

## Bilaga 3

# Den energieffektiva butiken i teori och praktik (1999)

Jaime Arias  
Per Lundqvist  
KTH, Inst. För Energiteknik  
Avd Tillämpad termodynamik och kylteknik  
100 44 Stockholm

## Sammanfattning

I projektet "Den energieffektiva butiken i teori och praktik" samarbetar Institutionen för Energiteknik, tillsammans med företagen, AKA Nordic AB, ICA Handlarna AB, Svensk Butiksservice AB, Kooperativa Detaljhandeln AB och Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. Huvudmålet med projektet är att ta fram ett modellverktyg för datorsimulering av kyl- och fryssystem för olika butiker. Modellen byggs från teori- och fältstudier, där erfarenhet från olika systemlösningar och mätningar ger möjlighet att jämföra och utveckla modellverktyget. Fältstudier har påbörjats i Gröna Konsum i Hjo, Prix i Sala och Gröna Konsum i Farsta Centrum. Mätningar som har pågått från juli månad presenteras samt resultaten från en enkel modell som simulerar butiken i Hjo. I simuleringsprogramet jämförs också ett kaskadsystem mot ett system med två parallella kylanläggningar.

## Introduktion

Energieffektivisering och ersättning av CFC och HCFC kylmedier har påverkat kylanläggningar i livsmedelsbutikerna. Nya systemlösningar har utvecklats med såväl delvis som fullständigt indirekta kylsystem. Livsmedelsbutiker finns i olika storlekar där en systemlösning kan bli aktuellt för en butik och betydligt sämre för en av annan storlek. I en utredning som ICA Fastighets AB har gjort noteras att energiförbrukning i en genomsnittlig livsmedelsbutik är  $421 \text{ kWh/m}^2$  och år och att denna varierar beroende på butikens storlek och roll på dagligvarumarknaden. För en stormarknad ( $7000 \text{ m}^2$ ) är den totala energiförbrukningen  $326 \text{ kWh/m}^2$  och år medan för en liten områdesbutik ( $600 \text{ m}^2$ ) är den totala energiförbrukningen  $471 \text{ kWh/m}^2$  och år. Vid energioptimering och användning av nya kylmedier måste effekten av olika åtgärder studeras. Ett modellverktyg där olika systemlösningar för kyla och värme kan simuleras ger möjligheter för projektörer och tekniker att kunna prova och jämföra olika åtgärder för samma butik. Ett sånt verktyg kräver fältmätningar, teoretiska studier och samling av erfarenhet från installationer och drifter av olika systemlösningar.

## Resultat

Inom detta avsnitt kan vi indela resultatet i två stora områden, mätningar och simuleringar, båda två ska presenteras var för sig.

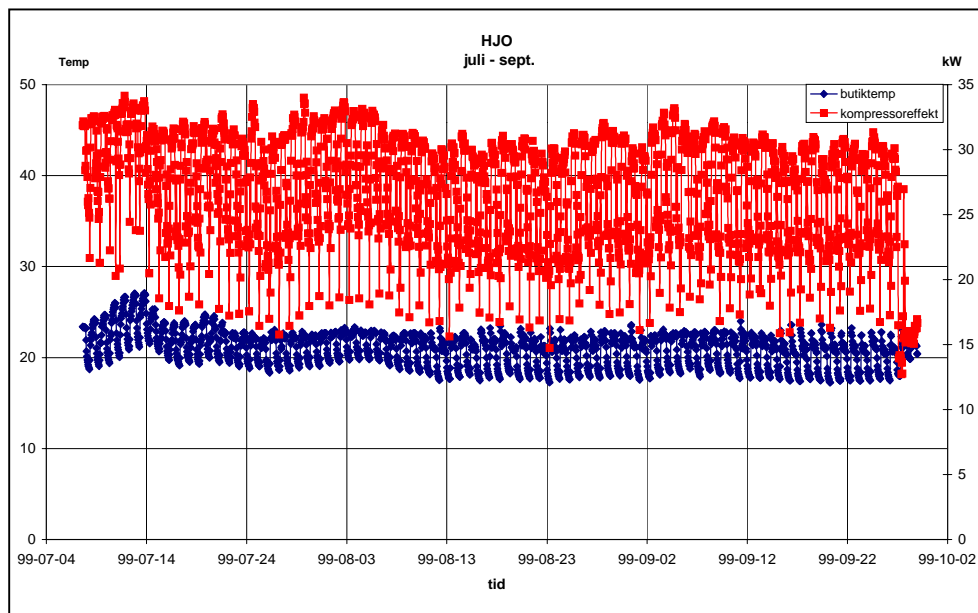
## Mätningar

Efter en diskussion mellan de olika intressenterna i projektet bestämdes att genomföra tre sorters mätningar i några livsmedelsbutiker under tre olika perioder. I Period 1, (ett år) ska mätas utomhustemperatur, inomhustemperatur, köldbärare (framlednings- och returledningstemperatur), relativ fuktighet och kompressor effekt för kylsida. I Period 2 (en vecka) ska utföras noggrannare mätningar av maskiner och inomhusklimat och i Period 3 (en timme) ska genomföras detaljerade mätningar av diskar och kylmaskiner.

I juli 1999 startades mätningar för Period 1 i två butiker, Gröna Konsum i Hjo och Prix i Sala och i oktober sattes mätningar igång, också för Period 1, i Gröna Konsum i Farsta centrum. Systemlösning för kylsystemet i livsmedelsbutiken i Hjo är ett kaskadsystem (systemlösning 5 i [1]) där en chiller via ett brinesystem kyler kyldiskarna, kylrum samt kondensorererna för de kylsystemet som finns i varje frysdisk och frysrum. I systemlösningen i Sala används också ett kaskadsystem (systemlösning 4 i [1]) där en kylanläggning kyler kyldiskar, kylrum och kondensor för ett annat vätskekylaggregat som går till frysdiskar och frysrum. Systemlösningen i Farsta Centrum använder en chiller för att kyla alla kondensorer som finns i diskarna och i frys- och kylrum.

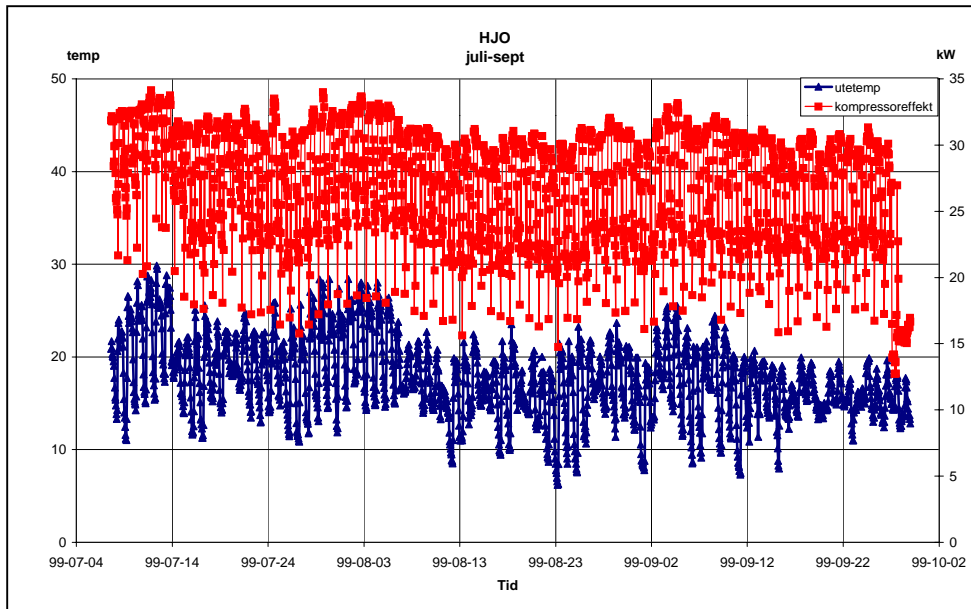
Temperaturer och fuktighet har uppmätts med hjälp av Tinytag-loggers och kompressoreffekt med hjälp av effektmätare (Elite 4). Temperatur och luftfuktighet lagras och mäts momentant varje timme: Effekten lagras också varje timme men i det här fallet räknas medelvärdet av 60 punkter under en timmes period.

Resultat från mätningar i Gröna Konsum i Hjo under period juli – sept. visas i figur 1 och 2.



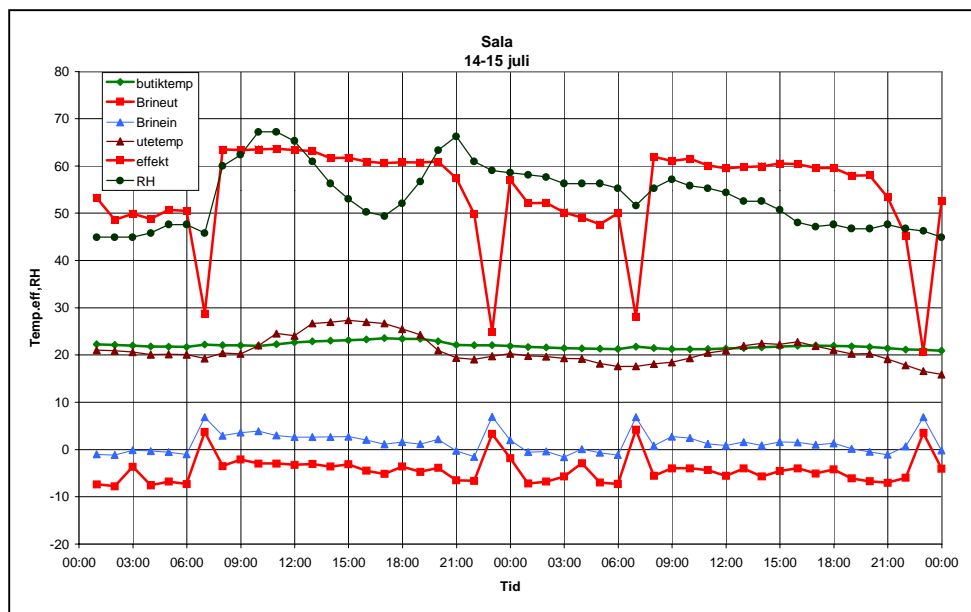
Figur 1: Butikstemperatur och kompressoreffekt under period juli - september 1999 med mätningar under en timmes period.

I figur 1 och 2 visas inverkan av butikstemperaturen och utetemperaturen på kompressoreffekten i kylanläggning. I mitten av juli uppstod ett fel i luftkonditioneringssystemet som orsakade temperaturer upp till 27,1°C i butiken som, i sin tur, påverkade kompressoreffekten som nådde en topp på 33,7 [kW] den 13 juli.



Figur 2: Utetemperatur och kompressoreffekt under period juli - september 1999 i Hjo

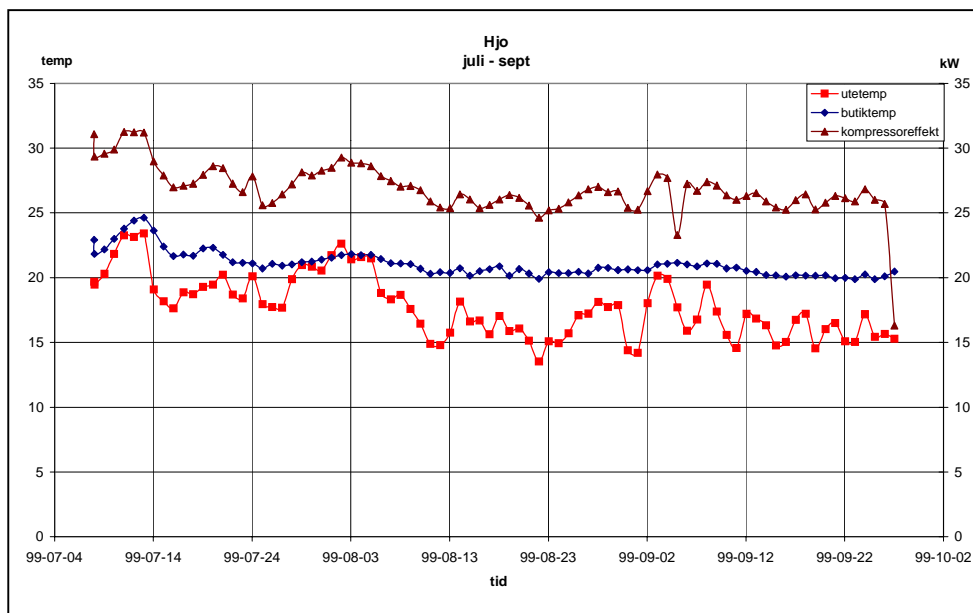
I figur 3 redogörs de olika temperaturer, relativ fuktighet och effekt som mättes mellan den 9 och 10 augusti i Prix butiken i Sala.



Figur 3: Mätningar i Sala under period 14 till 15 juli.

Figur 3 visar inverkan på kompressoreffekten från nattäckning av diskarna. Effekten minskar mellan 10% till 20% trots att variationerna av utetemperaturen och butikstemperaturen under perioden är små. En annan intressant parameter är köldbärarens temperatur som minskar under nattäckning. Brinetemperaturer har högre värde än de nominella temperaturerna  $-4^{\circ}\text{C}$  och  $-8^{\circ}\text{C}$ . Detta beror på att både butikstemperaturen och den relativa fuktigheten ligger över de normala värdena som i sin tur påverkar både kyleffekten och kompressoreffekten. De höga brinetemperaturerna påverkar också diskarnas och varornas temperaturer. Information om lufttemperaturen i diskarna saknas.

Medelvärden av mätningar under ett dygn har beräknats för att på ett bättre sätt kunna visualisera förloppet av de olika temperaturerna och kompressoreffekt under perioden juli-september. Resultaten visas i figur 4



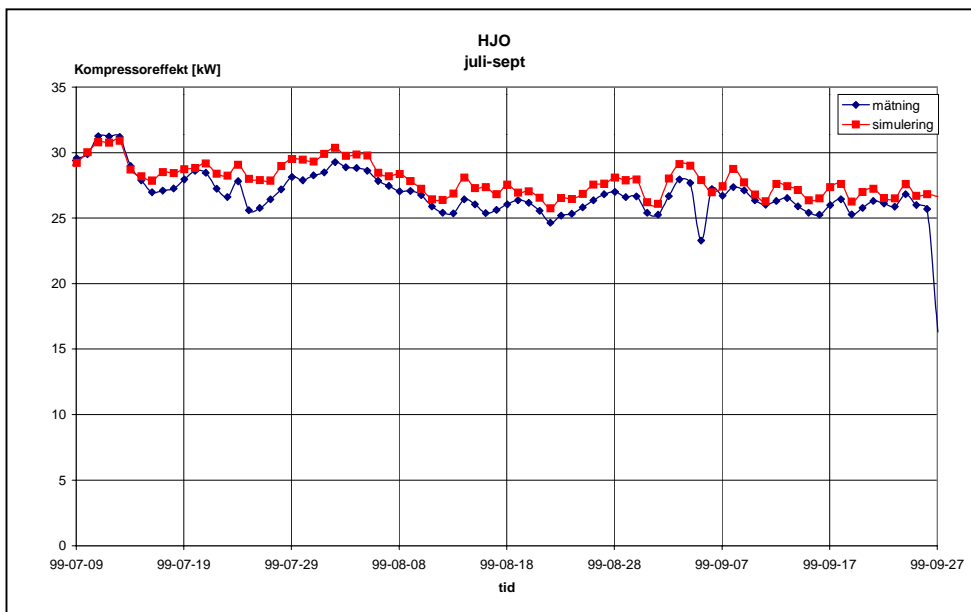
Figur 4: Medelvärdet av utetemperatur, butikstemperatur och kompressoreffekt under ett dygn för perioden juli - september 1999 i Hjo.

Diagram 4 bekräftar tydligt den inverkan utetemperaturen och butikstemperaturen har på kompressoreffekten. Mellan den 10 juli till 14 juli, när felet i luftkonditioneringen inträffade, nås den högsta effekten för hela perioden, den näst högsta effekten blev den 2 augusti när medelvärdet av utetemperaturen under hela dygnet var 22,6°C.

### Modellen

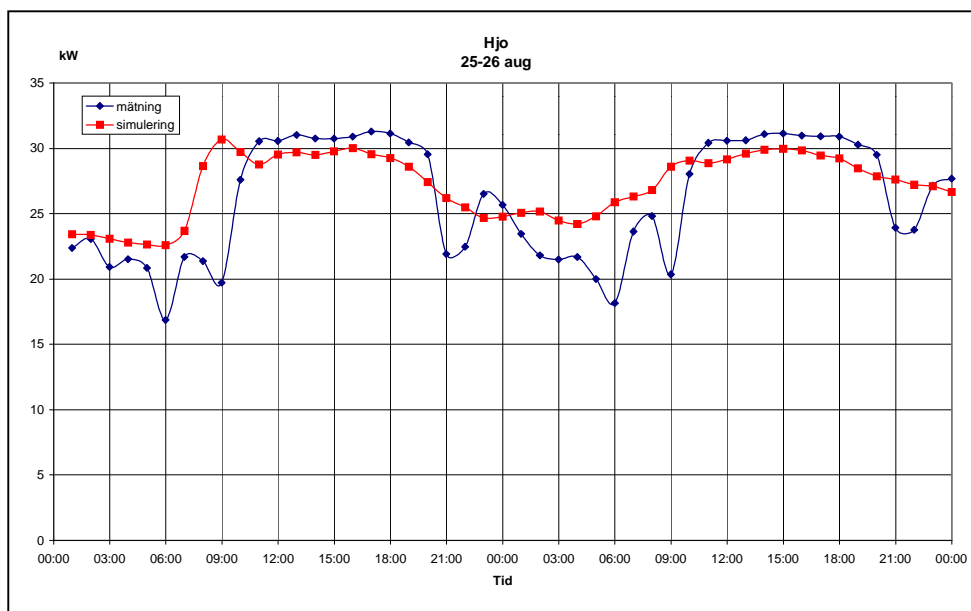
Ett modellverktyg för datorsimulering av kyl- och fryssystemet för butiken i Hjo har utvecklats. Programmet är skrivet i EES (Engineering Equation Solver) och arbetar med moduler, där de olika delarna av kylsystemet simuleras. Programmet styrs från ett huvudprogram därifrån de olika modulerna anropas. Det finns 6 moduler, en för värmeväxlarna, en för vätskekylaggregaten, en för kyldiskarna, en för frysdiskarna, en för kylrum och en för frysrums. Vätskekylaggregaten är huvudmodulen där både kondensator och förångare modelleras som värmeväxlare med konstant KA-värde. Kompressorn modelleras med hänsyn till den isentropiska och volymetriska verkningsgraden. Data för de olika delarna i systemet har tagits från respektive tillverkarnas katalog.

Vid simulering används utetemperatur, butikstemperatur och RF, från mätningar genomförda i Hjo, som indata. Resultaten från simuleringar presenteras tillsammans med mätdata från chillern i figur 5



Figur 5: Resultat från simuleringar och mätningar under perioden juli-sept. i Hjo.

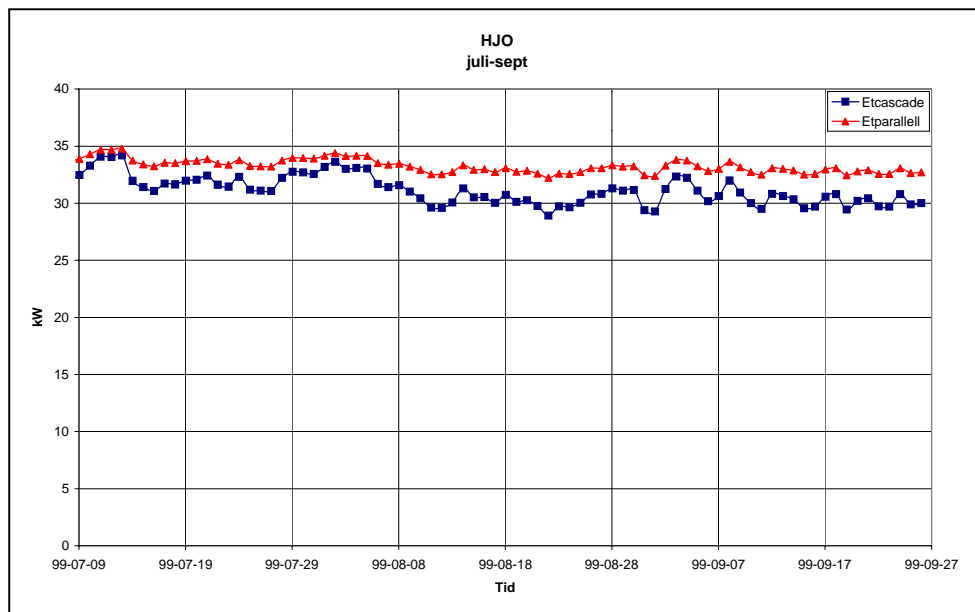
Skillnaderna mellan mätningar och simuleringar kan bland annat bero på att simuleringarna inte tar hänsyn till avfrostningar, nattäckning av diskarna, förluster i ledningar, och dynamiken i systemet. I simuleringar under en två dagars period, med en timmes intervall, som presenteras i figur 6 ses dessa skillnader tydligare.



Figur 6: Resultat från simuleringar och mätningar mellan den 25 och 26 augusti i Hjo.

En nackdel med indirekta kylsystem är en viss ökningen av energiförbrukningen. I många livsmedelsbutiker används dessutom parallella kylsystem för frys och kylsida som systemlösning (systemlösning 2 i [1]). Det höga tryckförhållandet mellan kondenseringstemperatur och förångningstemperatur för fryssystemet minskar den isentropiska och den volymetriska verkningsgraden som i sin tur orsakar en ökning av kompressoreffekten.

Kaskadsystem kan bli ett intressant alternativ för att minska energiförbrukningen och köldmediemängden. En datormodell som simulerar både en kaskad och ett parallellt kylsystem för butiken i Hjo har utvecklats. Utetemperatur, butikstemperatur och RF från mätningar i Hjo används som indata. Resultaten i figur 6 visar den totala kompressoreffekten (kyl- och frys).



Figur 7: Jämförelse mellan ett kaskad och ett parallellt system under perioden juli-sept .

### Slutsatser

Utetemperaturen och butikstemperaturens inverkan på kylanläggning och kompressoreffekt visas tydligt i både mätningar och simuleringar. När det gäller mätningar, finns det ett stort behov av att göra noggrannare mätningar för både vätskekylagregaten och diskarna. Modellen måste förbättras där avfrostningar, nattäckning av diskar, förluster i ledningar, värmeåtervinning, luft konditionering, klimat, mm. ska finnas.

Resultaten från simuleringar visar också att kaskadsystem kan bli ett bra alternativ för att minska både energiförbrukning och köldmediemängden i kylsystemet i livsmedelsbutiker.

### Referenser

1. Arias, J., Lundqvist, P. 1998, "Den energieffektiva butiken i teori och praktik", dokumentation från Klimat 21 dagen 1998, 1:a Informationsdagen, Klimat 21, Energimyndigheten.
2. Bourdouxhe, J-P., Grodent, M., Lebrun, J., Saavedra, C., Silva, K., 1994, A toolkit for primary HVAC system energy calculation-Part 2: Reciprocating chiller models. ASHRAE Transactions, volume 100, part 2: p. 774-786.
3. Granryd, E., 1998, Introduction to Refrigerating Engineering, Part 2, Department of Energy Technology, Division of Applied Thermodynamics and Refrigeration, Royal Institute of Technology, Stockholm, 154 p
4. Fahlén, P., 1999, Butikskyla, Arbetsrapport, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, SP AR 1999:09, Energiteknik, Borås, 53 s.
5. Pinzon, T., 1999, Systemlösningar för butikskyla, Examensarbete i kylteknik, Institutionen för Energiteknik, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm, 64 s.