

Effektivare kylsystem för kyl- & frysskåp

High Efficiency Cooling Systems for Refrigerators & Freezers

Erik Björk
Institutionen för Energiteknik
Kungl Tekniska Högskolan
Stockholm

Förord

Detta arbete har utförts inom eff-Sys, energimyndighetens utvecklingsprogram Effektivare kyl- och värmepumpssystem. Programmet har pågått under en treårsperiod och startades i mars 2001 som en fortsättning på de tidigare kollektivforskningsprogrammen Klimat 21 och Alternativa köldmedier. eff-Sys är ett samarbete mellan statens energimyndighet, fyra svenska högskolor, ett fyrtiotal företag inom kyl- och värmepumpsindustrin och ett flertal energiföretag. Målet är att programmet på lång sikt ska bidra till en nationell utveckling på kyl- och värmepumpsområdet som karakteriseras av en hög energieffektivitet och liten miljöpåverkan till en låg kostnad.

Detta projekt har finansierats av Energimyndigheten och Electrolux AB

Sammanfattning

Kyl- och frysskåp är världens mest spridda tillämpning av en värmepump. Som en självklar del av hushållet finns kylta livsmedel i vår närhet förvarade för konservering och komfort. Energiförbrukningen för dessa har efter påtryckningar genom lagar och som ett önskemål av marknaden minskat och ligger idag på ca 0.3-1.0 kWh/dygn. Detta kan tyckas vara en låg energiförbrukning men uppväxlat med antalet hushåll blir energiförbrukningen betydande. Idag är kylsystemets komponenter oftast optimerade på pris och producerbarhet snarare än energieffektivitet. En sådan optimering kräver oftast en mer ingående studie, i många fall med resurser och uthållighet som saknas i industrin.

Detta forskningsprojekt har, som ett stöd för industrin, skapat förutsättningar för ytterligare energieffektiviseringar speciellt med avseende på förångaren. Efter ett omfattande teoretiskt och experimentellt arbete har konkreta förbättringar föreslagits, som förväntas sänka den totala energiförbrukningen med 2-4 %. Därutöver har projektet gett en unik inblick i och förståelse för fenomen i dessa kylsystem samt klargjort förutsättningar för framtida energieffektiviseringar. Experimentella metoder har utvecklats, bl.a. en helt ny metod för att automatiskt mäta fyllnadsmängd i olika komponenter.

Summary

Refrigerators and freezers are the most widespread heat pump application in the world. However low energy consumption for the individual unit, the national or global impact is considerable. In this research project, the aim is to create the necessary conditions for more energy efficient units. The subject was a roll-bond evaporator, but the results were more general, giving unique insight and understanding of the cooling system operation as a whole. Concrete suggestions for improved and more energy efficient designs are presented. The project also resulted in a new and autonomous method to measure refrigerant mass in cooling system components.

Innehåll

Bakgrund och motiv	5
Syfte och mål	5
Deltagande parter	5
Projektets genomförande	6
Resultat	6
Dynamiska förhållanden	7
Statiska förhållanden.....	9
Resultat 2004	15
Fortsatt arbete	20
Referenser	22

Bakgrund och motiv

Kylar och frysar är bland de enskilt största förbrukarna av el i bostäder. Genom att dessa produkter finns i varje hushåll i hela den industrialiserade världen, och i framtiden sannolikt också i den icke-industrialiserade, blir deras totala nationella eller globala elförbrukning betydande. Detta innebär också att även mindre förbättringar av energieffektiviteten har stor betydelse för den globala elförbrukningen. Detta projekt har som mål att öka energieffektiviteten för kylar och frysar genom att visa på möjligheter att utforma förångarna så att en högre förångningstemperatur erhålls. Detta har i sin tur direkt inverkan på produkternas köldfaktor, vilken är ett mått på energieffektiviteten.

Energieffektiviteten för kylar och frysar regleras av nationella och internationella normer. Testresultat måste redovisas på produkterna i form av energiklassningar. Dessa klassningar är tydliga och lätta att förstå för kunderna. Energieffektiviteten är genom klassningen ett försäljningsargument, dels därför att det antyder driftskostnaden och dels därför att det indirekt är ett mått på produktens miljöinverkan. För tillverkarna är energieffektiviteten därmed av stor betydelse för försäljningen. Electrolux som är en av världens största tillverkare av kyl och frys för privatkunder arbetar kontinuerligt på att öka energieffektiviteten, och deras deltagande i detta projekt är en del i detta arbete.

Syfte och mål

Syftet med projektet är att effektivisera kylsystemet, d.v.s. att skapa förutsättningar för framtida kylsystem för kylar- och frysar med lägre energiförbrukning. Det gällde att:

1. Erövra kunskap, genom experiment och informationsutbyte, om kylsystemet och dess ingående komponenter med särskild inriktning på förångaren.
2. Sammanställa erövrad kunskap som dimensioneringskriterier för kyl- och frysförångare samt att överföra dessa kunskaper till företaget.
3. Vetenskapliga publikationer, internationellt informationsutbyte och disputation.

Deltagande parter

Inom projektet har följande parter deltagit:

KTH, Institutionen för Energiteknik, Avdelningen för Tillämpad Termodynamik och Kylteknik.

Electrolux AB

Projektets genomförande

Projektet har huvudsakligen varit av experimentell karaktär. Genom en serie av experiment har olika frågeställningar besvarats; vissa experiment syftade till kunskapsbildning om systemets funktion och förekommande fenomen, andra inriktades mot förångaren. Föreslagna korrelationer från litteraturen har prövats mot erhållna resultat. Utöver experimenten utfördes CFD-simuleringar av förångarens inre och yttre energiutbyte. Förutom doktorandens eget arbete, bidrog högskoleelever genom olika examensarbeten och elevprojekt.

Informationsutbyte har skett genom konferenser och publikationer, med andra forskare, och med Electrolux utvecklingsavdelning.

Projektet avgränsades till kylskåp, och de flesta experimenten utfördes på en vanligt förekommande kylskåpsmodell (ER8893C), tillverkad i Mariestad. Vidare avgränsningar var förångare av s.k. roll-bond modell, värmeöverföring genom egenkonvektion, Isobutan som köldmedium och kapacitetsreglering genom intermittant drift. Trots dessa avgränsningar har slutsatser av mer generell karaktär kunnat dras.

Resultat

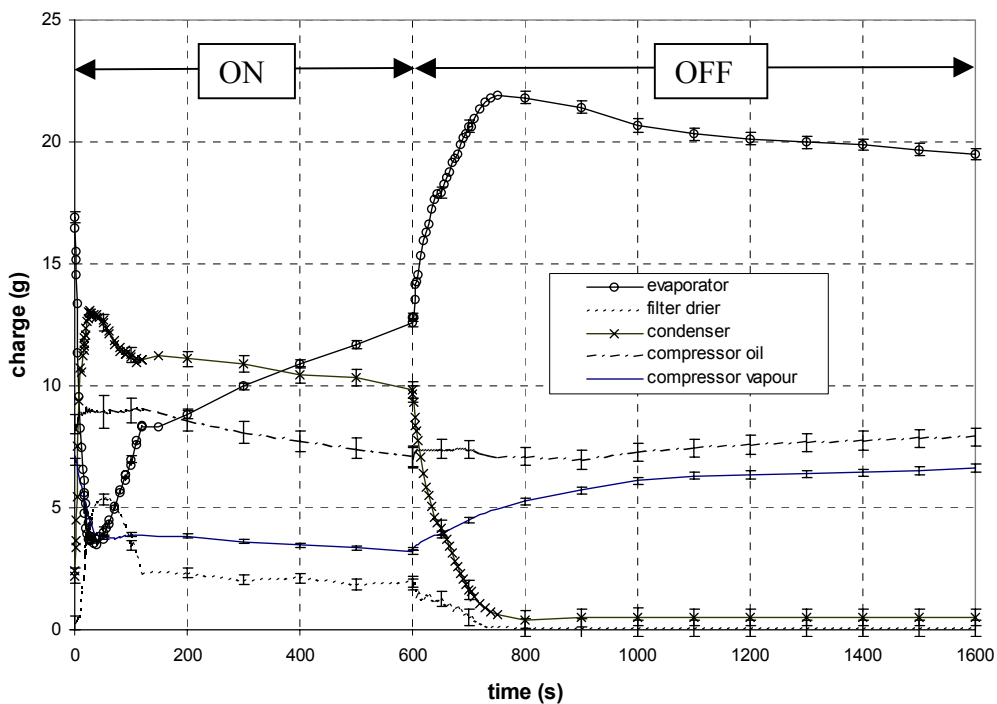
I denna del presenteras resultat med inriktning på förångaren. För övriga resultat, samt metoder hänvisas till referenslistan samt till den doktorsavhandling som beräknas vara klar under våren 2005. Resultaten är vidare indelad i en dynamisk och en statisk del och en kort inledning förklarar skillnaden.

Temperaturdifferenser på värmeöverförande ytor innebär en termodynamisk förlust i värmepumpssystem. För ett kylsystem i ett kyl eller frysskåp medför varje grads temperaturdifferens på förångaren 3-4 % högre energiförbrukning. Det är alltså, för en given storlek på värmeväxlaren, viktigt att ha god värmeöverföring. Kapacitetsreglering i kyl och frysskåp sker vanligtvis genom intermittant drift (on-off reglering) och som en konsekvens sker köldmedieförskjutningar inom systemet. Under viloperioden förskjuts köldmediet mot förångaren, för att sedan i arbetsperioden fördelas ut tillbaka över systemet. Särskilt märks detta på förångaren som utnyttjas dåligt efter en kompressorstart, med överhettad suggas till följd. Det termodynamiska priset är en förångningstemperatur (sett från kompressorn) lägre än förångarens medeltemperatur (sett från det kylda utrymmet). Som ett exempel: för en arbetsperiod är *medelförångningstemperaturen* cirka en grad lägre än förångarens *medeltemperatur*. Det är med andra ord viktigt att köldmediet snabbt fördelas ut över kylsystemet efter en kompressorstart så att förångaren blir ”aktiverad”. I den dynamiska delen, av denna rapport, behandlas förångarens aktivering och vad som kan göras för att påskynda denna.

Efter ett par minuter in på kompressorns arbetsperiod är förångaren aktiverad. Nu följer en period då värmeöverföring och tryckfall är särskilt viktiga ur dimensioneringssynpunkt. I den statiska delen av denna rapport behandlas värmeöverföringen på förångarens luft- och köldmediesida, tryckfall på köldmediesidan, förångarens inre värmemotstånd och optimalt kanalavstånd. Slutligen sammanställs resultaten som konkreta förslag på en ”effektiv förångare”.

Dynamiska förhållanden

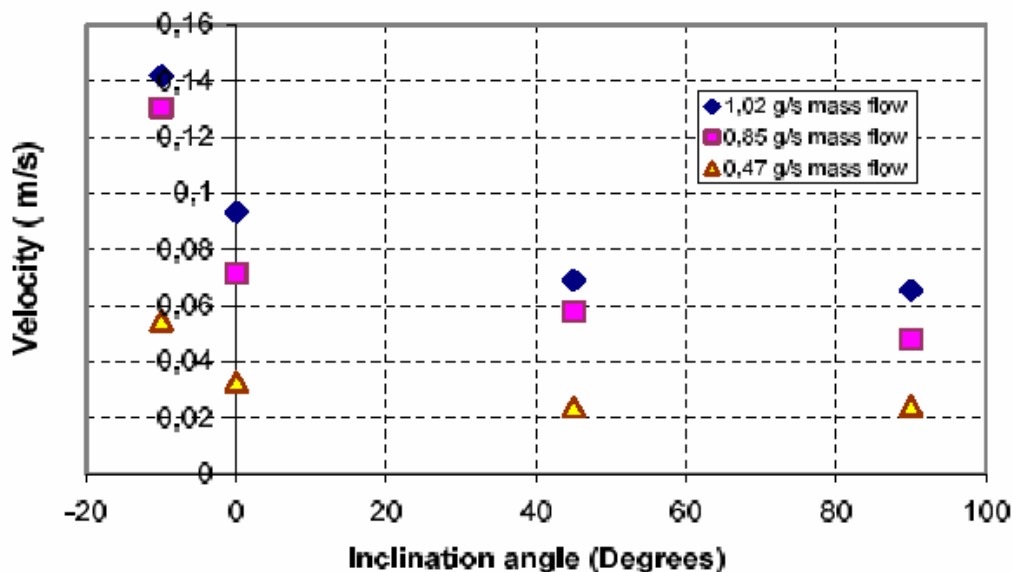
Intermittent drift är en kapacitetsregleringsmetod som är okomplicerad, billig, driftsäker och som medger en tryckutjämnad (olastad) start. Idag används denna reglerprincip i stor utsträckning för kyl- och frysskåp. Som en konsekvens sker förskjutningar av köldmediet inom kylsystemet under normala förhållanden.



Figur 1 Köldmediets fördelning över kylsystemet under en arbetscykel [1]

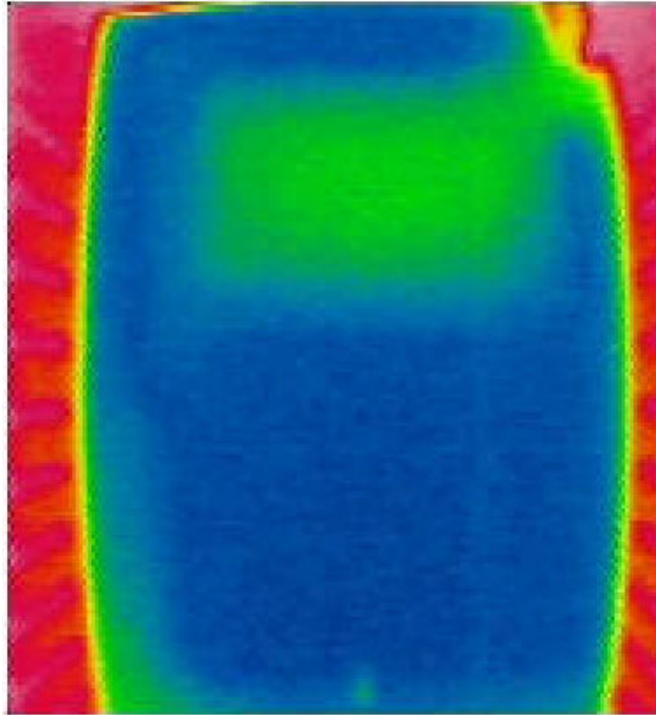
Figur 1 visar experimentella resultat av köldmediets fördelning i ett kylskåp under en arbetscykel. De största köldmedieförskjutningarna sker i anslutning till kompressorns start och stopp. Direkt efter en kompressorstart är kylsystemet i obalans, med ett stort massflöde genom kompressorn (till följd av en varm förångare), och ett litet massflöde genom strypröret (till följd av gas i stryprörets inlopp). Resultatet blir en partiellt uttorkad förångare. Efter ca 20 sekunder inleds en period då underkylt köldmedium backas upp vid stryprörets inlopp. Nu ökar massflödet in till förångaren, samtidigt som massflödet genom kompressorn minskar, vilket medför att förångaren aktiveras. Inom ett par minuter efter

kompressorns tillslag har förångarens överhettning försvunnit, och förångaren alltså aktiverats. Figuren visar också att filtertorkaren efter två minuter innehåller ickekondenserad gas. Det betyder att underkyllning, vid stryprörets inlopp, saknas under den senare delen av arbetsperioden och att massflödet kontrolleras av ickekondenserad gas snarare än graden av underkyllning. Med andra ord har köldmediets mängd en viktig funktion för att fördela köldmediet optimalt över systemet. Man kan säga att köldmediemängden har samma funktion som en termostatisk expansionsventil. Skillnaden är att förångarens överhettning inte styrs direkt, utan indirekt av systemets fyllnadsmängd. För att denna reglerprincip skall fungera under olika driftsförhållanden krävs en ackumulator – nedströms placerad i förångaren.



Figur 2 Köldmediets utbredningshastighet i förångare [2]

Figur 2 visar experimentella resultat av köldmediets utbredningshastighet i ett, initialt tomt, förångarrör för olika massflöden och rörlutningar. För samtliga massflöden ökar utbredningshastigheten med ett nedförslut. Förklaringen är att ett rör i nedförslut binder mindre vätska (har högre void) än ett horisontellt rör. Med andra ord påskyndas en förångares aktivering av ett nedförslut i strömningsriktningen. Samma studie visade också att utbredningshastigheten ökar med minskat kanalvärsnitt, minskad rörtemperatur och minskad rörvärmekapacitet.

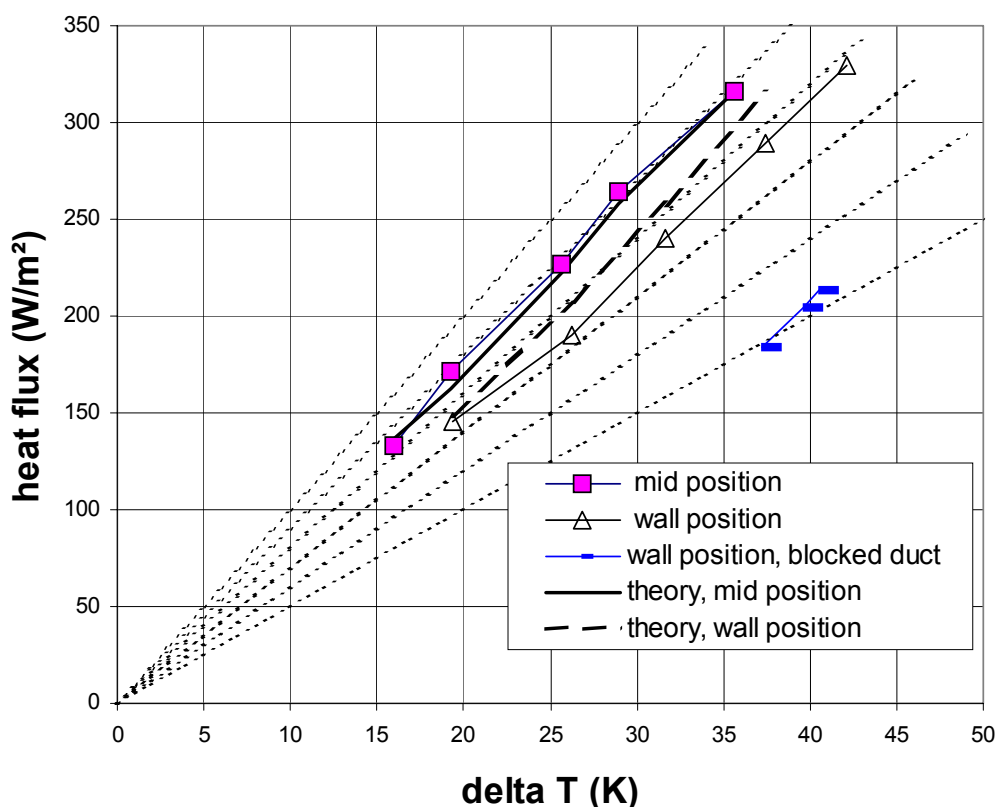


Figur 3 Termografisk bild av förångaren i arbetsperiodens inledning [3]

Figur 3 visar en termografisk bild av förångaren, i arbetsperiodens inledning. Det framgår att ackumulatoren (placerad i förångarens övre del) är varmare än övriga delar av förångaren och således är den del av förångaren som sist blir aktiverad. Resultatet blir, sett från kompressorn, en sänkt förångningstemperatur och högre energiförbrukning. En bättre lösning vore att distribuera ackumulatoren över förångarens yta, vilket skulle ge lägre temperaturdifferenser inom förångaren då den termiska kopplingen mellan kokande köldmedium och förångarytan ökar.

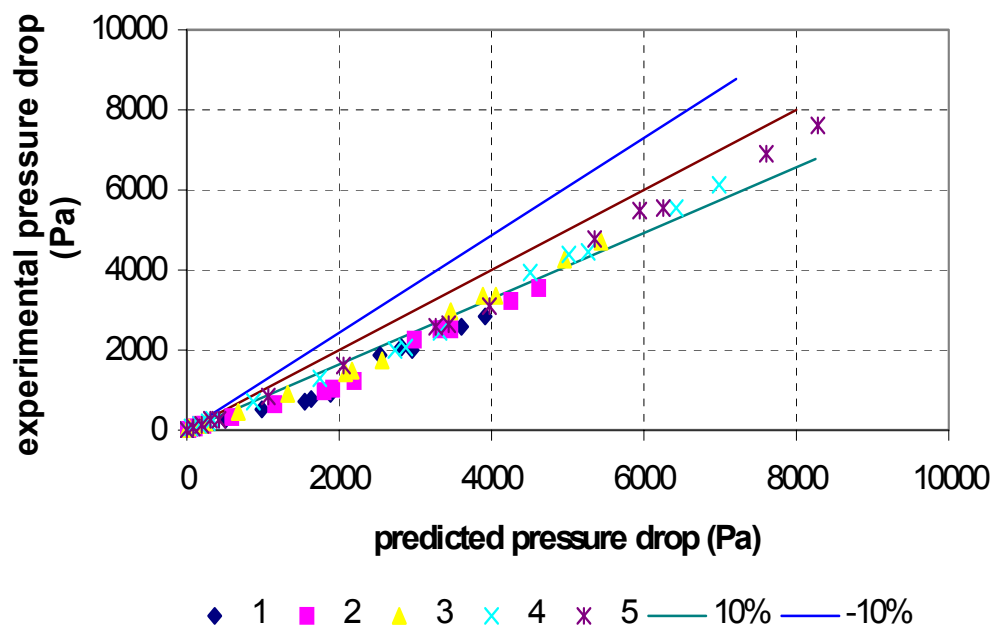
Statiska förhållanden

Under återstoden av arbetsperioden d.v.s. efter ett par minuter kompressorgångtid, kan systemet betraktas som statiskt. Vad som nu sker är att en viss mängd köldmedium återförs från kompressorns olja och ackumuleras i förångaren. Samtidigt sjunker förångningstemperaturen i takt med kylskåpsluftens temperatursänkning. Under denna period är det också viktigt att utnyttja förångarens värmöverförande yta effektivt, såväl på köldmediesidan som på luftsidan.



Figur 4 Värmeöverföring på förångarens luftsida [4]

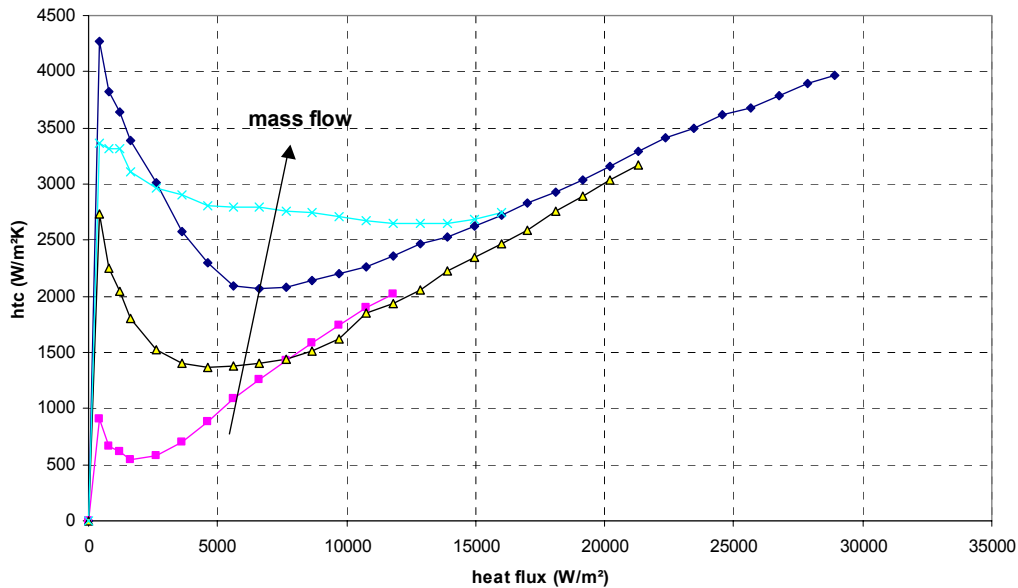
Det största värmemotståndet i roll-bond förångare är på luftsidan, och följaktligen är det på den sidan en förbättring får störst genomslag på energiförbrukningen. Figur 4 visar resultat från ett värmeöverföringsexperiment där förångaren placerades på olika sätt i kylskåpet. Vid placering i kylskåpets mitt var värmeövergångstalet ca $8.8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Vid placering 25 mm från bakre vägg $7.6 \text{ W/m}^2\text{K}$ (nära förångarens originalposition). Vid placering 25 mm från bakre väggen, men med spalten mellan förångaren och skåpets bakre vägg blockerad, blev resultatet ca $5.1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Med andra ord, värmeövergångstalet minskade endast ca 15 % då förångaren placerades i originalposition jämfört med ”ostörd” placering i skåpets mitt. Det framgår också att det är avsevärt fördelaktigare (ca 30 % högre värmeövergångstal) att placera förångaren med spalt mot vägg än att låta förångaren vara en del av väggen. Samma studie visade också att ungefär hälften av värmeöverföringen sker genom strålning, att förångarens emissivitet förhöjs till följd av frostpåslag samt att nedre delen av förångarens baksida visserligen ger en skorstenseffekt, men att värmeöverföringen här är reducerad. Beräkningssamband föreslagna av Churchill and Chu gav tillsammans med konventionell svartkroppsstrålning acceptabel överensstämmelse med experimentella resultat.



Figur 5 Tryckfall på förångarens köldmediesida [5]

Figur 5 visar experimentellt uppmätta tryckfall i förångarens köldmediekanal. Den genomförda studien visade att köldmediekanalens icke-cirkulära tvärsnitt kan hanteras genom omräkning till hydraulisk diameter, och att tryckfallet acceptabelt kan korreleras med en homogen beräkningsmodell. Studien visade också att tryckfallet vid lägre ånghalter (uppströms i förångaren) och i krökar är lågt.

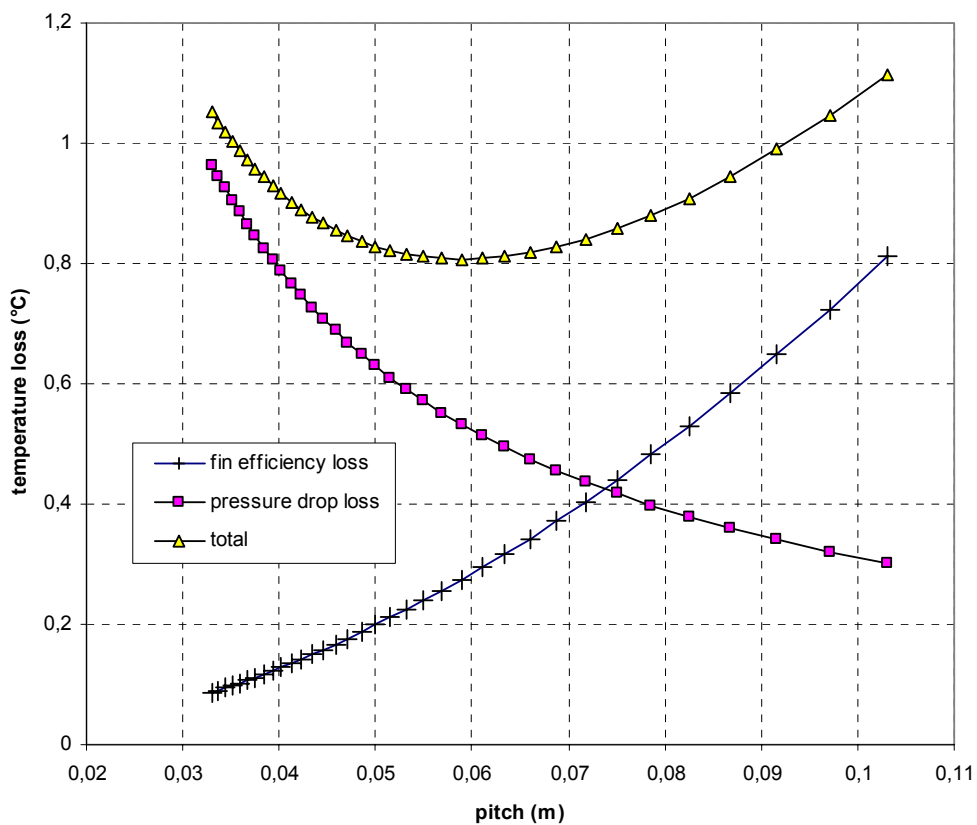
-15 °C, mass flow 0.3;0.45;0.6;0.75 g/s



Figur 6 Värmeöverföring förångarens köldmediesida [6]

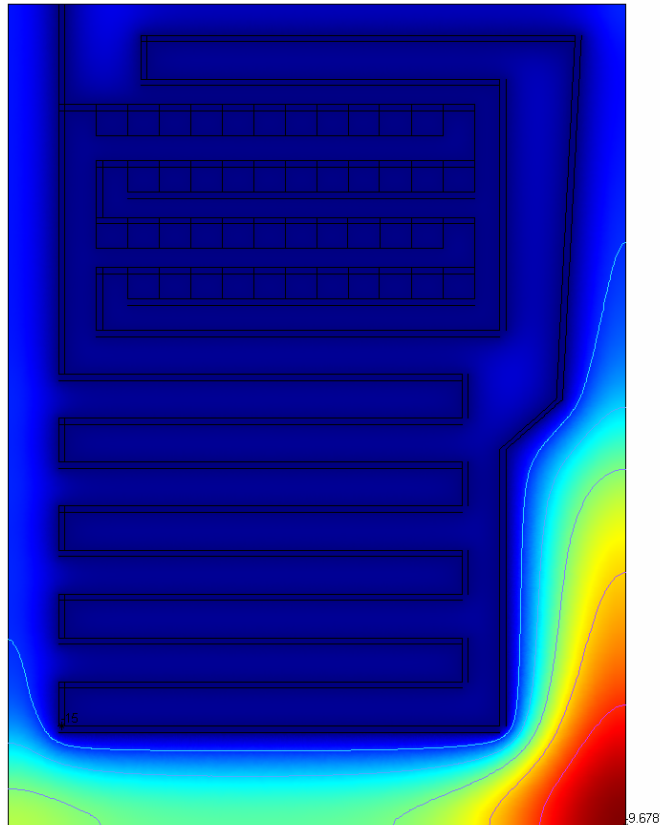
Figur 6 visar värmeövergångstalet på förångarens köldmediesida för olika massflöden och yteffekter. Som figuren visar är värmeövergångstalet av storleksordningen 2000 W/m²K, d.v.s mycket högre än på förångarens luftsida. Vid låga yteffekter erhöles oväntat höga värmeövergångstal (kan ses i figuren som ett ökande värmeövergångstal vid minskande yteffekt). Förklaringen kan vara kapillärkrafter eller inloppsförhållanden som väter kanalomkretsen vilket ger en god värmeöverföring; men att en högre yteffekt ”bränner bort” den bildade vätskefilmen vilket reducerar flödesregimen – från annulärt till stratifierat. För beräkningar stämmer Chens korrelation hyggligt vid högre yteffekter.

Med kunskap om värmeöverföring och tryckfall på luft- och köldmediesida möjliggörs en optimering av kanalmönstret; d.v.s. optimering av avståndet mellan köldmediekanalerna. Ett litet avstånd ger ett lågt värmemotstånd i flänsplåten som omger kanalen, och därmed en hög flänsverkningsgrad, men samtidigt en lång total kanallängd vilket ger ett högt tryckfall.



Figur 7 Optimering av kanalavstånd (100 W kyleffekt, -15 °C)

Optimeringsresultaten i figur 7 indikerar att kanalavståndet kan ökas (från befintliga 35 mm) med lägre energiförbrukning till följd. Ett större kanalavstånd ger dessutom en kortare kanallängd, vilket ger en snabbare aktivering av förångaren efter en kompressorstart.



Figur 8 Simulerad temperaturfördelning

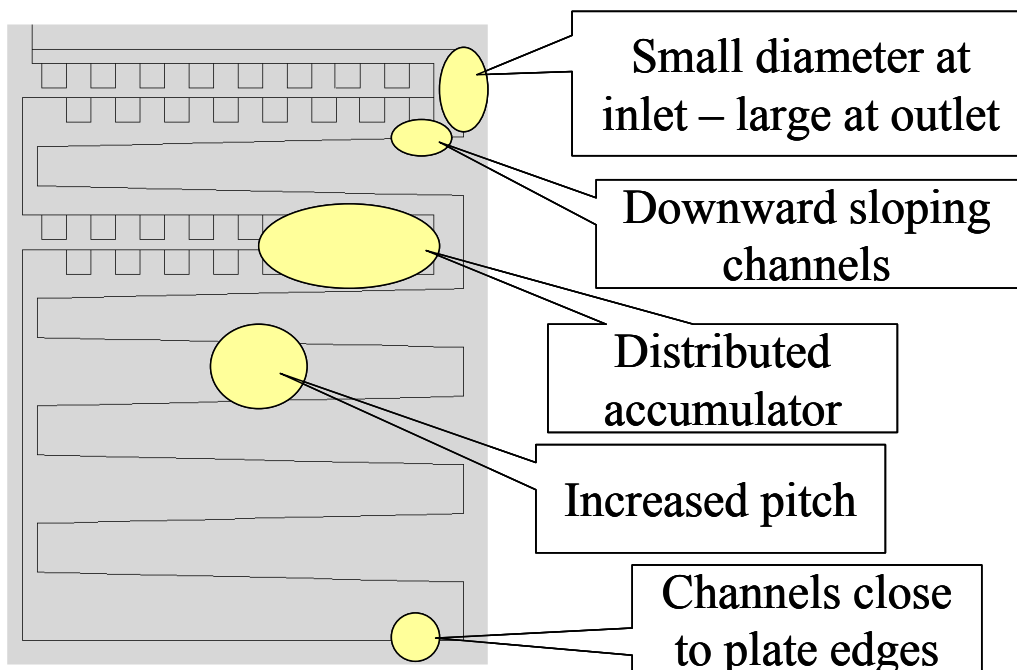
Figur 8 visar det simulerade temperaturfältet i förångaren. Det framgår att en effektivisering är möjlig genom att placera kanalmönstret närmare plattans kanter. Omräknat i flänsverkningsgrad har den undersökta förångaren ca 97 %, vilket motsvarar en temperaturförlust på ca 0.6 °C. Som en anmärkning kan nämnas att det nedre högra hörnet av förångaren (där temperaturen är högre) används för bulbplacering. I figur 3 syns detta varma hörn nedtill i vänsterkant (förångaren betraktad framifrån).

Effektiv förångare

Kyl- och frysskåp är idag s.k. mogna produkter. Konkurrensen mellan olika tillverkare är hård vilket ger låg vinstmarginal där varje detalj i konstruktionen optimeras på sitt tillverkningspris och sin producerbarhet. För att åstadkomma en minskad energiförbrukning utnyttjas den förändring som ger minsta möjliga kostnadsökning – eller allra helst till oförändrad eller minskad kostnad. Ur den bakgrunden har en förbättrad förångare bäst förutsättningar om den inte höjer kostnaden. En större förångare kan givetvis göras effektivare än en liten men till ett ökat pris. På samma sätt kan en fläkt, placerad på förångarens luftsida, effektivisera förångaren. De erfarenheter som projektet genererat har resulterat i ett antal förbättringsförslag, alla med utgångspunkten att kostnaden inte får öka.

Det visades att kylskåpets energiförbrukning är känsligt för förångarens placering, och att en potential på ca 15 % på värmeövergångstalet existerade. Trots dessa erfarenheter föreslås ingen ändring i förångarens placering. Det

visades också att den nedre delen av förångarens baksida används dåligt för värmeöverföring. Detta indikerar att förångaren kan göras lägre, eller delad i höjdlid. En sådan konstruktionsändring kräver en närmare studie då nyttan av skorstenseffekten som uppstår i spalten mellan förångaren och väggen är svårbedömd. Utgångspunkten för de förbättringsförslag som presenteras är en förångare av given storlek (pris), där kanalmönstret placeras ut på ett fördelaktigare sätt så att en effektivisering åstadkoms.



Figur 9 Den effektiva förångaren

Figur 9 sammanfattar några av forskningsresultaten som förslag på en effektivare förångare. Aktiveringstiden har minskats (d.v.s. tiden tills köldmediet fyllt upp förångaren efter en kompressorstart) genom a) en kortare kanallängd där den första delen (efter förångarens inlopp) ger god termisk kontakt med hela förångaren, b) genom att ackumulatören distribueras över förångaren för att undvika ”öar” med överhettad gas, c) genom ett mindre kanaltvärsnitt och d) genom kanaler som lutar utför vid förångarens inlopp. Temperaturdifferensen mellan omgivande luft och köldmediet har minskats genom a) att kanalavståndet ökats (vilket ger ett lägre köldmedietryckfall genom kortare kanallängd) och b) genom att kanalerna har dragits närmare förångarens kanter (vilket höjer förångarens flänsverkningsgrad).

Resultat 2004

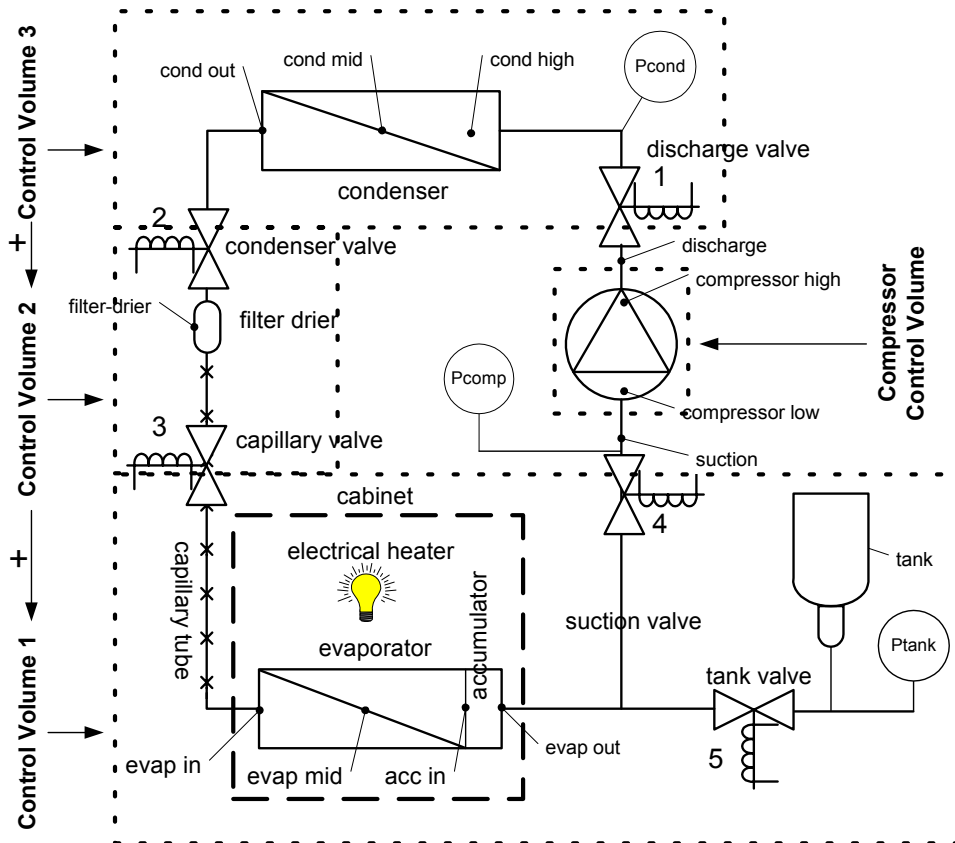
(tillägg december 2004)

Under året har tre artiklar färdigställts; den första [1] beskriver en metod för köldmediemätning, den andra resultat från denna mätmetod [7], den tredje [8]

handlar om inverkan av varierad strypning och fyllnadsmängd. En fjärde artikel [6] beräknas klar i december.

A simple technique for refrigerant mass measurement [1]

Artikeln beskriver och utvärderar en ny metod för att mäta upp köldmedimängd. Snabbstängande kulventiler installeras mellan de komponenter som skall undersökas och ett expansionskärl ansluts till systemets lågtryckssida.



Figur 10 Kylsystem utrustat för köldmediemätning

Vid önskad tidpunkt stängs ventil 1 till 4 (se figur 10) emedan ventil 5 öppnas och kompressorn stängs av. Efter en tid har temperaturerna i kylsystemet utjämnats med omgivningen och expansionskärlet och förångarens köldmedium förångats. Med tryck och temperatur kan förångarens köldmediemängd bestämmas enligt:

$$m = \rho \times V \quad (1)$$

Av ekvationen framgår att volymerna måste vara kända. Processen upprepas genom att ventil efter ventil för att bestämma övriga komponenters köldmedimängd. I tabell 3 visas jämförelseresultat mellan en konventionell metod och den nya tekniken – skillnaden är liten. En separat osäkerhetsuppskattning visade också att felen är små.

Tabell 1 Experimentell jämförelse mellan tekniker

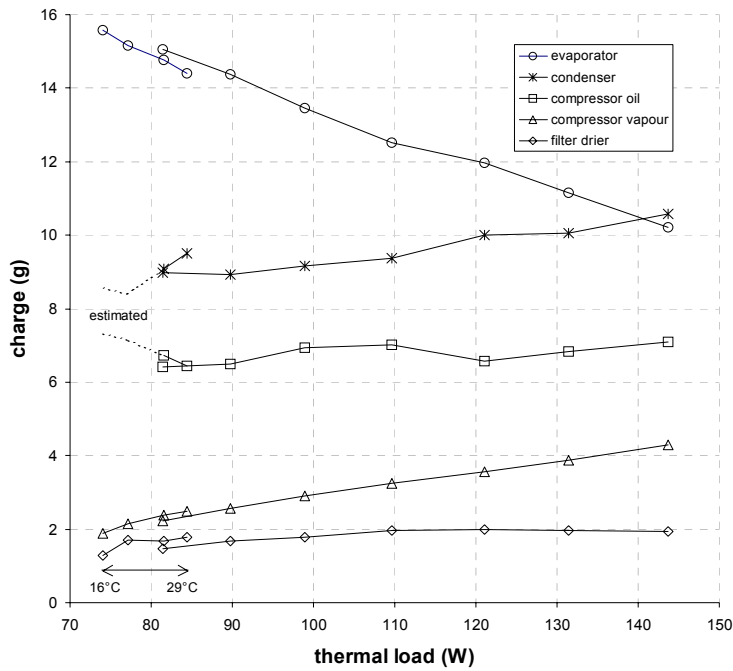
<i>Volume</i>	<i>Remove-and-weigh technique (g)</i>	<i>New technique (g)</i>	<i>Difference (g)</i>	<i>Difference (%)</i>
Evaporator + Tank	12.2	12.12	- 0.08	- 0.7
Filter drier	2.1	2.21	+ 0.11	+ 5.2
Condenser	11.9	11.67	- 0.23	- 1.9
Compressor	8.8	9.0 ¹⁾	+ 0.2	+ 2.3
Total	35.0	- ²⁾	-	-

Notes

- 1) Of which 2.9 g as vapour
- 2) By definition equal to the experimental 35.0 g that was taken as the true mass

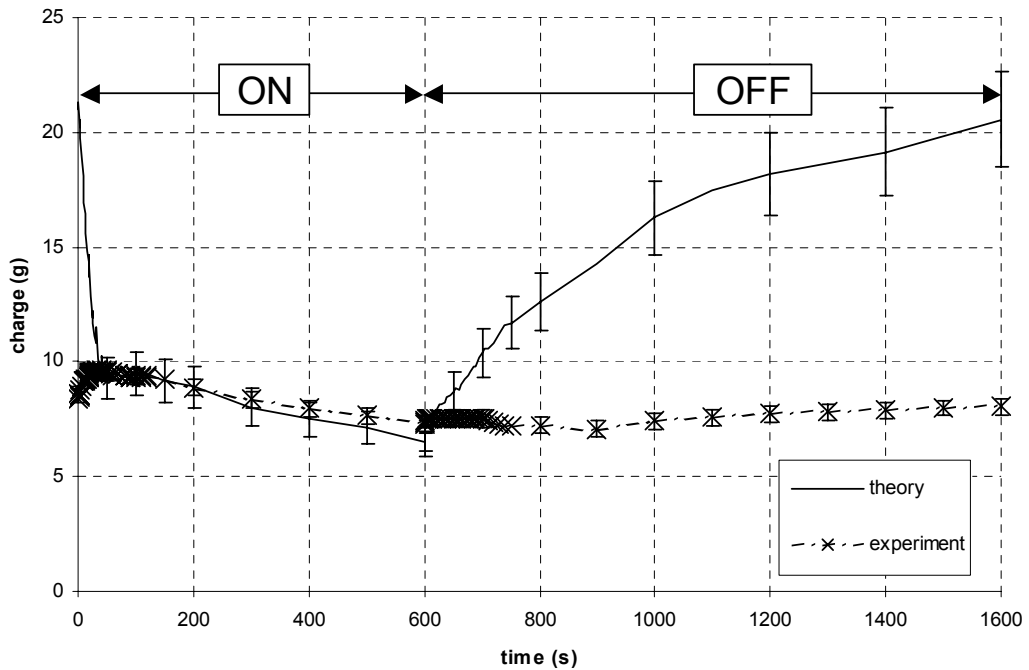
Refrigerant charge distribution in a domestic refrigerator [7]

Artikeln beskriver resultat av köldmediefördelningsexperiment i ett kylskåpskylsystem under cykliska och stationära förhållanden. I figur 1 visas resultat från cykliska förhållanden. Efter kompressorstart förskjuts köldmediet temporärt mot kondensorn vilket ger ett underkylt tillstånd i kondensorns utlopp samt ett överhettat tillstånd i förångarens utlopp. Efter ca 2 till 3 minuter har köldmediet fördelat ut över systemet.



Figur 11 K ldmedief rdelning under stationära förhållanden

Figur 11 visar resultat från stationära förhållanden. Vid ökad belastning minskar förångarens fyllning samtidigt som kompressorns och kondensorns fyllning ökar. Resultaten understryker l gtrycksackumulatorns nödvändighet.

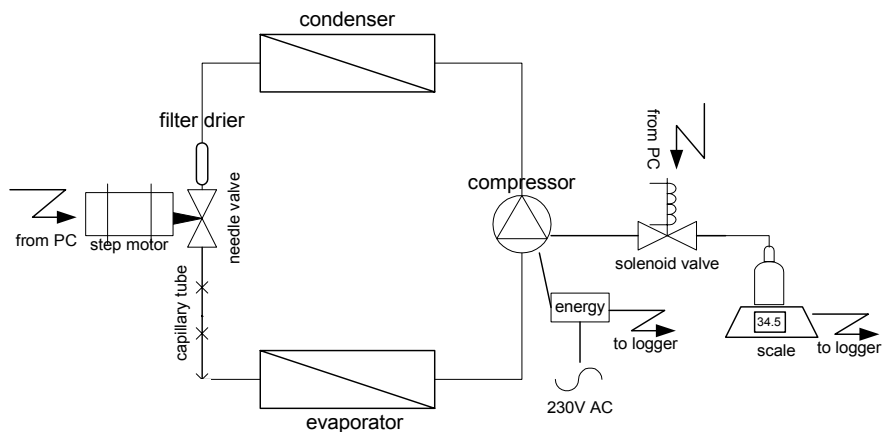


Figur 12 Köldmedium l st i kompressorolja

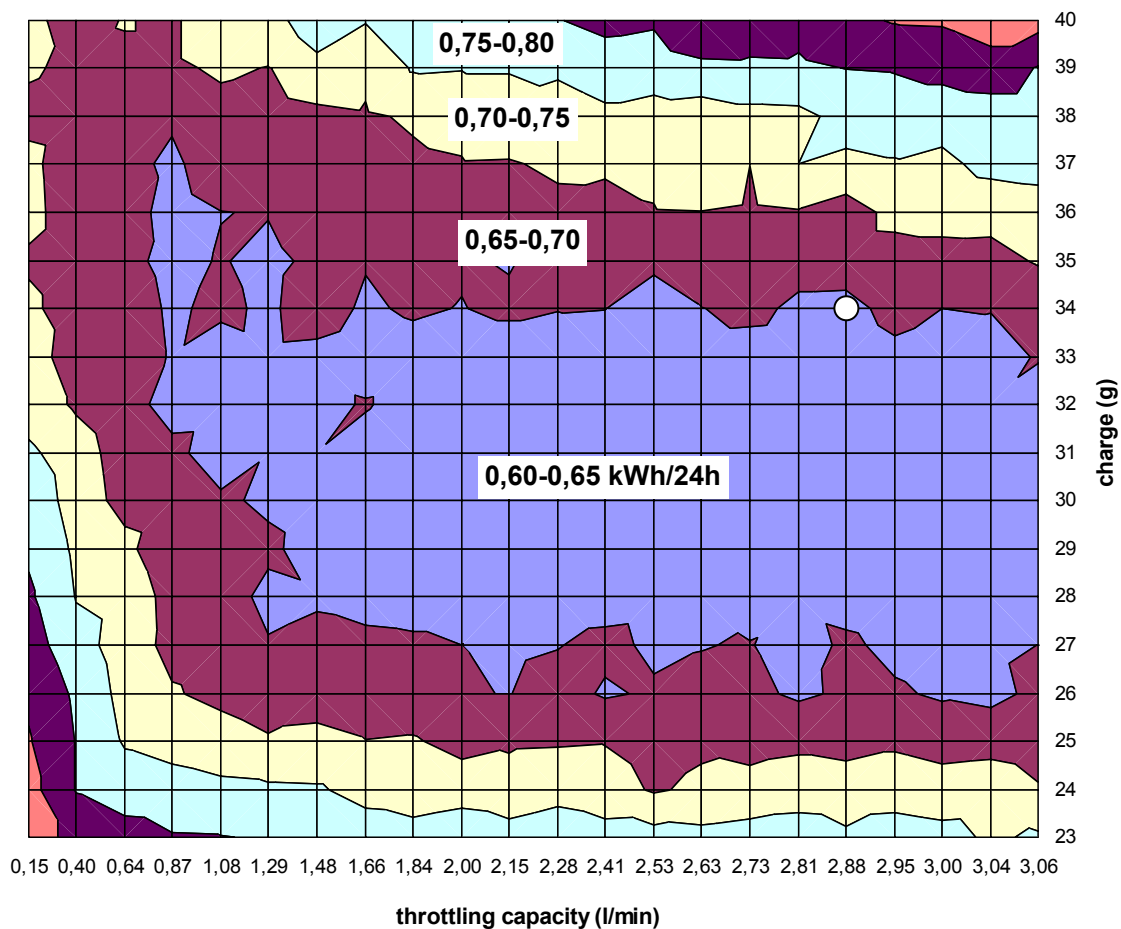
Figur 12 visar experimentell och beräknad köldmediemängd löst i kompressorolja. Överensstämmelsen är god under kompressorns gångperiod (då olja och köldmedium omblandas). Under kompressorns ståperiod är överensstämmelsen dålig vilket visar att oljan är omättad på köldmedium till följd av ökat tryck och minskad temperatur i kombination med stillastående (oomrörd) olja. Raoult's lag användes för uppskattning av löst köldmediemängd.

Influence of varied throttling capacity and charge on a domestic refrigerator [8]

I denna artikel undersöks experimentellt hur energiförbrukningen i ett kylskåp ändras med varierad strypning och fyllnadsmängd.



Figur 13 Försöksapparat med möjlighet att variera fyllnadsmängd och strypning



Figur 14 Energiförbrukning vid varierad strypning och fyllnadsmängd vid 25 °C

Figur 14 visar hur energiförbrukningen ändras med varierad strypning och fyllnadsmängd. Strypningen är angiven som kvävgasflöde vid tryckuppsättningen 6 till 1 bar (absolut) vid normal rumstemperatur. Som framgår har energiförbrukningen ett vidsträckt och flackt minimum. Denna okänslighet kan för fyllnadsmängden förklaras med förångarens lågtrycksackumulator som buffrar över- respektive underfyllning. För strypningen tros en snabbare förångaraktivering balansera en strypningsförlust vid lösare strypning. Den vita punkten anger kylskåpets originalkonfiguration. Uppenbarligen är skåpet väldimensionerat. Artikeln redogör också för en praktisk metod (som rekommenderas) för att bestämma köldmediemängd och stryprörlängd.

Fortsatt arbete

Projektet avgränsades till kylskåp, och de flesta experimenten utfördes på en vanligt förekommande kylskåpsmodell (ER8893C), tillverkad i Mariestad. Vidare avgränsningar var förångare av s.k. roll-bond modell, värmeöverföring genom egenkonvektion, Isobutan som köldmedium och kapacitetsreglering genom intermittant drift. Trots dessa avgränsningar har slutsatser av mer generell

karaktär kunnat dras. Under arbetets gång har ett antal områden identifierats där vidare forskning är av intresse.

- Minskad energiförbrukning för *frys*skåp och kombiskåp genom nya isolermaterial (tekniköverföring från kryo) och genom varvtalstyrda kompressorer. Energiförbrukningen på frysar är avsevärt större än på kylskåp.
- Livscykelanalys av kyl- och frysmöbler (hur länge skall ett kylskåp hålla ur ett miljö- eller samhällsekonomiskt perspektiv).
- Övergripande studie (fältstudie) av konsumenters faktiska matförvaringstemperaturer och hygieniska förhållanden och dess samband med matförgiftningar eller kasserad mat.
- Minskad energiförbrukning genom kortcykling (lågpris-variable speed)
- Optimering av dynamiska (fläkt) förångare med automatisk avfrostning. Mindre storlek (större matförvaringsvolym) eller effektivare (lägre energiförbrukning).
- Studie av den faktiska energiförbrukningen jämfört med normenergiförbrukning (ISO7371) speciellt med avseende på installation och tid efter inköp.

Referenser

- [1] Björk, E. A simple technique for refrigerant mass measurement Accepted for publication in *Applied Thermal Engineering* Sept. 2004.
- [2] Carrera, A.M., Influencing parameters on the refilling time of evaporators. Master of science thesis, Department of energy technology, Royal institute of technology, Stockholm, Sweden 2002
- [3] Nordenberg, J., Redistribution of migrated refrigerant. Master of science thesis, Department of energy technology, Royal institute of technology, Stockholm, Sweden 2001
- [4] Björk, E., Setiawan, A. T., Palm, B. Air side heat transfer of a domestic refrigerator plate-type evaporator. Proc. Eurotherm seminar No. 72, Thermodynamics heat and mass transfer of refrigeration machines and heat pumps. Valencia 2003
- [5] Björk, E. Pressure drop in a plate evaporator for refrigerators. HEFAT2002 1st International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics, and Thermodynamics 8-10 April 2002, Kruger Park, South Africa
- [6] Björk, E. Flow boiling in roll-bond evaporators. To be published Dec 2004
- [7] Björk, E. Refrigerant charge distribution in a domestic refrigerator, submitted to *Applied Thermal Engineering* Sept 2004.
- [8] Influence of varied throttling capacity and charge on a domestic refrigerator, submitted to *Applied Thermal Engineering* Oct 2004