

effsys EXPAND

Resurseffektiva kyl- och värmepumpssystem
samt kyl- och värmelager

Utvärdering av innovativ värmeväxlare i kyldisk

för effektivare energianvändning i butiker

Sara Jensen, Peter Lidbom, Pia Tiljander

Maj 2018

Förord

Detta projekt har bedrivits av RISE, Research Institutes of Sweden är finansierat av Energimyndigheten via forskningsprogrammet EFFSYS EXPAND och av Naturskyddsföreningens energieffektiviseringsfond genom försäljning av el märkt med Bra Miljöval. Airec AB, Expertkyl AB och Hemköp, Kortedala torg har bidragit med erfarenhet, kompetens och arbete i projektet. Vi vill tacka samtliga som deltagit och bidragit till resultaten i projektet och särskilt tack riktas till Marcello Masgrau, Airec, Pierre Persson, Expertkyl och Marcus Andersson, Hemköp.

Sammanfattning

En ny innovativ typ av luft-till-vätska -värmväxlare, kallad HEALEX (*High Efficiency Air to Liquid Heat Exchanger*), har testats och demonstrerats i en öppen kyldisk i en livsmedelsbutik. HEALEX är konstruerad för att uppnå bra värmeöverföringsprestanda även vid laminära flöden på vätskesidan, vilket ofta är fallet i indirekta system i livsmedelsbutiker. Värmväxlaren består av parallella plattor, med vätska i varannan passage och luft i de andra passagerna. Syftet med demonstrationen var att visa potentialen för energieffektivisering genom att installera HEALEX i butikernas kyldiskar. På längre sikt var syftet var att öka intresset och acceptansen för denna typ av värmväxlare och på så sätt öka mängden energieffektiva värmväxlare i livsmedelsbutiker, vilket i sin tur skulle leda till energibesparingar.

Ett av målen med projektet var att bekräfta resultat från en tidigare studie där HEALEX hade testats i en kyldisk i laboratorium. Resultaten från laboratorietesterna visade att framledningstemperaturen på kölbäraren kunde ökas 6°C med bibehållen kylkapacitet och samma matvarutemperatur kyldisken. Framledningstemperaturen på köldbäraren var -7 °C i det konventionella kylbatteriet och -1°C med HEALEX.

Projektet har inte haft som ambition att göra en direkt jämförelse av de båda värmväxlarna avseende effektivitet. En fältundersökning lämpar sig inte för att göra exakta jämförelser av olika värmväxlare eftersom för många yttre faktorer (luftens egenskaper i butiken, kundernas beteende etc.) har en stor inverkan på kylsystemets prestanda. Proving i laboratoriemiljö under väl definierade förhållanden krävs för att en jämförelse ska bli helt rättvisande.

Testerna startades med att mätningar gjordes när det ursprungliga kylbatteriet fortfarande var installerat i kyldisken. Då dessa mätningar var klara ersattes värmväxlaren med HEALEX. I projektet mättes luft- och vätsketemperaturer på de olika sidorna i värmväxlarna, lufttemperaturer och luftfuktigheter i kyldisken, tryckfallet på både vätske- och luftsidan i värmväxlarna och volymflöde på vätskan. Temperaturen och luftfuktighet i butiken mättes också. Samtliga mätvärden loggas och fjärravlästes via dator.

Resultaten från denna fältstudie visar att det finns en potential för energibesparing genom att installera HEALEX i livsmedelsbutikernas kyldiskar. Framledningstemperaturen ökades med 6°C efter att HEALEX hade installerats i kyldisken och då erhöles i stort sett samma kylkapacitet och temperatur inne i kyldisken som för det ursprungliga kylbatteriet. Dessa resultat bekräftar därmed resultaten från laboratorietesterna i många avseenden.

Resultaten från studien indikerar att avfrostning behövs mycket sällan då HEALEX är installerad i kyldisken. Mätningarna visar inte på någon tryckfallsökning över värmväxlarna under hela mätperioden. Avfrostningen är tidstyrd och startar kl. 06:00 och 19:00. För att undersöka om det verkligen fanns ett behov av avfrostning eller inte skulle tidsintervallet behöva ökas vilket inte var möjligt under denna studie.

Tidigare studier har visat att kylmaskinernas COP ökar med ungefär 2,5% då kölbärarens temperatur ökas med 1°C. En höjning med 6°C skulle därmed innebära en minskning av energibehovet med 15%.

Summary

In this study, a new innovative type of air-to-liquid heat exchanger, called HEALEX (*which stands for High Efficiency Air to Liquid Heat Exchanger*), has been tested and demonstrated in an open display cabinet at a supermarket. HEALEX is adapted for obtaining good heat transfer performance even at a laminar flow regime on the liquid side, which is often the case in indirect cooling systems in supermarkets. The heat exchanger consists of parallel plates, with liquid in every second passage and air in the other passages. The purpose of the demonstration was to show the potential of increasing the energy efficiency by replacing the conventional cooling coils by HEALEX. On the long term, the purpose of the project was to raise the interest and acceptance for this type of heat exchanger, and through raised acceptance increase the amount of energy efficient heat exchangers in supermarkets, which in turn would result in energy savings.

One of the objectives of the project was to confirm results from a previous study where tests had been performed in a laboratory. The results from the laboratory tests showed that the same cooling capacity and average temperature of the “food packages” could be obtained with around 6 K higher inlet temperature of the liquid, -7°C with the traditional coil and -1°C with HEALEX.

The project was not intended to directly compare the performance of the original heat exchanger and the one of HEALEX regarding efficiency. A field study is not well suited for direct comparisons of different heat exchanger performances, since there are too many hard-to-control variables (ambient climate, customer behavior etc.) that affect the performance of the cooling system. Studies for direct and exact comparisons should always be carried out in a laboratory, where parameters that affect the result can be controlled.

The first tests were made with the original heat exchanger placed in the bottom of the display cabinet, and thereafter the heat exchanger was replaced with HEALEX. The data collected in the project were air- and liquid temperatures before and after the heat exchangers, air temperatures and humidities in the display cabinet, liquid and air pressure drop and liquid volume flow. Temperature and humidity of the ambient air is also measured.

The results from this study show that there is a potential of energy savings by using HEALEX in display cabinets at supermarkets instead of conventional cooling coils. The inlet temperature of the secondary refrigerant could be raised 6°C after the installation of HEALEX and almost the same cooling capacity and average temperature in the display cabinet as for the original heat exchanger could be obtained. These results confirm to a large extent the results from the laboratory tests.

The results from this study also indicate that the need for defrosting will occur much more seldom for HEALEX compared to a conventional cooling coil. Defrosting was initiated by time control at 6.00 am and at 7.00 pm. Since the pressure drop is constant during the measurement

period it is likely to believe that there is no frosting and thereby no need for defrosting. In order to find out if defrosting is needed or not, it would have been necessary to increase the intervals between the defrosts, which was not possible in this study.

Earlier studies have shown that COP increase with approximately 2.5% per °C increased liquid temperature. Thereby an increase of the liquid temperature with 6°C implies energy savings of about 15% for the compressor drive energy.

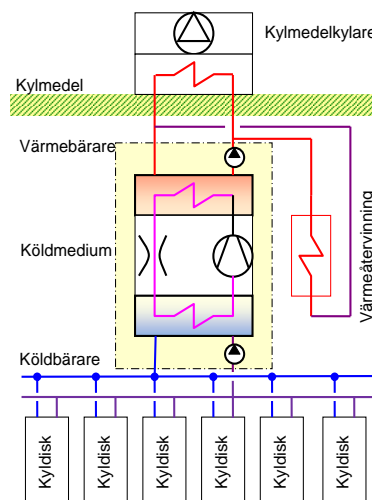
Innehåll

1	Bakgrund	7
2	Mål.....	10
3	Projektdeltagare.....	11
4	Genomförande.....	12
4.1	HEALEX.....	12
4.2	Kyldisk.....	13
4.3	Metod	15
4.4	Installation av mätutrustning.....	15
4.5	Mätning	17
5	RESULTAT	18
5.1	Kölbärartemperatur	19
5.2	Temperatur i kyldisk	20
5.3	Luffuktighet och entalpier i kyldisk.....	22
5.4	Kyleffekt	23
5.5	Avfrostningsbehov.....	24
6	Diskussion	25
6.1	Energibesparing	25
6.2	Kyleffekt	27
6.3	Temperaturer	28
6.4	Avfrostningsbehov.....	28
6.5	Lösamhetskalkyl.....	28
7	Slutsatser.....	30
8	Måluppfyllelse	31
9	Lärdomar	32
10	Förslag på fortsatt arbete	34
11	Referenser.....	35
12	Projektets vetenskapliga publikationer	36
13	Projektets populärvetenskapliga publikationer och presentationer.....	37

Bilaga A. Beskrivning av kylbatteri	38
Bilaga B. Nomenklatur.....	40
Bilaga C. Givarförteckning och placering	41
Bilaga D. Information om butiken	44

1 Bakgrund

I stormarknader och livsmedelsbutiker lagras och förvaras kylda varor i kylrum, kylskåp eller kyldiskar. Under 1990-talet genomfördes stora förändringar i reglerna för användning av syntetiska köldmedier i Sverige. Detta resulterade i att många kylsystem omvandlades till ett indirekt kylsystem (Figur 1). Ett sådant system innebär att en köldbärare kyls i kylaggregatet och att denna cirkuleras runt i ett slutet system. Köldbärarvätskan kyls genom att värmeväxlas med köldmediet i kylaggregatets förångare och för sen ut kylan till kylbatterierna i kyldiskarna. Denna typ av kylsystem är fortfarande mycket vanligt i svenska livsmedelsbutiker, även om de svenska regler som gjorde att de började införas har ersatts med Europeiska förordningar.



Figur 1 En schematisk bild på ett indirekt kylsystem. (Fahlén 2003).

Köldbäraren som går ut till kyldiskarna är ofta en vätska som är ganska trögflytande vid låga temperaturer, dvs den har hög viskositet. Den höga viskositeten gör att vätskeflödet blir laminärt, d.v.s. det får dålig omblandning. Laminär strömning medför att värmeöverföringen från vätskan till luften i värmeväxlaren blir dålig. För att få tillräcklig värmeöverföring i traditionella värmeväxlare krävs därför stora temperaturskillnader mellan vätska och luft. Det är inte ovanligt att köldbärarvätskans temperatur i en traditionell värmeväxlare är 10-20 grader kallare än önskad temperatur i kyldisken, d.v.s. ner mot -8°C i en disk där maten ska hålla $+8^{\circ}\text{C}$. Ju lägre temperaturköldbärarvätskan ska kylas till, ju mer energi krävs för att driva

kylaggregatets kompressor. Ett effektivt sätt att sänka en butiks kylbehov och minska energianvändningen till butikskylan är att sätta dörrar på kyldiskarna. Många butiker monterar därför dörrar på sina kyldiskar för att spara energi. Som en följd av det sänkta kylbehovet kan därmed temperaturen på köldbärarvätskan in till disken höjas utan att temperaturen i disken ändras. Genom att höja temperaturen på köldbärarvätskan i kylsystemet kan butiken spara ytterligare energi eftersom kylmaskinerna då inte behöver jobba lika hårt. Dock är det ofta så att det finns önskemål av såväl praktiska som försäljningsmässiga skäl att en del av butikens diskar förblir öppna.

Temperaturen på köldbärarvätskan i ett indirekt system bestäms alltid av den kyldisk i systemet som kräver lägst temperatur. En öppen disk med ett konventionellt kylbatteri har ofta sämre energiprestanda än de med dörrar och tvingar således butiken att sänka köldbärartemperaturen i det gemensamma köldbärarsystemet till samtliga diskar vilket gör att en stor del av energibesparingspotentialen med dörrinstallationen går förlorad.

Airec har utvecklat en helt ny typ av värmeväxlare en s.k. High Efficiency Air to Liquid heat Exchanger, HEALEX, som är designad för kylning av luft med hjälp av vätskor som har hög viskositet, för vilka flödet ofta blir laminärt i konventionella kylbatterier bestående och cirkulära rör med flänsar på luftsidan.

I labbmätningar utförda på RISE (Haglund Stignor m.fl. 2015) där ett traditionellt kylbatteri byttes ut mot HEALEX i en kyldisk, kunde i stort sett samma kylprestanda erhållas i kyldisken med drygt 6 K högre inkommande köldbärartemperatur. Detta innebär att det finns potential att spara cirka 15 % elenergi enbart genom att byta kylbatterier i en kyldisk på grund av att kylmaskinen då skulle kunna jobba med en högre förångningstemperatur. Dessutom leder en högre förångningstemperatur till mindre eller ingen påfrysning vilket gör att energibesparingarna skulle kunna bli ännu större. Det kan betyda stora mängder energi eftersom en fem meter lång öppen kyldisk utan dörrar i en livsmedelsbutik använder ungefär lika mycket energi per år som en eluppvärmd villa!

I ett tidigare projekt genomfört på RISE studerades nya typer av värmeväxlare som i likhet med HEALEX var designade och optimerade för det laminära flöde som ofta uppstår i kyldiskarnas värmeväxlare. Resultaten från projektet (Haglund-Stignor 2009) visade att de nya typerna av värmeväxlare som undersöktes och utvärderades i detta projekt hade potential att leda till ungefär 15 % lägre elenergianvändning jämfört med traditionella kylbatterier. Energibesparingspotentialen baserades i den studien på att den nya typen av värmeväxlare behövde en fyra grader mindre temperaturdifferens mellan inkommande vätska och utgående luft, jämfört med ett traditionellt kylbatteri i kombination med tryckfallen på såväl vätskesida som luftsida var lägre.

Den reviderade F-gasförordningen (EU) nr 517/2014) trädde i kraft 1 januari 2015 och innebär att syntetiska köldmedier med högt GWP (Global Warming Potential d.v.s. hög klimatpåverkan) kommer att fasas ut och på sikt förbjudas för att ersättas med köldmedier med betydligt lägre GWP, vissa av dessa är naturliga och många av dem är mer eller mindre brännbara, dock ej CO₂. Många butiker står därmed idag inför en konvertering till köldmedier med betydligt lägre GWP. Detta innebär att det finns goda möjligheter att användningen av indirekta kylsystem i butiker kommer att leva kvar i stor utsträckning i framtiden eftersom de innebär viss flexibilitet i val av köldmedium (mindre mängder, möjlighet att använda brännbara då de ej cirkuleras ut i butiken). Detta gäller särskilt om ett kylbatteri som HEALEX finns tillgängligt på marknaden. HEALEX värmeväxlare är utformad för att användas i kyldiskar kopplade till indirekta kylsystem med vätskeformig köldbärare. Det finns över femtusen livsmedelsbutiker i Sverige (SCB 47.11). I dagsläget har i storleksordningen 2000 av dessa indirekta kylsystem. Även om F-gasförordningen driver mot kylsystem baserad på köldmedium med lågt GWP, är det inte sannolikt att alla de butiker i Sverige som idag har indirekta system kommer att byta ut dem till direkta CO₂-baserade kylsystem inom en snar framtid och kanske inte alls om alternativa energieffektiva möjligheter dyker upp.

Ett indirekt kylsystem är teoretiskt sett mindre energieffektivt än ett direkt kylsystem, eftersom det kräver en extra temperturväxling, och därmed lägre förångningstemperatur och dessutom pumpenergi för att pumpa runt köldbärarvätskan. Svenska butiker har dock många positiva erfarenheter av de indirekta kylsystemen. Jämfört med de direkta kylsystem de ersatte var de visserligen något dyrare att bygga, men billigare att sköta. Att byta ut ett "icke avskrivet" indirekt kylsystem mot ett CO₂-system kan dock vara väldigt kostsamt.

Dessutom blir kylningen i ett indirekt kylt kylbatteri jämnare när det kyls av en cirkulerande vätska och inte ett förångande köldmedium. Detta leder dels till att det ofta blir mindre påfrysning på kylbatteriets ytor och till att temperaturen i matvarorna längs disken blir jämnare. I ett indirekt kylsystem är det mindre känsligt vilket köldmedium som används och ifall det är brännbart (t.ex. propan), dels eftersom köldmediet aldrig behöver cirkuleras ut i butiken och dels för att det därför behövs betydligt mindre köldmediemängder för att driva kylsystemet. Därför är sannolikheten stor att de indirekta kylsystemen kommer att fortsätta att användas i stor utsträckning i Sverige framöver.

2 Mål

Det övergripande syftet med projektet var att ta fram tillräckliga kunskaper och erfarenheter om hur HEALEX fungerar när den är placerad i en kyldisk i en butik. Målsättningen är att tekniken ska kunna implementeras i fler butiker och på sikt kraftigt sänka energianvändningen i Svenska livsmedelsbutiker. Målet med projektet var att, i riktig butiksmiljö undersöka om resultaten från mätningarna i labbmiljö (Haglund Stignor m.fl., 2015) kan uppnås även i fält och visa att det finns en energibesparingspotential genom att ersätta traditionella värmeväxlare eller kylbatterier med värmeväxlaren HEALEX i kyldiskar i indirekta kylsystem.

Projektets mål var att besvara följande frågor:

- Fungerar HEALEX lika bra i fält som vid laboriemätningarna?
- Hur förändras behovet av inloppstemperatur och flöde för köldbäraren i disken efter att HEALEX monterats?
- Hur förändras påfrysning, avfrostningsbehov och temperaturvariationerna inne i kyldisken efter att HEALEX monterats?
- Hur stora energibesparingar skulle det innebära för butiken om alla kylbatterier i de öppna kyldiskarna byttes ut till HEALEX?

Målsättningen var även att studera hur variationer för olika parametrar som uppstår i verklig drift påverkar funktionen och prestandan för såväl värmeväxlaren HEALEX som för kyldisken. Exempel på variationer som är svåra att styra i butiken är lufttemperatur, luftfuktighet och variationer i last, men även sådana parametrar som kan kontrolleras, såsom köldbärarens temperatur och flöde. Syftet med projektet var också att få erfarenheter och kunskaper om möjligheter och problem som kan uppstå vid byte av kylbatterier till HEALEX i befintliga diskar, vilket är mycket viktigt inför genomförandet av större konverteringsprojekt.

Det långsiktiga målet är att energianvändningen i svenska livsmedelsbutiker sänks totalt sett genom att den nya typen av värmeväxlare börjar användas i både nya och renoverade kyldiskar.

3 Projektdeltagare

Projektet har finansierats av Energimyndigheten och av Naturskyddsföreningens energieffektiviseringsfond genom försäljning av el märkt med Bra Miljöval samt genom naturainsatser från Airec, Expertkyl och Hemköp.

RISE Research Institutes of Sweden har drivit projektet. RISE kärnverksamhet är tillämpad forskning och innovation. RISE arbetar utmaningsdrivet i både offentligfinansierade projekt och i direkta uppdrag från industri eller offentlig sektor. Tillsammans med våra kunder och partners identifierar RISE utvecklingsbehov och tar fram nya lösningar på både gemensamma utmaningar och unika problem.

Airec har designat och tillverkat den innovativa värmeväxlare som demonstrerats i projektet. Airec fokuserar på design och tillverkning av högeffektiva lödda plattvärmeväxlare. De typiska applikationerna är standardprodukter som är vanligt tillgängliga på marknaden men som inte helt uppfyller kundens behov. Beroende på tillämpningen ger Airec värmeväxlare förbättringar som högre effektivitet och kondensationshastigheter, lägre tryckfall, ökad kompaktitet, bredare driftstemperaturområden och reducerad kostnad.

Hemköp har upplåtit en kyldisk i sin butik i Kortedala åt demonstration av den innovativa värmeväxlaren som demonstrerats i projektet. Hemköps butiksutbud består av strax under tvåhundra butikerplacerade i centrala lägen över större delar av landet. Hemköp har som mål, tillsammans med hela Axfood, att bli klimatneutrala redan 2020. De arbetar dagligen aktivt för att nå detta mål i hela varukedjan genom att bland annat minska sina utsläpp, sin elförbrukning och sitt matsvinn. Därför var det självklart för Hemköp att delta i detta projekt.

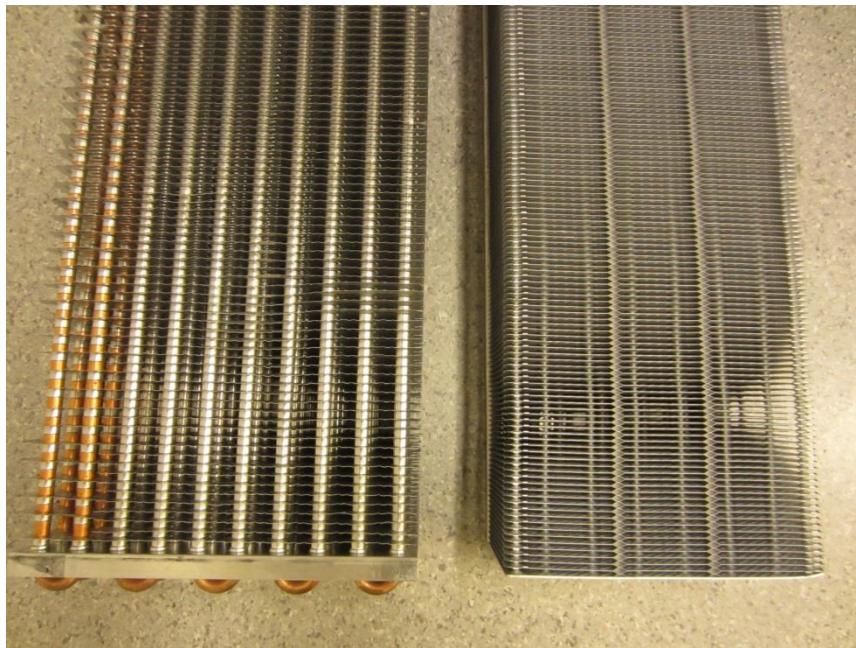
Expertkyl är den kylfirma som installerar och servar all kylutrustning i Hemköps butik i Kortedala, och de har bl.a. hjälpt till med att installera och driftsätta den nya värmeväxlaren i kyldisken. Expertkyl är experter på allt inom kyl- och värmeutrustning så som komfortkyla, värmepumpar och butikskyla. Expertkyl arbetar med projektering, installation, energibesparing, LCC-kalkyler, komfortkylanläggningar, processkyla, livsmedels- samt all kommersiell kyla, dygnet-runt-övervakning med jour dygnet runt.

4 Genomförande

I projektet jämfördes resultaten från mätningar i en öppen vertikal kyldisk. Mätningar utfördes först då ett konventionellt kylbatteri var placerat i kyldisken och när användbara mätningar på detta erhöles ersattes batteriet med värmeväxlaren HEALEX i syfte att bedöma i vilken utsträckning det var möjligt att öka inloppstemperaturen på köldbäraren med bibehållen kylkapacitet och tillräckligt låg temperatur inne i kyldisken.

4.1 HEALEX

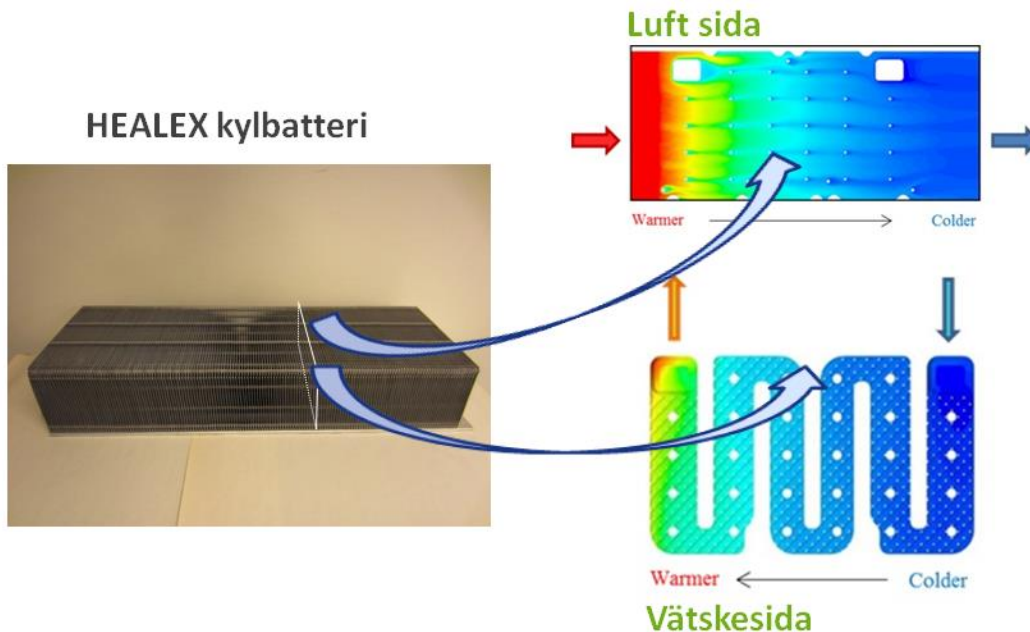
Ett traditionellt kylbatteri i en kyldisk består av slingor av kopparrör med aluminiumflänsar., se Figur 2. Fördelar med konstruktionen är relativt lågt tryckfall på luftsidan och låg känslighet för påfrysning, vilket innebär att går att fortsätta kyla med hjälp av batteriet även då ett frostlager har bildats på batteriets luftsida. Nackdelen är stort tryckfall på vätskesidan och relativt dålig värmeöverföringsförmåga, särskilt då det kyla med hjälp av en vätska med hög viskositet.



Figur 2 Konventionellt flänsrörsbatteri till vänster och HEALEX kylbatteri till höger.

HEALEX består av ett stort antal formpressade parallella plattor. I vartannat mellanrum strömmar det vätska och i vartannat strömmar det luft, se Figur 3. Formpressingens mönster gör att vätskeflödet i värmeväxlaren går fram och tillbaka motströms luftflödet, en s.k. kors/motströmsvärmeväxlare. HEALEXs konstruktion innebär att även om

vätskeflödet är laminärt, så blir värmeöverföringen relativt sett bra, eftersom mellanrummet mellan plattorna där vätskan strömmar är så pass litet. Den goda värmeöverföringsförmågan gör att HEALEX klarar av att hålla luften i kyldisken kall även om temperaturen på köldbärarvätskan höjs.



Figur 3 HEALEX består av ett stort antal formpressade parallella plattor. I vartannat mellanrum strömmar det vätska och i vartannat strömmar det luft.

4.2 Kyldisk

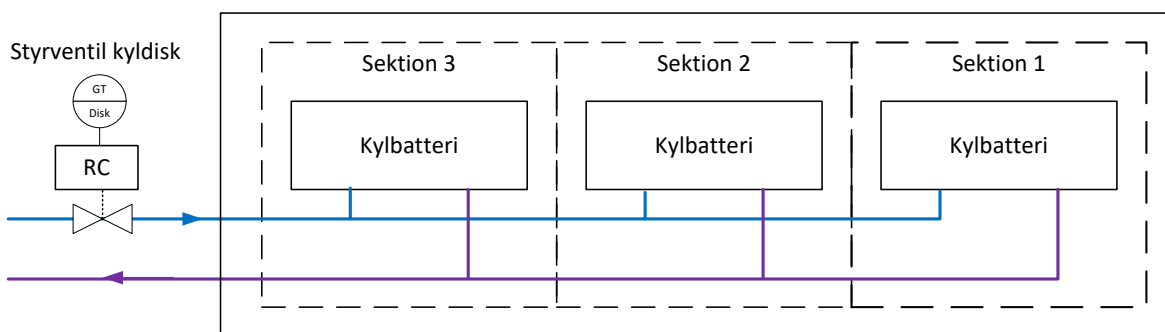
Hemköps butik på Kortedala torg renoverades under 2015. I samband med renoveringen byttes de flesta gamla kyldiskar ut mot nya, men några av de befintliga diskarna behölls. En av dessa är den treplans kyldisk som syns i Figur 4. Den 24 oktober 2016 installerade Airec tillsammans med Expertkyl och RISE en prototyp av HEALEX kylbatteri i en sektion av denna disk. I de andra två sektionerna behölls de konventionella värmeväxlarna (kylbatterierna).

Kyldisken är ansluten till det centrala kylsystemet. Alla sektioner har två fläktar och matas med köldbärare via samma ledning. Se principskiss i Figur 5.

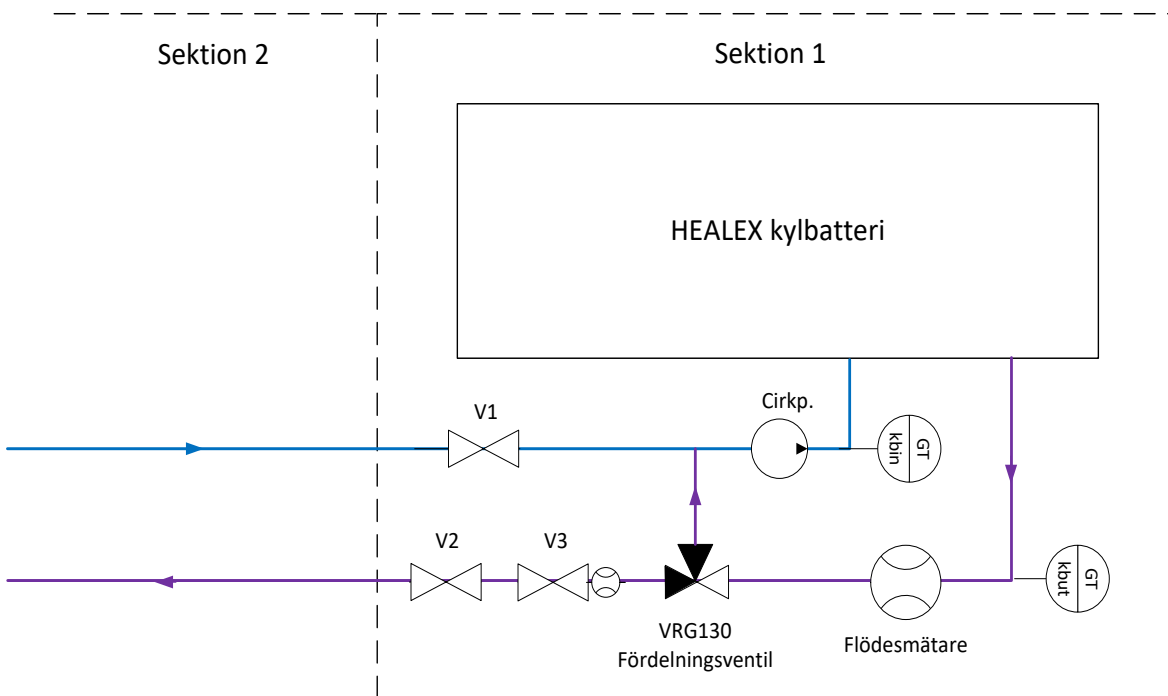
För att kunna ändra temperaturen i den sektion (sektion 1) som HEALEX skulle installeras i monterades en fördelningsventil och en liten cirkulationspump, se mer detaljerad skiss av sektion 1 i Figur 6. Shunten gjorde det möjligt att ställa in en varmare temperatur på köldbäraren till HEALEX.



Figur 4 Demonstrationen gjordes i ändsektionen av en treplans kyldisk bestående av flera sektioner som kyls med var sitt kylbatteri.



Figur 5 Principskiss av kyldisken där demonstrationen genomfördes. HEALEX monterades i sektion 1.



Figur 6 Principskiss över rördragning i sektion 1. V1 och V2 är stängventiler, V3 är en injusteringsventil med flödesindikering.

4.3 Metod

Mätningar gjordes först på ett konventionellt kylbatteri i en sektion av en kyldisk. Efter mätningarna byttes kylbatteriet ut mot HEALEX varpå motsvarande mätningar utfördes igen.

Värmeväxlarna testades i den öppna vertikala kyldisken med en metod som i mesta möjliga mån efterliknar applicerbara delar av ISO 23953-2: 2005 Kylanläggningar - Kylar och frysar för handeln - Del 2: Klassificering, krav och provningsbetingelser - Tillägg 1 (ISO 23953- 2:2005/Amd 1:2012), fortsättningsvis kallad "standarden".

Se förteckning och placering av givare i bilaga C.

Temperaturen på köldbäraren mättes med Pt-100 givare före och efter värmeväxlaren. Tryckfallet på vätskesidan mättes med en differentialtryckgivare och flödet med en volymflödesmätare.

Lufttemperaturen och den relativa luftfuktigheten i och ovanför disken mättes med trådlösa kombinerade temperatur- och luftfuktighetsgivare.

Lufttemperaturen och differenstrycket för luft före och efter värmeväxlaren mättes med Pt-100-sensorer och differenstrycksgivare.

Ett "matpaket" med temperaturgivare i placerades i disken för att kunna följa matens temperaturvariationer.

Kyldisken var lastad med varierande grad av varor under mätningarna.

Stoppavfrostning av hela butikens kylsystem, alla kylmöbler, sker vanligtvis under en timme två gånger per dygn kl. 06:00 och 19:00. Vanligtvis stoppas köldbärarflödet genom kylmöblernas kylbatterier under avfrostningsperioderna medan luftflödet i kylmöblerna fortsätter. Under avfrostningsperioderna fortsatte av praktiska styrmässiga skäl cirkulationspumpen att gå för den aktuella sektionen av kyldisk som utvärderades i detta projekt (se Figur 6), vilket innebar att vätskeflödet fortfarande var på men ingen kyla tillfördes eftersom flödet hade stoppats in till kyldisklängan.

4.4 Installation av mätutrustning

Mätutrustning för lufttemperaturer och relativ luftfuktighet i kyldiskens hyllplan monterades i juni 2015. Avsikten var att få underlag till rätt position för temperaturmätning i ett "matpaket", eftersom det var önskvärt att placera "matpaketet" på hyllan med den högsta lufttemperaturen.

I första delen av september 2015 monterades samtlig mätutrustning och omkring disken. För mer information om mätutrustning, se bilaga C.

I samband med installationen av mätutrustningen noterades mindre avvikelser gällande elsäkerhet för kyldiskens kylfläktar vilket åtgärdades. En av fläktarna hade missljud och byttes ut. Vid montage av temperaturgivare på köldbärarens returledning klipptes en plåt upp för att givarhuvudet skulle få plats. Denna del som ingår i fläkthusets trycksida tätades av installatör. Lufttemperaturgivare före och efter värmeväxlaren var monterade inklämda mellan plåtar för att hålltagning på plats inte var möjlig vid tillfälle för installation. Bedömningen var att det inte skulle påverka mätningarna.

När HEALEX provades i laboratorium lastades disken med konstgjorda "matpaket" (definierade i standarden) se Figur 7. Det var önskvärt att mäta temperatur i "matpaket" även i fält eftersom temperaturvariationer sker långsammare i "matpaketen" än i luften. Temperaturmätning i "matpaket" ger en bra bild av hur maten som förvaras i disken varierar i temperatur. Butiken tillät att ett "matpaket" med temperaturgivare placerades i disken. Önskvärt hade varit att placera "matpaketet" på den varmaste platsen i disken, d.v.s. långt fram på en hylla. Detta var tyvärr inte möjligt då det hade stört försäljningen, så "matpaketet" placerades på bottenplåten längst bak i disken där det inte syntes för kunderna. Detta var ingen optimal placering ur mätsynpunkt då det relativt sett var mycket kallt där "matpaketet" hade placerats. Det var svårt att fixera "matpaketet" i disken och positionen i den inre delen av hyllplanet varierade därför en del under utvärderingsperiodens gång.



Figur 7 "Matpaketet", till höger med temperaturgivare inuti och invirad i tejp för att inte misstas för en vara av handlande kunder.

För att minimera påverkan från övriga kyldisksektioner hade det varit önskvärt att skärma av testsektionen med plexiglas. Detta tillät inte butiken eftersom man ansåg att försäljningen skulle påverkas negativt av en avskärmning.

Utvärderingar baseras på samplingsintervall var 10:e sekund för flöde och köldbärartemperaturer. Övriga temperatur- och luftfuktighetsloggrar har en samplingsintervall av 180 sekunder.

4.5 Mätning

Mätperiod 1: 2015-09-07 – 2016-10-23 med det ursprungliga kylbatteriet installerat

Den 31 mars 2016 installerade Expertkyl en shuntventil och en cirkulationspump före batteriet. Syftet var att det skulle vara möjligt att ändra framledningstemperaturen på köldbäraren till värmeväxlaren i aktuell sektion för disken. I samband med detta tätades disken invändigt, under bottenplåten och kring batteriet, så att luften skulle tvingas gå igenom batteriet, med bättre och jämnare drift som följd.

För att kontrollera att luftflödet i disken inte förändrades på grund av att HEALEX installerades mättes lufthastighet i luftridån momentant den 10 september 2015. Mätningarna utfördes på samma sätt efter att HEALEX installerats (8 november 2016 och 24 januari 2017).

Mätperiod 2: 2016-10-24 – 2017-02-28 med HEALEX installerat

Lufttemperaturen i disken sjönk direkt efter att HEALEX installerats. För att försöka få upp temperaturen i disken till börvärdet + 8°C igen, höjdes framledningstemperaturen på köldbäraren stegvis och varaktigt vid tre olika tillfällen: 27/10, 31/10 och 9/11.

Mätperiod 3 p.g.a. oväntade resultat: 2017-04-03 – 2017-04-10 med HEALEX installerat

Då inledande analyser av mätdata indikerade att kyleffekten hade minskat och temperaturerna i matpaket och lufttemperaturerna i kyldisken hade ökat under mätperiod 2, utfördes en besiktning av kyldisken. Ytterligare luftläckage inne i disken p.g.a. att luft trycktes förbi, istället för igenom, värmeväxlaren upptäcktes då. Shuntventilen flyttades, tätningar genomfördes och köldbärarflödet justerades i syfte att få disken riktigt tät invändigt och för att få bättre möjlighet att erhålla korrekt tillloppstemperatur kyldiskens luftridå. Efter utförda åtgärder och en återställning av fel i det centrala kylsystemet analyserades mätdata återigen.

Vid analys av mätresultaten var fokus att hitta minst två veckor med stort kylbehov för respektive värmeväxlare (kylbatteri). Vid stort kylbehov ställs det högre krav på kylkapaciteten, och därmed på kylbatteriernas funktion. I denna rapport redovisas resultat från två dagar för respektive värmeväxlare. Dessa dagar valdes från ovanstående veckor och för originalbatteriet redovisas 17-18 november 2016 och för HEALEX redovisas 3-4 juni 2017.

5 RESULTAT

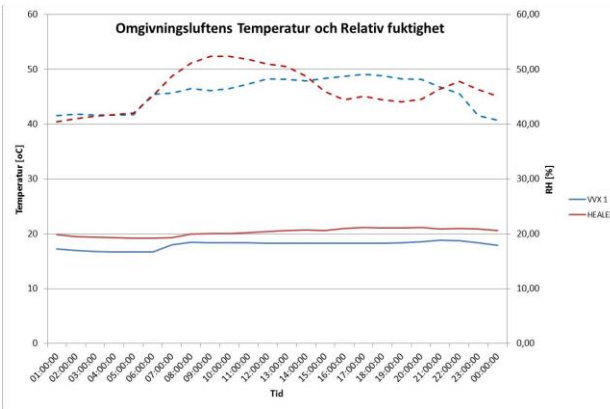
Mätningar i fält skiljer sig från mätningar i labbmiljö eftersom det finns många parametrar som inte går att styra över. I labb är parametrar som till exempel omgivande lufts (luften i butiken) temperatur och fuktighet kontrollerade och det är därför möjligt att utföra jämförande provning. I fält går det inte att styra omgivningstemperatur lika exakt och dessutom påverkas driftförhållanden och mätdata av den allmänna verksamheten i en livsmedelsbutik. Denna studie syftar till att undersöka om resultaten från tidigare labbprovningar var möjliga att upprepa under verkliga förhållanden i fält men man måste ta i beaktande att de omgivande förutsättningarna inte är exakt lika vid analys av mätvärden.

Eftersom HEALEX monterades i en sektion av 3 i en kyldisk visade det sig att det var svårt att variera olika parametrar utan att ändra förhållandena i hela disken. Risken att få för hög temperatur i kyldisken innebar att studierna om hur variationer för olika parametrar som uppstår i verklig drift påverkar funktion och prestanda exkluderades.

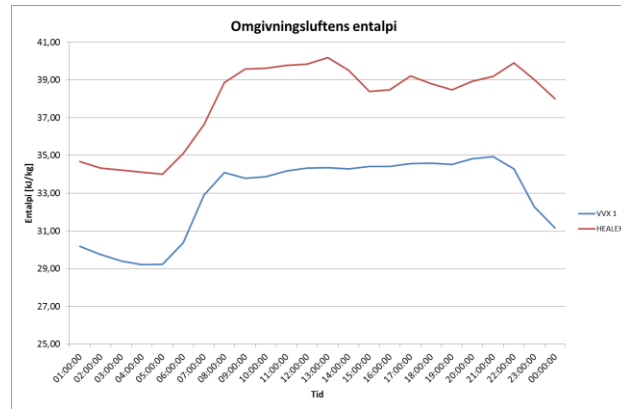
Resultaten från mätningarna visar att HEALEX fungerade som förväntat utifrån resultaten från labbmätningarna. Det gick att höja köldbärartemperaturen från -8 till -2°C med bibehållen kyleffekt och tillräckligt låg temperatur inne i kyldisken. Resultaten indikerar dessutom att de tidsinställda avfrostningsperioderna inte behövdes då HEALEX var monterad i kyldisken.

I styckena nedan jämförs mätresultat med de två olika värmeväxlarna. En period med relativt sett varm omgivningstemperatur och hög luftfuktighet har valts ut för respektive värmeväxlare. Vid dessa förhållanden är kylbehovet stort och belastningen därmed stor på värmeväxlarna.

Figur 8a visar timmedelvärden av omgivningsluftens temperatur och relativ fuktighet för ett dygn som är representativt för den period som utvärderats. Den omgivande luften i butiken har högre temperatur och något högre luftfuktighet vid mätningarna med HEALEX jämfört med vid mätningarna med det konventionella kylbatteriet. Detta innebär att den omgivande luftens värmeinhåll (entalpi) är högre de dagar HEALEX har utvärderats och mer kylkapacitet behövs sannolikt för att erhålla samma temperatur i kyldisken dessa dagar jämfört med de dagar som redovisas för VVX 1.



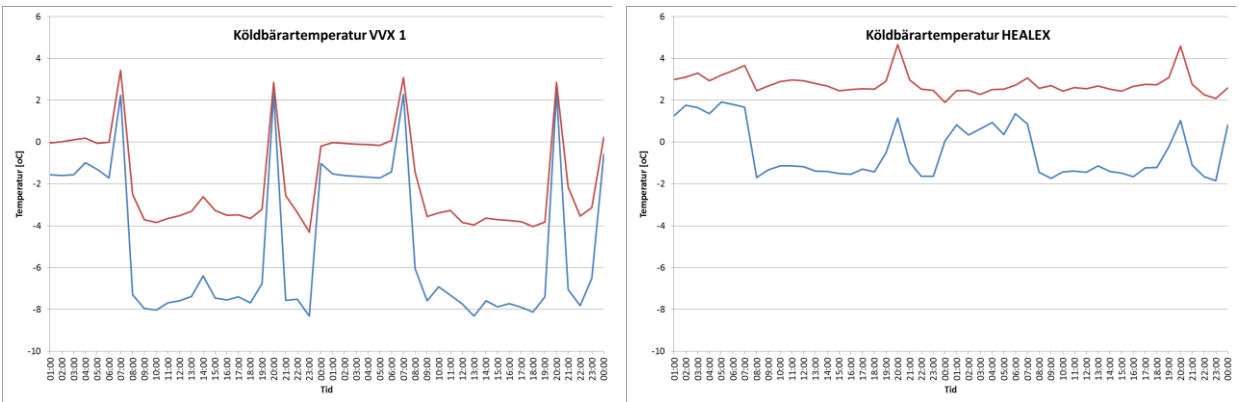
Figur 8a Temperatur (heldragen linje) och relativ luftfuktighet (streckad linje) för omgivande temperatur under 1 dygn. Timmedelvärden.



Figur 8b Entalpi för omgivande temperatur under 1 dygn. Timmedelvärden

5.1 Kölbärarterperatur

Framledningstemperaturen på kölbäraren justerades så att börvärdet för temperaturen i kyldisken gick att ställa på 8°C, detta för att efterlikna de förhållanden som varit med den ursprungliga värmepumpen (VVX 1). Figur 9 visar timmedelvärden av kölbärarterperaturerna för respektive värmepump under två representativa dygn.



Figur 9 Kölbärarterperatur in till kyldisken (blå linje) och ut från kyldisken (röd linje) för VVX 1 och HEALEX. Timmedelvärden

Figur 9 visar att framledningstemperaturen på kölbäraren justerades upp från -8°C till -2°C för att det skulle vara möjligt att ställa börvärdet för temperaturen i kyldisken på 8°C. De timmar som butiken har öppet är skillnaden mellan ingående och utgående kölbärarterperatur ungefär 4°C för båda värmepumparna.

Under stängningstid (23:00-07:00) täcks kyldiskens öppning med en gardin och kylbehovet minskar därmed. Framledningstemperaturerna på kölbäraren in till VVX 1 ökas då till knappt -2°C för att uppnå kyldiskens börvärde 8°C. Motsvarande kölbärarterperatur med HEALEX kylbatteri var ca +1,5°C.

Ökningen av kölbärartemperaturerna vid kl.06:00 och 19:00 beror på stoppavfrostning av hela butikens kylsystem.

5.2 Temperatur i kyldisk

Temperaturen mättes på 7 olika ställen i kyldisken, se Figur 10. För mer detaljerad information om givarnas placering, se bilaga C. T7 fungerade inte för HEALEX under den period som redovisas här men både TRF5 och TRF8 som mäter på samma hyllplan visar rimliga mätvärden för HEALEX. Det är därför mycket troligt att temperaturen T7 ligger på ett medelvärde mellan 3-6°C.

TRF5 och TRF8 fungerade inte för VVX 1 under den period som redovisas men här fungerar T7. T7 har en medeltemperatur på 4°C och temperaturerna TRF4, TRF6, TRF7 och TRF9 har medeltemperaturer mellan 1-4°C och det är därför mycket troligt att medeltemperaturerna för TRF5 och TRF8 understiger 6°C.

Resultat från temperaturmätningarna disken visas i Figur 11. Medelvärden av de temperaturer som visas i *Figur 11* visas i tabell 1, d.v.s. medelvärdet över 2 dygn.

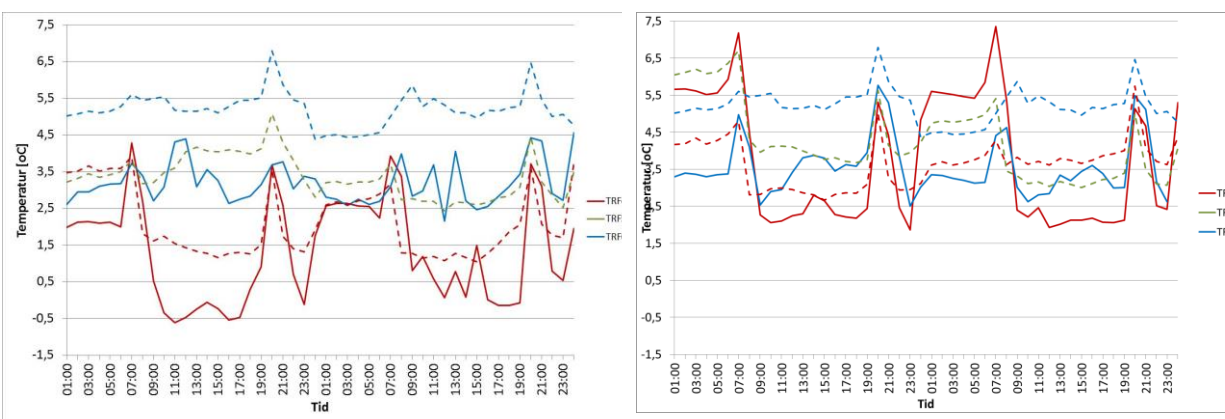


Figur 10 Temperaturmätarnas placering i kyldisken.

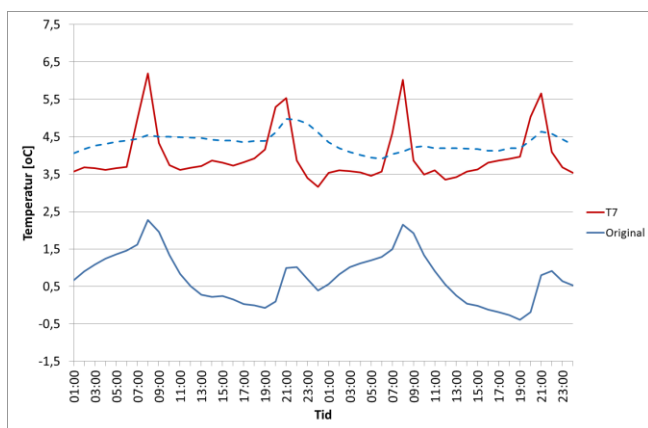
Temperaturen är högre i den sida av kyldisken som gränsar mot omgivande luft i butiken jämfört med den sida som gränsar mot kyldiskens sektion 2. Figur 11 tillsammans med *Tabell 1* visar att lufttemperaturerna blir något högre när HEALEX är installerad jämfört med det ursprungliga kylbatteriet. Medelvärdena på lufttemperaturen är 1°C högre för HEALEX i mätpunkt TRF4 och TRF9 medan de i stort sett är lika för TRF6 och TRF7. Mätningarna visar HEALIX klarar att hålla önskad temperatur (8°C) i disken.

När VVX 1 är installerad är temperaturvariationerna över dygnet större än för HEALEX. I *Tabell 2* redovisas högsta och lägsta uppmätta värdet för de olika temperaturmätarna under de två dagar som redovisas i Figur 11. I *Tabell 2* redovisas uppmätta värden som inte har blivit medelvärdesberäknade. *Tabell 2* visar att maximala värdet på temperaturen mättes upp till 8,6°C för VVX1 under de aktuella dygnet. Motsvarande siffra är 7,3 för HEALEX. Differensen mellan högsta och lägsta uppmätta temperatur för de olika luftmätarna är 6-9°C för VVX1 och 4-7°C för HEALEX. Det är väldigt korta perioder som temperaturerna ligger på maxvärden.

Temperaturen i matpaketet skiljer sig mycket mellan HEALEX och VVX1. Dessa mätningar är inte lika tillförlitliga som lufttemperaturerna eftersom matpaketet inte fixerades och därmed flyttades runt i sidled på den hylla som det var placerat på.



Figur 11a och b. Lufttemperaturer i kyldisken till vänster (a) och till höger (b). Timmedelvärden under 2 dygn. Heldragna linjer=VVX1 och streckade linjer=HEALEX



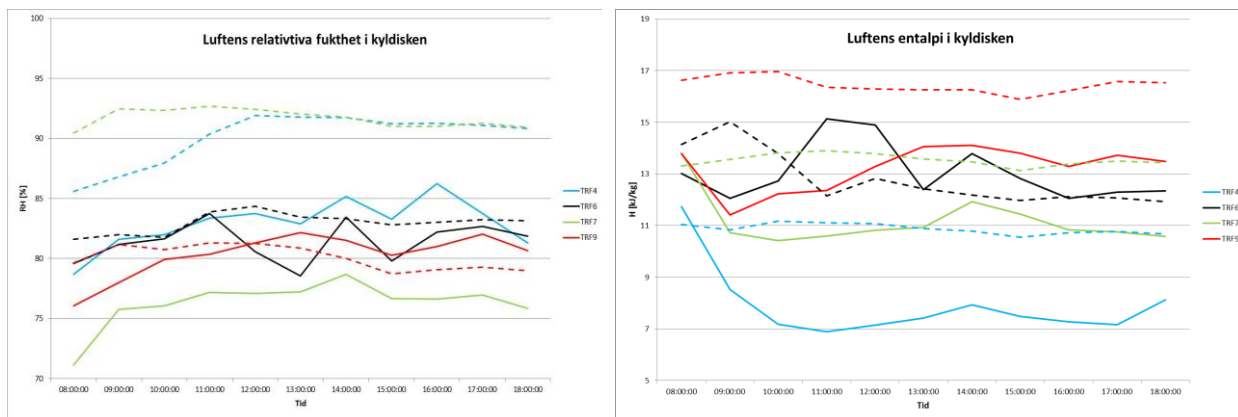
Figur 11c, Temperaturer i matpaketet och T7, Timmedelvärden under dygn. Heldragna linjer=VVX1 och streckade linjer=HEALEX

<i>Tabell 1. Medelvärde av mätvärden som visas i figur</i>		
Medeltemperaturer i kyldisk (°C)		
Mätare	VVX 1	HEALEX
TRF4	1,30	2,10
TRF5		3,40
TRF6	3,20	2,90
TRF7	3,70	3,60
TRF8		4,20
TRF9	3,50	4,70
T7	4,00	
Matpaket	0,70	4,30

Temperaturer i kyldisk (°C)				
Mätare	Max. VVX 1	Max HEALEX	Min. VVX 1	Min HEALEX
TRF4	7,8	5,7	-1,0	0,6
TRF5		5,8		0,9
TRF6	7,7	5,4	0,5	1,0
TRF7	8,6	7,3	1,2	1,6
TRF8		7,2		2,7
TRF9	8,0	7,5	0,0	3,6
T7	7,8		2,6	
Matpaket	2,7	5,2	-0,9	3,3

5.3 Luftfuktighet och entalpier i kyldisk

Relativ luftfuktighet i kyldidsken mättes i samma positioner som temperaturerna (undantaget T7). Luftens relativa fuktighet och entalpi visas mellan 08:00 och 19:00 i Figur 3. Anledningen till att bara dessa timmar visas är att gardinen dras bort vid 07:00 och timmedelvärdet vid denna tid är missvisande. Avfrosthningen som börjar kl. 19:00 innebär att både temperatur och RH fluktuerar på ett sätt som gör det omöjligt att analysera mätvärdena korrekt.



Figur 12a, Luftfuktighet i kyldisk och **12b**, Luftens entalpi i kyldisk. Timmedelvärden dagtid. Heldragna linjer är VVX1 och streckade är HEALEX.

Både relativ fuktighet och entalpi är högre för de flesta mätpunkterna då HEALEX är installerad i disken. Luftfuktigheten är signifikant högre i övre delen av kyldisken (TRF4 och TRF7). I nedre delen av kyldisken (TRF6 och TRF9) är skillnaderna i luftfuktighet inte lika stora, mätpunkt TRF7 visar högre värde för VVX1 under senare delen av dagen. Entalpin är signifikant högre då HEALEX är installerad, undantaget mätpunkt TRF6 (nedre delen av kyldisken som angränsar till sektion 2) Även entalpin

(värmeinhåll) i omgivningsluften var högre under utvärderingsperioden med HEALEX (Figur 8b). Entalpin i omgivningsluften är i medeltal (mellan klockan 08.00 och 18.00) 34 kJ/kg för VVX1 och 39 kJ/kg för HEALEX. Skillnaden mellan omgivningstemperaturens entalpi och entalpin i luften i kyldisken visas för TRF4, TRF6, TRF7, respektive TRF9 i *Tabell 3*.

<i>Tabell 3 Entalpiskillnad mellan omgivningsluften och luften i kyldisken. Medeleentalpi från timvärden från kl. 0800-18.00</i>				
Entalpiskillnad (kJ/kg)				
	TRF4	TRF6	TRF7	TRF8
VVX1	26	21	23	21
HEALEX	28	27	26	23

Kylbehovet är ofta proportionellt med entalpiskillnaden mellan omgivningsluften och luften inne i disken. Därför borde kylbehovet för HEALEX i den aktuella utvärderingsperioden vara något större än för VVX1, vilket också mätningarna också visar.

5.4 Kyleffekt

Kyleffekten beräknas med ekvation 1. *Figur 13* visar kyleffekten under 2 dygn för de båda värmeväxlarna. Medelkyleffekten under öppningstid beräknades till 1,3 kW för båda värmeväxlarna.

$$\dot{Q} = \Delta t_{kb} c_{p_{kb}} q_{kb} \quad (1)$$

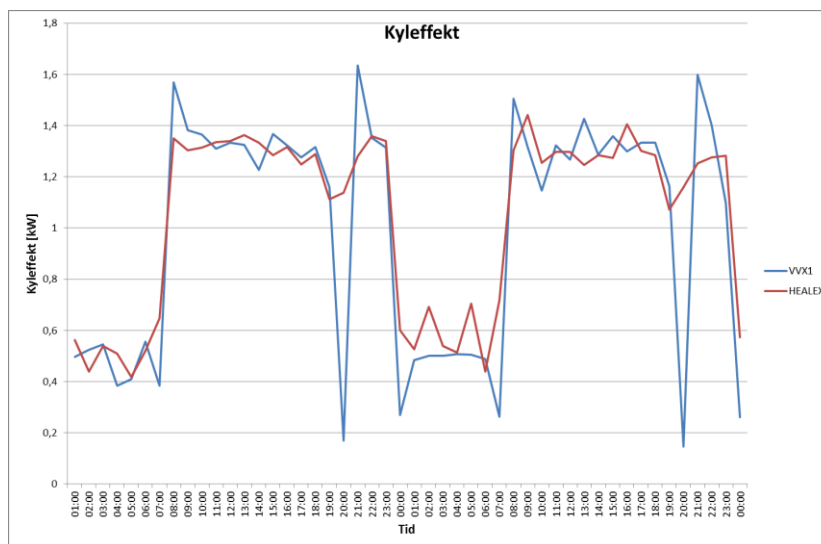
Där \dot{Q} = kyleffekt (kW)

Δt_{kb} = Differensen i köldbärartemperatur efter och före värmeväxlaren (°C)

$c_{p_{kb}}$ = Specifik värmekapacitet köldbärare (kJ/kgK)

q_{kb} = köldbärarflöde (kg/s)

Figur 13 visar att kyleffekten för de båda värmeväxlarna är mycket lika. Kyleffekten går ner på natten när gardinen är fördragen.



Figur 13. Kyleffekt för de båda värmeväxlarna under 2 dygn. Timmedelvärden

5.5 Avfrostningsbehov

Tryckfallet över HEALEX luftsida mättes för att kontrollera om det ökade med tiden. Ett ökat tryckfall med jämna mellanrum kan innebära påfrysning. Avfrostning sker för hela kylsystemet kl. 06:00 och 19:00. Mellan dessa perioder förändras inte tryckfallet vilket indikerar att avfrostning med de intervall som butiken har idag inte behövs för HEALEX.

Motsvarande mätning gjordes inte för VVX1.

6 Diskussion

Värmeväxlaren som utvärderats i denna studie var en prototyp som tillverkades av Airec för cirka 2 år sedan. Den var den första av deras konceptmodeller som installerades i en butik och erfarenheterna från detta projekt har lett till att ett förbättringsarbete framgångsrikt har bedrivits, både för att öka värmeväxlarens mekaniska styrka och för att förbättra dess prestanda. Nyare konceptmodeller har, enligt Airec, bland annat förbättrats enligt nedan:

- Tillåtet tryck på vätskesidan har ökats från 2 till minst 10 bar(a).
- Dagens HEALEX har cirka 10 % högre verkningsgrad i förhållande till den HEALEX-prototyp som testats i detta projekt.

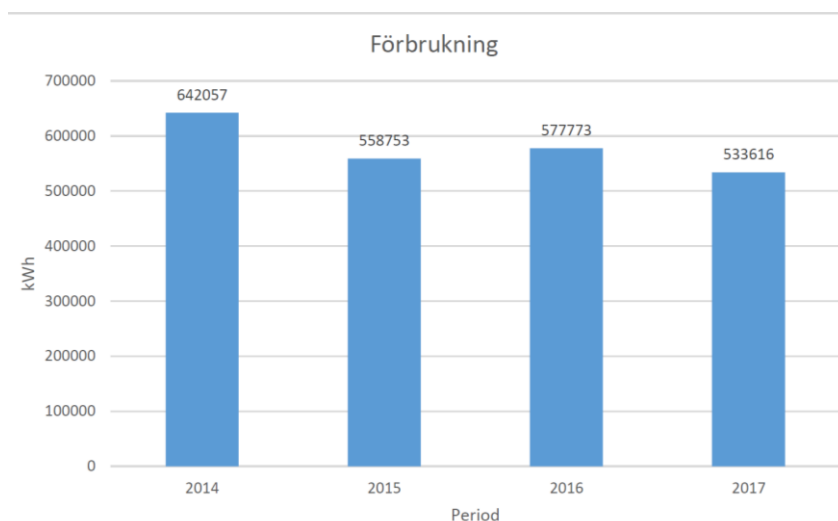
Airec har idag ett flertal projekt med internationella och marknadsledande företag för att byta ut befintliga konventionella kylbatterier till HEALEX i olika applikationer med indirekta kylsystem för att minska energiförbrukning och öka energieffektivitet. Eftersom företaget har haft stor nytta av detta projekt ser alla projektutförare det som mycket framgångsrikt trots att det var många utmaningar under projektets gång.

6.1 Energibesparing

Ingående köldbärartemperatur kunde ökas till -2°C efter att HEALEX installerats. Om alla kyldiskar i butiken som inte har dörrar och luckor förseddes med HEALEX skulle det gå att höja förångartemperaturen i det centrala systemets kylmaskin. Tidigare studier (Haglund Stignor, 2015) visade att för varje grad förångartemperaturen, och därmed köldbärartemperaturen, höjs kan kylmaskinens COP ökas med 2,5 %. Om förångartemperaturen ökas med 6°C skulle det därmed innebära en energibesparing på 15%.

Enligt IWMAC-mätningar var det totala energibehovet för kyl och frys i butiken cirka 650 000 kWh/år innan butikens kylsystem byggde om (se figur 14). Ett tidigare projekt (Jensen m.fl.). 2015 där bl.a. elenergiebehovet kartlades med avseende på olika system i butiken visade att 400 000 av dessa är fördelade på kompressor, kyldiskar, kylrum, pumpar och fläktar etc. i det centrala kylsystemet. Resterande behov kommer från frysdiskar, kylmedelskylare etc. Under 2015 byggdes butiken om och IWMAC mätningar år 2016 och 2017 visar att energibehovet för kyla minskade med cirka 100 000 kWh till 550 000 kWh. Här antas att besparingen, som gjordes i och med ombyggnaden, för det centrala kylsystemet med dess ingående komponenter var procentuellt lika stor som den totala besparingen. D.v.s. här antas att energibehovet för kylar kopplade till det centrala kylsystemet är ungefär 340 000 kWh/år. Dessutom antas att kompressorernas

drivenergi står för ca 90% av denna energianvändning, baserat på beräkningar som gjorts av Haglund Stignor m.fl. (2009). Om COP skulle öka med 10% för kylmaskinen i det centrala kylsystemet innebär det en minskning av energibehovet i butiken med 31 000 kWh/år och motsvarande siffra för en ökning av COP på 15% är 46 000 kWh/år.



Figur 14. Totalt energibehov för hela kyl- och fryssystemet i Hemköp Kortedala

Centrala kylsystem är begränsade av den enhet, kyldisk eller skåp som kräver den lägsta framledningstemperaturen på köldbäraren i systemet.

Kylmaskinen kyler köldbäraren till -8°C och returtemperaturen blir därmed -4°C . När hela kretsen är nerkyld så stänger kylmaskinen eller kylmaskinerna ner i olika steg. Temperaturen i kyldiskar samt i kylrum som är kopplade till det centrala kylsystemet styrs med hjälp av termostater på varje enskild disk/rum. En signal skickas till en magnetventil som stänger/öppnar kölbärarflödet till de enskilda diskarna/rummen. . Det är alltså möjligt att öka eller sänka temperaturen i hela kylsystemet vid kalla respektive varma dagar genom att börvärdet för köldbärarens framledningstemperatur ändras på ett ställe. Många butiker sätter börvärdet för framledningstemperaturen på köldbäraren till -8°C för att försäkra sig om att systemet levererar den kyla som krävs vid årets varmaste dagar. Man ändrar sedan inte framledningstemperaturen i kylsystemet trots att det är relativt enkelt och att det skulle innebära stora besparingar att öka temperaturen kalla och torra dagar, då kyldiskarnas kylbehov är mindre. (Det finns även styrsystem för automatisk börvärdesförskjutning av köldbärartemperaturen). För att säkert säga hur stor energibesparingen skulle bli enbart genom att ersätta konventionella kylbatterier med HEALEX skulle det krävas att köldbärartemperaturen in till det ursprungliga kylbatteriet justeras och optimeras så att den högsta framledningstemperaturen på köldbäraren erhålls med tillräckligt låg temperatur kyldisken. I denna studie har detta inte utförts och det går därför inte att säga hur stor högsta temperaturskillnaden på köldbäraren skulle varit mellan VVX1 och HEALEX

under optimerade förhållanden för bägge värmeväxlare. Givetvis skulle liknande börvärdesförskjutning kunna göras för HEALEX under dagar med lägre kylbehov, men ju högre köldbärartemperaturen är från början, ju mindre är potentialen för en sådan höjning, eftersom temperaturskillnaden mellan vätska och luft i disken är mindre från början. Resultaten visar dock att det är möjligt att erhålla tillräckligt låga temperaturer i kyldisken med HEALEX med en köldbärartemperatur på -2°C även under dagar med relativt sett högt kylbehov i kyldisken, vilket innebär att man sannolikt skulle kunna ha denna inställning året runt utan att behöva ändra den och jämfört med -8°C som ofta väljs skulle därmed stora besparingar kunna göras.

Man bör också ha i beaktande att befintliga kylmaskiner i det centrala systemet kan bli överdimensionerade om framledningstemperaturen på kölbäraren höjs, eftersom denna höjning innebär att kylmaskinens totala kylkapacitet ökas. Det är därför nödvändigt att antingen ha varvtalsstyrda kompressorer vid höjning av köldbärartemperaturen, eller säkerställa att kylkapaciteten kan regleras ned på annat sätt, exempelvis genom att koppla ur kylmaskiner stegvis.

Ytterligare studier behövs för att undersöka hur HEALEX fungerar i olika typer av kyldiskar innan energibesparingspotentialen kan skattas mer exakt.

Det ska också sägas att det var svårt att optimera driften på HEALEX då den var installerad i en sektion av tre i en längre kyldisk. Det är möjligt att resultatet hade blivit ännu bättre om HEALEX hade installerats i samtliga sektioner i en kyldisk för att möjliggöra bättre optimering och justering.

Även om driften med det traditionella kylbatteriet inte optimerades innan det byttes ut med HEALEX, går det ändå att dra slutsatsen att byte till det mer effektiva kylbatteriet HEALEX gav möjlighet till drift med betydligt högre köldbärartemperatur och betydligt mindre behov av avfrostning. Den låga temperaturen som systemet normalt arbetade vid är vald för att klara kylbehovet alla dagar om året.

6.2 Kyleffekt

Kyleffekten i en kyldisk är linjärt beroende av entalpiskillnaden mellan omgivningens och kyldiskens luft enligt ekvation 2 (Axell, 2002).

$$\dot{Q} = C_1 (h_{omg} - h_{kyl}) + C_2 \quad (2)$$

Där \dot{Q} = kyleffekten (kW)

h = entalpi luft (kJ/kg)

C_i = konstanter

Trots högre entalpi (värmemängd) i omgivande luft då HEALEX utvärderats jämfört med det konventionella kylbatteriet var den uppmätta kyleffekten ungefär lika stor för båda kylbatterierna detta beror troligtvis på att entalpin i kyldiskens luft blir något högre då HEALEX är installerad jämfört med VVX1, eftersom luften avfuktas mindre om värmeväxlarytan är varmare.

En förklaring till att kyleffekten är lika för de båda fallen är därmed att skillnaden mellan entalpierna i omgivningsluften och luften i kyldisken är i stort sett densamma för VVX1 jämfört med HEALEX.

6.3 Temperaturer

Temperaturerna är generellt något högre då HEALEX är installerad men temperaturprofilen är jämnare jämfört med VVX1. Då VVX 1 var installerad var medeltemperaturen i disken generellt lägre men steg över 8°C och sjönk under 0°C under korta stunder, men det är inte troligt att matkvaliteten påverkas negativt av detta. Medeltemperaturen för HEALEX är 1°C högre än för VVX1. Detta stämmer väl överens med resultaten från labbmätningarna (Haglund Stignor 2015) där temperaturerna i "matpaketen" var i stort sett lika för de två kylbatterier som undersöktes medan det var större temperaturvariationer för det traditionella kylbatteriet.

6.4 Avfrostningsbehov

Vid en framledningstemperatur på -2°C är risken för påfrysning liten eller måttlig, eftersom yttemperaturen närmar sig 0°C. Men speciellt en värmeväxlare som har litet utrymme mellan plattorna, som HEALEX kan vara känslig för påfrysning eftersom luftflödet kan blockeras även vid liten grad av påfrysning. Det finns inga indikationer på påfrysning äger rum på lyftytorna i HEALEX under mätningarna med de avfrostningsintervallen som Hemköp Kortedala har för sitt system. Detta är ett mycket bra resultat.

6.5 Lönsamhetskalkyl

HEALEX finns inte som färdig serietillverkad produkt. I den aktuella kyldisken behövs 3 st. HEALEX och enligt Airec skulle de kosta 790 kr mer än det konventionella kylbatteriet vid försäljning till t.ex. en kyldiskstillverkare.

Det uppmätta kylbehovet är uppmätt till i medeltal 1,25 kW under butikens öppettider (se figur 13). Antag att antalet drifttimmar är 5000 per år i Hemköp, Kortedala. Med en energibesparing på 15% och ett elpris på 1 SEK per kWh erhålls.

Kostnadsbesparing elenergi = $1,25 \times 0,15 \times 5000 \times 1 = 937$ SEK/år

Pay-offtiden blir med dessa antaganden knappt ett år.

Viktigt är att notera att det är okänt vad priset kommer att bli till en mindre slutkund.

7 Slutsatser

Huvudsyftet med studien var att i fält verifiera de resultat som erhållits i laboratoriemätningar med HEALEX, för att påvisa att köldbärartemperaturen skulle kunna höjas avsevärt om de konventionella kylbatterierna i kyldiskarna byttes ut mot HEALEX. Fältmätningar är inte en lämplig metod för en direkt jämförande provning av två kylbatterier/värmeväxlare eftersom yttre faktorer inverkar på deras prestanda. I detta arbete jämförs i första hand inte de olika kylbatteriernas prestanda och effektivitet eftersom en jämförelse inte skulle bli rättvisande då omgivande lufts egenskaper skiljer sig olika dagar.

Slutsatserna från detta projekt är att det finns en stor potential till energibesparingar genom att ersätta befintliga kylbatterier med HEALEX. Hur stor besparingen kan bli beror på vilken framledningstemperatur som systemet har ursprungligen. Om den ursprungliga köldbärartemperaturen är runt -8°C , som fallet var i denna studie är energibesparingen är troligtvis mellan 10-15% vilket innebär en besparing på 31000-46000 kWh/år för Hemköp i Kortedala.

Resultaten från denna studie bekräftar resultaten från labbmätningarna med HEALEX vilka visade att framledningstemperaturen på kölbäraren kunde ökas till -2°C samtidigt som önskad temperatur i kyldisken kunde bibehållas.

Resultaten i denna studie indikerar att ingen påfrysning sker då HEALEX är installerad. Mätningarna visar att inget behov av avfrostning finns under de utvärderade perioderna.

8 Måluppfyllelse

- Tagit fram en fungerande prototyp av HEALEX.
- Verifierat att HEALEX fungerar lika bra eller bättre under verkliga förhållanden monterad i en kyldisk i en butik som den gjort i tidigare genomförda laborietester.
- Fått värdefull kunskap om möjligheter och problem som kan uppstå vid byte av kylbatteri i en kyldisk.
- Tagit fram underlag som kan användas för att designa nya kyldiskar med denna typ av kylbatteri.
- Jämfört resultat från fältmätning med resultat från labbmätning och sammanställt detta i slutrapporten.
- Resultatet har presenterats i en vetenskapligt granskad artikel eller konferensbidrag.
- Tagit fram ett kommunikationsmaterial för att sprida resultatet av projektet.

9 Lärdomar

Den viktigaste lärdomen från detta projekt är att HEALEX fungerar bra i verklig miljö och att resultaten från denna studie bekräftar resultaten från studier i lab.

En annan viktig lärdom från detta projekt där parter från vitt skilda verksamheter skulle samverka och forskning skulle utföras i en miljö där många olika människor vistas dagligen är att det är viktigt att alla intressenter och projektdeltagare har samma syn på projektets mål och leveranser. Projektgruppen bör därför tillsammans definiera tydliga mål som alla kan enas om. Det är också viktigt att förankra projektets avgränsningar så att alla är medvetna om vad som inte ingår i projektet. Under detta projekt lades därför en hel del tid på regelbundna avstämningar för att förklara vad som skulle hända, samt diskutera problem som uppstod och lösningar på dessa. Det är av stor vikt att ha respekt för den dagliga verksamheten som pågår i butiken och att den ska störas i så liten utsträckning som möjligt.

Det är ofta något krångligare att mäta i fält än i laboriemiljö eftersom yttre omständigheter kan ge oönskad och/eller oförutsägbar påverkan på provobjekt och mätutrustning. I detta projekt krävdes långt fler besök och mycket mer handpåläggning än förväntat för att få allt att fungera som det var tänkt. Det är därför att rekommendera att man väljer en närbelägen demonstrationsplats, vilket i viss mån gjordes i detta projekt, men i efterhand hade det varit bra om avståndet hade varit ännu mindre, för att möjliggöra fler och tätare besök. Å andra sidan är det av ännu större vikt att välja en butik som är positivt inställd de mätningar och den forskning som ska genomföras, vilket var den huvudsakliga anledningen till att projektet genomfördes i den valda butiken. Demonstrationen av HEALEX gjordes i en kyldisk som var i bruk i en butik med kunder och personal. Vid demonstrationsprojekt är det viktigt att personalen tidigt informeras om projektet så att alla är positiva och förstår varför det genomförs. Det bästa är om man kan skapa ett engagemang hos en eller flera i personalen och involvera dem i projektmöten och diskussioner. Detta gjordes i stor utsträckning i detta projekt.

Önskemålet från RISE och Airec var att HEALEX skulle installeras i en öppen kyldisk ansluten till ett indirekt kylsystem. Hemköp och Expertkyl valde ut en butik med en lämplig kyldisk som uppfyllde dessa önskemål. I efterhand visade det sig att vi hade behövt göra en mer detaljerad kravspecifikation på bland annat:

- kylsystemets styrning
- kyldiskens utformning
- typ av varor som förvarades i kyldisken under mätningen,
- temperatur i kyldisken

Mycket tid fick läggas på att bygga om och justera befintlig utrustning för att få driften och förhållandena så bra som möjligt p.g.a. att dessa saker inte hade varit tillräckligt väl

specificerade från början. Som i alla upphandlingar är det även viktigt att göra en tydlig kravspecifikation vid beställning av utrustning och installationer, kontrollera att kraven uppfyllts och åtgärda eventuella brister direkt.

HEALEX var en prototyp tillverkad av Airec, och tillverkningen av prototypen påbörjades i samband med projektstarten (mars 2015) med målet att bli klart till september 2015. Tillverkningen blev dock försenad p.g.a. problem med att få lödningarna att hålla så installationen av HEALEX blev försenad med drygt ett år. Tidplanen gick inte att hålla eftersom demonstrationsobjektet inte var framtaget när projektet startade.

Erfarenheterna från de problem som uppstod med provobjektet i detta projekt blev startskottet till ett förbättringsarbete hos det medverkande tillverkande företaget. Det var givetvis besvärande för projektet att det var problem att få prototypen tät, men då det ledde till att de kunde komma vidare i sitt utvecklingsarbete så kan det konstateras att nyttiga lärdomar drogs.

Bra dokumentation är viktigt i alla projekt och speciellt i fältprojekt. En detaljerad loggbok över allt som görs i projektet, gärna med fotografier underlättar för minnet eller vid projektledarbyte.

Vid mätningar som ska pågå länge är det viktigt att vid projektstarten, efter en kortare tids mätning, kontrollera att mätdata är användbar och att inga parametrar saknas. Det blir svårt och dyrt att lägga till mätpunkter och nya parametrar ju längre projektet pågår. Genom att göra en första analys av mätdata tidigt kan mätningen vid behov kompletteras utan större problem. När mätuppställningen är komplett skall mätningarna övervakas kontinuerligt för att säkerställa att alla mätare fungerar under hela mätperioden.

10 Förslag på fortsatt arbete

För att undersöka hur stora besparingar i energi och kostnad en butik skulle göra genom att ersätta befintliga kylbatterier med HEALEX bör en studie där HEALEX installeras i flera typer av kyldiskar utföras. Vid genomförandet av en sådan studie är det önskvärt att HEALEX installeras i hela kyldisken så att det är möjligt att studera hur variationer för olika parametrar som uppstår i verklig drift påverkar funktionen och prestandan för såväl värmeväxlaren HEALEX som för kyldisken.

Ett arbete där köldbärartemperaturen in till befintliga kylbatterier justeras för att optimera kylkapacitet och temperatur i disken bör göras innan HEALEX installeras i kyldisken. Först då kan den verkliga energibesparingen enbart på grund av värmeväxlarbyte i butiken uppskattas.

Behovet av avfrostning bör undersökas ytterligare i butik. Resultaten från denna studie indikerar att avfrostning inte behövs men en studie där HEALEX körs utan tidsinställd avfrostning eller med längre intervaller mellan avfrostningarna vore önskvärt.

11 Referenser

(2014). "Europaparlamentets och rådets förordning (EU) nr 517/2014 om flourerade växthusgaser och om upphävande av förordning (EG) nr 824/2006." Europeiska unionens officiella tidning **L 150/195**: 136

Axell, M., (2002), "Vertical display cabinets i supermarkets-Energy effeciency and the influence of air flows", *Doctoral Thesis*, Chalmers University of Technology, p 84

Fahlén, P., (2003), "Butikskyla" SP Rapport 2000:03, Borås, Sverige

Haglund-Stignor, .,(2009). Laminar-flow Liquid-to-air Heat Exchangers - Energy-efficient Display Cabinet Applications, *Doctoral Thesis*, Lund Institute of Technology.

Haglund Stignor,C., Santana, O., Larsson., (2015). "New type of energy effeciency heat exchanger for indirectly cooled display cabinets" International Congress of Refrigeration 2015, Yokohama. P.No. 790.

Jensen, S., Ruud, S., Rolfsman, L., Lindberg, U., (2014) "KONCEPTBUTIKEN SOM NÄRMAR SIG NOLL - FÖRSTUDIE", Låganrapport november 2014,

Haglund Stignor, C., Sundén, B., Fahlén, P., (2009) "Energy Efficient Flat-Tube Heat Exchangers for Indirectly Cooled Display Cabinets, International Journal of Refrigeration, Vol 32, No. 6, p. 1460-1471.

12 Projektets vetenskapliga publikationer

Haglund Stignor, C., Tiljander, P., Lindberg, U., Lidbom, P., Axell, M., Masgrau, M., (2018), Paper ID 0028“New Type of Energy Efficient Heat Exchanger for Indirectly Cooled Display Cabinets – Laboratory and Field Tests”, 5th IIR Conference on Sustainability and the Cold Chain (ICCC2018), April 6-8, 2018, Beijing, China

13 Projektets populärvetenskapliga publikationer och presentationer

Jensen, S., 2015-10-05, Göteborg, Kyl & värmepumpdagen 2015

Jensen, S., 2015, Utvärdering av innovativ värmväxlare i kyldisk för effektivare energianvändning i butiker, *Kyla + Värmepumpar*, 2015:7, s. 45-46

Jensen, S., 2016-05-18, Tranås, Effsys Expands forskarkonferens


Jensen, S., 2016-09-14, Göteborg, Kyl & värmepumpdagen 2016

Haglund Stignor, C., 2018-04-18, Tranås, Effsys Expands forskarkonferens

Tiljander P., Innovativ värmväxlare i kyldisk ger effektivare energianvändning i butiker, *KYLA&VÄRME*, 2018:3

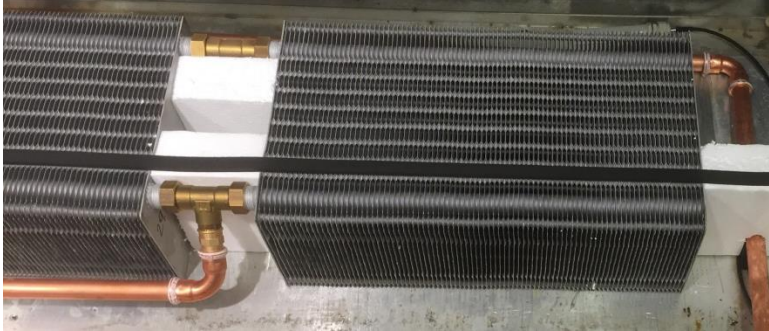
Bilaga A. Beskrivning av kylbatteri

Tabell 1

Dimensioner VVX 1	
Höjd	100 mm
Bredd	2260 mm
Djup	400 mm
Avstånd mellan flänsar	84st/50cm (6mm)
Antal flänsar	374
Flänstjocklek	1 mm
Antal rör, höjdled	2
Antal rör, djupled	4
Antal parallella kretsar	2
Yttre rördiameter	
	

Tabell 2

Dimensioner HEALEX värmeväxlare	
Höjd	150 mm
Bredd	1911 mm
Djup	270 mm
Avstånd (mellan ett par av plattor till nästa par)	2,65 mm
Antal par av plattor	720
Plattornas tjocklek	0,25 mm



Bilaga B. Nomenklatur

\dot{Q} = kyleffekt (kW)

Δt_{kb} = Differensen i köldbärartemperatur efter och före värmeväxlaren (°C)

$c_{p_{kb}}$ = Specifik värmekapacitet köldbärare (kJ/kgK)

h = entalpi luft (kJ/kg)

C_i = konstanter

q_{kb} = köldbärarflöde (kg/s)

RH = Relativ luftfuktighet (%)

Bilaga C. Givarförteckning och placering

Tabell 1

Instrument	SP inventarienummer
Pulslogger (ansluten till flödesmätare)	Serie nr. PR09420017
Flödesmätare Kamstrup MP115	Serie nr.52119453
Difftryckgivare vätska	900 703
Difftryckgivare luft	900 569
Kombinerade givare för temperatur och relativ fuktighet, 7 st.	
Temperaturgivare Pt100 Klass A, 7 st.	

Tabell 2

Device ID	Invnr/sn. logger	Benämning	Mätposition, fabrikat
2	900527	Elpuls	Elmätare EJ AKTUELL bedömer att fläktfel kan ses på temp i disk
17	PR09420017	q _m Flowpuls som beräknas till m ³ /h eller kg/s	Returledning efter vvx. Pulslogger ansluten till flödesgivare Kamstrup MP115 sn.52119453
18	900703	Diffp_brine/ dP _b	Difftryckgivare vätska brine över vvx med mätpositioner enligt foto. Invnr 202864
12	900569	Diffp_luft/ dP _{air}	Difftryckgivare luft mätpunkter före vvx & atmosfär

13	900604	Tkbin/ Θ_i	Köldbärartemperatur, T-rör tillopp före vvx. Pt100 Klass A
15	900605	Tkbut/ Θ_o	Köldbärartemperatur, T-rör retur efter vvx. Pt100 Klass A
3	900391	Ext1/ $\Theta_{a\ in}$	Lufttemp. Efter vvx position vänster. Pt100 Klass A
4	900598	Ext2/ $\Theta_{a\ in}$	Lufttemp. Efter vvx position höger. Pt100 Klass A
1	900610	Ext3/ $\Theta_{a\ out}$	Lufttemp. Före vvx position vänster. Pt100 Klass A
6	900614	Ext4/ $\Theta_{a\ out}$	Lufttemp. Före vvx position höger. Pt100 Klass A
		VVXin	Beräknat medelvärde: (Ext1+Ext2)/2
		VVXut	Beräknat medelvärde: (Ext3+Ext4)/2
8	900525	Matpaket	På nedre hyllplan längst in till höger
21	900576	TRF4	13 cm från vänster gavelskarv, 12 cm från disktak. Monterad på bakplåt
21	900576	TRF4	Samma mätposition som ovan dvs temp-&RH-logger
7	900638	TRF5	20 cm från gavelskarv och 26 cm från bakplåt
7	900638	TRF5	Samma mätposition som ovan dvs temp-&RH-logger
11	PR072800083	TRF6	13 cm från gavelskarv och 47 cm från bakplåt
11	PR072800083	TRF6	Samma mätposition som ovan dvs temp-&RH-logger
5	900513	T7	135 cm från h gavel 47 cm från bakplåt.

16	900571	TRF7	13 cm från plåttak 13 cm från h gavel Monterad på bakplåt
16	900571	TRF7	Samma mätposition som ovan dvs temp-&RH-logger
9	900398	TRF8	15 cm från höger gavel, 26 cm från bakplåt.
9	900398	TRF8	Samma mätposition som ovan dvs temp-&RH-logger
14	900637	TRF9	15 cm från höger gavel, 47 cm från bakplåt.
14	900637	TRF9	Samma mätposition som ovan dvs temp-&RH-logger
10	PR07280052	TRF10	1,6 m från golv på baksida skylt "Kyckling" 1,45m från höger gavel
10	PR07280052	TRF10	Samma mätposition som ovan dvs temp-&RH-logger



Figur 8 Placering av temperatur/luftfuktighetsgivare (TRF) och temperaturgivare (T) i kyldisk

Bilaga D. Information om butiken

ALLMÄN INFORMATION		
Butikens namn	Hemköp Kortedala Torg	
Adress	Kortedala Torg 9	
Postnummer Ort	41510 Göteborg	
Land	Sverige	
BUTIKENS EGENSKAPER		
Total yta, A_{tot}	2285.4	m ²
Försäljningsyta, $A_{sälj}$	1621.2	m ²
Takhöjd	3300	m
Volym luft i butik, $V_{sälj}$ (försäljningsytan)	6072	m ³
Byggnadsår	1970-1980, renoverad våren 2015	
Fristående byggnad	Nej	
ÖPPETTIDER		
Vardag	07:00-23:00	
Lördag	07:00-23:00	
Söndag	07:00-23:00	
Helgdag	07:00-23:00	