bara byter kylmaskinens arbetsmedium, det kan lika väl innebära att en investering i en ny/kompletterande maskin alternativt till någon konkurrerande teknologi, t.ex. fjärrkyla, för att uppnå bäst kostnadseffektivitet för brukaren^{xii}. Det finns en internationell trend att vidga systemperspektivet från kylmaskinen till det större system i vilket den är en del.

Referenser

Bertalanffy L.von (1968), *General system theory*, George Braziller Inc., New York

Bivens D. et al (1996), *Zeotropic Mixture Separation Analyses*, Proceedings of the International Refrigeration Conference at Purdue University 1996, Purdue University, West Lafayette

Checkland P. (1999), *Systems thinking, systems practice*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester

Churchman W. (1968), *The systems approach*, Dell Publishing Co. Inc., New York

Gunningham N. et al (1999), *Harnessing third parties as surrogate regulators: Achieving environmental outcomes by alternative means*, Business Strategy and the Environment, vol.8, pp.211-224, John Wiley & Sons, New York

Hill P. (1997), *Kondensation av Zeotrop Köldmedieblandning i Tubpannekondensator och Utveckling av Tillförlitlig Provtagningsmetod för Köldmedium i Vätskefas* (in English: *Condensation of Zeotropic Refrigerant Mixture in a Tube-and-Shell Condenser and Development of a Reliable Sampling Method for Refrigerant in Liquid Phase*), MSc thesis, Department of Energy Technology, The Royal Institute of Technology, Stockholm

Hultén S., Östlund S. (1994), *Miljöanpassning – en drivkraft för industriell utveckling*, Företag och marknader i förändring – Dynamik i nätverk, ed. Mattson L-G and Hultén S., pp.44-60, Nerenius & Santéus Förlag, Stockholm

- Kim M., Didion D. (1995), *Simulation of Isothermal and Adiabatic Leak Processes of Zeotropic Refrigerant Mixtures*, HVAC&R Research vol.1 no.1, ASHRAE, Atlanta
- Klein S., Alvarado F. (2000), *Engineering Equation Solver – EES*, Computer Software, F-Chart Software, Middleton
- McLinden M. et al (1998), *NIST Standard Reference Database 23: Refprop 6.1*, Computer software, U.S. Department of Commerce, Technology Administration, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg.
- Miser H., Quade E., ed. (1985), *Handbook of systems analysis*, John Wiley & Sons Inc., New York
- SNV (2000), *Sammanställning av 1998 års rapportering av användningen av CFC/HCFC/HFC som köldmedier i Sverige*, Internal report in Swedish, Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm

Appendix

[Appendix A](#)

[Appendix B](#)

ⁱ Konvertering av vätskekylaggregat från R22 till R417A, R407C och R404A.

ⁱⁱ TEL: Teknik Ekonomi Ledarskap. TEL är en projektkurs som ges för fjärde års teknologer på Industriell Ekonomi på KTH.

ⁱⁱⁱ McLinden et al (1998)

^{iv} EES; Engineering Equation Solver. Klein och Alvarado (2000)

^v Examensarbetet gjordes för Mitsubishi Electric's räkning under 1998-1999. Mitsubishi jämförde R407C och R417A under verkliga driftbetingelser med en reverserbar luft-vatten-värmepump. Examensarbetet handledes av bl.a. Anders Johansson. Mitsubishi Electric medger inte spridning av den fullständiga rapporten.

^{vi} De fyra första är kompressorn, kondensorn, expansionsorganet och förångaren.

^{vii} Uppskattade värden på värmegenomgångstal, förluster etc.

^{viii} Jfr. med t.ex.: Checkland (1999), Churchman (1968), Miser och Quade (1985), Bertalanffy (1968)

^{ix} Enligt t.ex. Kenneth Weber på ETM är detta en viktig distinktion, då **anläggning** bara syftar på t.ex. kylmaskinen, och **installation** syftar till hela systemet i vilket kylmaskinen är en del; distributionssystem i fastigheter etc.

^x Brineprop är en datormodul för beräkning av köldbärardata baserad på Åke Melinders arbete. (Se Melinder Å. editor, *Thermophysical Properties of Liquid Secondary Refrigerants*, International Institute of Refrigeration, Paris 1997). Brineprop är kopplat till den kommersiella programvaran EES från F-Chart Software, och levereras numera med EES installationsprogram. Brineprop som standalone finns att ladda ner från projektets hemsida.

^{xi} Jfr. med t.ex.: Gunningham (1999), Hultén och Östlund (1994), Nolin (1995), Strannegård (2000)

^{xii} **Konvertera**: Ombilda. Prisma's lexikon, 2000. **Retrofit**: (1) To furnish (as a computer, aeroplane, or building) with new or modified parts or equipment not available or considered necessary at the time of manufacture. (2) To install (new or modified parts or equipment) in something previously manufactured or constructed. Encyclopaedia Britannica Online, 2000.