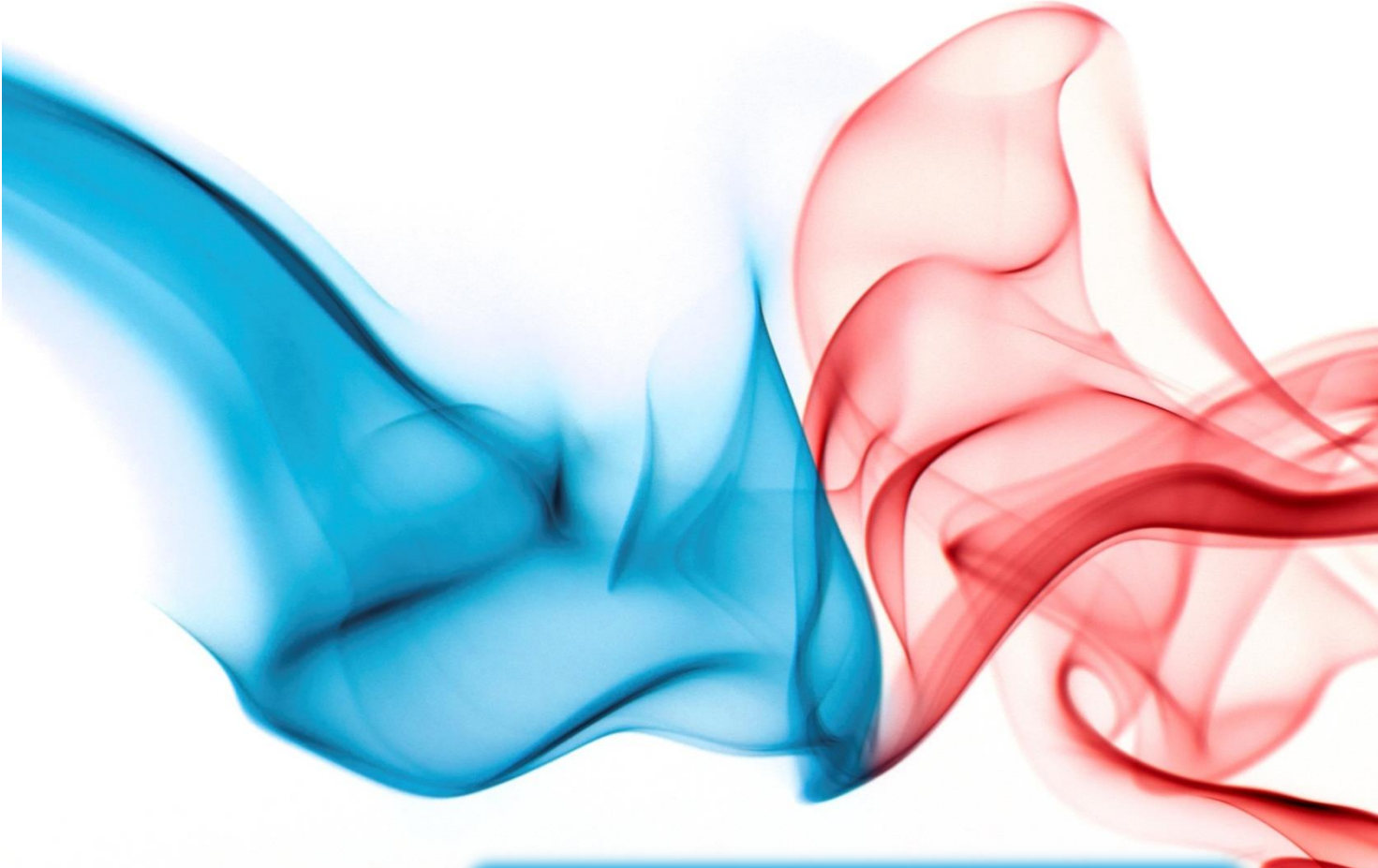


# ***Energieffektiviseringspotentialer i professionella kök***

## ***– Restaurangkök***



**”Nätverket BELIVS är ett ledande nätverk som skapar värde, ökar kunskapen och verkar för energieffektivisering i livsmedelslokaler. ”**



**BELIVS Innovationskluster**

*Respektive författare ansvarar och står för innehållet i denna rapport*

**Energieffektiviseringspotentialer i professionella kök  
- Restaurangkök**

**Energy efficiency potential in professional kitchens  
- Restaurant kitchen**

Markus Lindahl, Lennart Rolfsman, Peter Lidbom

Projektnummer: BP12

År: 2017

## Beställargruppens medlemmar

The logo for axfood, featuring the word 'axfood' in a lowercase, sans-serif font. The 'a' is black, 'x' is black, 'f' is black, 'o' is red, and 'o' is green.

Axfood AB

The logo for Bergendahls Food, featuring the name 'Bergendahls' in a blue, cursive script font, with 'FOOD' in a green, uppercase, sans-serif font below it.

Bergendahls Food AB

The logo for City ICA, featuring the word 'City' in a red, bold, sans-serif font, with 'ICA' in a smaller red, bold, sans-serif font below it.

City Knalleland

The logo for Coop, featuring the word 'coop' in a green, lowercase, sans-serif font.

Coop Sverige AB

The logo for ICA, featuring the word 'ICA' in a red, bold, sans-serif font.

ICA AB

The logo for IKEA, featuring the word 'IKEA' in a blue, bold, sans-serif font, with a registered trademark symbol (®) to the right.

IKEA

The logo for Max, featuring the word 'MAX' in a red, bold, sans-serif font, with a registered trademark symbol (®) to the right.

Max Hamburgerrestaurang

**BELIVS Innovationskluster**  
SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut  
Box 857, 501 15 Borås  
[www.belivs.se](http://www.belivs.se)  
[belivs@sp.se](mailto:belivs@sp.se)

## Sammanfattning

De professionella kökens energibehov skiljer sig markant från andra lokalers. I köken har man ofta behov av att både värma och kyla, många gånger samtidigt. Dessutom har man ett ökat behov av ventilation för att undvika matos och transportera bort ånga och överskottsvärme. Detta gör att energianvändning och energisystemens uppbyggnad skiljer sig från andra lokalers, vilket medför att man behöver se över kökens energisystem separat.

Det finns förhållandevis få publicerade mätningar av energiströmmarna i professionella kök. Det här projektet omfattar två kök, ett restaurangkök från IKEA och en snabbmatsrestaurang från Max Hamburgerrestauranger. Det delprojektet som presenteras i den här rapporten syftar till att dels kartlägga energiflödena i en IKEA-restaurang för att identifiera möjliga besparingsåtgärder, dels demonstrera exempel på energibesparande åtgärder tillsammans med kostnadskalkyler. Målet är att vid ombyggnation ska mängden köpt energi minska med 25 % jämfört med energiförbrukningen före ombyggnationen.

Mätningar och energikartläggning har utförts i restaurang och kök på IKEA Uppsala. För att värma lokal och tappvarmvatten används värmepumpar kopplade till ett borrhållslager. Köket har ett kylsystem bestående av åtta kompressorer som förser kyl- och frysrum samt kylmontrar med kyla. Totalt förbrukar kök och restaurang 640 MWh el och 3500 m<sup>3</sup> vatten per år, varav 1200 m<sup>3</sup> är varmvatten. De största elförbrukarna i köket är diskmaskin, ugnar ventilation och kylsystem.

Kylsystemet använder idag R404A som köldmedium. F-gasförordningen medför att köldmediet kommer behöva bytas ut inom några år. I samband byte är det också ett bra tillfälle att se över energieffektiviteten. Sex renoveringsalternativ för kylsystemet har tagits fram och analyserats i projektet. De mest energieffektiva lösningarna har en energibesparingspotential på ca 35 % jämfört med idag, störst energibesparing fås genom att gå över till varvtalsstyrda kompressorer och slå samman systemen så färre kompressorer behövs. Investeringskostnaderna vid ombyggnation riskerar dock att bli höga i förhållande till besparingen i driftsenergi, vilket gör det svårt att få lönsamhet i renoveringen om den görs av enbart ekonomiska skäl.

Totalt har sex energibesparande åtgärder analyserats i projektet. Störst energibesparing ger en ombyggnation av kylsystemet som kan minska elförbrukningen med 40 MWh/år eller 6 % av kökets totala elförbrukning. Om alla analyserade åtgärder genomförs beräknas restaurangen kunna spara 14 % av elen till kök och restaurang, jämfört med om inga åtgärder genomförts.

**Nyckelord: Energibesparing, Energimätning, Professionella kök, Kommersiella kök, F-gasförordningen**

## Summary

The energy demands in professional kitchens are significantly different compared to demands in other facilities. In a kitchen you will often have both heating and cooling demands, many times simultaneously. Besides, the kitchen has an increased need for ventilation to prevent cooking smells and carry away vapor and excess heat. The use of energy and the construction of the energy systems in the kitchen differ compared to other facilities, thereby one has to look into the kitchen's energy system separately.

There are relatively few published measurements of the energy flows in professional kitchens. The project includes two kitchens, one restaurant kitchen from IKEA and one fast food restaurant from Max Hamburgerrestauranger. The partial project presented in this report aims both to identify and measure the energy flows in the IKEA restaurant kitchen and to demonstrate examples of energy saving actions in combination with cost calculations. The energy saving goal in the project is that the brought energy for the renovated restaurant will be 25 % lower compared to the energy consumption before the renovation.

Measurements and mapping of the energy flows have been done in a restaurant and kitchen at IKEA Uppsala. In order to heat the building and produce domestic hot water ground source heat pumps connected to borehole storage are used. The kitchen has a cooling system based on eight compressors producing cooling to cold storage rooms both at refrigerator and freezer temperatures. In total the kitchen consumes 640 MWh electricity and 3500 m<sup>3</sup> water, of which 1200 m<sup>3</sup> is domestic hot water. The largest electricity consumers in the kitchen are the dish washer followed by ovens, ventilation and cooling system.

The cooling system uses R404A as refrigerant today. The F-gas regulation will lead to the replacement of the refrigerant within a few years. In connection to the change of refrigerant it is a good opportunity to also look in to the energy efficiency of the system. Six renovation alternatives have been analyzed in the project. The most energy efficient solutions have a energy saving potential of approximately 35 % compared with today. The energy saving is related to a change to variable speed compressors and to put the individual systems together to larger systems and thereby reduce the number of compressors. The risk is that the investment cost related to reconstruction will be high compared to the energy savings. Thereby it will many times be hard to make the renovation profitable if it is done for economic reasons only.

In total six actions for energy saving has been analysed in the project. The largest energy saving is related to a reconstruction of the cooling system, which can reduce the electricity consumption with 40 MWh/year or 6 % of the kitchen's total energy consumption. If all actions analyzed are implemented the total energy saving will be approximately 14 % of the kitchen's total energy consumption.

**Keywords: Energy saving, Energy measurement, Professional kitchen, Commercial kitchen, F-gas regulation**

## Förord

Energimyndigheten startade BELIVS redan 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](http://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 branscher 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.

Datum: 2016-06-10

# Innehållsförteckning:

<b>Sammanfattning</b> .....	<b>4</b>
<b>Summary</b> .....	<b>5</b>
<b>Förord</b> .....	<b>6</b>
<b>Innehållsförteckning:</b> .....	<b>7</b>
<b>1 Inledning</b> .....	<b>8</b>
1.1 Syfte och mål .....	8
1.2 Avgränsningar .....	8
1.3 Projektorganisation.....	8
1.4 Tidsplan .....	8
1.5 Metod .....	9
1.5.1 Investeringskostnader .....	9
<b>2 Bakgrund</b> .....	<b>9</b>
2.1 Översikt IKEA Uppsala .....	11
2.1.1 Energiförsörjning IKEA Uppsala .....	11
<b>3 Energianvändning IKEA Uppsala</b> .....	<b>12</b>
3.1 Datainsamling .....	12
3.1.1 El.....	12
3.1.2 Vatten.....	12
3.1.3 Temperatur .....	12
3.1.4 Kompressorer kyl och frys .....	12
3.1.5 Ventilation .....	12
3.2 Översikt elförbrukning .....	13
3.3 Vattenförbrukning.....	14
<b>4 F-gasförordningen och dess påverkan på kyl- och frysrum</b> .....	<b>15</b>
4.1 F-gasförordningen.....	15
4.2 Kyl och frysrum .....	16
4.2.1 Fyllnadsmängd köldmedium.....	17
4.3 Förbättringsförslag kylsystemet.....	18
4.3.1 Modellering av kylsystemets energianvändning.....	20
4.3.2 Energibesparing .....	20
4.3.3 Kostnadsberäkningar .....	21
4.3.4 Känslighetsanalys av nuvärdesberäkningarna.....	24
4.3.5 Övriga aspekter för investeringsbeslut.....	25
4.4 Uppföljande mätningar på kylsystem med CO <sub>2</sub> som köldmedium .....	25
<b>5 Förslag på energibesparande åtgärder</b> .....	<b>26</b>
5.1 Ombyggnation av kylsystemet.....	26
5.2 Värmning av köldbäraren till värmepumparna .....	27
5.3 Förkortad drifttid köksapparater.....	27
5.4 Byte av fritös .....	29
5.5 Byte av roll-in kylskåp.....	29
5.6 Belysning restaurang.....	30
5.7 Sammanfattning energibesparingsförslag .....	30
<b>6 Slutsatser</b> .....	<b>31</b>
<b>7 Rekommendationer för energibesparing i kök</b> .....	<b>32</b>
<b>8 Litteraturreferenser</b> .....	<b>33</b>

# 1 Inledning

Energianvändningen är idag hög i professionella kök och det finns en önskan att minska energianvändningen kopplad till köken. Samtidigt finns det förhållandevis få publicerade kartläggningar av energiströmmarna i professionella kök. Det här projektet syftar till att dels kartlägga energiflödena i köket för att identifiera möjliga besparingsåtgärder, dels demonstrera exempel på energibesparande åtgärder tillsammans med kostnads kalkyler.

I projektet som helhet ingår två typer av kök, en snabbmatsrestaurang från Max Hamburgerrestauranger och ett restaurangkök från IKEA. I den här rapporten redovisas mätningar, resultat och slutsatser kopplade till restaurangköket på IKEA.

## 1.1 Syfte och mål

Det övergripande målet med delprojektet är att initiera och demonstrera energieffektiviseringsåtgärder i en av IKEAs restaurangkök. Inom projektet ska man med hjälp av mätningar göra en kartläggning av energiflödena i restaurangen och med utgångspunkt från den visa på lämpliga besparingsåtgärder, såväl nya som redan genomförda. Projektet ska också visa på besparingspotentialen i relation till investeringskostnaderna. Slutligen ska projektet ta fram rekommendationer om lämplig anpassning av kyl- och fryssystem för att klara framtida krav från F-gasförordningen [2].

Målet är att vid ombyggnation ska mängden köpt energi minska med 25% jämfört med före en ombyggnation. Målgruppen för rapporten är restaurangägare, konsulter och installatörer av energikrävande utrustning i professionella kök.

## 1.2 Avgränsningar

- Projektet inkluderar kök och restaurang. Åtgärder kopplade till övriga delar av varuhuset eller byggnadsskalet har inte inkluderats i projektet.
- Produktutveckling med syfte att energieffektivisera enskilda apparater har inte inkluderats i projektet.
- Kostnader för energi, installationer etc. speglar den svenska marknaden. Kostnadsläge och energiprestanda i andra delar av världen inkluderas inte i projektet.

## 1.3 Projektorganisation

Projektet har drivits av SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut tillsammans med Max Hamburgerrestauranger AB och IKEA Fastigheter AB. Projekten har bestått av två separata delprojekt, ett för Max och ett för IKEA. Kunskapsutbyte mellan de två delprojekten har framförallt säkerställts genom att samma personer från SP har medverkat i båda delprojekten. Projektledare har varit Markus Lindahl från SP.

Projektgruppen för delprojektet kopplat till IKEA fastigheter har bestått av tre personer från SP och två personer från IKEA. IKEA har representerats av dels en person med ansvar för IKEAs fastigheter som arbetar centralt med bland annat energifrågor, dels en person som arbetar med fastighetsdrift på IKEA Uppsala. För installation och loggning av vissa mätare har underleverantörer använts.

## 1.4 Tidsplan

Projektet startade i januari 2015 och avslutas i juni 2017.



## 1.5 Metod

Baserat på mätningar och analys av data och annan relevant information från en IKEA restaurang har ett antal energieffektiviseringsåtgärder för kök och restaurang identifierats. Utifrån data har besparingspotentialen för de olika alternativen beräknats. Mätningarna har utförts i IKEA Uppsala, med vissa kompletterande mätningar i IKEA Umeå.

Fältnätning och energikartläggningen har skett med olika typer av mätare. Se kapitel 3.1 för detaljer om hur data har samlats in.

### 1.5.1 Investeringskostnader

Uppgifter om investeringskostnader bygger på verkliga offerter. Kostnaderna baseras inte på något medelpris utan ska ses som exempel på vad investeringen kan kosta.

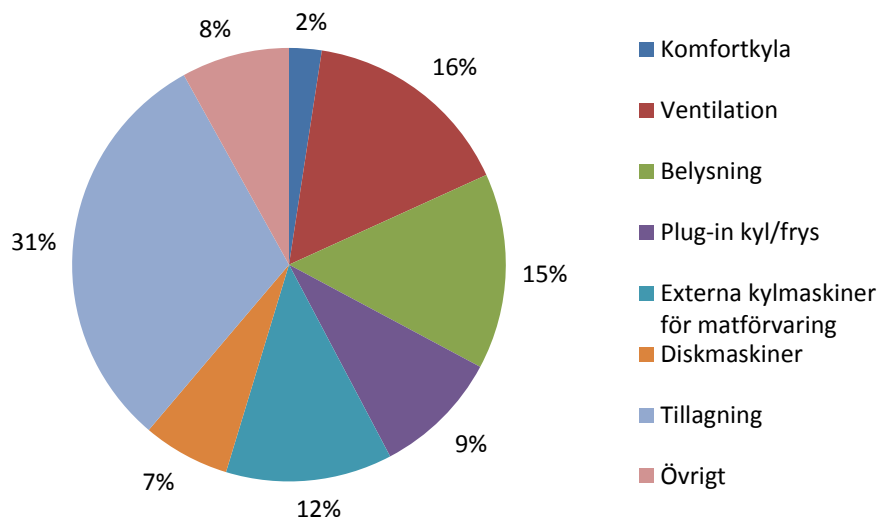
## 2 Bakgrund

De professionella kökens energibehov skiljer sig markant från andra lokalers. I köken har man ofta energiintensiv utrustning för matberedning samtidigt som man behöver livsmedelskyla i form av kyl- och frysrum. Dessutom har man ett ökat behov av ventilation för att undvika matos och transportera bort ånga och överskottsvärme. Detta gör att energianvändning och energisystemens uppbyggnad avsevärt skiljer sig från andra lokalers energianvändning, vilket medför att man behöver se över energisystemen till dessa lokaler separat. Historiskt har det varit lågt fokus på energianvändningen kopplad till köken, jämfört med andra delar av byggnaden och andra verksamheter.

Vid en genomgång 2009 [9] av tillgängliga studier som inkluderar energimätningar i professionella kök som har publicerats de senaste 10-15 åren visade det sig att det mer eller mindre saknades publikt publicerade mätningar och att de som fanns var gamla och troligen inaktuella. De senaste åren har det dock tillkommit några studier av energimätningar i kök. Studierna visar dock på stor spridning i resultat beroende på vilken typ av kök man har undersökt [7]. Detta indikerar att det fortfarande vore värdefullt med fler mätningar i professionella kök för att få en bättre helhetsbild.

I den så kallade Stil2 studien från 2011 [7] gjordes energiinventeringar i 148 statistiskt utvalda byggnader. Av dessa utfördes mätningar i totalt 43 kök varav 27 restauranger, 15 hotellkök och en samlingslokal. Syftet med studien var att kartlägga hur framförallt byggnadernas elförbrukning används. Användning av värme och varmvatten är inte kartlagt lika detaljerat i studien. Bland restaurangerna i studien hittar man alla typer av matberedning och matservice så som lunchrestauranger, lyxkrogar caféer, personalmatsalar och snabbmatsrestauranger. Studien visade att restaurangkökens energianvändning var hög jämfört med andra lokaler i studien. I medel var den specifika energianvändningen i restaurangerna  $360 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$  (exklusive uppvärmning), varav köken stod för merparten,  $210 \text{ kWh/m}^2$ . Medel för samtliga lokaler i studien var  $130 \text{ kWh/m}^2 A_{\text{temp}}$ . Studien visar också att det finns ett stort spann i den specifika elförbrukningen för restauranger, från ca  $150$  till  $750 \text{ kWh/m}^2$ . I Figur 1 nedan sammanfattas hur elförbrukningen fördelade sig på olika elförbrukare i restaurangerna enligt Stil2-studien.

### Specifik elanvändning restauranger (exkl. uppvärmning)



Figur 1. Specifik elanvändning i restaurangkök fördelat på elanvändare, baserat på data från Stil2 [7]

2014 genomförde SP på uppdrag av Belivs Innovationskluster en förstudie [8] för att föreslå åtgärder och mätningar i ett antal kök. Syftet med förstudien var att titta på möjligheten att minska energianvändningen i köken genom framförallt värmeväxling mellan olika energiflöden i köken. Även inom detta projekt konstateras att det saknas studier med uppmätta data för energiflödena i köket. I SPs rapport Storkök – Förstudie av energiförbrukning och livsmedelsvinn [9] har man samlat in information från tio skolkök med syfte att identifiera vilka parametrar som behöver mätas vid en kartläggning av energiflödena i ett storkök och var potentialen för energieffektivisering finns. I rapporten lyfter man fram följande områden för energieffektivisering:

- Värmeåtervinning från kyl/fryssystem
- Värmeåtervinning från avlopp
- Värmeåtervinning från ventilation
- Tidsstyrning av utrustning
- Engagemang hos personalen för minskad energianvändning i köken

Belok har tillsammans med Lokalförvaltningen i Göteborgs stad och Länsstyrelsen i Västra Götaland genomfört demonstrationsprojektet Energieffektiva storkök [10]. I Belokprojektet, som pågick mellan 2012 och 2015, har man fokuserat på Storkök som drivs av offentliga aktörer. Inom projektet tittade man på ombyggnation av två storkök, på Brunnsboskolan och på Sahlgrenska Universitetssjukhuset, båda i Göteborg. Man har också utfört flera beteendestudier för köken.

För Brunnsboskola beräknas energibesparingen, uttryckt i kWh/portion, för det nya köket jämfört med det gamla bli 85-90 % för värmen och 50 % för el [11]. De energibesparande åtgärder som identifierades i projektet och även bedömdes vara lönsamma att genomföra är värmeåtervinning av ventilationsluften, timerstyrning av värmerier och värmeskåp samt införandet av en display för energiavläsning med syfte att påverka personalens beteende. Däremot bedömdes t.ex. inte byte till LED-belysning vara en lönsam investering.

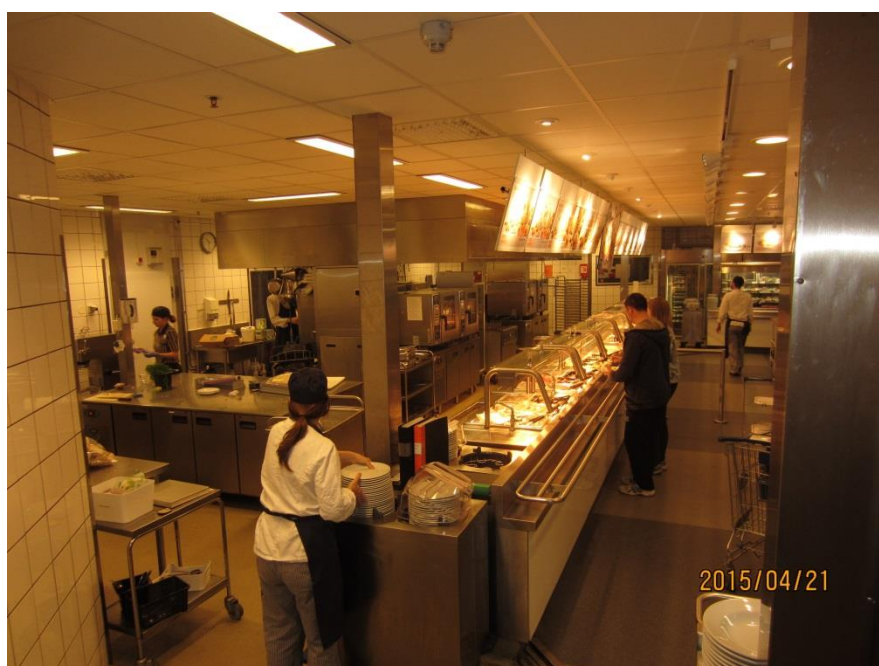
Under hösten 2016 startade de två innovationsklustren Belok och Belivs gemensamt upp ett fördjupningsområde för energieffektivisering i storkök. Under hösten genomförde man en gemensam workshop tillsammans med branschen för att identifiera intressanta arbetsområden för framtiden [12]. Detta arbete har ännu bara börjat men visar på att fokuset på energianvändningen i professionella kök ökar.

Situationen i våra grannländer Danmark och Norge verkar likna situationen i Sverige. Även där finns det få genomförda mätningar av energiflödena i kök utförda på senare tid. Lars

Bang-Jensen et.al. [13] gick 2011 igenom kunskapsläget för energibesparing i kommersiella kök i Danmark och konstaterar att kunskapen om energikonsumtionen och energibesparingspotentialen i köken är såväl begränsad som splittrad. Studien konstaterar också att situationen verkar vara den samma i andra Europeiska länder. Joe Harald Stand på Barnsjeforening for storkjøkkenleverandører i Norge [1] bekräftar att det är ont om undersökningar inom området även i Norge.

## 2.1 Översikt IKEA Uppsala

Nollmätningen och energikartläggningen har utförts i ett restaurangkök i IKEA Uppsala. Restaurangdelen har ca 560 sittplatser och ingår som en del av varuhuset. Utöver huvudrestaurangen finns också en personalmatsal i direkt anslutning till restaurangköket samt en bistro med enklare rätter i anslutning till utgången och kassorna. Varuhuset öppnade 2009 och är på totalt 36 000 m<sup>2</sup>. Av dessa står kundrestaurang och kök för ca 1800 m<sup>2</sup>, personalmatsalen omfattar 300 m<sup>2</sup> och bistron knappt 200 m<sup>2</sup>.



Figur 2. Köket på IKEA Uppsala

Resturangens öppettider har sammanfattats i Tabell 1 nedan.

Tabell 1. Öppettider restaurangen IKEA Uppsala

Öppettider	
Mån-Fre	09:30-19:30
Lör-Sön	09:30-17:30

### 2.1.1 Energiförsörjning IKEA Uppsala

Uppvärmning och kylning av varuhuset sker med bergvärme. Varuhuset har två värmepumpar för att producera rumsvärme samt en specifik värmepump för produktion av tappvarmvatten. Värmepumparna för rumsuppvärmning används även för att producera komfortkyla på sommaren. Kopplat till värmepumparna finns ett borrhålslager som utgör mediakälla för såväl värme som kylproduktion. Som komplement finns två elvärmepannor som producerar spetslastvärme vid låga utomhustemperaturer.

Kopplat till restaurang och bistro finns ett kylsystem som inkluderar totalt 8 kylkompressorer som levererar kyla till kylrum, frysrum och ett antal kylmontarar/kylbänkar samt ett nedfrysningsskåp. Köldbärarsystemet som används som kylkälla värmeväxlas mot borrhålslagret. Det gör att värmen från kylsystemet kommer huset till godo och ökar effektivitet hos värmepumparna som producerar värme. Dessutom ger borrhålslagret en förhållandevis låg temperatur på köldbärare till kylsystemet vilket har en positiv effekt på kylsystemets effektivitet.

## **3 Energianvändning IKEA Uppsala**

### **3.1 Datainsamling**

Fältmätning och energikartläggningen har skett med olika typer av mätare. Nedan följer en sammanfattning av hur data för respektive energislag har samlats in. Generellt har IKEA ett förinstallerat mätsystem som loggar ett antal parametrar kopplat till elförbrukning, temperaturer, vattenförbrukning mm för olika delar av installationsutrustningen så som ventilation, kylsystem och värmeproduktion. Att kök och restaurang är en integrerad del av varuhuset gör det svårt att dra tydliga systemgränser mellan kök/restaurang och övriga delar av verksamheten. Få av de loggade parametrarna är specifikt kopplade till restaurangverksamheten.

#### **3.1.1 EI**

Data på elförbrukningen har hämtats från två typer av elmätare: IKEA egna elmätare som loggar elförbrukningen kopplad till olika delar av varuhusets verksamhet. Grunduppsättning av elmätare har för det här projektet kompletterats med fast installerade elmätare för att mäta el till diskmaskin och tappvarmvattenproduktion. Som komplement till detta har SP installerat tillfälliga elmätare på ett antal köksapparater.

#### **3.1.2 Vatten**

Vattenförbrukning för kök och bistro har loggats på timbasis av IKEAs förinstallerade mätsystem.

#### **3.1.3 Temperatur**

Temperatur i kyl och frysrum, på köldbärare med mm loggas av förinstallerade mätare på IKEA. I vissa fall där mätare saknas har dessa kompletteras med tillfälligt installerade temperaturmätare installerade av SP och IKEAs personal.

#### **3.1.4 Kompressorer kyl och frys**

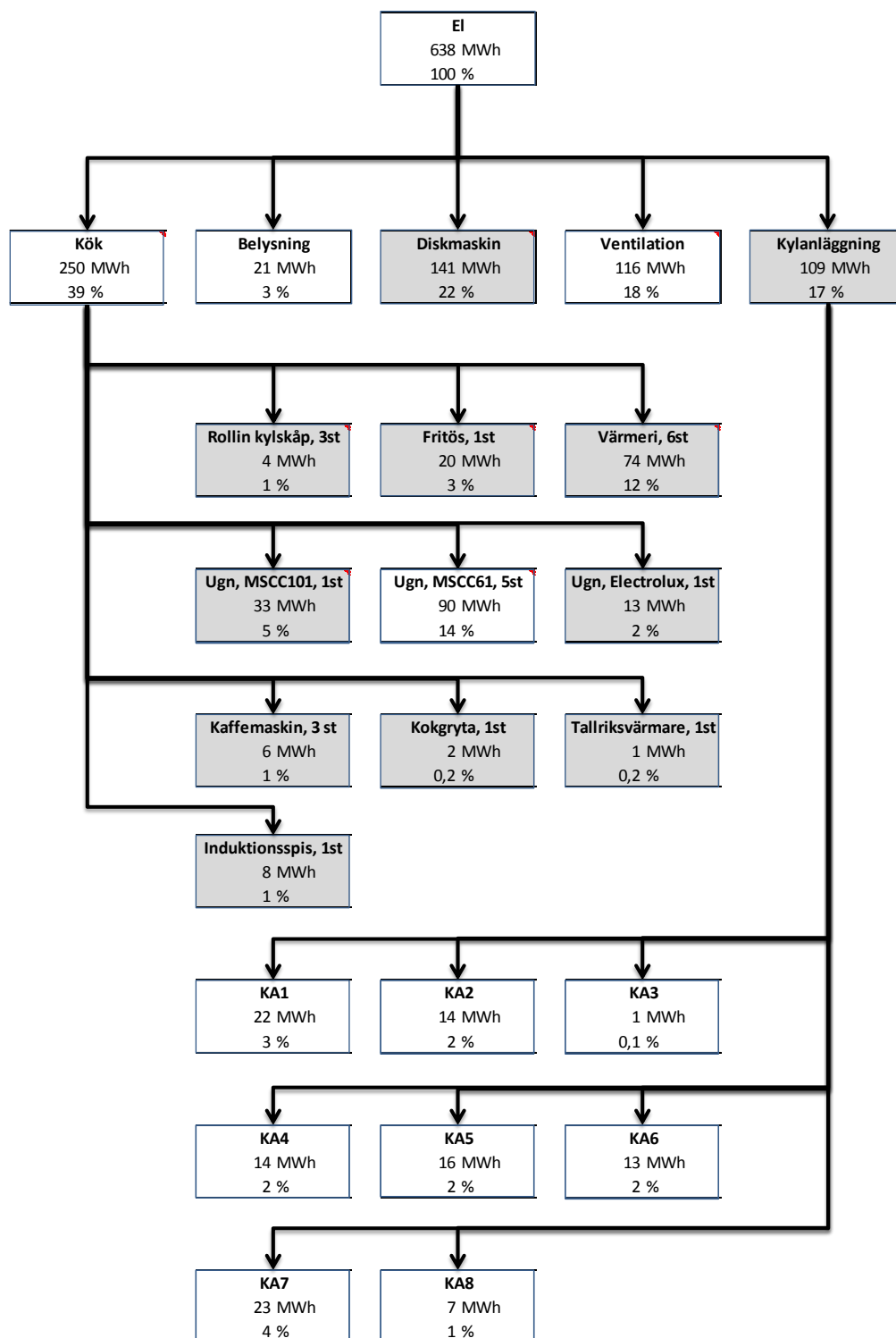
En separat mätning av prestanda hos kompressorerna till kyl- och frysrum har utförts av ClimaCheck. Mätningen inkluderar ett antal parametrar i kylprocessen med syfte att ge en tydlig bild av kylsystemets prestanda. Som komplement loggar IKEAs mätsystem den totala elförbrukningen kopplad till kylsystemet.

#### **3.1.5 Ventilation**

Data om ventilationssystemets prestanda har hämtats från IKEAs förinstallerade mätsystem

### 3.2 Översikt elförbrukning

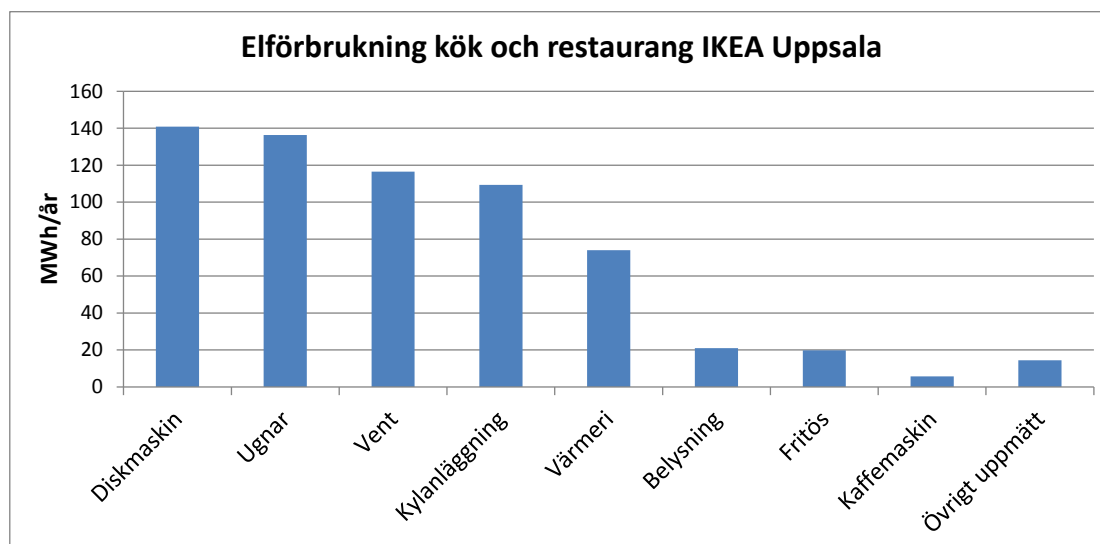
Figur 3 visar en översikt över hur elförbrukningen fördelas på olika elanvändare i IKEA Uppsala. Data i de grå boxarna är baserade på mätningar medan data i de vita boxarna baseras på beräkningar. För många av köksapparaterna har elförbrukningen mätts under ett antal veckor, elförbrukningen har sedan skalats upp för att motsvara årsförbrukningen. Angivna procentsatser avser procent av den totala elförbrukningen. El till värmepumpar för att värma och kyla lokalen samt för att värma tappvarmvatten är inte inkluderad.



Figur 3. Översikt årlig elförbrukningen i kök och restaurang för IKEA Uppsala (MWh/år)

Eftersom kök och restaurang ingår som en del i byggnaden är det svårt att ha tydliga systemgränser vid mätningarna så att el kopplat till kök och restaurang inkluderas medan övriga delar inte ingår.

För ventilation finns en förinstallerad elmätare, den inkluderar dock även ventilation till vissa andra delar av byggnaden än kök och restaurang. Elförbrukningen kopplad till ventilationen för kök och restaurang har därför uppskattats baserat på golvarea för hur stor andel av elenergin som ska allokeras till kök och restaurang samt antaganden om köksfläktarna. Det totala elförbrukningen kopplat till köket (250 MWh, se Figur 3) inkluderar samtliga uppmätta elförbrukare men inte elförbrukningen för de apparater som inte har inkluderats i mätningen. Den verkliga energianvändningen kopplad till köket är därför större än vad som uppmätts.

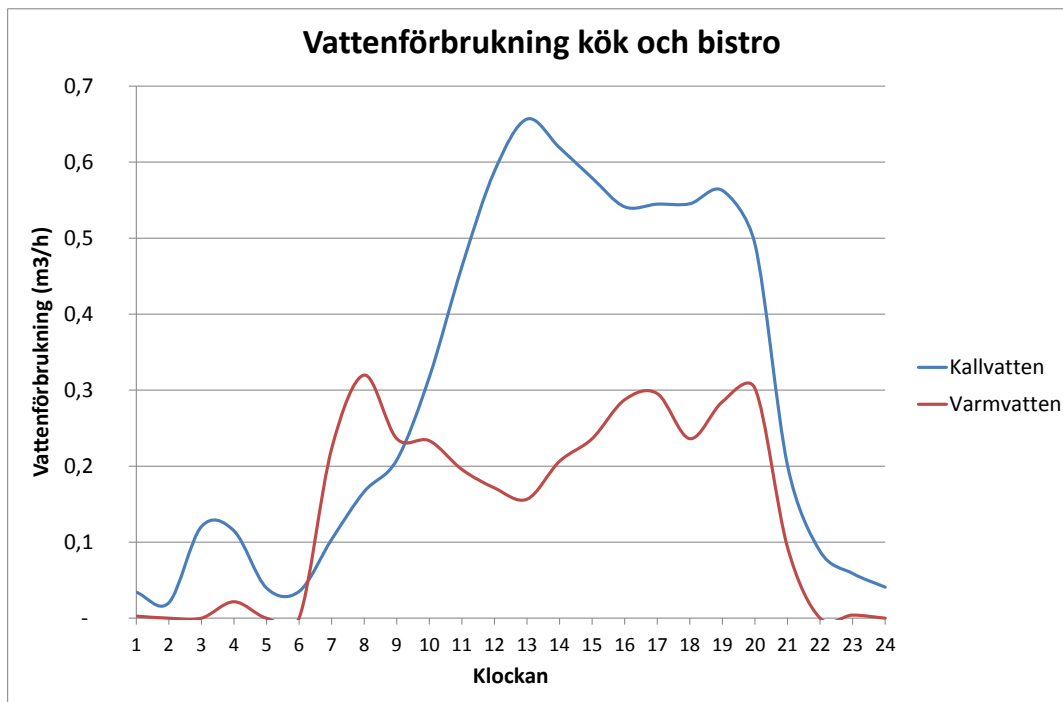


Figur 4. Årlig elförbrukningen i kök och restaurang för IKEA Uppsala fördelat på respektive elförbrukare.

### 3.3 Vattenförbrukning

Vattenförbrukningen till kök och bistro har mätts på timbasis med IKEAs förinstallerade mätare. I medel förbrukas 3,3 m<sup>3</sup> varmvatten och 6,3 m<sup>3</sup> kallvatten per dygn, vilket motsvarar 1200 m<sup>3</sup> varmvatten och 2 300 m<sup>3</sup> kallvatten per år. Förbrukningen av varmvatten är därmed drygt hälften så stor som kallvattenförbrukningen. Varmvattnet produceras med en bergvärmepump som enbart används för produktion av tappvarmvatten.

I Figur 5 visas hur vattenförbrukningen fördelar sig över dygnet. Under morgontimmarna (07:00-09:00) är varmvattenförbrukningen högre än kallvattenförbrukningen medan varmvattenbehovet dagtid är knappt hälften så stor som kallvattenbehovet. Nattetid sjunker varmvattenförbrukningen till nära noll medan det hela dygnet finns en viss kallvattenförbrukning.



Figur 5. Dygnsfördelning, kall- och varmvattenförbrukningen i kök och bistro per timme baserat på medeldata från två års mätningar (nov 2013 till nov2015).

## 4 F-gasförordningen och dess påverkan på kyl- och frysrum

### 4.1 F-gasförordningen

1 januari 2015 trädde F-gasförordningen [2] i kraft. Det huvudsakliga syftet med EU-förordningen är att skydda miljön genom att minska utsläppen av fluorerande växthusgaser (F-gaser) inom EU. Förordningen inkluderar ett kvotsystem som är tänkt att stegvis minska klimatpåverkan från användning av F-gaser, se Tabell 2 nedan. Idag är medelvärdet för klimatpåverkan, det så kallade GWP-värdet, på de köldmedier som finns på den svenska marknaden 2322 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter/kg köldmedia [4]. Nedfasningen som beslutats i F-gasförordningen medför att medelvärdet av klimatpåverkan (GWP) från de F-gaser som säljs på marknaden successivt ska minska. År 2030 ska förbrukningen av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (CO<sub>2</sub>e) vara nere i 21 % jämfört med 2015 års nivå. Detta kommer leda till brist och därmed högre priser på köldmedier med högt GWP, t.ex. R404A som är ett vanliga köldmedia i kyl- och frysanläggningar idag. Även köldmedier som har ett medelhögt GWP kommer med stor sannolikhet bli dyra att användas så snart nedfasningen passerat nivån för det aktuella köldmediet (t.ex. år 2021 för ett köldmedium som R134A med ett GWP på 1430).

Tabell 2. Nedfasningsplan av f-gaser.

År	Nedfasning (%)	Medel GWP* (kg CO <sub>2</sub> e/kg)
2015	100 %	2322
2016-17	93 %	2159
2018-20	63 %	1463
2021-23	45 %	1045
2024-26	31 %	720
2027-30	24 %	557
2030	21 %	488

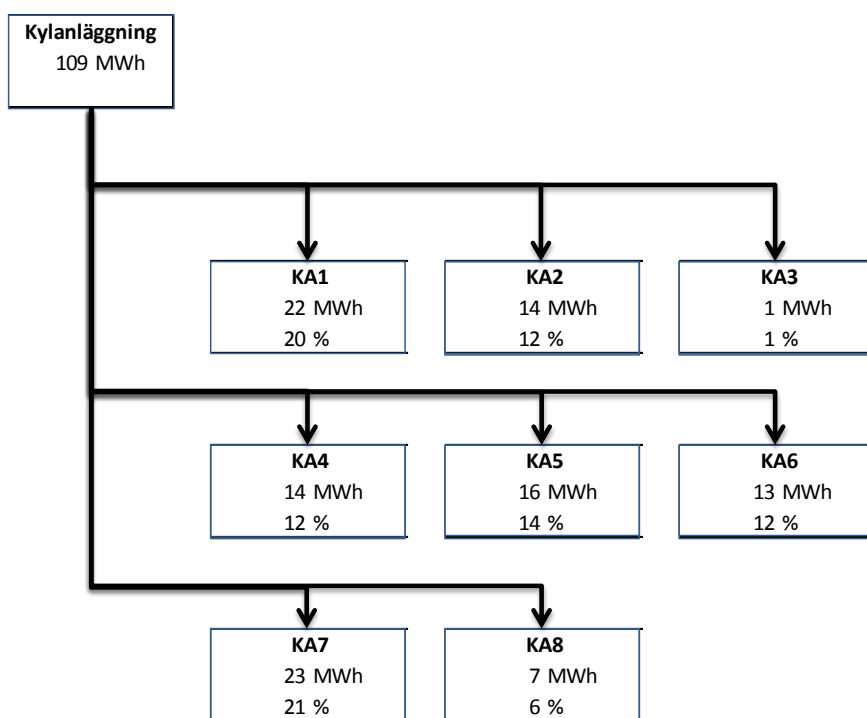
\* OBS Uppskattning av medel-GWP på de köldmedier som säljs på den svenska marknaden, baserad på medelvärdet av klimatpåverkan (GWP) idag på 2322, ej beslutade värden enligt F-gasförordningen.

Från 2020 får stationära kylsystem med köldmedier med GWP över 2500 (t.ex. R404A) inte längre säljas. Vidare kommer inte nytt köldmedium med en GWP-faktor på 2500 eller mer få användas till service eller underhåll av kylutrustning med en fyllningsstorlek på 40 ton koldioxidekvivalenter eller mer. Regenererat eller återvunnet köldmedium får dock användas fram till 2030 [6].

## 4.2 Kyl och frysrum

IKEAs kylsystem i Uppsala består av åtta kompressorer som förser kyl-, frysrum samt kylmontrar med kyla. Generellt förser en kompressor ett eller några frys- eller kylrum med kyla. Totalt finns tre frysrum, sex kylrum och ett antal kylmontrar/kylbänkar dessutom finns ett nedkylningsskåp. Som köldmedium används R404A som är en stark växthusgas och omfattas av F-gas förordningen, se kapitel 4.1.

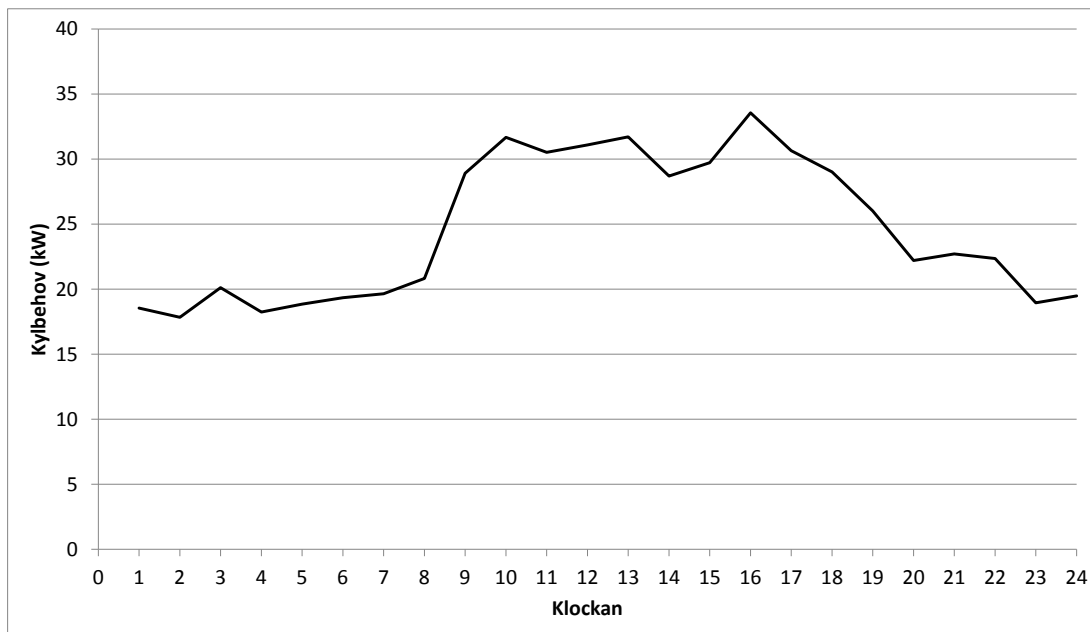
Nedan visas en översikt av energianvändningen till kyl- och frysrum fördelat på respektive kompressor. Årsförbrukningen för respektive kompressor är en uppskattning baserat på mätningar av kylsystemets totala elförbrukning kompletterat med mätningar av respektive kompressor under en kortare del av året.



Figur 6. Översikt elanvändning fördelat på respektive kompressorer för kyl- och frysrum

I Figur 7 visas hur det beräknade totala kylbehovet till kyl- och frysrum och kylmontrar varierar över dygnet baserat på uppmätta värden.





Figur 7. Dygnsfördelning av totalt uppmätt kylbehov för IKEA Uppsala

Analys av kylsystemet har utförts baserat på mätningar med hjälp av ClimaChecks utrustning kompletterat med mätningar av systemets totala elförbrukning under året. Dagens kompressorer är icke-varvtalsstyrda vilket gör att kompressorerna slår av och på för att matcha kylproduktionen med behovet. En analys visar att för framförallt kylkompressorerna är den installerade kyleffekten stor i förhållande till det verkliga kylbehovet, fryskompressorerna är bättre dimensionerade. En stor installerad effekt i förhållande till behovet leder till instabil drift med många starter och stopp för kompressorerna. Flertalet av kompressorerna på IKEA Uppsala uppvisar en instabil drift med många start och stopp. Det överdimensionerade systemet gör också att förångningstemperaturerna blir låga, med minskad effektivitet på kompressorerna som följd.

Tack vara att köldbäraren värmeväxlas mot borrhålslagret som används för att förse fastigheten med värme kan kondenseringstemperaturen i systemet hållas låg, samtidigt kommer värmen från kylkompressorerna indirekt värmesystemet till godo genom att öka temperaturen i borrhålen. Den låga kondenseringstemperaturen är lägre än vad systemet är dimensionerat för. Det är generellt bra med en låg kondenseringstemperatur då det gör att kyleffekten ökar, men i det här fallet där systemet är överdimensionerat förstärks den effekten i och med att kyleffekten ökar ytterligare.

Analysen visar att fryskompressorerna är bättre anpassade till kylbehovet än vad kylkompressorerna är. Den installerade effekt för frysrumsrummen är förhållandevis rätt medan flera av kompressorerna till kylrummen är överdimensionerade. För frysrumsrummen är den dimensionerade effekten ca 5 % större än den beräknade kyleffekten vid maximalt frysbehov. För kylrummen är däremot den dimensionerade effekten drygt 50 % större än vad som beräknats som maximalt kylbehov under året.

#### 4.2.1 Fyllnadsmängd köldmedium

Alla kompressoraggregat på IKEA Uppsala förutom KA3 och KA5 har en fyllnadsmängd över 40 ton CO<sub>2</sub>-ekvivalenter se Tabell 3, där KA5 ligger precis under gränsen. Aggregaten med större fyllnadsmängd än motsvarande 40 ton CO<sub>2</sub>e får alltså inte fyllas på med nytt köldmedium efter 2020. Det betyder att en läcka i systemet kommer kräva akut konvertering till nytt köldmedium, eller byte av kylaggregat efter 2020. Notera att om det finns tillgång på regenererat köldmedium får detta användas.

Tabell 3. Fyllnadsmängd köldmedium och total GWP för kylaggregaten

Aggregat	R404A (kg)	GWP (ton CO <sub>2</sub> e)
KA1	15	59
KA2	11	43
KA3	7	27
KA4	12	47
KA5	10	39
KA6	16	63
KA7	17	67
KA8	15	59

Enligt dokumentation från kylinstallatören har 65 kg köldmedium fyllts på efter aggregaten togs i drift 2009, med andra ord har flera läckor redan inträffat.

### 4.3 Förbättringsförslag kylsystemet

I och med F-gasförordningen som medför att dagens köldmedium måste bytas ut från R404A till ett köldmedium med lägre klimatpåverkan är det ett bra tillfälle att se över hela kylsystemet och dess prestanda. Dagens system drar mycket energi samtidigt som den instabila driften sliter på kompressorerna.

I samråd med en kylfirma togs i första stegat fyra renoveringsförslag fram (se förslag 1-4 i Tabell 4 nedan). Dessa kompletterades sedan med två ytterligare alternativ (alternativ 5-6 i Tabell 4) som är varianter på de ursprungliga fyra med syfte att få en bra energibesparing men till en lägre investering. De olika förslagen innebar en varierande grad av ombyggnation, alltifrån att man enbart byter köldmedium till ett med lägre klimatpåverkan (ett så kallat drop-in köldmedium) till att hela systemet byggs om. Även ett indirekt kylsystem med propan som köldmedium skulle kunna vara ett alternativ, alternativet bedömdes dock som mindre relevant och togs bort ur analysen för att begränsa antalet alternativ.

Tabell 4. Föreslagna renoveringsalternativ för kylsystem IKEA Uppsala

Renoveringsalternativ	köldmedium	Beskrivning
1	R448A	De befintliga kompressorerna behålls. Byte av köldmedium till R448A för att klara framtida krav från F-gasförordningen.
2	R448A	Befintliga kompressorer byts ut mot nya varvtalsstyrda. Byte av köldmedium till R448A för att klara kraven i F-gasförordningen.
3	R448A	Dagens system där en kompressor förser ett frys- eller kylrum med kyla ersätts med två samanslagna system, ett för kyltemperatur och ett för frystemperatur. Nya varvtalsstyrda kompressorer används. Köldmedium R448A.
4	CO <sub>2</sub>	Byte av köldmedium till CO <sub>2</sub> , som inte omfattas av F-gasförordningen tack vare sitt låga GWP-värde. Dagens system där en kompressor förser ett frys- eller kylrum med kyla ersätts med ett sammanslaget system som sänker temperaturen i två steg, först till kyltemperatur och därefter till frystemperatur. Nya varvtalsstyrda kompressorer. Byte till CO <sub>2</sub> medför också att stora delar av det övriga systemet måste byggas om.
5	R448A	Systemet till kylrummen byggs om till ett gemensamt system med nya varvtalsstyrda kompressorer. Systemet till frysrummen behålls som det ser ut idag men de befintliga fryskompressorerna kompletteras med extern frekvensstyrning. Köldmedium R448A.
6	R448A	Befintliga kompressorer kompletteras med extern frekvensstyrning. Byte av köldmedium till R448A för att klara framtida krav från F-gasförordningen.

Värt att notera är att det inte råder någon konsensus i branschen för hur bra extern frekvensstyrning av kompressorerna fungerar. Vissa menar att det går utmärkt att göra denna komplettering i efterhand medan andra menar att det aldrig blir riktigt bra, utan att man i stället bör byta ut kompressorerna mot nya varvtalsstyrda.

I analysen har man i projektet räknat med R448A som drop-in köldmedium, här finns andra likvärdiga alternativ på marknaden t.ex. R449A. Ett drop-in köldmedium kan ersätta dagens R404A med enbart mindre justeringar på det övriga systemet.

R448A har en klimatpåverkan ca 1400 CO<sub>2</sub>-ekv, även om den är betydligt lägre än för R404 (GWP 3922) så kommer F-gasförordningens allt hårdare krav på leda till att även R448 behövas bytas ut mot alternativ med lägre klimatpåverkan på sikt. Bedömningen idag är att priserna på köldmedier med hög klimatpåverkan kommer stiga allteftersom kraven hårdnar vilket på sikt får branschen att konvertera till köldmedier med lägre klimatpåverkan. . Det långsiktiga alternativet är att installera en anläggning med naturliga köldmedier så som t.ex. koldioxid eller propan. Se kapitel 4.1 för mer information om F-gasförordningen. I Tabell 5 har klimatpåverkan, det så kallade GWP-värdet, för några möjliga köldmedier för kyl- och frysrum listats.

Tabell 5. Klimatpåverkan (GWP) för några alternativ på köldmedier i kyl- och frysrums [6]

Köldmedia	GWP (kg CO <sub>2</sub> e/kg)
R404A	3922
R448A	1387
R449A	1397
R1234ze	7
R1234yf	4
R290, Propan	3
R744, CO <sub>2</sub>	1

Värt att notera är att R1234yf och R1234ze klassas som lätt brandfarligt (Kategori A2L) och propan som högre brandfarlighet (klass A3) [19]. Därmed är ett indirekt system där köldmediet värmväxlas mot en köldbärare för att undvika brandfarliga ämnen cirkulerar i restaurang och kök antagligen nödvändigt.

#### 4.3.1 Modellering av kylsystemets energianvändning

En teoretisk modell av kylsystemet på IKEA Uppsala har byggts upp i Excel för att beräkna kompressorernas driftsenergi och därmed driftskostnad för de olika renoveringsalternativen som listas i kapitel 4.3. I analysen har man antagit att övriga kostnader så som el till pumpar, fläktar, belysning mm är oberoende av valet av systemlösning och har därför exkluderats i analysen. Kylbehovet och hur det varierar över såväl året som dygnet för respektive kyl- eller frysrums har modellerats utifrån mätdata. På samma sätt har variationerna i köldbärartemperaturen in till kondensorn modellerats baserat på mätdata.

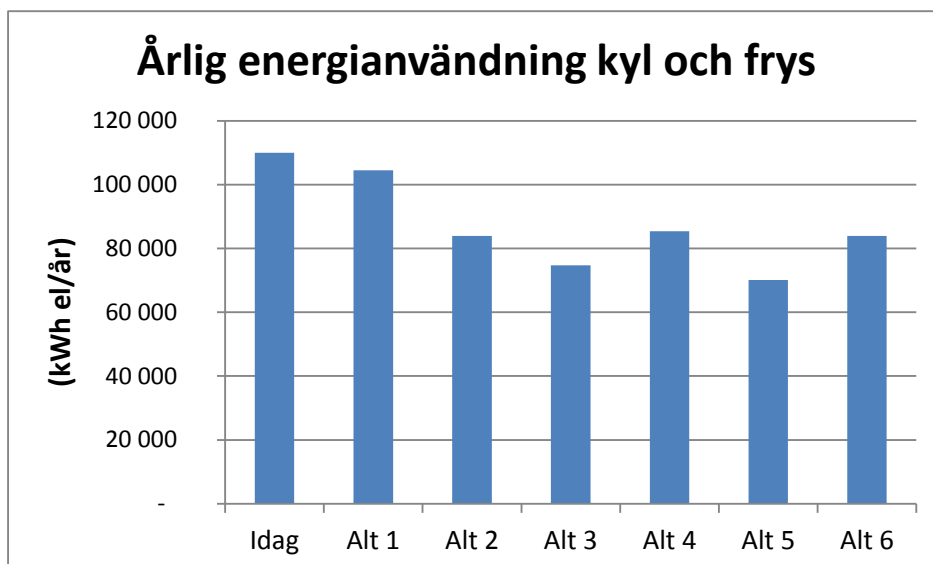
Typvärden för temperaturdifferenser och temperaturändringar i värmeöverföringssteg mellan kondensorn, värmebärare och köldmediekylare har antagits. Det samma gäller för värmeöverföringen i förångaren mellan köldmediet och frysrumsrummet. Typvärden i kombination med modellerade temperaturer ger uppgifter om hur förångnings- och kondenseringstemperatur för kompressorerna varierar timme för timme över året. Temperaturerna är viktig indata för att kunna räkna ut kompressorernas aktuella verkningsgrad (COP).

Verkningsgraden (COP) för kylmaskinerna har beräknats genom att använda kompressordata från Bitzer. Val av köldmedium, samt data om underkylning och överhettning har matats in i Bitzers dimensioneringsprogram [17], som finns tillgängligt på nätet. Därefter har en lämplig kompressorstorlek valts. För den specifika kompressorn tar Bitzers mjukvara tagit fram ett polynom som ger kapacitet och eleffektbehov som en funktion av förångnings- och kondenseringstemperaturen. Detta polynom har använts i modellen och för att varje timme räknat ut levererad kylenergi samt elenergibehov hos kylmaskinen. Data summeras slutligen för alla årets timmar vilket ger den årliga elförbrukningen för kompressorn.

Elförbrukning för fläktar, pumpar och andra delar i hjälpsystemet har antagits vara lika stor för samtliga renoveringsalternativ och har därför inte inkluderats i analysen, där man enbart fokuserat på delar som skiljer sig åt mellan de olika renoveringsalternativen.

#### 4.3.2 Energibesparing

Den beräknade årliga elanvändningen som modellen ger visar att alla sex renoveringsalternativ ger en lägre energianvändning jämfört med dagens system, se Figur 8 nedan. Lägst elförbrukning får renoveringsalternativ 3 och 5 där man har slagit samman kylsystemet till ett gemensamt samt antingen slår samman fryssystemet till ett gemensamt eller installerar extern frekvensstyrning på fryskompressorerna. Dessa båda alternativ ger en minskad elförbrukning för kylsystemet på ca 35% jämfört med dagens system.



Figur 8. Modellerad årlig energianvändning för sex renoveringsalternativ jämfört med dagens system. Se Tabell 4 för detaljer om respektive alternativ.

Noterbart är att alternativ 4, där man har ett sammanslaget system och köldmediet byts ut till CO<sub>2</sub> inte ger en lika stor energibesparing som för motsvarande system med R448A. Energiförbrukningen för CO<sub>2</sub>-alternativet är enligt modellen ca 12 000 kWh högre per år jämfört med mest jämförbara alternativ med R448A.

I beräkningarna har det antagits att energiförbrukningen för kompressorer med fast varvtal kompletterade med extern frekvensomformare (alternativ 6) har lika stor energiförbrukning som varvtalsstyrda kompressorer (alternativ 2). Antagandet bygger på att man installerar externa frekvensomformare rekommenderade av kompressortillverkaren för att passa den specifika kompressorn.

### 4.3.3 Kostnadsberäkningar

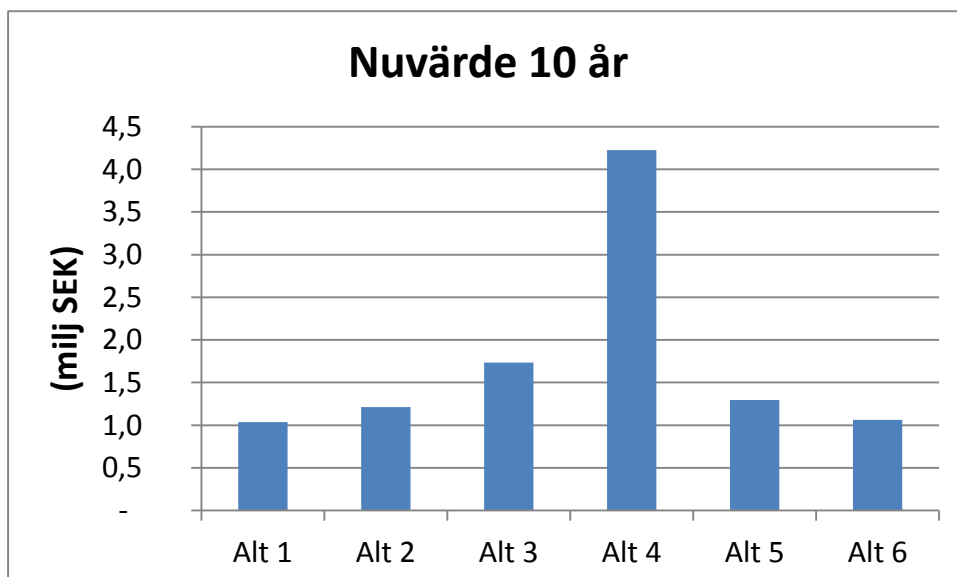
Investeringen för de olika alternativen har baserats på kostnadsförslag från två kylfirmor. Investeringkostnader för de olika alternativen har sammanfattats i Tabell 6. Priserna gäller ombyggnation av det befintliga systemet och inte kostnaden för att bygga ett nytt system från grunden.

Tabell 6. Investeringskostnader för renovering av kylsystemet IKEA Uppsala

Renoveringsalternativ	Investeringskostnad (kr)	Beskrivning renovering
1	150 000	De befintliga kompressorerna behålls. Byte av köldmedium till R448A för att klara framtida krav från F-gasförordningen.
2	500 000	Befintliga kompressorer byts ut mot nya varvtalsstyrda. Byte av köldmedium till R448A för att klara kraven i F-gasförordningen.
3	1 100 000	Dagens system där en kompressor förser ett frys- eller kylrum med kyla ersätts med två samanslagna system, ett för kyltemperatur och ett för frystemperatur. Nya varvtalsstyrda kompressorer används. Köldmedium R448A.
4	3 500 000	Byte av köldmedium till CO <sub>2</sub> , som inte omfattas av F-gasförordningen tack vare sitt låga GWP-värde. Dagens system där en kompressor förser ett frys- eller kylrum med kyla ersätts med ett samanslaget system som sänker temperaturen i två steg, först till kyltemperatur och därefter till frystemperatur. Nya varvtalsstyrda kompressorer. Byte till CO <sub>2</sub> medför också att stora delar av det övriga systemet måste byggas om.
5	700 000	Systemet till kylrummen byggs om till ett gemensamt system med nya varvtalsstyrda kompressorer. Systemet till frysrummen behålls som det ser ut idag men de befintliga frys-kompressorerna kompletteras med extern frekvensstyrning. Köldmedium R448A.
6	350 000	Befintliga kompressorer kompletteras med extern frekvensstyrning. Byte av köldmedium till R448A för att klara framtida krav från F-gasförordningen.

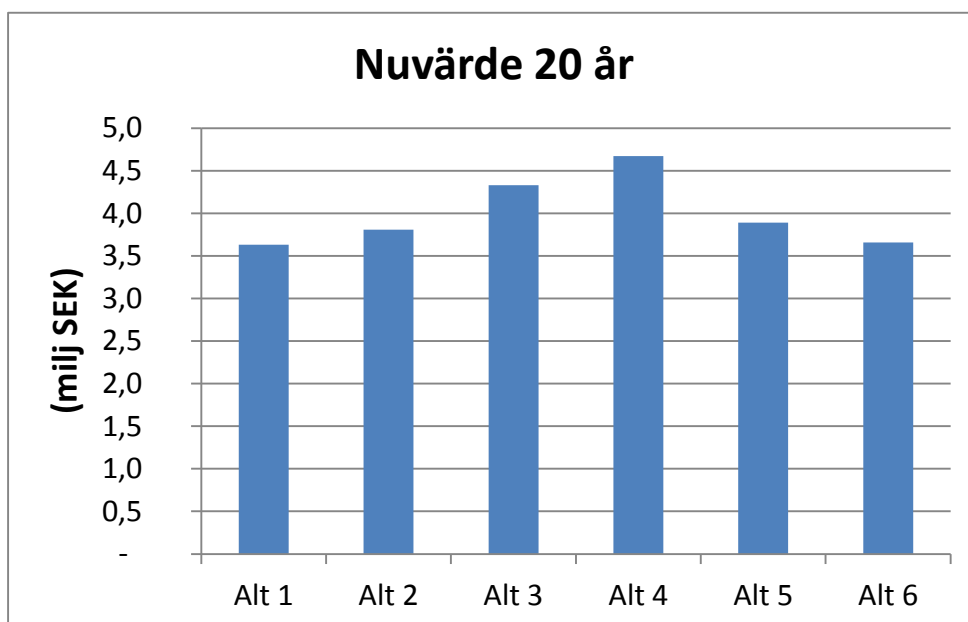
Nuvärdet av investering och driftskostnaderna har beräknats. I driftskostnaderna inkluderas endast elenergi för att driva kompressorerna, övriga driftskostnader samt underhåll antogs vara lika stor för samtliga alternativ och har därför exkluderats.

I nuvärdesberäkningarna har ett elpris på 1,10 kr/kWh och en internränta på 5 % använts på inrådan av IKEA. Resultatet av nuvärdet för tio års drift för de olika renoveringsalternativen visar att ur ekonomisk synvinkel bör investeringen hålls låg, se Figur 8. Trots en potentiell energibesparing på 35 % för de energieffektivaste alternativen är det svårt att få tillbaka pengarna för större investeringar med dagens elpriser. Renoveringsalternativ 6, där de befintliga kompressorerna kompletteras med extern frekvensstyrning har ungefär samma nuvärdeskostnad som alternativ 1 där man enbart byter ut köldmediet för att klara kraven i F-gasförordningen, men minska samtidigt elförbrukningen med ca 200 MWh på tio år. Investeringen för alternativ 4 där man går över till ett CO<sub>2</sub>-system kräver en omfattande ombyggnation vilket avspeglar sig i priset. Figur 9 nedan visar nuvärdet av investering och 10 års drift.



Figur 9. Nuvärde av investering och 10 års drifttid för de olika renoveringsalternativen för kylsystemet på IKEA Uppsala.

Om man investerar i ett alternativ där R448A används som köldmedium är bedömningen att man om ca 10 år kommer behöva byta ut köldmediet på nytt till ett köldmedium med lägre klimatpåverkan på grund av F-gasförordningens allt hårdare krav. Om man tittar på nuvärdet för 20 år och antar att system med R448A byts ut om 10 år mot ett CO<sub>2</sub>-system blir resultatet enligt Figur 10 nedan (Antaget att investeringskostnaden för ett CO<sub>2</sub>-system om tio år är lika stort som idag och att elpriset är konstant 1,10 kr/kWh 20 år framåt.) Skillnaden mellan de olika alternativen har jämnats ut, men alternativ 4 där man investerar i en CO<sub>2</sub>-anläggning idag är fortfarande dyrare än de alternativ där man avvaktar 10 år med den stora investeringen trots att man i så fall får dubbla investeringar. Räntan gör att investeringar tio år framåt i tiden inte får samma genomslag på resultatet som investeringar som görs idag.

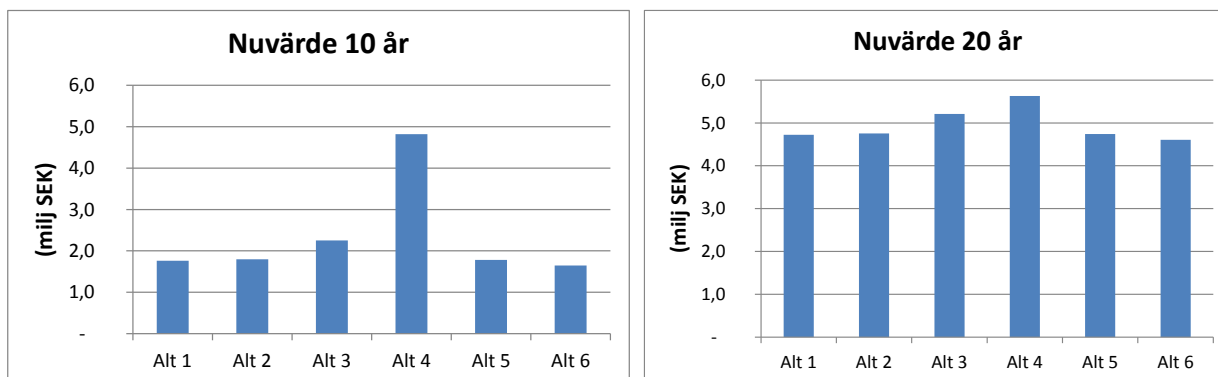


Figur 10. Nuvärde av investering och 20 års drifttid för de olika renoveringsalternativen för kylsystemet på IKEA Uppsala. Antag att man efter 10 år investerar i nytt CO<sub>2</sub>-system.

## 4.3.4 Känslighetsanalys av nuvärdesberäkningarna

### 4.3.4.1 Högt elpris

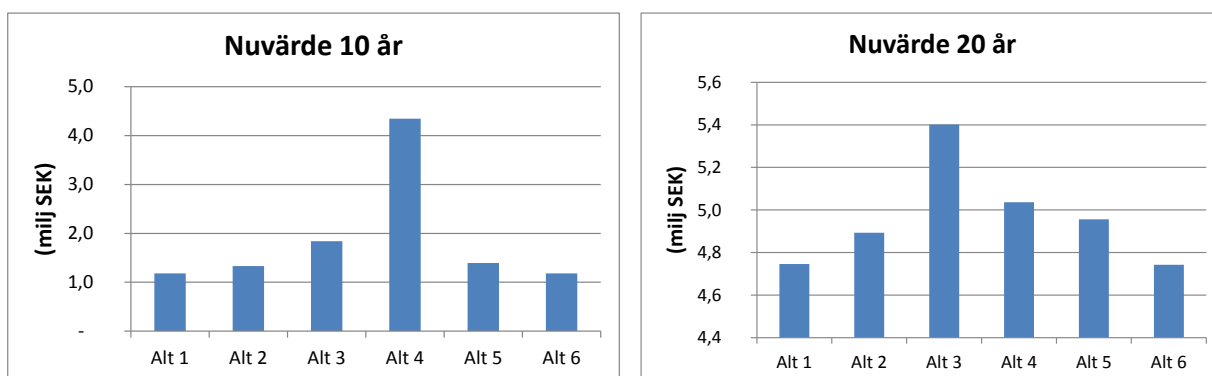
Elpriset har en stor påverkan på besparingspotentialen för de olika renoveringsalternativen. Det är svårt att förutspå hur elpriset kommer utvecklas framöver. Andelen vind- och solel i elnätet bedöms öka på sikt och med mer el från vind och sol kommer tillgången på el att variera kraftigare jämfört med idag och därmed kommer även elpriset variera. Samtidigt håller flera nya elledningar till kontinenten på att byggas vilket ökar möjligheten av export av el, vilket kan få till följd att de svenska elpriserna stiger. Dagens låga elpris får till följd att det är svårt att få lönsamhet i energibesparande investeringar. Om man antar att elpriset höjs kraftigt till 2,0 kr/kWh får det ändå en förhållandevis lite effekt på resultatet, se Figur 11. Som synes påverkas inte den interna rangordningen av nuvärdet mellan alternativen.



Figur 11. Nuvärde om 10 respektive 20 år med ett elpris på 2,0 SEK/kWh.

### 4.3.4.2 Låg internränta

En internränta på 5 % gör att investeringar och kostnader i framtiden får mindre påverkan på resultatet jämfört med investeringar som görs idag. I Figur 12 visas resultatet om man minskar den effekten genom att sänka räntan till 2 % (antaget ett elpris 1,10 kr/kWh). Figuren visar att det fortfarande är alternativ 1 och 6, med små investeringar, som är ekonomiskt fördelaktiva. Ser man på nuvärdet av 20 år, där det krävs en nyinvestering om 10 år om man inte investerar i en anläggning med ett naturligt köldmedium redan idag, visar det sig att alternativet att gå över till en CO<sub>2</sub>-anläggning (alternativ 4) direkt blir ett mer konkurrenskraftigt alternativ, det är dock fortfarande inte det mest ekonomiska alternativet.



Figur 12. Nuvärde om 10 respektive 20 år med en internränta på 2 %.



### 4.3.5 Övriga aspekter för investeringsbeslut

Utöver de rent ekonomiska aspekterna på en investering finns det även andra faktorer att ta hänsyn till. I det här fallet krävs en anpassning till F-gasförordningen och dess nuvarande och kommande krav. Förr eller senare kommer lagstiftningen tvinga fram en investering oavsett om den är lönsam eller ej.

Man bör också väga in förväntad livslängd på nuvarande utrustning i beslutet. Hur lång livslängd utrustningen har kvar är en viktig aspekt till när i tiden man ska göra sin investering. IKEA räknar med ca 20 års livslängd för kylkompressorerna medan kyl- och frysdiskar beräknas ha en livslängd på ca 10 år. Där livslängd på diskarna delvis har med utseendet att göra och inte enbart funktion.

## 4.4 Uppföljande mätningar på kylsystem med CO<sub>2</sub> som köldmedium

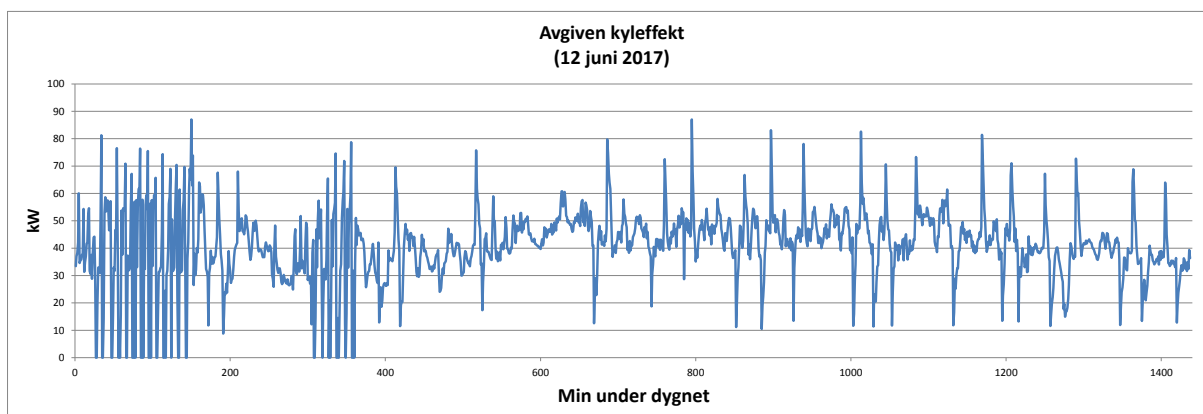
IKEA har valt att avvakta med beslut om ombyggnation av kylsystemet i IKEA Uppsala. Uppföljande mätningar har i stället skett i IKEAs varuhus i Umeå, där man har installerat ett kylsystem med CO<sub>2</sub> som köldmedium. Det nybyggda systemet motsvarar i stor utsträckning alternativ 4 i kapitel 4.3 ovan. IKEA Umeå öppnade under 2016 och byggdes från början med ett kylsystem med CO<sub>2</sub> som köldmedium. Kylsystemet har tre parallellkopplade varvtalsstyrda kylmaskiner som levererar kyla till kylrum och kylmontrar. Kyla till frysrummen sker i två steg. Efter att temperaturen sänkts till kylrumsnivå, sänks temperaturen i ett andra steg till frystemperatur. I detta steg finns två parallellkopplade varvtalsstyrda kylmaskiner. Uppbyggnad av kyl- och frysrum samt kylmontrar i IKEA Umeå är till stor del den samma som i Uppsala.

Mätningar på kylsystemet har utförts under maj och juni 2017 med hjälp av ClimaChecks utrustning. Energiförbrukning och kylbehov har därefter skalats upp för att motsvara ett helår, baserat på samma antaganden om årsvariationer som för IKEA Uppsala. Kylbehovet vid kyltemperatur för Umeå uppmättes i medel till ca 27 kW under mätperioden medan kylbehovet för Uppsala beräknades till i medel 16 kW för maj-juni. Det ger en skillnad i kylbehov på nästan 70 %. Kylbehovet vid frystemperatur låg däremot mycket nära varandra, i Umeå var kylbehovet ca 13 kW, vilket var nästan identiskt med vad som hade beräknats för Uppsala.

COP för systemet i Umeå låg på 3,9 för produktion av kyla vid kyltemperatur och på 4,1 för att sänka temperaturen till frysnivå utifrån kyltemperaturen. Det ger en total årlig elförbrukning för kylsystemet på 110-120 MWh/år, beroende på om man utgår från elförbrukningen i maj eller juni för att beräkna årsförbrukningen. Kompenserar man för skillnader i kylbehov mellan Umeå och Uppsala, så att kylbehovet vid kyltemperatur blir lika stort som för IKEA Uppsala fås en årlig elförbrukning på 90-100 MWh/år. Den verkliga energiförbrukningen ligger därmed lite över den elförbrukning på 85 MWh/år som modellberäkningarna gav för systemet i Uppsala.

Jämfört med modellen av CO<sub>2</sub>-systemet var COP för produktion av kyla vid kyltemperatur lägre i Umeå än modellerat medan produktionen av kyla vid frystemperatur skedde med ett högre COP än modellerat. Detta kan till stor del förklaras med skillnader i kondenserings- och förångningstemperatur mellan de uppskattade värdena i modellen och det verkliga kylsystemet i Umeå.

Under mätningarna på IKEA Umeå har man identifierat att systemets reglering fungerar dåligt. Regleringen reagerar kraftigt på ändringar i kylbehovet vilket gör att kompressorernas effekt varierar onödigt snabbt och kraftigt. Ett arbete har påbörjats för att ändra styrningen för att få en jämnare drift. Som exempel visas i Figur 13 variationerna i avgiven kyleffekt vid kyltemperatur under ett dygn. Som framgår av figuren sker under framförallt natten kraftiga variationer i avgiven kyleffekt trots att kylbehovet bör vara förhållandevis konstant.



Figur 13. Variationer i avgiven kyleffekt vid kyltemperatur den 12 juni 2017.

## 5 Förslag på energibesparande åtgärder

Nedan beskrivs ett antal förslag på energibesparande åtgärder. Investeringskostnaderna som anges ska ses som exempel på vad det kan kosta. Elkostnaden för pay-back beräkningarna är antagen till 1,10 kr/kWh på inrådan av IKEA.

### 5.1 Ombyggnation av kylsystemet

IKEA har valt att avvakta med ett beslut om hur man ska gå vidare för att anpassa kylsystemet i Uppsala till kommande F-gaslagstiftning. Nedan visas det renoveringsalternativ som beräknas ger störst energibesparing (alternativ 5) samt det alternativ som ger kortast pay-back tid (alternativ 6). Energibesparingen för alternativ 3 är i samma storleksordning som för alternativ 5 men då investeringskostnaderna för alternativ 3 är betydligt högre redovisas inte det alternativet.

Störst energibesparing ger det renoveringsalternativ där systemet till kylrummen byggs om till ett gemensamt system med nya varvtalsstyrda kompressorer. Systemet till frysrummen behålls som det ser ut idag men de befintliga fryskompressorerna kompletteras med extern frekvensstyrning. Som köldmedium används R448A.

Tabell 7. Sammanfattning, uppdatering kylsystem, renoveringsalternativ 5.

Åtgärd	Uppdatering kylsystem
Energibesparing	40 MWh/år
Energibesparing	36 % av elen till kylsystemet
Investering	700 000 kr
Återbetalningstid investering	16 år

Kortast återbetalningstid ger det renoveringsalternativ där befintliga kompressorer kompletteras med extern frekvensstyrning. Samtidigt som R404A byts ut mot R448A.

Tabell 8. Sammanfattning, uppdatering kylsystem, renoveringsalternativ 6.

Åtgärd	Uppdatering kylsystem
Energibesparing	26 MWh/år
Energibesparing	24 % av elen till kylsystemet
Investering	350 000 kr
Återbetalningstid investering	12 år

## 5.2 Värmning av köldbäraren till värmepumparna

En energibesparande åtgärd som funnits sedan varuhuset byggdes är att värmen från kylsystemet används för att värma köldbäraren till värmepumparna som förser fastigheten med värme. Värmen som avges från kondensatorerna i kylsystemet kyls bort med hjälp av en vätskeburen köldbärare. Köldbäraren värmeväxlas därefter mot köldbäraren i borrhålslagret som används av värmepumparna som förser varuhuset med värme. Därmed kommer överskottsvärmen från kylkompressorerna värmesystemet till godo, temperaturen på köldbäraren till värmepumpen ökar vilket gynnar värmepumpens effektivitet (COP). En uppskattning av energibesparingen kopplad till att COP ökar tack vare värmen från kylmaskinerna har gjorts.

COP för en värmepump öka med ca 3-5% för varje grad högre temperatur på köldbäraren [18]. Med antagandet att COP ökar med 4 % per grad för IKEAs värmepumpar kan energibesparingen beräknas. På IKEA öka köldbärartemperaturen med i medel 0,7 °C efter värmeväxling mot kylsystemets köldbärare (baserat på mätning under perioden januari – mars 2016). Värmepumparna elförbrukningen är 190 MWh/år, vilket är 5 MWh/år lägre jämfört med om inte kylsystemet värme hade kommit värmepumparna tillgodo.

Då värmeväxlingen mot värmepumparnas köldbärare är en del av en större systemlösning är det svårt att uppskatta hur stor del av en investering som ska allokeras till denna energibesparing. Oavsett om värmen från kondensatorerna utnyttjas eller inte måste värmen kylas bort.

Tabell 9. Sammanfattning, värmning av köldbäraren till värmepumparna

Åtgärd	Värmning av köldbärare
Energibesparing	5 MWh/år
Energibesparing	3 % av elen till värmepumparna
Investering	?
Återbetalningstid investering	?

## 5.3 Förkortad drifttid köksapparater

Ett antal av köksapparaternas energianvändning och drifttider har analyserats och i Tabell 10 nedan finns en summering av besparingspotentialen om drifttiderna kan kortas. Tabellen visar två alternativ, dels energibesparingen om drifttiden kortas med 30 minuter/dygn generellt och dels hur stor energibesparingen blir om man justerar apparatens drifttider enligt antagandena i kolumnen längst till höger. Totalt har energianvändningen kopplat till åtta köksmaskiner analyserats.

Tabell 10. Energibesparingspotential, förkortade driftstider

Apparat	Besparingspotential minskad drifttid 30 min/dygn (kWh/år)	Besparingspotential förkortad drifttid (kWh/år)	Antagande förkortad drifttid
Värmeri (6 st)	3 900	5 100	Start 8:30
Fritös*	1 300	1 000	Start 10:20
Ugn MSCC101	2 100	2 500	Drifttid: 08:30- 21:00
Ugn MSCC61 (5 st)**	5 800*	6 600*	Drifttid: 08:30- 21:00
Ugn Electrolux	900	1 200	Drifttid: 08:30- 21:00
Induktionsspis	500	400	Start 09:40
Kaffemaskin	40	600	Drifttid: 06:00- 22:00
Tallriksvärmare	40	300	Drifttid: 08:00- 20:00
<b>Summa</b>	<b>14 580</b>	<b>17 700</b>	

\*Besparingspotentialen för den nya fritösen avses, se även kapitel 5.4.

\*\*Uppskattat värde, ej uppmätt pga. att elmätaren inte gick att ansluta till ugnen. Värdet bygger på antagandet att energianvändningen är proportionell mot märkeffekten samt den uppmätta energianvändningen hos MSCC101. Se även kapitel 3.2 för mer information

Som framgår av Tabell 10 finns den största besparingspotentialen kopplat till att minska drifttiderna på värmerier och ugnar. Om man installerar tidur på dessa utrustningar så att dessa sätts på klockan 08:30, samt att stängs av kl. 21:00 finns en besparingspotential på totalt 15 MWh per år.

Uppgifter från installation av tidur i Max snabbmatsrestaurang inom projektet [15] visar att investeringskostnaden (inkl. installation) är ca 5 000 kr per tidur. Med antagandet att man kan använda ett tidur till samtliga ugnarna och ett tidur till samtliga värmerier blir investeringen 10 000 kr.

Tabell 11. Sammanfattning, förkortad drifttid värmeri och ugn

Åtgärd	Förkortad drifttid
Energibesparing	15 MWh el/år
Energibesparing	7 % av elen till ugnar och värmerier
Investering	10 000 kr
Återbetalningstid investering	<1 år

## 5.4 Byte av fritös

Under projektets gång har fritösen bytts ut mot en ny, mer energieffektiv. Bytet gjorde att två fritöser byttes ut mot en ny. Huvudsyftet med bytet var inte att spara energi utan fritösen behövde bytas ut av andra anledningar. Den långa återbetalningstiden visar att det är tveksamt ur ekonomisk synvinkel att byta ut fritösen i förtid för att minska sin elräkning. Däremot är det ett bra tillfälle att titta på energiförbrukningen när man investerar i en ny fritös. I det här fallet blev besparingen knappt 40 % när man bytte fritös.

Tabell 12. Sammanfattning, byte av fritös

Åtgärd	Byte fritös
Energibesparing	13 MWh el/år
Energibesparing	39% av elen till fritös
Investering	230 000 kr
Återbetalningstid investering	16 år

## 5.5 Byte av roll-in kylskåp

På hemsidan "top ten" [16] har Naturskyddsföreningen listat energieffektiva produkter på den svenska marknaden för ett antal kategorier, bland annat kylskåp. För att uppskatta besparingspotentialen för att byta ut de tre roll-in kylskåp som IKEA idag har i sitt kök har den uppmätta energiförbrukningen för kylskåpen jämförts med det energieffektivaste kylskåpet på top ten's lista. Då det saknades likvärdiga roll-in kylskåp i listan har jämförelsen gjorts mot en 2 dörrars förvaringskyl, Desmon HEM14. Jämförelsen ger en uppfattning om besparingspotentialen för ett roll-in kylskåp om det hade samma energiförbrukning som det energisnålaste kylskåpsalternativen på top tens lista.

Desmond HEM14 har en beräknad årlig energiförbrukning på 530 kWh/år, siffran är dock baserad på mätningar gjord enligt standard, där dörren hålls stängd under testet. Den verkliga energiförbrukningen är därför högre. Med antagandet att energiförbrukningen ökar med 50 % vid verklig drift blir elförbrukningen ca 800 kWh/år medan roll-in kylskåpen har en uppmätt energiförbrukning på 1450 kWh/år. Ett byte skulle därmed innebära en energibesparing ca 45 %. Återbetalningstiden kan dock ändå riskera att bli lång då besparingen i kronor ligger på ca 700 kr/år och kylskåp.

Tabell 13. Sammanfattning, byte av fritös

Åtgärd	Byte kylskåp (3 st)
Energibesparing*	2 MWh el/år
Energibesparing	45 % av elen till roll in kylskåpen
Investering	?
Återbetalningstid investering	?

## 5.6 Belysning restaurang

IKEA Uppsala har under projektetiden bytt till LED-belysning i stora delar av varuhuset. Kopplat till det här projektet visas den del där belysning i restaurangdelen (ej personalmatsal) har bytts ut mot LED. Efter installationen finns en total installerad effekt på ca 4500 W i restaurangen vilket ger en beräknad energianvändning på 21 MWh/år efter konverteringen till LED. Beräkningarna är baserade på installerad effekt i kombination med de tider belysningen är påslagen. På grund av en miss i datainsamlingen finns ingen data på energianvändning med konventionell belysning. Jämför man med energibesparingen i Max restauranger [15], var energibesparingen 48 % vid deras konvertering till LED. Med antagandet att besparingen är lika stor i IKEAs restaurang som för Max restaurangen är besparingen knappt 20 MWh.

Tabell 14. Sammanfattning, belysning restaurang

Åtgärd	Belysning restaurang
Energibesparing	19 MWh el/år
Energibesparing	48 %*
Investering	65 000 kr**
Återbetalningstid investering	3 år

\* Antag samma procentuella energibesparing som för Max Hamburgerrestauranger [15].

\*\* Investeringen för den del som rör restaurangen är uppskattad baserad på golvarea, den totala kostnaden inkluderade konvertering i en stor del av varuhuset.

## 5.7 Sammanfattning energibesparingsförslag

I Tabell 15 nedan följer en sammanfattning av de energibesparande åtgärder som beskrivs i kapitel 5.

Tabell 15. Sammanfattning, förslag på energibesparande åtgärder

Förslag	Besparing (MWh el /år)	Investering (kr)	Pay-back tid (år)	Genomfört
Ombyggnation kylsystemet*	40	700 000	16	Ja/ Nej**
Värmning av köldbäraren till värmepumparna	5			Ja
Förkortad drifttid köksapparater	15	10 000	1	Nej
Byte av fritös	13	230 000	16	Ja
Byte av roll-in kylskåp	2			Nej
Byte till LED-belysning i restaurangen	19	65 000	3	Ja
<b>Summa:</b>	<b>94</b>			

\* Här redovisas det renoveringsalternativ med högst energibesparingspotential

\*\* Ej genomfört i dagsläget på IKEA Uppsala men behöver genomföras inom några år pga. F-gasförordningen. Vilket renoveringsalternativ som kommer väljas är inte beslutat. IKEA Umeå har ett CO<sub>2</sub>-system vilket i stort motsvara renoveringsalternativ 4, se kapitel 4.3 och 4.4.

I energimätningarna för kök och restaurang som sammanfattas i Figur 3 är energibesparingen för byte av belysning och fritös inkluderade. Det medför att den beräknade elförbrukningen innan några energibesparande åtgärder hade genomfördes var ca 670 MWh/år. Om alla energibesparande åtgärder i Tabell 15 hade genomförts hade kökets besparing av el varit 94 MWh/år eller 14 % av den totala elförbrukningen. Det kan diskuteras om elbesparingen kopplat till värmningen av köldbäraren till värmepumparna ska

inkluderas, då el för uppvärmning av lokalerna inte ligger inom systemgränserna. Om den besparingsåtgärden exkluderas blir energibesparingen i stället 13 %. Målet med projektet var att minska användningen av köpt energi med 25 %.

## 6 Slutsatser

- IKEA Uppsala använder ca 640 MWh el per år kopplat till kök och restaurang, exklusive energi för uppvärmning, komfortkyla och tappvarmvattenvärmning.
- Fördelningen av energi mellan olika elanvändare på IKEA Uppsala följer på det stora hela samma mönster som man har sett i tidigare studier.
  - Några tydliga skillnader är att el till belysning på IKEA står för en mindre andel, delvis kopplad till deras övergång till LED-belysning. Däremot står diskmaskinens energianvändning för en större andel av totalen.
- Dagens kylsystem använder R404A som köldmedium och behöver därför anpassas för att klara kraven i F-gasförordningen. Samtidigt går det att energieffektivisera systemet.
- Totalt har sex renoveringsalternativ för kylsystemet analyserats och det finns en besparingspotential av elenergi på ca 35 % för de bästa alternativen jämfört med dagens system.
- Trots den stora besparingspotentialen blir investeringskostnaden generellt hög i förhållande till besparingen i driftsenergi, vilket gör att det är svårt att få ekonomisk lönsamhet i investeringen.
  - En konvertering till R448 är en förhållandvis kortsiktig lösning som innebär att man troligen får byta köldmedium på nytt inom ett tiotal år. Ändå kan det vara ett bra alternativ, t.ex. beroende på kvarvarande livslängd på dagens kylsystem eller i väntan på att branschen förhoppningsvis får fram mer ekonomiskt fördelaktiva alternativ.
- Bäst besparing i förhållande till investeringen ger alternativen att komplettera befintliga kompressorer med externa frekvensomformare antingen på samtliga kompressorer, alternativt enbart på fryskompressorerna medan kylsystemet byggs om till ett gemensamt system med nya varvtalsstyrda kompressorer. Samtidigt byts köldmediumet ut till ett drop in-medium t.ex. R448A för att klara kraven i F-gasförordningen
- Att byta till CO<sub>2</sub> som köldmedium är det enda renoveringsalternativ i analysen som klarar F-gasförordningen krav på lång sikt. Investeringen för att bygga om det nuvarande kylsystemet till CO<sub>2</sub> är dock betydligt högre än de andra renoveringsalternativen. Nuvärdesberäkningarna visar att det ur ekonomisk synvinkel är bättre att avvakta med att investera i en CO<sub>2</sub>-anläggning. Däremot kan det finnas andra faktorer, t.ex. att det nuvarande systemet ändå behöver bytas ut som motiverar en övergång till CO<sub>2</sub>.
- Den totala energibesparingspotentialen, om samtliga föreslagna energibesparingsåtgärder i projektet genomförs, är 14 % av den totala inköpta energin till kök och restaurang, jämfört med om inga besparandeåtgärder hade gjorts.
- Störst besparing ger en ombyggnation av kylsystemet följt av byte till LED-belysning.
- Beräkningar av energibesparing vid byte av fritös och kylskåp visar att det finns en potential att spara mycket energi när man byter ut befintliga köksapparater mot nya om man gör energieffektiva val. Det är dock sällan ekonomiskt att byta ut apparaterna innan deras tekniska livslängd är slut och de ändå behöver bytas ut.

## 7 Rekommendationer för energibesparing i kök

Nedan följer några generella rekommendationer för energibesparing i kök och restaurang baserat på slutsatserna från projektet.

- Skaffa en bild av vilka de stora energiförbrukarna är i köket genom mätningar och insamling av energidata.
- Var medveten om att förinstallerade mätare som inte används kontinuerligt eller inte är ordentligt dokumenterade inte alltid mäter det man tror att de gör. Utred vid behov vilka apparaters energiförbrukning som inkluderas i respektive mätare.
- Se över drifttider på apparater och utrustning, kan man starta utrustningen senare på morgonen eller slå av den när den inte används? Ett tidsur eller en timer som förhindrar att utrustning slås på för tidigt eller går i onödan kan vara en smidig lösning.
- Se över belysningen. Är det lönsamt att uppgradera till LED-belysning?
- Gör en bedömning av hur kökets kylsystem fungerar och hur det kommer påverkas av F-gasförordningen. I samband med uppdateringar kopplade till F-gasförordningen kan det vara ett bra tillfälle att också se över energieffektiviteten. Skaffa en plan för vilka förändringar på systemet som ska göras och när i tiden eventuella uppgraderingar ska ske för att klara kraven i förordningen.
- Varvtalsstyrda kompressorer sparar generellt energi jämfört med kompressorer med fast varvtal. Ju mer kylbehovet varierar ju större är besparingspotentialen med varvtalsstyrda kompressorer jämfört med fast varvtal. Även att slå samman systemet till ett gemensamt system så att en eller två kompressorer förser ett antal kylförbrukare kan spara energi.



## 8 Litteraturreferenser

- [1] Joe Harald Stand, Barnsjefforening for storkjøkkenleverandører i Norge, personlig kommunikation, (2017-01-12)
- [2] EU, Europaparlamentets och rådets förordning (EU) nr 517/2014 av den 16 april 2014 om fluorerande växthusgaser och om upphävande av förordning (EG) nr 842/2006, Europeiska unionens officiella tidning, 20.5.2014, (2014)
- [3] KTH, Vilka köldmedier ersätter R404A?, Kyla+ Värmepumpar #7, (2014)
- [4] KTH, Utvecklingen på köldmediefronten under året som gått, (2016)
- [5] Gustafsson, Rolfman, Jensen, Undersökning av alternativ till R404A – det vanligaste köldmediet i svenska livsmedelsbutiker, BeLivs, (2015)
- [6] Allt om F-GAS, <http://alltomfgas.se>, (2016-12-16)
- [7] Statens energimyndighet, Energianvändning i hotell, restauranger och samlingslokaler, Förbättrad statistik för lokaler, Stil2, ER 2011:11, ISSN 1403-1892, (2011)
- [8] Rolfman, Larsson, Processystem för värme och kyla i storkök Förstudie, Belivs, (2014)
- [9] Rolfman et.al., Storkök – förstudie av energiförbrukning och livsmedelssvinn, SP Rapport 2010:66, (2010)
- [10] Belok, Miljoner att spara på energieffektiva storkök, Broschyr, (2015)
- [11] Anders Sandh, Demonstrationsprojekt Hovåsskolan – Ett totalprojekt för att uppnå ett energieffektivt storkök, Version 1.0, Belok, (2016)
- [12] Mona Norbäck, Resultat Workshop energieffektiva storkök 13 oktober 2016, Belok, Belivs, (2016)
- [13] Lars Bang-Jensen et.al., Energy consumption in commercial kitchens –knowledge mapping and elaboration of guidelines, ECEEE 2011 Summer study, (2011)
- [14] IKEA, Faktablad IKEA Uppsala, <http://mb.cision.com/Public/MigratedWpy/79533/648653/9b1ec824e8c88a87.pdf>, (2017-03-14)
- [15] Lindahl et.al., Energieffektiviseringspotentialer i professionella kök – Snabbmatsrestauranger, BeLivs, BP08, (2017)
- [16] Naturskyddsföreningen, top ten, <http://www.toptensverige.se/produkt/desmon-hem14>, (2017-05-23)
- [17] Bitzer Software, BITZER Software v6.6.0 rev1735, <https://www.bitzer.de/websoftware/>, (2017-05-24)
- [18] ClimaCheck, Frukostseminarium, Nacka, (2017-06-13)
- [19] AREA The European association of refrigeration, air conditioning and heat pump contractors, AREAs Vägledning för hantering av brännbara köldmedier, Översättning Johan Landé, Kyla+ Värmepumpar nr 4 (2016)