



Dörrar på kyldiskar för minskad energianvändning och bättre inneklimat

Sara Jensen, Ulla Lindberg, Lennart Rolfsman,
Peter Lidbom, Daniel Månsson

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Dörrar på kyldiskar för minskad energianvändning och bättre inneklimat

Sara Jensen, Ulla Lindberg, Lennart Rolfman,
Peter Lidbom, Daniel Månsson

Denna rapport reviderades 2015-03-16.
Ändringar har gjorts i Sammanfattning,
Resultat, Diskussion och Bilaga 2 –
Mätdata.

Abstract

Doors on refrigerated cabinets for reduced energy consumption and improved indoor climate

Although refrigerated display cabinets with doors and lids are usually installed in newly built supermarkets, open refrigerated cabinets without doors are still commonly found in existing supermarkets. Open refrigerated cabinets lose considerable energy as a result of cold air leaking out from them. Leakage and infiltration leads to an unnecessarily high energy use in the cooling system, and can also cause a colder indoor climate in the store. Problems can occur in open refrigerated cabinets, with contents being either too hot or too cold due to such factors as radiation from lighting, uneven air distribution in the cabinet, defrosting and air infiltration. A way of maintaining the cold inside the refrigerated cabinet is to install doors on vertical cabinets. Doors reduce infiltration from the surrounding air, and the refrigerated cabinet becomes less sensitive to external factors that affect infiltration. Doors also reduce temperature diffusion between the warmest and the coldest food package.

Supermarkets want to increase knowledge of how installation of doors on refrigerated display cabinets affects energy use, food quality, indoor climate and food sale in supermarkets, when nothing other than the fitting of doors is done. In this field measurement project, doors will be installed on all refrigerated cabinets in an existing supermarket with a modern refrigeration plant. Measurements will be made to examine the difference in cooling and electricity demand before and after installation. It has been estimated (before the physical measurements have been started) that the cooling demand could be reduced by 25 %. The space heating demand of the supermarket, air temperatures in the cabinets, thermal comfort and food sales will also be measured to investigate the effect of the doors installation.

In an earlier BeLivs project, doors were installed in an existing supermarket with an older refrigeration system, which was adjusted to the new cooling demand. The earlier project, together with this project, will provide knowledge of the effects of doors installation in supermarkets.

Key words: supermarket, refrigeration, display cabinets, indoor climate, thermal environment, thermal comfort, energy efficiency

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Rapport 2014:59 rev 2015-03-16
ISBN 978-91-88001-03-0
ISSN 0284-5172
Borås 2014

Innehållsförteckning

Abstract	3
Innehållsförteckning	4
Förord 5	
Sammanfattning	6
Ordlista	7
1 Projektbeskrivning	8
1.1 Syfte och mål	8
1.2 Avgränsningar	8
1.3 Metod	8
2 Bakgrund	9
2.1 Butiken	9
2.1.1 Kylmöbler	9
2.1.2 Kylsystem	10
2.2 Inneklimat	11
2.3 Energianvändning	12
2.4 Försäljning	14
3 Genomförande	14
3.1 Installation av dörrar	14
3.2 Inneklimat	15
3.3 Energianvändning	16
3.4 Försäljning	17
3.5 Ändrade arbetsförhållanden	17
4 Resultat	17
4.1 Inneklimat	17
4.2 Energianvändning	18
4.3 Försäljning	20
4.4 Ändrade arbetsförhållanden	21
5 Diskussion	21
6 Fortsatt arbete	22
7 Referenslista	23
Bilaga 1 – Mätning av temperaturer och energi	24
Bilaga 2 - Mätdata	32
Bilaga 3 – Checklista	44

Förord

Energimyndighetens Beställargrupp Livsmedelslokaler, BeLivs startades 2011. BeLivs uppdrag är att vara en objektiv part och att driva utvecklingsprojekt med energieffektivisering och miljöfrågor som gemensamma nämnare bland sina medlemmar i deras fastigheter. Resultaten och erfarenheterna av projekten publiceras som rapporter på www.belivs.se och är kostnadsfria att ta del av. Alla bolag i branschen, även de som inte är medlemsföretag, kan därför dra nytta av BeLivs arbete.

Varför BeLivs? En stor andel elenergi används i butiker och livsmedelslokaler. BeLivs uppgift är att skynda på utvecklingen mot energieffektivare livsmedelslokaler genom att driva utvecklingsprojekt. Projekten handlar om att visa att och hur energieffektiv teknik och energieffektiva system fungerar i verkligheten tillsammans med medlemmarna. En lika viktig uppgift är att föra ut erfarenheter från projekten till resten av branschen som är kopplade till livsmedelslokaler.

BeLivs skall hjälpa Sverige att nå de energimålen som är uppsatta. BeLivs mål är att få ut energieffektiva system och produkter tidigare på marknaden. Parallellt med en ökad energieffektivitet skall utvecklingsprojekten också förbättra eller bibehålla verksamheten och inomhusmiljön i lokalerna och vara ekonomiskt lönsamma. Det är viktigt att produkter och system som det investeras i är kostnadseffektiva.

Projektet är finansierat av



och ingår i Energimyndighetens nätverk BeLivs



Sammanfattning

En butik har i detta projekt efterinstallerat dörrar på alla sina kyldiskar, inklusive diskarna i frukt och grönt avdelningen. Syftet med projektet är att samla in underlag och data om de konsekvenserna som fås av att dörrar installeras på befintliga vertikala kyllenheter i en butik. Projektet skall ge en beskrivning av vad man bör tänka på då dörrar installeras och ge de tekniska konsekvenserna av installationen. Projektet ska ge en uppfattning om hur mycket energi som besparas, visa på konsekvenser för inneklimat, varornas temperatur och försäljning.

Kyleffektbehovet i kyldiskarna har dagtid minskat med ca 41 % efter att dörrar installerades, medan elbehovet i kylanläggningen har minskat med ca 16 % efter dörrinstallationen. Genom att göra förändringar, i en optimering, i kylsystemet kan man minska även elbehovet med ca 41 %. Vilka förändringar som skulle vara ekonomiska att genomföra måste dock utredas separat.

Butikens tilluft värms med återvunnen värme från kylsystemet. Elpannan går in när värmen från kylsystemet inte räcker till för att täcka uppvärmningsbehovet. Det syns ingen skillnad i uttag från elpannan före och efter dörrinstallationen. Under ett par kalla veckor i december gick elpannan varje dag, men samtidigt kylde stora mängder värmeeffekt ut via kylmedelkylaren på taket. Här finns potential för förbättring av styrningen vilket kan leda till energibesparing.

Butikschef och personal upplever att inomhustemperaturen har blivit varmare sedan dörrarna installerades. Detta kan även konstateras i de mätningar som gjorts i projektet. Även kunder har reagerat positivt på att det blivit varmare i butiken. I en butik varierar vanligtvis inneklimatet under året. Framförallt kundernas klädsel varierar beroende på utetemperaturer. Det skulle vara intressant att göra uppföljande mätningar under de varma månaderna för att se på utetemperaturens inverkan på försäljning och inneklimat.

Det finns en oro inom dagligvarubranschen att dörrar på kyl- och frysenheter hämmar kundernas inköp, då man befärrar att dörrarna kan fungera som en "barriär" mellan kunden och varan. När butiken gjort en jämförelse av försäljningen före och efter dörrinstallationen syns en minskning på försäljningsandelar i avdelningen Frukt & grönt efter dörrinstallationen. För övriga avdelningar med kyldiskar syns ingen tydlig förändring av försäljningen efter dörrinstallationen.

Vid nybyggnationer idag installeras oftast kyldiskar med dörrar och lock. Öppna kyldiskar utan dörrar är fortfarande vanligt förekommande i befintliga butiker. Öppna kyldiskar använder mycket energi då kylan "läcker" ut från disken. Utläckaget och infiltrationen leder till en onödigt hög energianvändning i kylsystemet. Den kalla luften som läcker ut i butikslokalen kan dessutom medföra att inneklimatet blir kallare. I öppna kyldiskar kan även uppstå problem med att matvaror förvaras för varmt eller för kallt t.ex. på grund av strålning från belysning, ojämn luftdistribution i disken, temperaturen matvarorna har vid inpackning, avfrostningar och infiltration från omgivande luft.

Ett sätt att bibehålla kylan inne i kyldisken är att installera dörrar på vertikala diskar. Dörrar minskar infiltration från omgivande butiksluft och disken blir mindre känslig för yttre faktorer som annars påverkar infiltrationen. Dörrar på en kyldisk minskar också temperaturspridningen, d.v.s. temperaturskillnaden mellan den varmaste och den kallaste varan blir mindre. Butiken valde att installera dörrar i enkelglas, utan karm och handtag. Denna typ av dörr är inte helt tätslutande och förhindrar inte helt infiltration från omgivningen.

Ordlista

Förångning	Den del i den kyltekniska processen där värme tas upp av köldmediekretsen. Förångningsförhållandet beskrivs i tryck eller i temperatur.
Direkt system	Värme förs bort från kyl- och frysdiskar genom direkt värmeöverföring till köldmediet i köldmediekretsen, i vilken kyl- och fryskompressorer ingår, se Figur 1.
Indirekt system	Värme förs från kyl- och frysdiskar genom en sekundär krets, köldbärarkretsen, mellan kyl- och frysdiskarna och köldmediet i köldmediekretsen, se Figur 1.
Kondensering	Den del i den kyltekniska processen där värme avges från köldmediekretsen. Kondenseringsförhållandet beskrivs i tryck eller i temperatur.
Komfortkyla	Kylning av luften inne i butiken, sker ofta med hjälp av AC-aggregat.
Kylbatteri	Värmeväxlare i kyldiskar och kylrum, som kyler luften i kyldiskar och kylrum för att upprätthålla krävd lagringstemperatur för matvarorna.
Kylbehov	Det behov av kyla som krävs för att upprätta krävd temperatur i diskar och lagerrum.
Kylaggregat/Kylmaskin	Aggregat som omfattar kompressor, förångare och kondensor. (Även kallad vätskekylaggregat (VKA) eller chiller)
Kyleffekt	Den värmeeffekt som kylaggregaten kyler bort från diskar och lagerrum. Över tid blir detta kylenergi.
Kylmöbel	Kyldisk eller kylgondol, som lagrar matvaror som ska hållas kylda.
Kylställen	Kyldisk eller kylrum
Köldbärare	Det medium som i ett indirekt system tar upp värme från kyl- och frysdiskar och avger den till köldmediekretsen, se Figur 1.
Köldmedium	Det medium som cirkulerar i köldmediekretsen, i vilken kyl- och fryskompressorer ingår. I ett direkt system går köldmediet ut i rör till kyl- och frysdiskarna och för bort värme från dem. I ett indirekt system finns ett köldbärarmedium mellan köldmediekrets och kyl- och frysdiskarna, se Figur 2.
Köldmediumkrets	Krets i vilken värme från en värmekälla med låg temperatur överförs till en värmesänka med högre temperatur genom att trycksätta ett köldmedium.
Luftridå	Det kalla luftflöde i diskens framkant eller överkant som fungerar som en barriär mellan kyld luft inne i disken och den varmare omgivningsluften utanför kylmöbeln.
Plåtar	De plåtar som skyddar diskens innandöme där fläktar, kylbatteri, avlopp och inre luftkanaler finns. Dessa måste monteras ner för att kunna rengöra kylbatterier.
Retur	Den del på kyl- och frysdiskar i nedre framkant, där den av matvaror uppvärmda luften, sugas in för att åter kylas av kylbatteri.
Temperaturgivare	Instrument som används i fältmätningen för att uppmäta temperaturer.

1 Projektbeskrivning

1.1 Syfte och mål

Syftet med projektet är att erhålla underlag och data om de olika konsekvenserna som uppstår då dörrar installeras på befintliga vertikala kylenheter i en butik. Projektet skall ge en beskrivning av vad man bör tänka på då dörrar installeras och ge de tekniska konsekvenserna av installationen. Projektet ska ge en uppfattning om hur mycket energi som besparas, visa på konsekvenser för inneklimat, varornas temperatur och försäljning.

Rapporten ska vara ett stöd för de butiker som redan tänker installera dörrar, samtidigt som den skall ge underlag till de som inte redan tänkt installera dörrar för att visa på konsekvenserna i och med att en installation av dörrar genomförs.

- Öka beställarkompetensen genom en checklista med riktlinjer och åtgärder vid dörrinstallation
- Beräkna och redovisa investeringskostnader och energivinster för uppskattning av återbetalningstid
- Övergripande kunskap om dörrarnas påverkan på inneklimatet i butiken
- Dörrinstallationens påverkan på försäljningen
- Sänka livmedelsbutikens kylbehov i diskarna med minst 25 %

1.2 Avgränsningar

I detta projekt studeras effekten av dörrinstallation på kyldiskar som enda åtgärd för att uppnå bättre termisk komfort och mindre energianvändning. Mätningar har haft fokus på att se på energibesparingen i och med dörrinstallationen. Mätningar på försäljning har erhållits från butiken.

Projektets omfattning har inte innefattat djupare analys och mätning avseende beteenden och upplevelser. Mätning har skett under en kortare period, i en butik varierar flera parametrar under året.

1.3 Metod

Mätning i butik har bestått av olika parametrar såsom temperaturer och elanvändning för att kunna räkna fram energi- och kylbehov före och efter dörrinstallation. Framst har butikens mätsystem använts, men vissa temperaturer har mätts med SPs kalibrerade givare. Kompletterande data som byggt på kunskaper har även hämtats såsom uteförhållanden från SMHI.

Även butiken som varit delaktig i projektet har bidragit med att sammanställa och redovisa varuförsäljning före och efter dörrinstallationen.

2 Bakgrund

Tre huvudfrågor skulle besvaras i projektet när dörrar installeras på kyldiskarna, hur påverkas;

1. inneklimatet i butiken, för kunder och personal?
2. energianvändningen till kylanläggningen?
3. försäljning av kylda varor?

Mätdata och kunskap samlas in före och efter åtgärden, installation av dörrar.

2.1 Butiken

Butiken är fristående. En butik i Uppsala, byggd 2008, valdes ut till demonstrationsprojekt. Butiken har en säljyta på 3 450 kvadratmeter. Kylanläggningen är av typen transkritisk CO₂ och nyinstallerades då butiken byggdes. Lock installerades på butikens samtliga frysgondoler vid nybyggnation, men inga dörrar installerades på de vertikala kyldiskarna. I projektet har ingått att butiken efterinstallerat dörrar på alla sina vertikala kyllenheter, enligt uppgift från butiken handlar det om ca 130 löpmeter kyldisk. Även frukt och grönt avdelningen har kyldiskar som installerats med dörrar.

Tabell 1 Butikens storlek, kundgenomströmning och försäljningsfördelning presenteras i tabellen nedan.

	Enhet	Värmeåtervinning från kylsystem, elpanna
Uppvärmning i butik		Ventilation
Total yta, A_{tot}	m ²	4900
Försäljningsyta, A_{sale}	m ²	3450
Antal kunder per vecka (betalande kund x2)	st/vecka	16000

2.1.1 Kylmöbler

Alla kyldiskar i butiken när projektet startade, förutom en, var vertikala och utan dörrar. I projektet har alla dessa försetts med dörrar.

I en vertikal kyldisk är kylbatteriet som kyler luften oftast placerat i diskens botten eller rygg. Fläktar sitter före kylbatteriet, som cirkulerar luften i disken och suger in den luft som kylbatteriet kyler. Den kylda luften blåses ut i disken ovanför eller genom öppningar i ryggpartiet. Luften som blåses ut i diskens ovanför bildar en luftrida, som ska skapa en barriär mellan den kalla luften i disken och den varmare omgivningsluften i butiken. Luften från diskens rygg fungerar som styrplan för luftflödet som kommer från diskens rygg och balanserar den främre luftbarriären. Luften sugas sedan in i botten av disken genom ett returgaller för att åter kylas av kylbatteriet. Se Figur 1 för principskiss över luftströmmar i en vertikal disk.



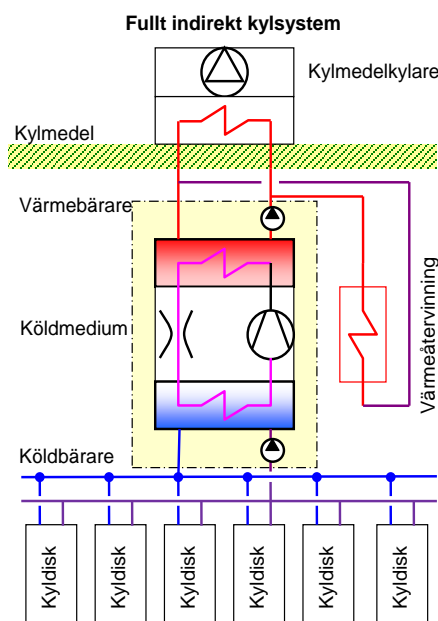
Figur 1 Luftgenomströmning och luftridå i en vertikal disk. Kylbatteriet är här placerat i diskens bakre nederkant.

Luftridåns funktion är viktig både i avseende på kylbehov samt att kunna hålla matvarorna vid rätt temperatur för att säkerställa matkvaliteten.

2.1.2 Kylsystem

I butiken är de kyldiskar som omfattas av dörrinstallationen kopplade till livsmedelsbutikens centrala kylsystem. Kylaggregatet är placerat i ett maskinrum och försörjer kylagerrum och kyldiskarna ute i affären med kyla. Värmen som förs bort från diskarna används för att värma upp lokaler och tappvatten genom värmeåtervinning, när inget värmebehov finns kyls värmen bort med utomhusluft genom en kylmedelkylare.

Butiken har ett fullt indirekt kylsystem. I ett indirekt system har man ett medium för värmeöverföring mellan diskar och köldmediekretsen och/eller mellan köldmediekretsen och kylmedelkylare. I indirekta system brukar man prata om köldbärare på den kalla sidan, där värme förs bort från diskarna. På den varma sidan där värme kyls bort i exempelvis en kylmedelkylare till uteluften talar man om värmebärare eller kylmedel. I Figur 2 visas en schematisk bild över ett indirekt kylsystem.



Figur 2 Schematisk bild på ett fullt indirekt kylsystem. Köldbäraren för bort värme från kyldiskarna i butiken och lämnar över värmen till köldmediet i maskinrummet. Från maskinrummet förs värmen vidare ut till värmeåtervinningssystemet eller till kylmedelkylaren på butikens tak. (Fahlén 2003)

2.2 Inneklimat

Inneklimatet i en livsmedelsbutik ska tillgodose tre olika grupper med motstridiga krav och önskemål: varor, kunder och personal. Krav och önskemål kan sättas för varor och personal. Kunder vistas en kortare period i butiken relaterat till personalen som kan följa krav på arbetsmiljö, kundernas upplevelser av inneklimatet har studerats i olika projekt (Lindberg 2009).

Inneklimatet i en butik varierat under året och tidigare studier (Axell, Lindberg et al. 2003) har visat att det är kallast där kylda matvaror förvaras och då främst framför öppna vertikala kylvägg. I en butik är det vanligtvis kallare i de zoner där kyl- och frysdiskarna är placerade. I en öppen vertikal kyldisk är 60 – 70 % av förlusterna orsakade av infiltration av varm omgivningsluft från butiken. Läckaget av kall luft från kyldiskarna är så stora att det i många butiker finns ett värmebehov året runt. (Axell 2001) (Lindberg, Axell et al. 2010)

Den utkylning av lokalen som sker pga. kylsläckage från diskarna, påverkar inneklimatet. Sommartid kan temperaturen i butiker med många öppna flerplansdiskar krypa ner under 18 °C, vilket känns kallt för en sommarklädd kund. Även personalen i butiken kan uppleva den låga temperaturen som störande, särskilt vid stillasittande arbete. Utkylningen av butiken måste kompenseras med mer uppvärmning för att erhålla ett trivsamt inneklimat för såväl kunder som personal. För att hålla rätt inneklimat är det viktigt att man ser över hur det skapas på bästa sätt.

Ett sätt att bibehålla kylan inne i kyldisken är att installera dörrar på vertikala diskar. Dörrar minskar infiltration från omgivande butiksluft och disken blir mindre känslig för yttre faktorer som annars påverkar infiltrationen. Se till att det är kallt för varor, som ska vara kalla, och behaglig temperatur och inneklimat för kunder och personal – alltid rätt temperatur på rätt ställe.

När det gäller upplevelsen av det termiska klimatet så pratar man om termisk komfort. I och med att vi alla är olika är det inte möjligt att finna en termisk miljö som

tillfredsställer samtliga individer. Ett mål är att få så många så tillfredsställda som möjligt. Enligt standarden ISO 7730 ingår vid beräkning av termisk komfort:

Uppmätta parametrar

- Luft temperatur
- Lufthastighet
- Relativ luftfuktighet
- Medelstrålningstemperaturen

Individuella faktorer

- Aktivitet
- Isolering, kläder

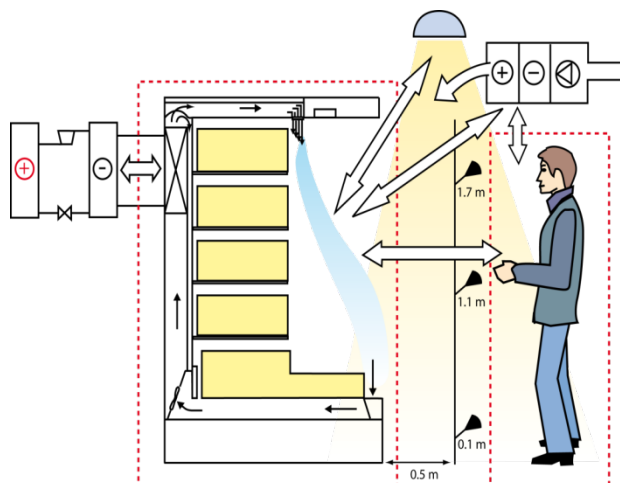
2.3 Energianvändning

Kylarna och frysarna i en butik brukar stå för ungefär hälften av energianvändningen i en livsmedelsbutik, ventilation/uppvärmning och belysning är andra stora energianvändare. Därför kan det vara värdefullt att först börja se över dem när man skall energieffektivisera. En samordning med de andra systemen i butiken är också viktigt. En energieffektiviserande åtgärd kan vara att se till att man håller rätt och jämn temperatur med hjälp av dörrar och lock på kyl och frys. Butikens kyl- och frysdiskar är inte gjorda för att kyla ner varor, de är gjorda för att behålla den temperaturen som de har när de levereras till butiken.

Att montera dörrar på befintliga kyldiskar, eller för den delen att byta ut gamla öppna kyldiskar mot nya med dörrar, innebär en stor investering för butiken. För att denna investering ska löna sig krävs att dörrinstallationen återbetalar sig. Alternativt att det finns andra tillräckligt starka incitament att tillgå. Det är upp till butiken att se över hur lång tid som de bedömer att återbetalningstiden skall vara.

Vid nybyggnationer idag installeras oftast kyldiskar med dörrar och lock. Öppna kyldiskar utan dörrar är fortfarande vanligt förekommande i befintliga butiker. Öppna kyldiskar använder mycket energi då kylan ”läcker” ut från disken till butiken samtidigt som den omgivande varma och fuktiga luften infiltrerar in i disken, se Figur 3. Utläcket och infiltrationen leder förutom till en onödigt hög energianvändning i kylsystemet även till ojämna temperaturer i diskarna, med en tänkbar följd att matvarornas kvalitet inte kan säkras. Vidare kan den varma och fuktiga luften som infiltrerar in i diskarna kondensera på diskarnas värmeväxlare, så kallade kylbatterier, och ge ett ökat avfrostningsbehov, som leder till ytterligare onödig energianvändning. (Rolfman, Markusson et al. 2014)

Ett kallare omgivande inneklimat innebär ökade uppvärmningskostnader.

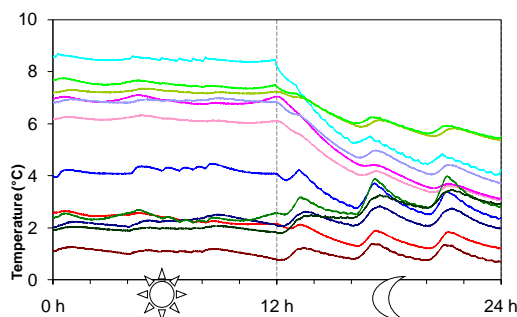


Figur 3 Framför en kyldisk sker en växelverkan mellan kyldiskens kalla luft inne i kyldisken där varorna förvaras, omgivande varmare inneklimat, människor och andra klimatstyrande installationer och belysning. Figuren illustrerar även hur insamling av mätdata skedde med hjälp av ett stativ och enkäter som besvarades 0,5 m framför öppna vertikala kyldiskar som presenterats i Lic. avhandling gällande upplevda och uppmätta komfortparametrar (Lindberg 2009).

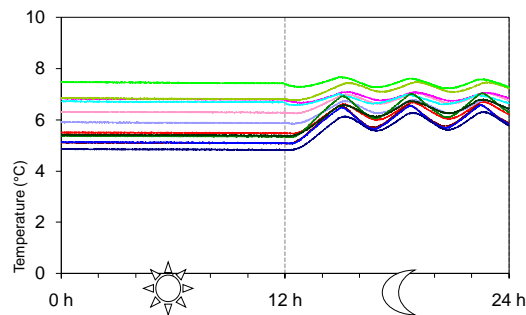
Butikspersonal och medarbetare kan även påverka energianvändningen i en butik då de varje dag är i direkt kontakt med utrustningen som drar energi. Det kan vara olika aktiviteter såsom att ansvara för att hålla rätt temperatur i kylar och frysar till att se över att dörrar är stängda för att undvika läckage/ökad infiltration. I Bilaga 2 - Mätdata finns olika exempel från butiken som illustrerar i och urlastning av varor, rengöring, kycklingrill mm.

I öppna kyldiskar förekommer att matvaror förvaras för varmt eller för kallt. Det kan vara strålning från belysning, ojämn luftdistribution i disken, temperaturen matvarorna har vid inpackning, avfrostningar och infiltration från omgivande luft som gör att temperaturspridningen i disken kan vara ojämn och att matvarorna är antingen för varma eller för kalla. (Rolfsman, Lidbom et al. 2013)

Dörrar på en kyldisk minskar temperaturspridningen, d.v.s. temperaturskillnaden mellan den varmaste och den kallaste mätplatsen blir mindre. I Figur 4 visas mätresultat från laboratoriestudier på temperaturspridning i en öppen kyldisk och i Figur 5 visas temperaturspridningen i samma kyldisk försedd med dörrar. (Lindberg, Axell et al. 2010). Dörrar och lock ger en bra och jämn matkvalitet.



Figur 4 Temperaturspridningen i en vertikal kyldisk utan dörrar. Varje färg representerar ett matpaket. Temperaturspridningen i disken är stor, upp till 8 °C. Dagtid är spridningen störst. (Lindberg, Axell et al. 2010)



Figur 5 Temperaturspridningen i samma kyldisk med dörrar installerade och en högre brine-temperatur jämfört med Figur 4. Varje färg representerar en temperaturgivare. Temperaturen på varorna är jämnare och spridningen har minskat. (Lindberg, Axell et al. 2010)

2.4 Försäljning

Det finns en oro inom dagligvarubranschen att dörrar på kyl- och frysenheter hämmar kundernas inköp, då man befärrar att dörrarna kan fungera som en ”barriär” mellan kunden och varan. Det finns behov av att öka kunskaper om och i så fall hur olika energieffektiviserande åtgärder i butik påverkar kunders upplevelser och beteenden i butik.

3 Genomförande

I projektet verifierades med mätningar energi och temperaturförändringar före och efter att butiken satt dörrar på kyldiskar som en energieffektiviserande åtgärd. Målsättningen var att inte justera kylsystemet nämnvärt.

Mätdata har erhållits från butikens mätsystem förutom viss temperaturmätning i kyldiskar och lokaler där SP installerat egen mätutrustning.

3.1 Installation av dörrar

Butiken valde vilken typ av dörrar som installerades. Dörrarna som valdes var i enkelglas, utan karm och öppnas framåt. Dörrarna levererades och installerades av disktilverkaren.



Figur 6 Butiken valde att montera enkelglasdörrar utan karm och handtag.

Dörrinstallationen skulle enligt planeringen ha tagit ca två veckor att genomföra, men drog ut på tiden till hela sex veckor på grund av dålig passform. Flera av de långa kyldiskarna som installerades då butiken byggdes 2008 hade ”sjunkit ihop” lite på mitten så att dörrarna inte passade. Disktillverkaren var därför tvungna att bygga om flera av kyldiskarna för att få dörrarna på plats. Installationen gick lätt i de fall där dörrarna passade på kyldiskarna direkt.

Tabell 2 Dörrarna installerades under vecka 37-42 i denna ordning (se diskarnas placering i Figur 7)

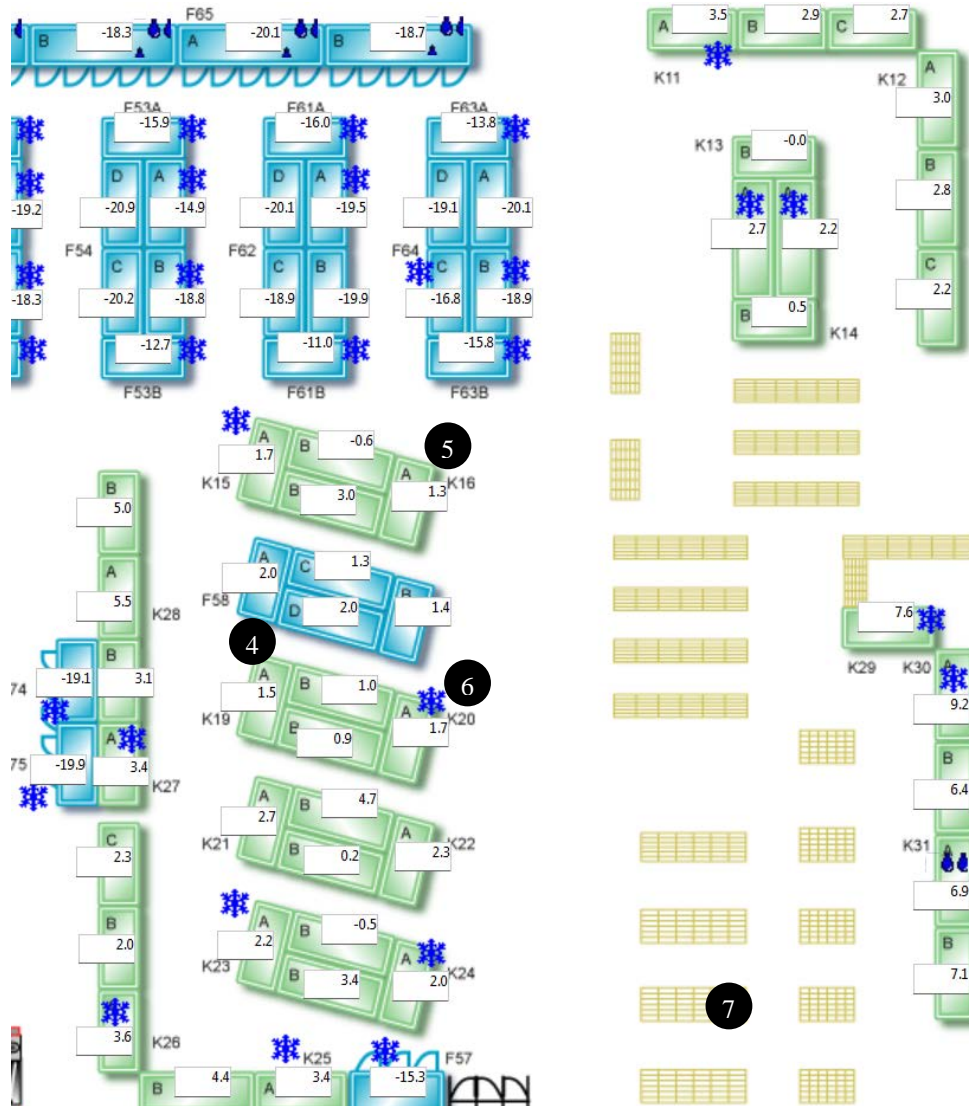
Vecka	Kyldisk beteckning	Varor i disk
37	K29	frukt och grönt
37-38	K13, K14	mejeri
38	K11, K12,	mejeri
39	K25, K26,	kött
	K30, K31	frukt och grönt
40	K27, K28,	ost
	K15, K16,	fiskprodukter
	K19, K20	chark
42	K21, K22, K23, K24	chark

Butiken ombads att inte göra mer justeringar än absolut nödvändigt på kyldiskar eller kylsystem efter att dörrarna installerades. Detta för att inte eventuella justeringar skulle påverka mätningarna. Problem som trots allt fick åtgärdas var:

- I några kyldiskar på avdelningarna mejeri (K12 och K13) och frukt och grönt (K29, K30 och K31) fick man efter dörrinstallationen problem med att temperaturen i disken sjönk så att varor frös. Detta åtgärdades genom att börvärdet i diskarna höjdes 1-2 grader.
- Kylfirman stötte även på trasiga fläktar i två av diskarna (K15 och K31) vilka byttes i samband med dörrinstallationen.

3.2 Inneklimat

Innetemperaturen mättes i ankel-, midje- och huvudhöjd på fyra olika positioner i butiken i närheten av kyldiskarna, se Figur 7. Detta för att kunna relatera till inneklimat med och utan dörrar installerade samt tidigare mätningar och standarder (SS-EN ISO7730, (Lindberg 2009)). Mätvärden från temperaturgivarna samlades in kontinuerligt under båda mätperioderna, före och efter dörrinstallation, samt under tiden dörrarna installerades. Detaljer om hur mätningen genomfördes hittas i Bilaga 1 – Mätning av temperaturer och energi.



Figur 7 Översiktsbild som visar butikens kyl- och frysdiskar. Samtliga vertikala kyldiskar (gröna på bilden) har försetts med dörrar i projektet. Vid mätpositionerna 4, 5, 6 och 7 mätes inomhustemperaturen vid motsvarande ankel-, midje- och huvudhöjd.

3.3 Energianvändning

I projektet mätes om och hur energianvändningen för kyla påverkades i och med att dörrar monterades på de befintliga kyldiskarna.

Energianvändningen för butikens kyl- och fryssystem mäts med butikens befintliga mätsystem. Elenergi är fördelade på följande elmätare: total, kyla, elpanna. Elmätare Kyla visar den sammanlagda energianvändningen för kyl- och fryssystemet. Värmeenergimätare till återvinning och kylmedelkylare finns installerad.

Totala kyleffekten för samtliga kyldiskar som fick dörrar monterade beräknades med hjälp av köldbärarens massflöde och specifik värmekapacitet samt köldbärarens temperaturdifferens.

3.4 Försäljning

Butiken har satt ihop en sammanställning av hur försäljningen förändrats på de berörda avdelningarna. Som en jämförelse har de även tagit med sammanställningar från tre

referensbutiker som har likartade förutsättningar när det gäller säljaktiviteter osv under samma perioder.

Försäljningen har studerats för två perioder, den första perioden 13 veckor före att dörrarna installerades på kyldiskarna och den andra perioden 13 veckor efter dörrinstallationen, se Gant-schema i Figur 8.

Vecka	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	1	2	3	4		
Försäljnings period 1																																				
Dörr installation																																				
Försäljnings period 2																																				

Figur 8 Försäljning för två perioder 2014/2015. Data insamlad av butiken för att se inverkan utan och med dörrar installerade.

Försäljningen har summerats för de två perioderna eftersom veckogranskning ger stora avvikelser p.g.a. olika löneveckor, julhandel osv.

Butiken har även studerat kassationer av kylda varor under perioderna före och efter dörrinstallationen men inte kunnat se någon påverkan på svinnet från dörrarna.

3.5 Ändrade arbetsförhållanden

Butikschefen intervjuades för att få en bild av hur personal och kunder upplever att dörrarna påverkat inomhusklimat och arbetsförhållanden.

4 Resultat

Här presenteras en sammanställning av resultaten från mätningarna före och efter dörrinstallationen. Detaljerade mätdata presenteras även i Bilaga 2 - Mätdata.

4.1 Inneklimat

Före dörrinstallationen upplevde personalen att temperaturen i området kring de öppna kyldiskarna var besvärande låg, många var exempelvis tvungna att ha jackor på sig både sommar och vinter då de arbetade vid kyldiskarna för att inte frysa. En mätning som butiken gjort före projektet visade så lågt som 11 grader framför en öppen kyldisk!

För att det termiska klimatet ska upplevas som tillfredsställande bör även vertikala temperaturskillnader begränsas. En temperaturdifferens som vanligtvis mäts för att se på det termiska klimatet är mellan huvud (1,7 m) och ankel (0,1 m). Ett missnöje med termiska miljön är t ex för höga temperaturskillnader som kan förekomma. Det är önskvärt med en liten temperaturdifferens. En låg omgivande temperatur innebär dessutom att man blir mera känslig för en hög temperaturdifferens.

En kallare temperaturzon i butik där varor förvaras kallt kan förväntas. I projektet mättes temperaturen vid olika fyra olika mätpositioner. Vid entrén in i butiken, i anslutning till frukt och grönt var mätposition 7, kylda varor vid de andra tre mätpositionerna. I Tabell 3 nedan redovisas omgivande temperatur före och efter installationen av dörrar på olika höjder.

Den uppmätta temperaturen och temperaturskillnaderna i denna butik, liksom i andra butiker, speciellt runt kylda möbler är beroende av flera olika faktorer. Men man kan se, Tabell 3, att vertikal temperaturskillnad minskat efter det att dörrarna installerats i butiken.

Tabell 3 Mätningar av lufttemperaturen i huvud-, höft- och ankelhöjd gjordes på fyra platser i butiken (mätposition 4, 5, 6 och 7 i Figur 7).

		Öppen butik (10.00–21.00)				
		Pos 4	Pos 5	Pos 6	Pos 7	
Utan dörrar	1.1 m $t_{a,m}$	°C	13,4	14,4	13,2	15,4
	Temp diff. 1,7–0,1 m	°C	9,9	5,8	5,7	3,9
Med dörrar			Pos 4	Pos 5	Pos 6	Pos 7
	1.1 m $t_{a,m}$	°C	16,8	17,3	15,5	18,3
	Temp diff. 1,7–0,1 m	°C	8,5	4,6	7,5	1,2

Inne bland kyldiskarna (mätposition 4) har temperaturen vid golvet stigit ca 3 K, från 8 °C till 11 °C.

Med dörrar upplever butikschef och personal att inomhustemperaturen blivit varmare sedan dörrarna installerades. Vilket även mäts med temperaturgivare. Även kunder har reagerat positivt på att det blivit varmare i butiken. Mätningar har inte genomförts under någon sommarmånad, utklimatet påverkar termiska klimatets upplevelse då man har lättare klädsel.

4.2 Energianvändning

Kyldiskarnas kyleffektbehov beror till största del på inomhusluftens entalpi. Jämförelser har därför gjorts mellan dagar före och efter dörrinstallationen då inomhusluftens medentalpi var densamma.

När samtliga kyldiskar försetts med dörrar sjönk kyleffektbehovet med ca 41 % under de timmar butiken var öppen. Under de timmar butiken var stängd var kyleffektbehovet i diskarna ungefär detsamma före och efter dörrinstallationen.

Tabell 4 Mätningar av det totala kyleffektbehovet i kyldiskarna. När butiken var öppen var entalpin 34 kJ/kg. När butiken var stängd var entalpin 31 kJ/kg.

		Öppen butik entalpi 34 kJ/kg			Stängd butik entalpi 31 kJ/kg		
		min	max	medel	min	max	medel
Utan dörrar	kW	221	226	223	154	158	156
Med dörrar	kW	127	137	131	159	179	167
Förändring	%			41 %			6 %

Innan dörrar installerades var samtliga öppna kyldiskar i butiken försedda med nattgardiner som täckte för kyldiskarnas öppningar då butiken var stängd.

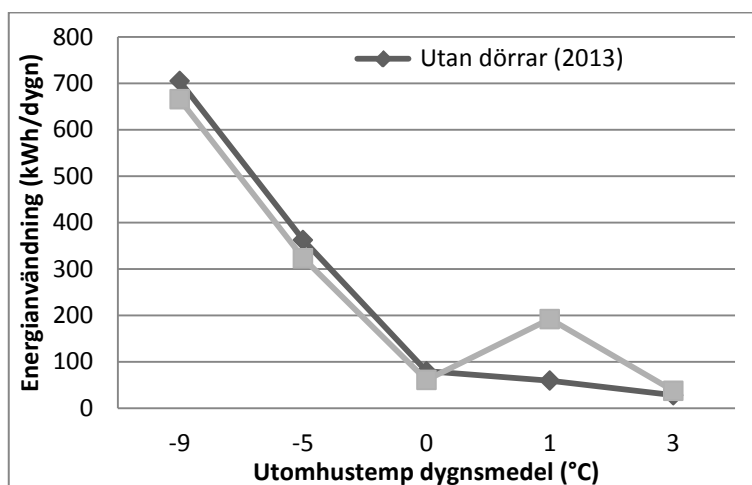
Tabell 5 visar hur mycket elenergi som enligt butikens mätsystem användes av kyl- och fryssystemet, vid utomhustemperaturen 12 °C. Värdena är hämtade från linjerade mätvärden, 2 300 kWh respektive 2 100 kWh, som kan ses i Figur 24.

Butikens mätsystem mäter el för kyl- och frys tillsammans, kyl- och frysanläggningen är dessutom kaskadkopplad. Elenergianvändningen i kyl- och fryssystemet har totalt minskat med ca 8 % efter att dörrarna installerades. Om man utgår från att kyl och frysanläggningarnas elbelastningar är lika stora och att frysanläggningens behov är oförändrat, kan ändringen i total elanvändning ses som en effekt av att kylbehovet har ändrats i och med dörrinstallationen. Detta ger att sänkningen i elförbrukning för *enbart kylanläggningen* kan antas vara ca 16 %.

Tabell 5 Elenergi som enligt butikens mätsystem användes av kyl- och fryssystemet vid utomhustemperaturen 12 °C och liknande entalpiförhållanden i butiken (Figur 25).

		Elenergi till kyl och frys	Elenergi till kyl
Utan dörrar	kWh	2300	-
Med dörrar	kWh	2100	-
Förändring	%	ca 8 %	ca 16 %

Butikens tilluft värms med återvunnen värme från kylsystemet. Elpannan går in när värmen från kylsystemet inte räcker till för att täcka uppvärmningsbehovet. I Figur 9 visas en jämförelse av hur mycket elenergi som användes per dygn av elpannan några dygn då medeltemperaturerna var desamma i december 2013 och 2014. Det syns ingen skillnad i uttag från elpannan före och efter dörrinstallationen. Vi har här endast studerat skillnaden i elpannans energianvändning.



Figur 9 Jämförelse av hur mycket elenergi som användes per dygn av elpannan några dygn då medeltemperaturerna var desamma i december 2013 och 2014.

Tilluften till butiken värms med återvunnen värme från butikens kylsystem. När denna spillvärme inte räcker till för att täcka uppvärmningsbehovet ska elpannan gå in och täcka upp. Kylmedelkylaren på taket bör endast vara igång då butikens uppvärmningsbehov är mindre än den spillvärmens som kommer från kylsystemet.

Tabell 6 visar att styrningen av kylmedelkylare och värmeåtervinningen från livsmedelskylan inte verkar fungera riktigt som den ska. Under ett par kalla veckor i december gick elpannan varje dag, men samtidigt kylde stora mängder värmeeffekt ut via kylmedelkylaren på taket.

Tabell 6 Eleffekten i elpannan och den termiska effekten som kylde bort i kylmedelkylaren (KMK).

		2014-12-27	2014-12-28	2014-12-29
Utetemp dygnsmedel	°C	-12,4	-10,1	-9,4
Eleffekt Elpanna	kW	46	52	34
Värmeeffekt KMK	kW	295	308	326

Nedan presenteras mätdata för kyldisk K27, två dygn då inomhusluftens medelentalpi ($h_{a,i}$) var ca 39 kJ/kg då butiken hade öppet och ca 33 kJ/kg då butiken var stängd. I Figur 16 illustreras kyldiskens utformning.

Tabell 7 Kyldisk K27. Medeltemperaturerna för de olika hyllplanen ($t_{a,hx}$) skillnaden mellan översta och nedersta hyllplanet ($t_{a,int}$), omgivningens temperatur ($t_{a,i}$) och den totala kyleffekten för samtliga kyldiskar (P_{tot}) dessa dygn.

			Öppen butik	Stängd butik
			Utän dörrar 22/8	$t_{a,i}$
	$h_{a,i}$	kJ/kg	36,5	32,2
	$t_{a,h1}$	°C	2,2	0,0
	$t_{a,h3}$	°C	3,0	-0,2
	$t_{a,h4}$	°C	2,9	0,1
	$t_{a,int}$	°C	0,7	0,1
	P_{tot}	kW	230	157
			Butik öppen	Butik stängd
			Med dörrar 20/10	$t_{a,i}$
	$h_{a,i}$	kJ/kg	36,6	32,7
	$t_{a,h1}$	°C	1,4	1,3
	$t_{a,h3}$	°C	1,4	1,4
	$t_{a,h4}$	°C	1,7	1,6
	$t_{a,int}$	°C	0,3	0,3
	P_{tot}	kW	146	149,0

Under butikens öppna timmar har lufttemperaturen blivit lägre och jämnare. Då butiken hade stängt, d.v.s. mellan kl. 21.00–8.00 har lufttemperaturerna stigit något efter dörrinstallationen. Mätningen visar att före dörrinstallationen, då disken hade nattgardiner fördragna, låg temperaturen runt 0 °C då butiken var stängd. Efter dörrinstallationen steg temperaturen i disken nattetid och låg på ca 1,5 °C.

4.3 Försäljning

Tabell 8 visar hur försäljningen i respektive avdelning i butiken påverkats av dörrinstallationen. Varje butiks totala utveckling är satt till index 100. Utvecklingen i respektive avdelning visas i relation till butikens totala omsättning. En avdelning som har exakt samma andel försäljning i mätperiod 1 och 2 får följaktligen index 100. Ett lägre index visar på en minskad andel försäljning, ett högre på ökad andel.

Referensbutikerna i tabellen är jämförbara butiker i samma kedja, och eventuella försäljningskampanjer har alltså varit desamma i alla fyra butikerna. Referensbutikerna har öppna kyldiskar utan dörrar.

Tabell 8 Kylavdelningarnas omsättning i relation till butikens totala omsättning efter dörrinstallation, beräknat enligt index, index 100 innebär oförändrat.

Butik	Butikens totala omsättning	Avdelningarnas omsättning i relation till total (Mätperiod 2)				
		Mejeri	Ost	Kött	Chark	F&G
Butiken i Uppsala	100	97,9	96,3	99,9	97,0	90,3
Referensbutik 1	100	100,1	101,8	100,0	102,5	96,8
Referensbutik 2	100	98,1	98,7	94,9	101,0	100,4
Referensbutik 3	100	97,6	100,0	100,6	103,9	98,3

I butiken där dörrinstallationen gjordes syns en ganska tydlig minskning på försäljningsandelar i avdelningen Frukt & grönt efter dörrinstallationen. Övriga

avdelningar har också något lägre andelar av den totala försäljningen efter dörrinstallationen men skillnaderna är mindre här.

Butiken har ingen information om eventuella yttre påverkansfaktorer, som konkurrensbild osv.

4.4 Ändrade arbetsförhållanden

Inomhustemperaturen upplevs ha blivit varmare av både personal och kunder. Personalen behöver inte längre ha jackor på sig när de jobbar vid kyldiskarna, och kunderna har kommenterat att de tycker att det blivit varmare i butiken sedan dörrarna kom på plats.

Det har blivit lite bökgigare att fylla på varor, men detta övervägs av att det blivit en behagligare arbetstemperatur kring diskarna.

När dörrarna var nya hade butiken skyltar uppe som berättade att de satt på dörrar på kyldiskarna för att spara energi, vilket resulterade i positiva kommentarer från kunderna om dörrar och energibesparing.

Priset är många gånger den avgörande faktorn och exponeringsytan mot kund är alltid viktig. En tät och stängd dörr minskar infiltrationen. Butikschefens farhåga innan dörrinstallationen var att dörrarna skulle skymma varorna. Dörrarna som monterades saknar helt både karm och handtag och gav enligt butikschefen kyldiskarna ett inbjudande intryck.

5 Diskussion

Kyleffektbehovet i kyldiskarna har minskat med ca 41% efter att dörrar installerades, elbehovet i kyl- och fryssystemet har under samma period minskat med 8 %. Om man utgår från att kyl och frysanläggningarnas elbelastningar är lika stora och att frysanläggningens behov är oförändrat, kan ändringen i total elanvändning ses som en effekt av att kylbehovet har ändrats i och med dörrinstallationen. Detta ger att sänkningen i elförbrukning för *enbart kylanläggningen* kan antas vara ca 16 %. Genom att göra förändringar i kylsystemet kan man minska elbehovet till kyl- och fryssystemet med ca 41 %. Vilka förändringar på kylsystemet som skulle vara ekonomiska att genomföra måste utredas separat.

I detta projekt studeras endast effekterna på energi- och kylbehovet vid installation av dörrar på kyldiskarna som enda åtgärd, men för att kunna utnyttja energibesparingspotentialen till fullo, måste de övriga enheterna i kylsystemet anpassas till de nya driftförutsättningarna. Den hårdast belastade kyldisken, d.v.s. den som har störst kylbehov, kommer att avgöra möjlig framledningstemperatur för köldbärare i systemet. Kylsystemet blir därför känsligt för störningar i form av nedsatt kylkapacitet eller redan från början för låg kylkapacitet i något av kylställena i systemet. Vid en förhöjd köldbärartemperatur och om dessutom kondenseringstemperaturen kan minskas, kommer kylmaskinens effektivitet och möjliga kyleffekt att öka. Systemets effektivitet kan ytterligare ökas genom att ta till vara på den värme, som förs bort från diskar och lagerrum och frigörs till uteluften via kylmedelskylare. (Rolfman, Markusson et al. 2014)

Under de timmar butiken var stängd var kyleffektbehovet i diskarna ungefär detsamma före och efter dörrinstallationen. Innan dörrar installerades var samtliga öppna kyldiskar i butiken försedda med nattgardiner.

Butiken valde att installera enklare dörrar utan karm och handtag, som ger god insyn i diskarna men som inte hindrar infiltration lika bra som mer tätslutande dörrar.

Infiltrationen kan minskas med dörrar, och denna minskning blir allt viktigare ju större exponeringsytan är mot kunden. Effekten av dörrarnas öppningsfrekvens ifrågasätts ofta. När man har dörrar bör man beakta:

- typ av dörr, t.ex. glas (enkla eller dubbla glas) eller plast
- hur varorna visas, t.ex. horisontellt eller vertikalt,
- hur dörrarna öppnas, t.ex. skjutdörrar eller gångjärn lodrätt på en axel, vänster eller höger hängda (om gångjärn),
- underhåll av dörrarna, t.ex. rengöring,
- placering av temperaturgivare, luftridå, belysning, avfrostning/kylsystem,

Dörrinstallationen avslutades i oktober, då kunderna i allmänhet har ganska mycket kläder på sig när de handlar, d.v.s. de var inte så känsliga för låga inomhustemperaturer och att inomhustemperaturen blev varmare borde inte ha påverkat kundernas beteende under mätperioden. Under den varmare delen av året kommer butiken antagligen märka av att den höjda temperaturen vid kyldiskarna påverkar kundernas beteende mer när de kan dröja längre tid vid kyldiskarna utan att frysa i sina tunna kläder.

Tanken var att man i projektet även skulle följa upp om komfortkyla behövs i butiken efter dörrinstallationen. Mätningarna som genomfördes i oktober visade inget sådant behov.

Alla butiker vill öka sin lönsamhet. Energikostnaden i en butik brukar relateras till butikens omsättning. Energikostnaden kan vara lika stor som butikens årliga vinst. Det innebär att en butik med minskad energianvändning kan få bättre ekonomi och kanske till och med sänka varupriserna.

6 Fortsatt arbete

Det behövs ökade kunskaper om och i så fall hur energieffektiverande åtgärder i butik påverkar kunders upplevelser och beteenden.

Fortsatta arbeten är att bygga kunskaper om lämpliga inneklimat och visa hur energieffektiva system i livsmedelsbutiker och en ökad kunskap om hur systemen (värme-, ventilations-, luftkonditionerings- och livsmedelskylsystemen) fungerar och samverkar även leder till en förbättrad termisk komfort och en förbättrad temperaturkvalitet hos matvarorna.

Att kunna skapa en trivsammare butiksmiljö, både för den som jobbar och för kunderna är alltid önskvärt. Vilket i sin tur även kan bidra till förändrade förutsättningar för layout och design i butikerna.

I en butik varierar vanligtvis inneklimatet under året. Framförallt kundernas klädsel varierar beroende av utetemperaturer. Butiken tycker att det skulle vara intressant att göra uppföljning av mätningar under de varmare månaderna för att se på utetemperaturens inverkan på försäljning och inneklimat. Det skulle även vara intressant att följa upp om behovet av komfortkyla kommer öka sommartid efter att dörrarna installerats och inomhusluften inte längre kyls lika mycket av kyldiskarna.

Det vore av intresse med en djupare analys för att se över lönsamhet och installation av värmepump som kan använda värmeöverskottet från kylsystemet till att täcka byggnadens uppvärmningsbehov samtidigt som kylsystemet kan gå så effektivt som möjligt med låg

kondenseringstemperatur. Butiken kyler bort överskottsvärme via KMK samtidigt som elpannan är i drift för att värma upp i butiken vilket inte tycks vara effektivt.

Vilken typ av dörr som installeras kan påverka effekten av installationen, det vore därför intressanta att jämföra olika dörrar på liknande sätt. Både under kontrollerade förhållanden och ute i verkligheten.

7 Referenslista

Axell, M. (2001). Butikskyla, Centrum för Effektiv Energianvändning (CEE).

Axell, M., et al. (2003). Indoor thermal environment in supermarkets. Indoor thermal environment in supermarkets: 125 pp.

Fahlén, P. (2003). Butikskyla Borås, Sverige, SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Lindberg, U. (2009). Indoor Thermal Environment in Supermarkets - A study of measured and perceived comfort parameters. Sverige, Chalmers Tekniska Högskola.

Lindberg, U., et al. (2010). Vertical display cabinets without and with doors - a comparison of measurements in a laboratory and in a supermarket. Sustainability and the Cold Chain. Cambridge.

Rolfsman, L., et al. (2013). Tvättning av batterier i kyl- och frysmöbler. www.BeLivs.se.

Rolfsman, L., et al. (2014). Dörrar på öppna kyldiskar och anpassning av kylsystem i butik. www.BeLivs.se.

Bilaga 1 – Mätning av temperaturer och energi

I huvudsak har butikens datoriserade styr- och övervakningssystem IWMAC använts för inhämtning av data. För mätning av temperaturgradient i lokalen och lufttemperaturer i kyldiskars olika hyllplan har SPs jämförelsekalibrerade mätsystem använts.

De mätdata som hämtats från butikens mätsystem gällande el-, värmeeffekter samt temperaturer har jämförts mot SPs och andra mätsystem för att kunna göra en bedömning av mätosäkerhet.

Mätperioder

Dörrarna installerades under en period på sex veckor med start vecka 37, i september 2014. Mätningarna av temperaturer och energi gjordes i två perioder, en före och en efter dörrinstallationen. Se Gant-schema i Figur 10.

- Mätperiod 1, utan dörrar: 2014-08-20 – 2014-09-02
- Mätperiod 2, med dörrar: 2014-10-13 – 2014-10-26

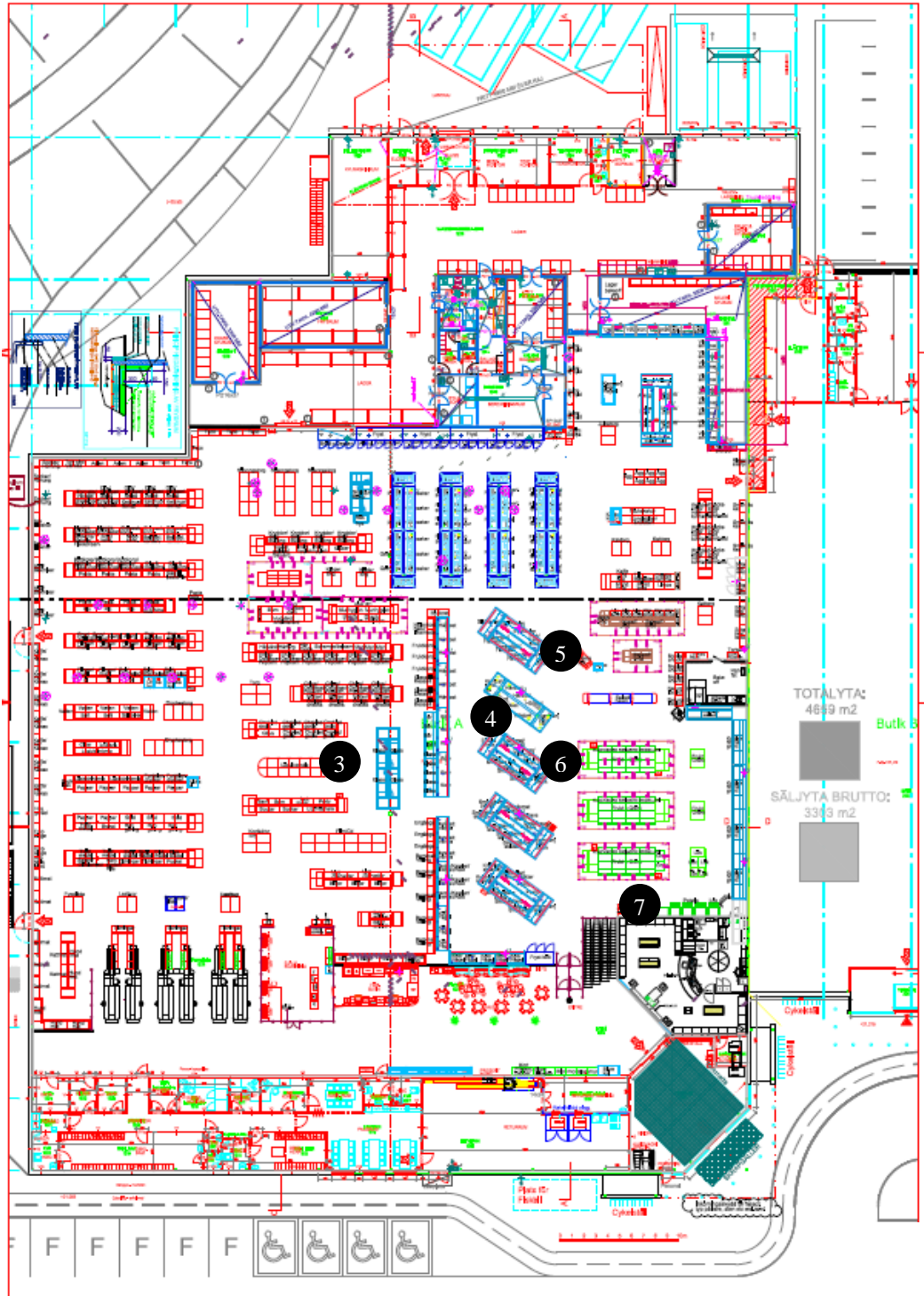
Vecka	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	1	2	3	4	
Försäljnings period 1																																			
Mätperiod 1																																			
Dörr installation																																			
Mätperiod 2																																			
Försäljnings period 2																																			

Figur 10

Mätdata presenteras i vissa fall för öppen respektive stängd butik. Butikens öppettider är måndag till lördag 8.00–21.00 och söndag 10.00–21.00.

Inneklimat

SP har mätt lufttemperaturer och luftfuktighet på ett antal positioner i och utanför butiken. Figur 11 visar en översikt av butiken där hyllor och diskar har olika färg beroende på vad de innehåller: blå färg betyder kyl- och frysdiskar, grönt står för Frukt och grönt, röda hyllor innehåller kolonialvaror. Mätpositionerna finns utmärkta med siffror i figuren.



Figur 11 Mätposition 3 inomhusluftens torra temperatur och relativ luftfuktighet. Mätposition 4, 5, 6 och 7 inomhus temperaturgradient, torr lufttemperatur 0,1; 1,1 och 1,7 meter från golv.

Temperaturgradient

För att mäta om och i så fall hur mycket inomhustemperaturen ändrades av att dörrar installerades mättes temperaturgradienten d.v.s. lufttemperaturen vid ankel-, midje- och huvudhöjd på några olika positioner i butiken, se Figur 12.



Figur 12 Exempel på temperaturgradientmätning vid mätposition 5, Figur 11.

Inomhusluftens entalpi

Inomhusluftens entalpi (h) beräknades enligt formlerna nedan med hjälp av mätdata för relativ luftfuktighet (RH) och torr lufttemperatur (t_{torr}) som mätts upp i butiken (mätposition 3 i Figur 11).

Formel 1 Samtliga formler nedan är hämtade från SPs dokument för beräkning av luftens egenskaper, daterat 1997-10-03.

$$\varphi = 100 \cdot \frac{p_{\text{ånga}}}{p_s} \quad [\% \text{-RH}]$$

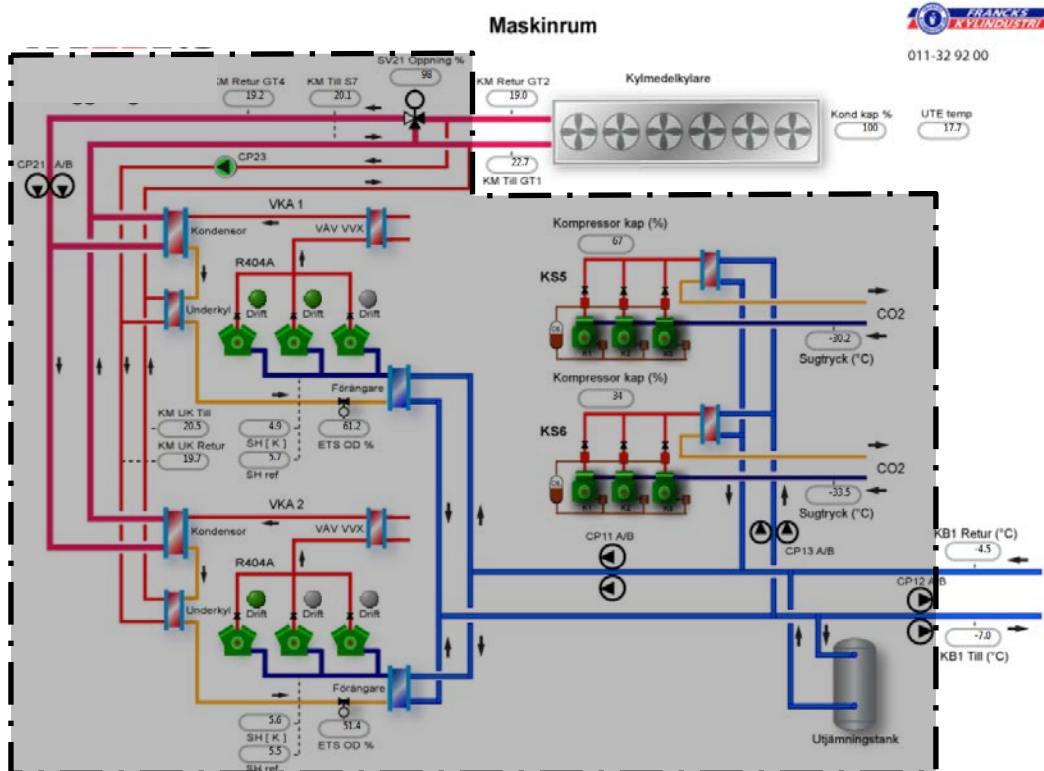
$$p_{\text{ånga}} = p_s \cdot \varphi \cdot 0,01 \quad [\text{kPa}]$$

$$x = \frac{1000 \cdot 0,622 \cdot p_{\text{ånga}}}{p_{\text{total}} - p_{\text{ånga}}} \quad [\text{g/kg}]$$

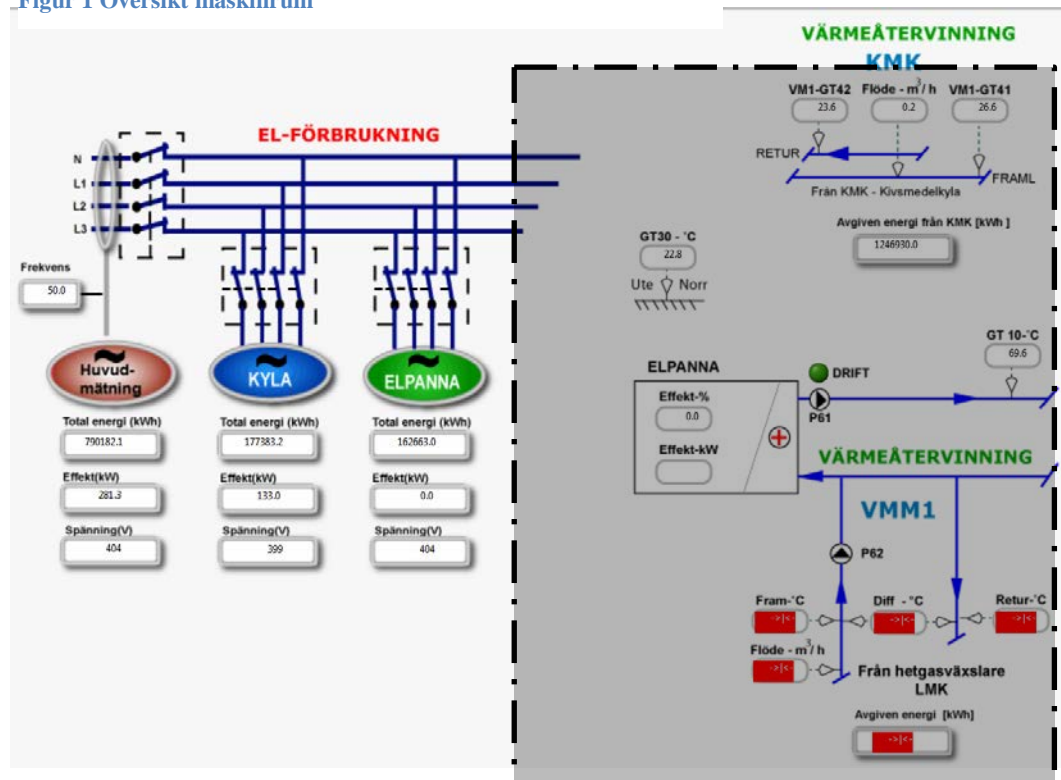
$$h = 1,006 \cdot t_{\text{torr}} + \frac{x \cdot (2501 + 1,805 \cdot t_{\text{torr}})}{1000} \quad [\text{kJ/kg}]$$

Energianvändning

Nedanstående skiss visar maskinrum och övergripande systemgräns för mätningar dvs. yta innanför den streckade linjen räknas till viss del som en svart låda. De mätningar som genomförts i maskinrum presenteras under nedanstående rubriker.



Figur 1 Översikt maskinrum



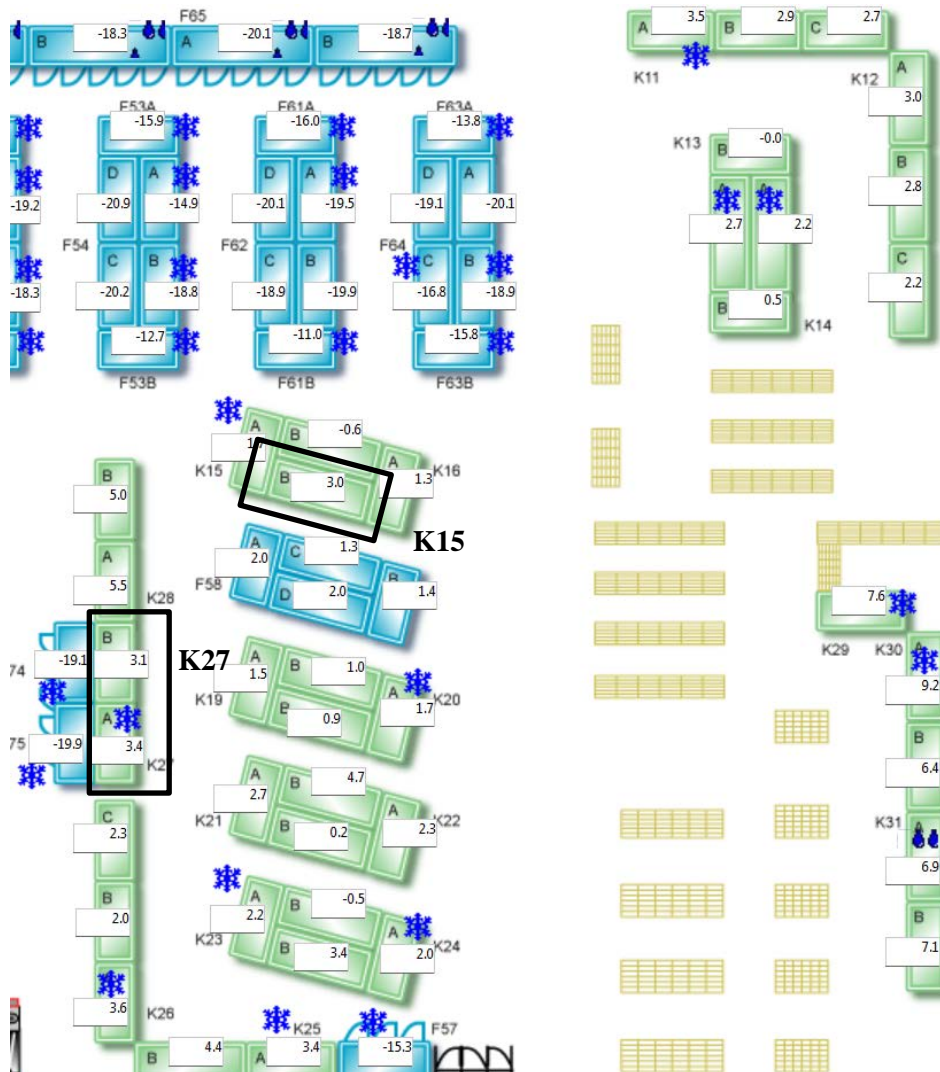
Figur 14 Butikens elenergianvändning mäts med elleverantörens debiteringsmätare och butikens egna mätare med uppdelning enligt figuren.

Kyleffekt i diskar

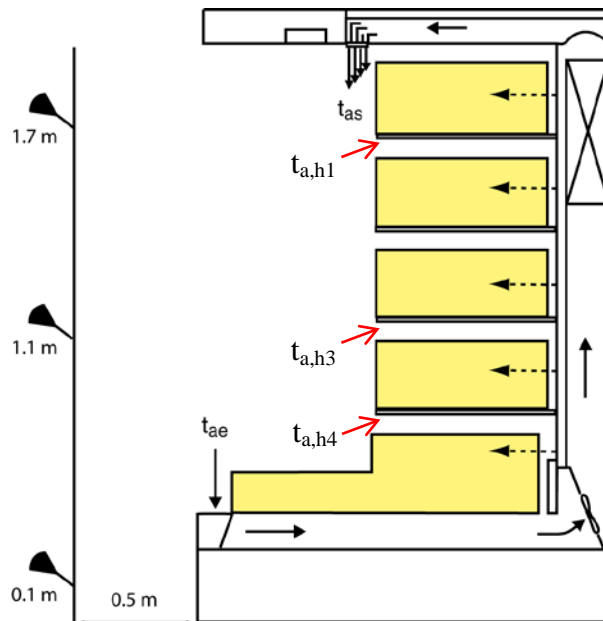
För beräkning av kyleffekten användes mätpunkter med beteckning: KB1 Retur, KB1 Till, se Figur 13. Köldbärarflödet, 22,46 l/s, hämtades från relationshandling efter samtal med butikens kylfirma.

Temperaturmätning i kyldiskar

Lufttemperaturer har mätts inne i två kyldiskar, se Figur 15. Temperaturerna mättes med SPs kalibrerade mätsystem. Temperaturmätarna placerades under hyllplanens framkant, se Figur 16. I kyldisk K27 mättes temperaturen på tre hyllplan, med tre givare på varje hylla, se Figur 17. I kyldisk K15 mättes temperaturen på två hyllplan, med två givare på varje hylla, se Figur 18.



Figur 15 I kyldisk K27 och K15 mäts lufttemperaturer i 9 respektive 4 positioner med SPs mätsystem.



Figur 16 Temperaturgivarnas placering under hyllplanens framkant.



Figur 17 Temperaturgivarnas positioner i kyldisk K27.

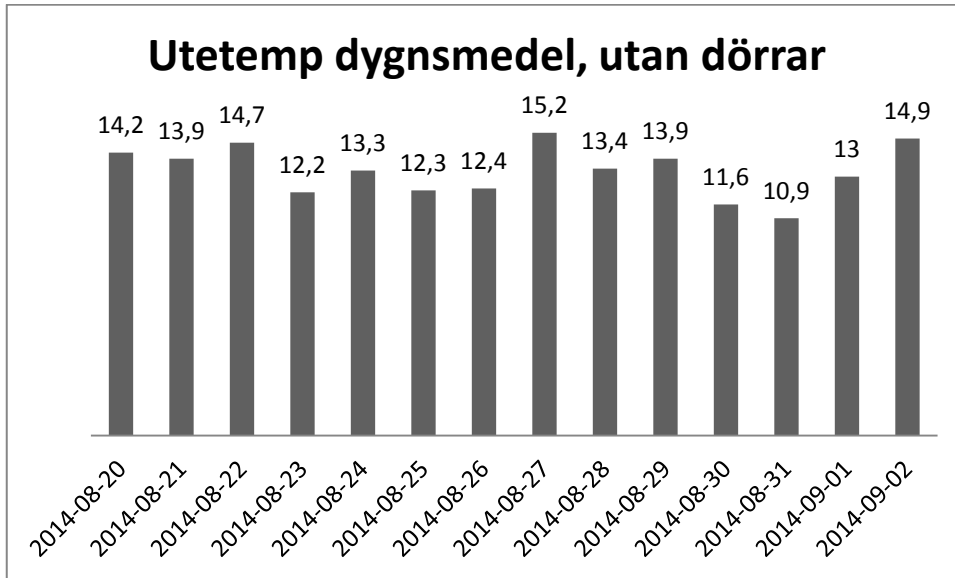


Figur 18 Temperaturgivarnas positioner i kyldisk K15.

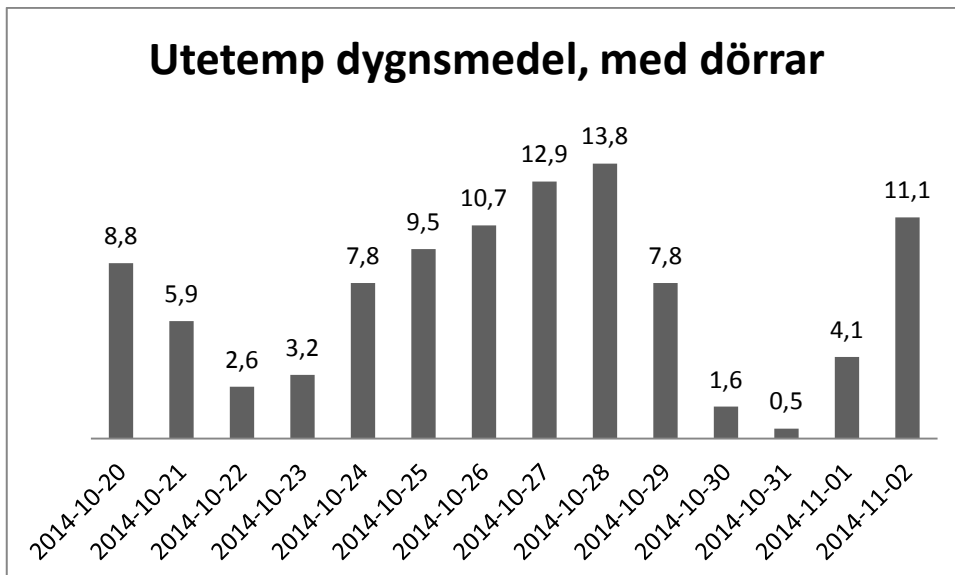
Bilaga 2 - Mätdata

Utomhustemperatur

Utomhustemperaturerna är hämtade från SMHIs mätningar. Utomhustemperaturen är ganska mycket lägre under andra mätperioden, efter dörrinstallationen. Planen var från början att dörrinstallationen skulle ta ca två veckor vilket förhoppningsvis skulle ge två mätperioder med liknande utomhustemperaturer, men eftersom installationstiden blev kraftigt förlängd hann sommar gå över i höst till dess att andra mätperioden startade.



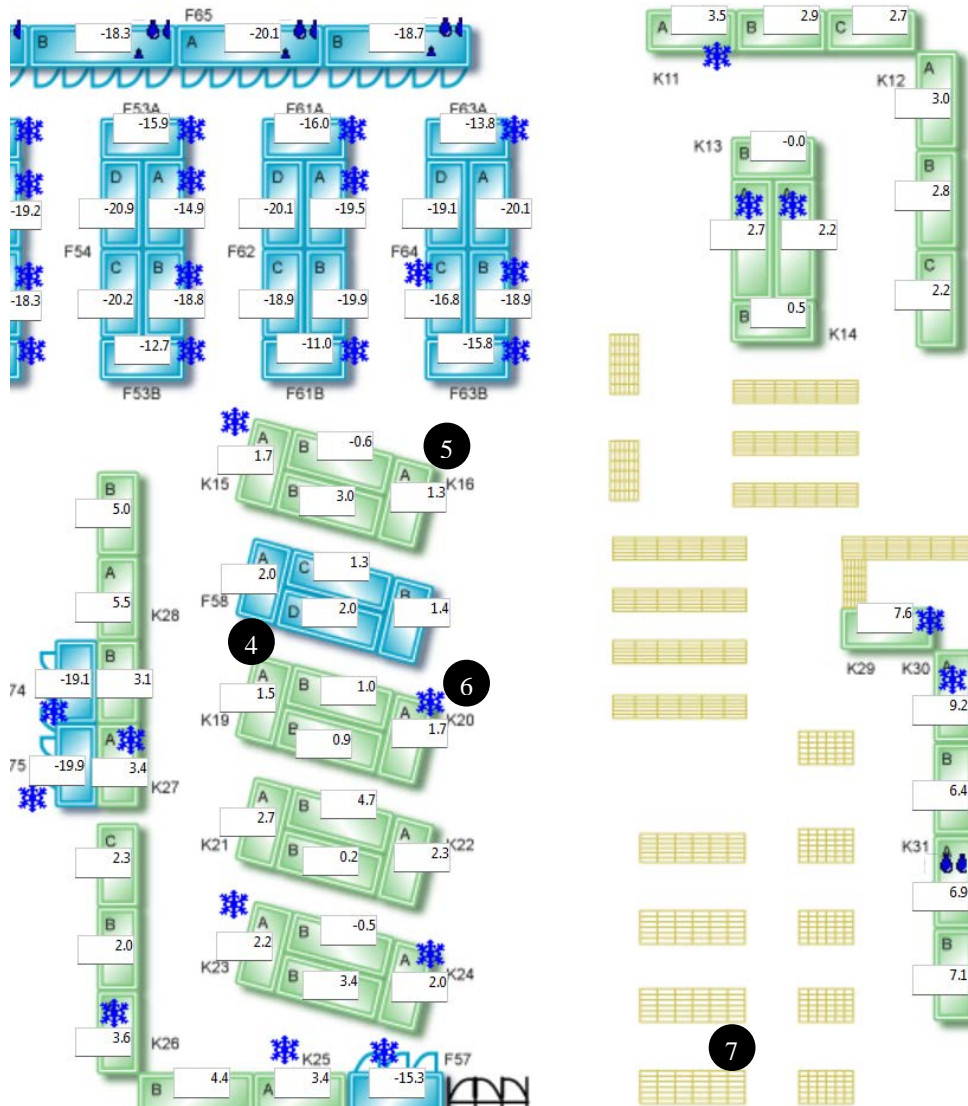
Figur 19 Utomhustemperaturer dygnsmedel för mätperioden före dörrinstallationen.



Figur 20 Utomhustemperaturer dygnsmedel för mätperioden efter dörrinstallationen.

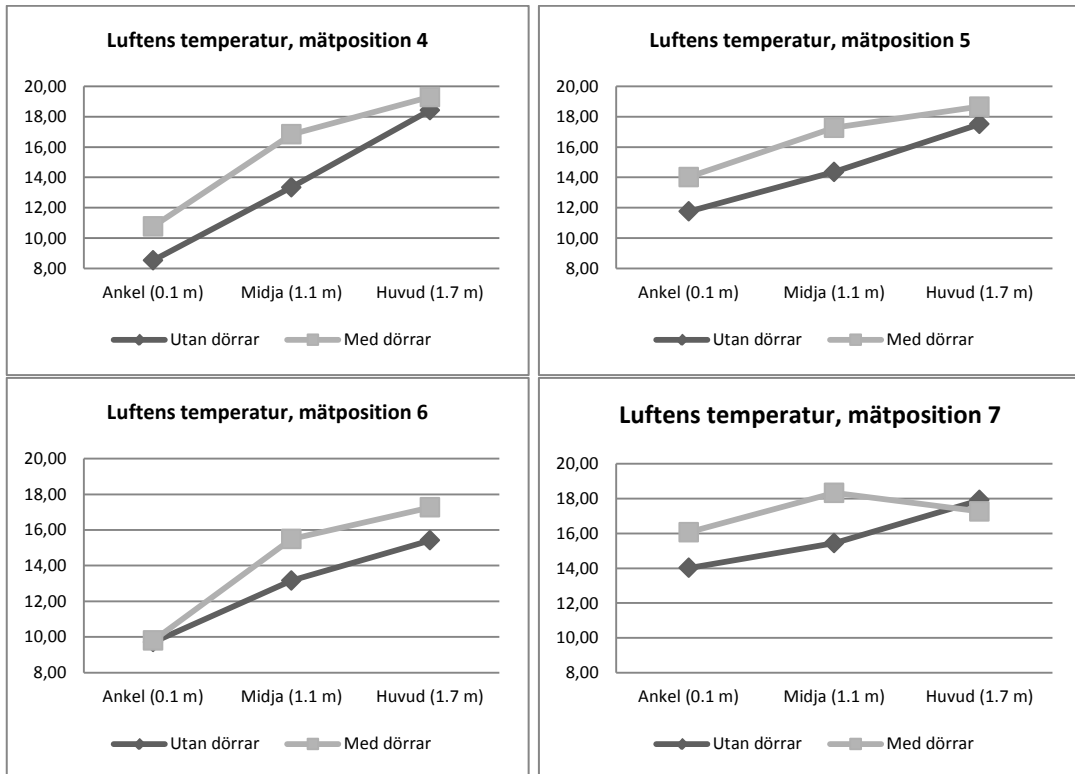
Inneklimat

Butiken var intresserad av att få veta om och i så fall hur mycket inomhustemperaturen vid kyldiskarna ändrades av att dörrar installerades på samtliga kyldiskar. Mätningar av temperaturen i huvud-, höft- och ankelhöjd mättes på fyra platser i butiken (mätposition 4, 5, 6 och 7 i Figur 21).



Figur 21 Inomhusluftens temperatur mättes i huvud-, höft- och ankelhöjd mättes på fyra platser i butiken.

I figurerna nedan presenteras resultatet av mätningarna under en dag före dörrinstallationen 2014-09-03 och en dag efter att dörrinstallationen var klar 2014-10-19 då inomhusluftens entalpi var densamma, ca 36 kJ/kg.



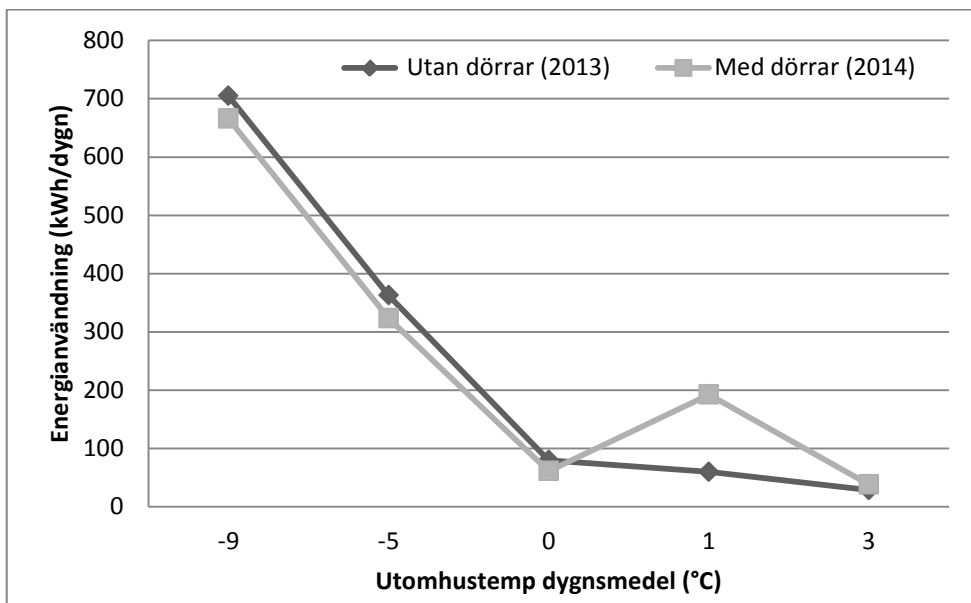
Figur 22 Inomhusluftens torra temperatur på tre höjder motsvarande ankel-, midje- och huvudhöjd, uppmätt på fyra platser i butiken, se Figur 11.

Energianvändning

Uppvärmningsbehov

Butikens tilluft värms med återvunnen värme från kylsystemet. Elpannan går in när värmen från kylsystemet inte räcker till för att täcka uppvärmningsbehovet. I Figur 23 visas en jämförelse av hur mycket elenergi som användes per dygn av elpannan några dygn då medeltemperaturerna var desamma i december 2013 och 2014. Det syns ingen skillnad i uttag från elpannan före och efter dörrinstallationen i diagrammet.

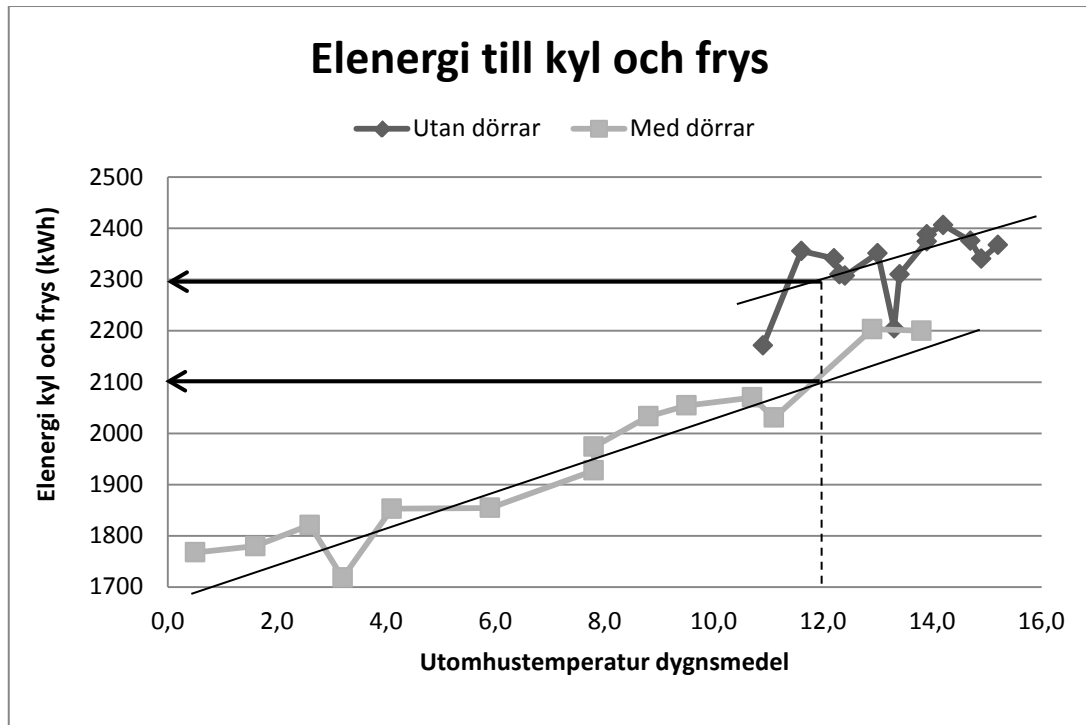
Vi har här endast studerat skillnaden i elpannans energianvändning.



Figur 23 Jämförelse av hur mycket elenergi som användes per dygn av elpannan några dygn då medeltemperaturerna var desamma i december 2013 och 2014.

Köpt elenergi till kyl och frys

Figur 24 visar hur mycket elenergi som enligt butikens mätsystem användes av butikens kyl- och fryssystem per dygn, två veckor före dörrinstallationen (2014-08-20 – 2014-09-02) och två veckor efter dörrinstallationen (2014-10-13 – 2014-10-26). Elenergin visas som en funktion av utomhusluftens torra temperatur.



Figur 24 Elenergi till kyl och frys uppmätt av butikens mätsystem före och efter dörrinstallationen.

En linjering av värdena har gjorts och elenergin har plockats ut för ett dygn före och ett dygn efter dörrinstallationen, då medeltemperaturen utomhus var 12 °C och inomhusluftens entalpi dagtid var ungefär samma (se Figur 25).

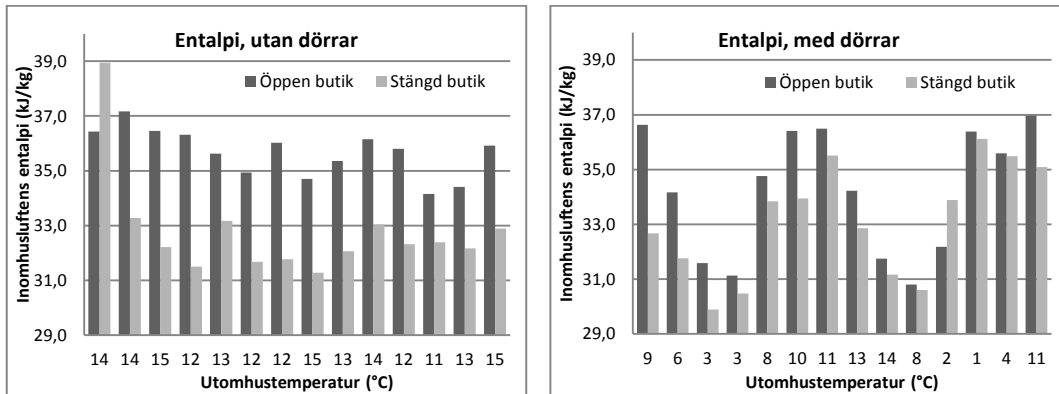
Elenergianvändningen för kyl- och fryssystemet var vid denna utomhustemperatur 2300 kWh före dörrinstallationen och 2100 kWh efter dörrarna hade installerats, vilket ger en minskning med ca 8 %.

Butikens mätsystem mäter el för kyl- och frys tillsammans, kyl- och frysanläggningen är dessutom kaskadkopplad. Om man utgår från att kyl och frysanläggningarnas elbelastningar är lika stora och att frysanläggningen är oförändrad, kan ändringen i total elanvändning ses som en effekt av att kylanläggningen har ändrats. Detta ger att sänkningen i elförbrukning för *enbart kylanläggningen* kan antas vara ca 16 %.

Kyleffektbehovet i diskarna har minskat med ca 41% medan elanvändningen bara har minskat med ca 16 %. Genom att förändra, i.e. optimera, kylsystemet kan man minska även elbehovet med 41 %. Vilka förändringar som skulle vara ekonomiska måste utredas separat.

Inomhusluftens entalpi

Kyleffekten i kyldiskarna är beroende av inomhusluftens entalpi. Torr lufttemperatur och relativ fuktighet mättes i butiken (mätposition 3, Figur 11) och entalpin för inomhusluften beräknades för perioderna före och efter dörrinstallation. Figureerna nedan visar medelvärdet för dag respektive natt.

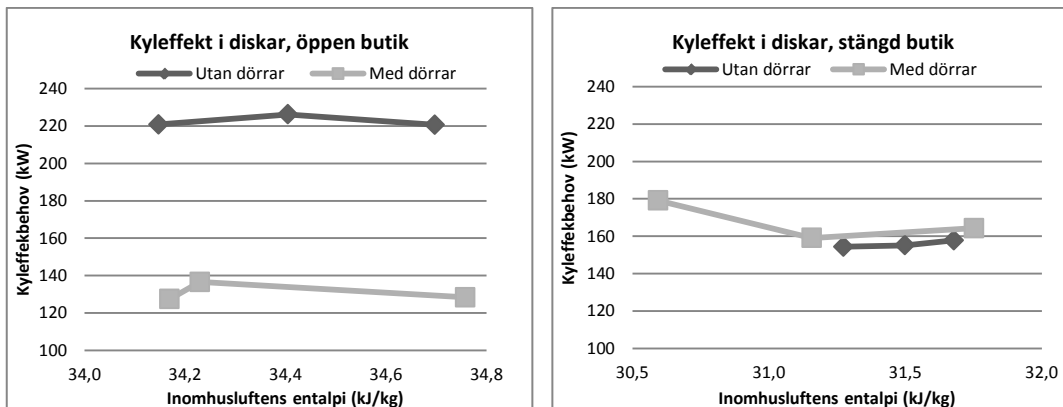


Figur 25 Inomhusluftens medelentalpi visas som funktion av utomhustemperaturen. (Butikens öppettider: mån-lör 8.00–21.00, sön 10.00–21.00)

Kyleffekt i kyldiskarna

Kyleffekten i kyldiskarna beror till största del på inomhusluftens entalpi. Figur 26 visar kyldiskarnas kyleffekt under tre dagar och tre nätter då inomhusluftens entalpi ungefär densamma.

Utan dörrar låg kyldiskarnas totala kyleffektbehov på ca 220 kW när butiken hade öppet, efter dörrinstallationen hade kyleffektbehovet sjunkit till ca 130 kW. När samtliga kyldiskar försetts med dörrar sjönk kyleffektbehovet i diskarna med ca 41 % dagtid.



Figur 26 Kyleffekten i diskarna tre dagar före och tre dagar efter dörrinstallationen då inomhusluftens entalpi var ungefär densamma.

För de timmar då butiken var stängd låg kyleffektbehovet på samma nivå med och utan dörrar. Innan dörrar installerades var samtliga öppna kyldiskar i butiken försedda med nattgardiner som täckte för kyldiskarnas öppningar då butiken var stängd.

Temperaturer i kyldiskar

Utan efterföljande injustering av drifttemperaturer för kylsystem och kyldiskar påverkades temperaturerna i disken så de blev för låga vilket resulterade i att matvaror fick frysskador, därför var butiken tvungen att höja börvärdet för temperaturerna i några diskar på mejeri och fruktavdelningen. Inga temperaturjusteringar gjordes i disk K15 och K27.

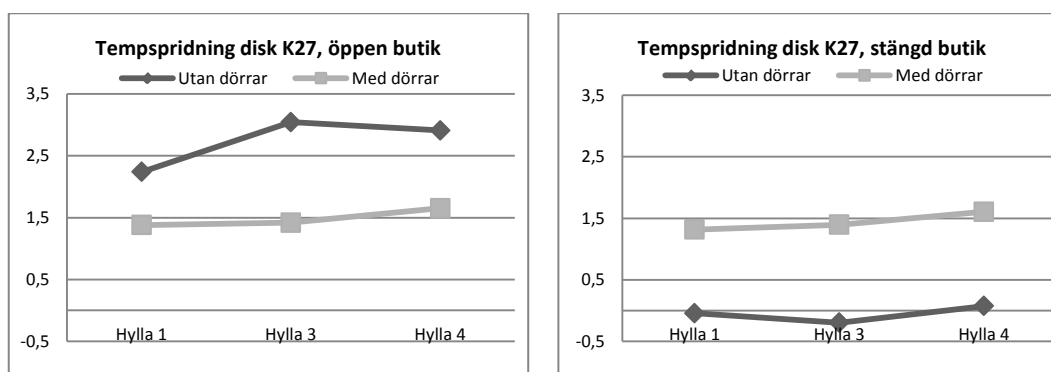
Temperaturerna mättes i två kyldiskar, K27 och K15 på tre respektive två hyllplan, enligt beskrivning i Bilaga 1 – Mätning av temperaturer och energi.

Nedan presenteras mätdata för två dygn då inomhusluftens medelentalpi ($H_{a,i}$) var ca 39 kJ/kg dagtid och ca 33 kJ/kg nattetid. I tabellen visas även omgivningens temperatur ($t_{a,i}$) och den totala kyleffekten för samtliga kyldiskar (P_{tot}).

Tabell 10 Kyldisk K27

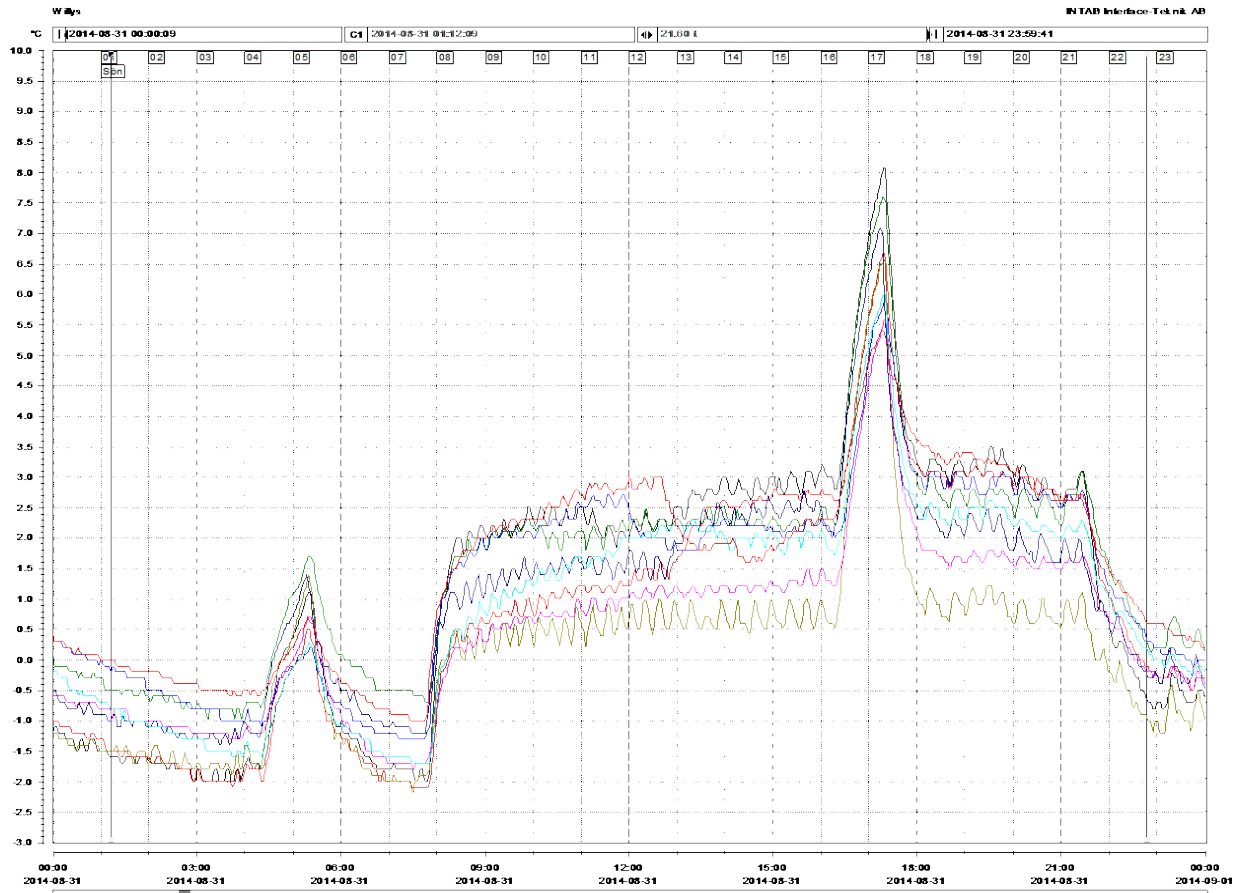
		Utan dörrar 22/8		Med dörrar 20/10	
		Butik öppen	Butik stängd	Butik öppen	Butik stängd
$t_{a,i}$	°C	19,9	18,5	20,0	19,0
$H_{a,i}$	kJ/kg	36,5	32,2	36,6	32,7
$t_{a,h1}$	°C	2,2	0,0	1,4	1,3
$t_{a,h3}$	°C	3,0	-0,2	1,4	1,4
$t_{a,h4}$	°C	2,9	0,1	1,7	1,6
$t_{a,int}$	°C	0,7	0,1	0,3	0,3
P_{tot}	kW	230	157	146	149,0

Se jämförelse mellan temperaturerna före och efter dörrinstallation i Figur 27. Under butikens öppettider har temperaturen i disken sjunkit efter att dörrarna installerades. Figuren visar disktemperaturen då butiken hade stängt, d.v.s. mellan kl. 21.00–8.00. Mätningen visar att före dörrinstallationen, då disken hade nattgardiner fördragna, låg temperaturen runt 0 °C då butiken var stängd. Efter dörrinstallationen steg temperaturen i disken nattetid och låg på ca 1,5 °C. Efter dörrinstallationen har temperaturskillnaden mellan dag och natt minskat, temperaturerna har stigit nattetid och temperaturen i disken är ungefär densamma över hela dygnet.



Figur 27 Temperaturer i disk K27. Mätperiod fredag 22 augusti (utan dörrar) och måndag 20 oktober (med dörrar).

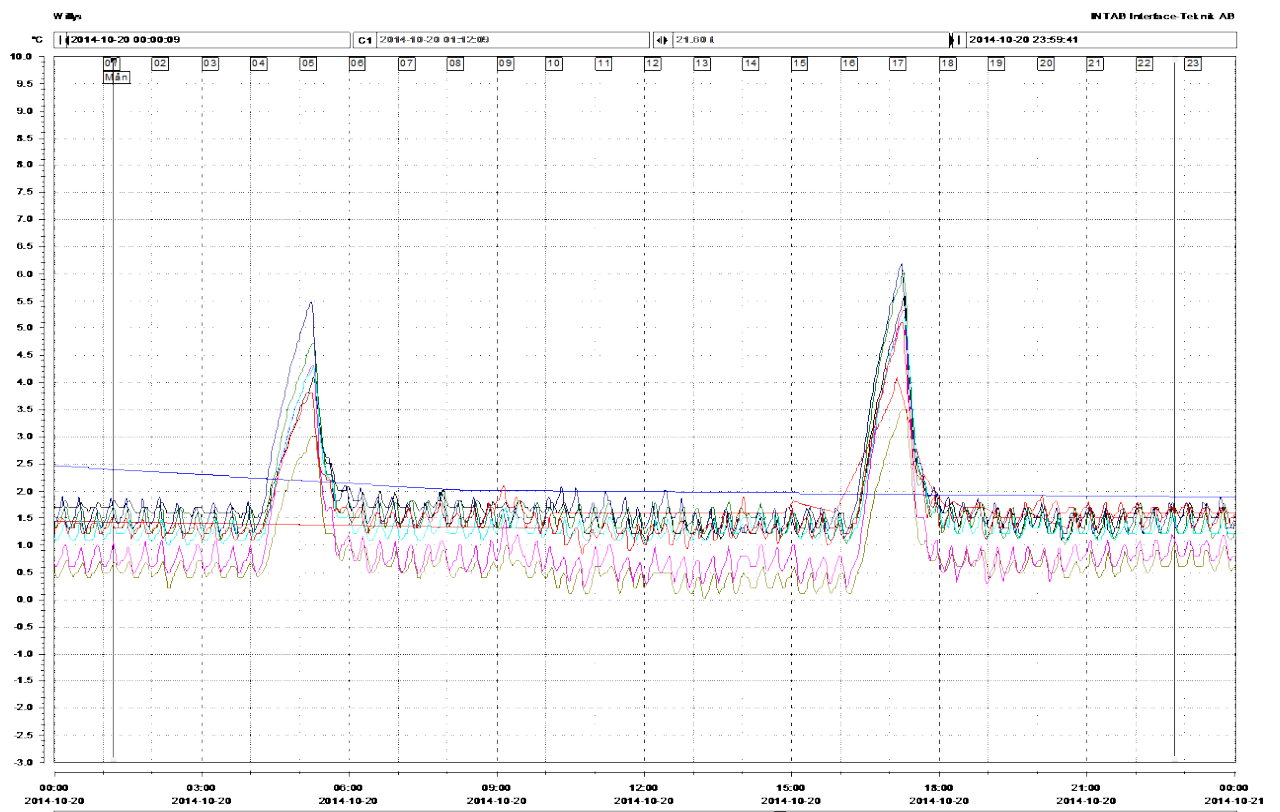
Figur 28 visar hur lufttemperaturerna i kyldisk K27 varierar över dygnet, mätningen är gjord 2014-08-31 då disken saknade dörrar. När butiken hade öppet låg temperaturerna i den öppna kyldisken något högre än då butiken var stängd och nattgardinerna var fördragna. Klockan 5.00 och 17.00 steg temperaturerna i disken på grund av avfrostning.



Figur 28 Torr lufttemperatur vid nio punkter i kyldisk K27 under ett dygn före dörrinstallationen.

Givarens placering i kyldisk	Min	Max
Hylla 1, vänster	-1,4	7,1
Hylla 3, vänster	-2,1	6,7
Hylla 4, vänster	-1	5,4
Hylla 1, centrum	-1	7,6
Hylla 3, centrum	-1,7	6
Hylla 4, centrum	-1,3	6
Hylla 1, höger	-2,2	6,6
Hylla 3, höger	-1,8	5,6
Hylla 4, höger	-2	8,1

Figur 29 visar hur lufttemperaturerna i kyldisk K27 varierar över dygnet, mätningen är gjord 2014-10-20 då disken hade fått dörrar. Temperaturskillnaderna mellan öppen och stängd butik som uppmättes före dörrinstallationen har nästan helt försvunnit efter att dörrarna installerades. Klockan 5.00 och 17.00 steg temperaturerna i disken på grund av avfrostning.



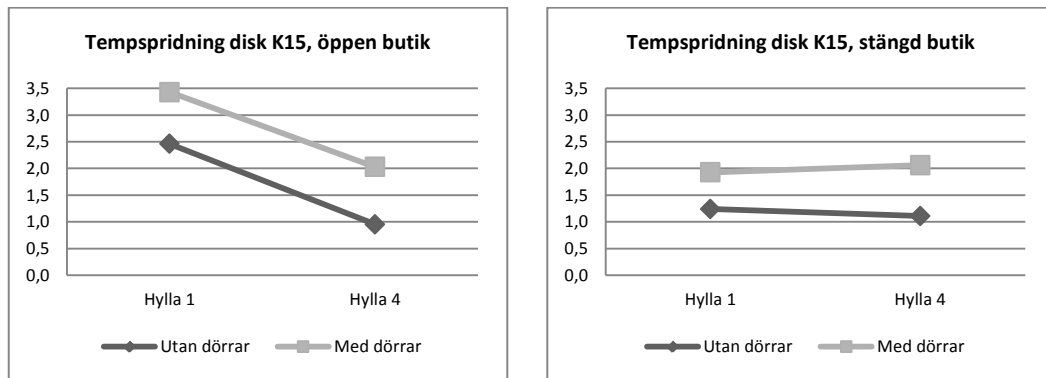
Figur 29 Torr lufttemperatur vid nio punkter i kyldisk K27 under ett dygn efter dörrinstallationen.

Givarens placering i kyldisk	Min	Max
Hylla 1, vänster	1,1	6,2
Hylla 3, vänster	1,3	4,1
Hylla 4, vänster	0,8	5,1
Hylla 1, centrum	1	6,1
Hylla 3, centrum	1	5,2
Hylla 4, centrum	1,88	2
Hylla 1, höger	0	3,5
Hylla 3, höger	0,2	5,3
Hylla 4, höger	1,1	5,6

Tabell 11 Kyldisk K15

		Utan dörrar 22/8		Med dörrar 20/10	
		Butik öppen	Butik stängd	Butik öppen	Butik stängd
$t_{a,i}$	°C	19,9	18,5	20,0	19,0
$H_{a,i}$	kJ/kg	36,5	32,2	36,6	32,7
$t_{a,h1}$	°C	2,5	1,2	1,0	1,1
$t_{a,h4}$	°C	3,4	1,9	2,0	2,1
$t_{a,int}$	°C	1,0	0,7	1,1	1,0
P_{tot}	kW	230	157	146	149,0

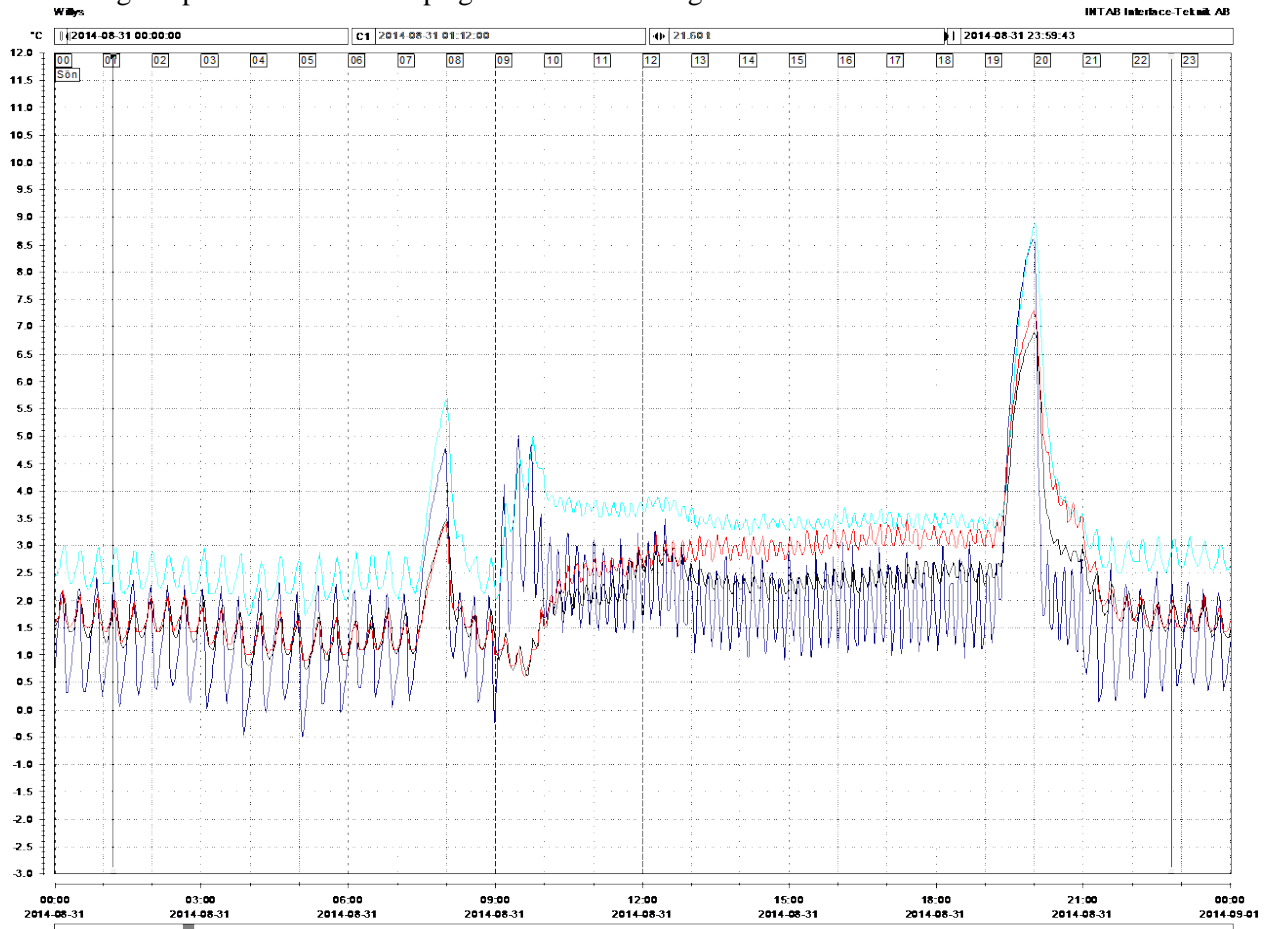
Dagtid råder ca 1,5 °C temperaturskillnad mellan översta hyllan i disken, hylla 1 och den näst nedersta hyllan 4. Efter att dörrarna installerades har temperaturen i disken blivit ca 1°C högre under de timmar butiken har öppet, men temperaturskillnaden mellan hyllplanen består.



Figur 30 Temperaturer i disk K15. Mätperiod fredag 22 augusti (utan dörrar) och måndag 20 oktober (med dörrar).

Natttid är temperaturskillnaden mellan hyllplanen obefintlig. Efter dörrinstallationen har temperaturen stigit med en knapp grad och ligger på ca 2 °C på båda hyllplanen då butiken har stängt.

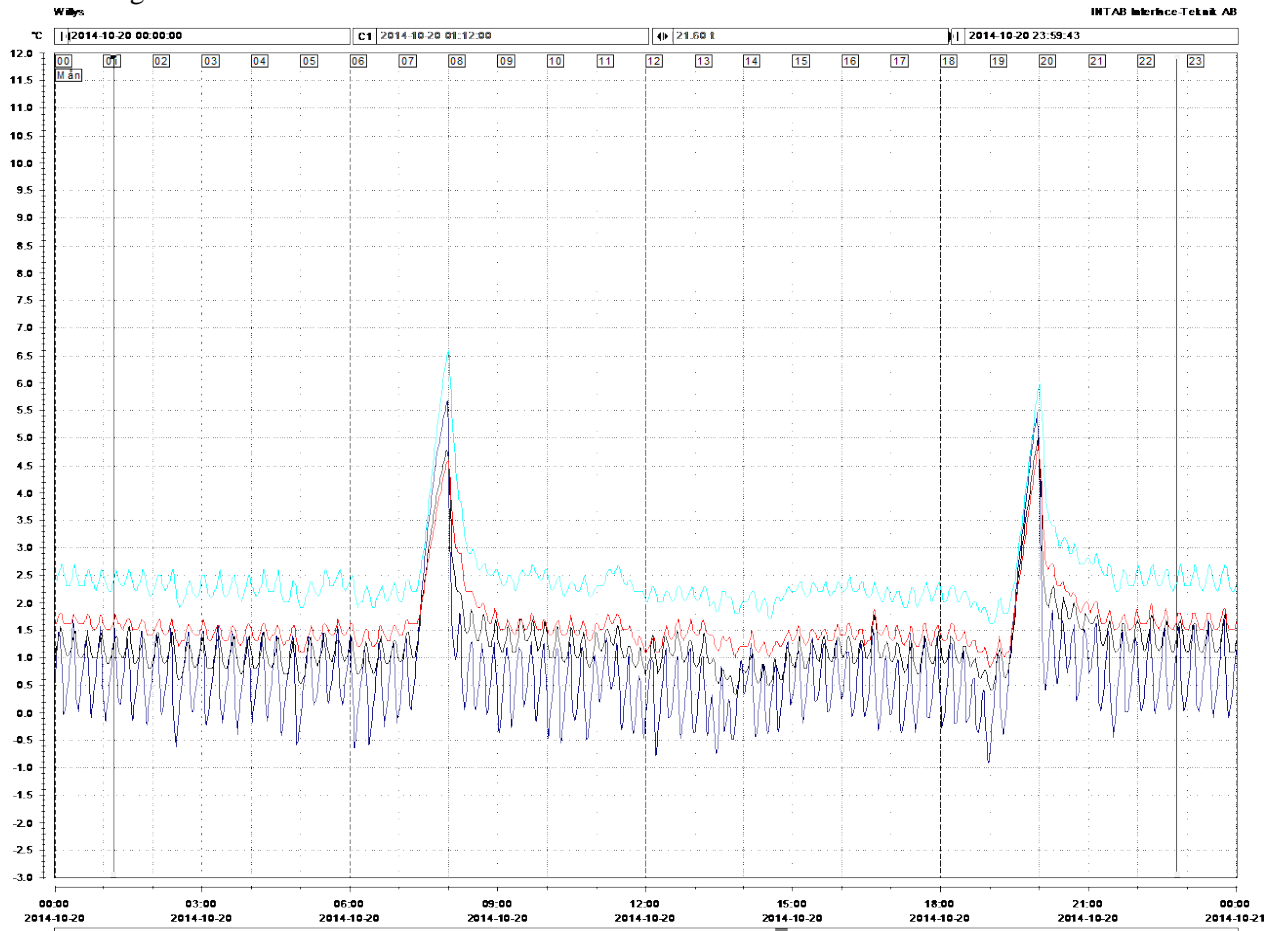
Figur 31 visar hur lufttemperaturerna i kyldisk K15 varierar över dygnet, mätningen är gjord 2014-08-31 då disken saknade dörrar. När butiken hade öppet låg temperaturerna något högre än då butiken var stängd och nattgardinerna var fördragna. Klockan 8.00 och 20.00 steg temperaturerna i disken på grund av avfrostning.



Figur 31 Torr lufttemperatur vid fyra punkter i kyldisk K15 under ett dygn före dörrinstallationen.

Givarens placering i kyldisk	Min	Max
Hylla 1, vänster	-0,6	8,6
Hylla 4, vänster	1,7	8,9
Hylla 1, höger	0,6	6,9
Hylla 4, höger	0,6	7,3

Figur 32 visar hur lufttemperaturerna i kyldisk K15 varierar över dygnet, mätningen är gjord 2014-10-20 då disken hade fått dörrar. Temperaturskillnaderna mellan öppen och stängd butik som uppmättes före dörrinstallationen har nästan helt försvunnit efter att dörrarna installerades. Klockan 8.00 och 20.00 steg temperaturerna i disken på grund av avfrostning.



Figur 32 Torr lufttemperatur vid fyra punkter i kyldisk K15 under ett dygn efter dörrinstallationen.

Givarens placering i kyldisk	Min	Max
Hylla 1, vänster	-1	5,7
Hylla 4, vänster	1,6	6,6
Hylla 1, höger	0,3	5
Hylla 4, höger	0,8	4,9

Bilaga 3 – Checklista

Denna manual är framtagen från information i SP Rapport 2014:59 ”Dörrar på kyldiskar för minskad energianvändning, ökad matvarukvalitet och bättre inneklimat” För fördjupad information, se rapporten.

Före beställning av dörrar, besvara följande frågor:

- Vilken typ av dörr ska installeras?
- Är det möjligt att förse alla önskvärda diskar med dörrar?
- Bör några diskar helt bytas ut?
- Skall några öppna diskar behållas?

Bestäm/ta reda på följande inför dörrinstallationen:

- Hur lång leveranstid det är på dörrarna
- När installationen kan påbörjas
- Hur lång tid installationen beräknas ta
- Om alla diskar kommer kunna gå på samma kylsystem
- Om luftridåerna i diskarna ska behållas
- Om befintlig belysning i diskarna ska bytas mot LED
- Kylsystemets påverkan av dörrinstallationen

Säkerställ att:

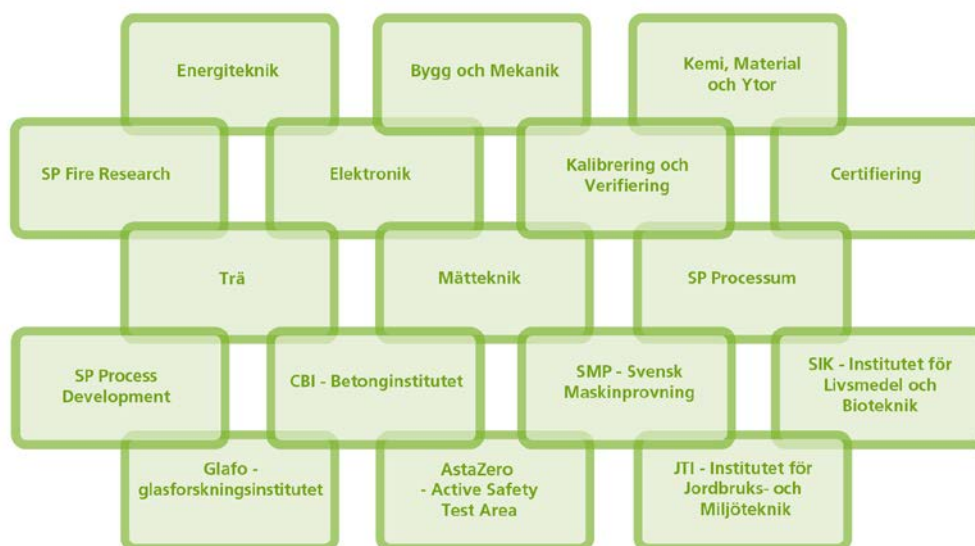
- Dörrarna säkert passar i kyldiskarnas öppningar. Om inte, lägg till tid för justering av diskarna i samband med dörrinstallationen.
- Det finns plats i butikens lagerutrymmen att förvara dörrar och övrig utrustning inför och under dörrinstallationen.
- Berörda informeras om när, på vilka diskar och i vilken ordning dörrarna ska monteras.

Inför och i samband med dörrinstallationen, passa på att:

- Rengöra kyldiskarna fullständigt, då fukthalten i disken ökar med dörrar och lock. Ökad fukthalt kan gynna påväxt av bakterier och mögel.
 - Rengör hyllplan och avlopp
 - Rådgör och låt fackkunniga rengöra känsliga delar i kyl- och frysdiskar för att inte skada komponenter som exempelvis kylbatteri och fläktar.
- Se över styr och regler för kylsystemet så det anpassas för de ändrade förutsättningar som dörrarna medför, såsom för sargvärme, avfrostning, inkommande temperaturer och luftridåer.
- Byta till energieffektivare fläktar i diskarna

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Vi arbetar med innovation och värdeskapande teknikutveckling. Genom att vi har Sveriges bredaste och mest kvalificerade resurser för teknisk utvärdering, mätteknik, forskning och utveckling har vi stor betydelse för näringslivets konkurrenskraft och hållbara utveckling. Vår forskning sker i nära samarbete med universitet och högskolor och bland våra cirka 10000 kunder finns allt från nytänkande småföretag till internationella koncerner.



SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Box 857, 501 15 BORÅS

Telefon: 010-516 50 00, Telefax: 033-13 55 02

E-post: info@sp.se, Internet: www.sp.se

www.sp.se

Mer information om SP:s publikationer: www.sp.se/publ

SP Rapport 2014:59

ISBN 978-91-88001-03-0

ISSN 0284-5172