

KYL- OCH FRYSLAGER FÖR LIVSMEDEL

EN FÖRSTUDIE OM ERFARENHETER OCH UTVECKLINGSMÖJLIGHETER

2022-09-21 – SLUTRAPPORT



UTFÖRT AV

Christoffer Alm
Josep Termens
CIT Energy Management AB

GRANSKAT AV

Alexander Malmberg
CIT Energy Management

FÖRORD

Förstudien har finansierats inom Relivs av Energimyndigheten och har genomförts av Christoffer Alm och Josep Termens på CIT Energy Management. Ett varmt tack riktas till följande personer som ställt upp på intervjuer och delat med sig av sin kunskap;

Kristoffer Peterson, Bravida
Christian von der Lancken, Direkt Chark
Jörgen Rogstam, EKA Energi och Kylanalys
Jonas Hagman, Hagmans Kyl- och Energiteknik
Mats Lundgren, Francks Kylindustri
Tomas Lundgren, Göteborg Energi
Jaime Arias Hurtado, Kungliga Tekniska Högskolan (KTH)
Amanda Thynell, Catena Fastigheter
Jonas Larsson, Catena Fastigheter
Stefan Johansson, Catena Fastigheter
Ulf Södergrann, Coop Logistik
Fredrik Danielsson, Frigoscandia
Oliver Varsamovski, Frigoscandia
Paulina Schönning, ICA Fastigheter
Paul Hübenbecker, ICA Fastigheter
Anders Fredriksson, Lidl
Christoffer Carlsmoste, Menigo
Nadja Pilpilidou, Martin & Servera
Mikael Kempe, Martin & Servera
Jan Lindblom, Martin & Servera
Anders Lindström, Martin & Servera
Johan Carlsson, Skara Frys
Daniel Kjellson, Kjellsons Logistik och Transport
Carl-Henric Nelsson, Kjellsons Logistik och Transport
Charlotta Ahlfors, Svenska kraftnät
Maja Isaksson, Svenska kraftnät
Anna Jäderström, Svenska kraftnät
Anders Tonhammar Löf, Sympower

RELIVS - RESURSEFFEKTIV LIVSMEDELSHANTERING

Resurseffektiv livsmedelshantering, Relivs, är sedan 2019 ett av Beloks Fördjupningsområde. Nätverket har dock funnits sedan 2011, först som ett program och sedan som ett innovationskluster, då under namnet BeLivs. Nätverket är en mötesplats för samarbeten mellan Energimyndigheten, näringslivet, offentliga aktörer, akademin och utrustningsleverantörer.

Livsmedelshandeln har en total energianvändning om 633 GWh år 2019 (jämförd med 472 GWh år 2017) och restauranger använde 231 GWh år 2017. Energianvändningen per kvadratmeter (2019) i livsmedelslokaler var 139 kWh/m² och i restauranger 140 kWh/m². I energianvändningen ingår inte verksamhetsenergi, vilken i livsmedelslokaler normalt är betydande. Vid medräknande av verksamhetsenergi beräknas energianvändningen i livsmedelsbutiker till exempel uppgå till ca 400 kWh/m², år. När energieffektiviserande aktiviteter genomförs i livsmedelslokaler är det viktigt att se över möjligheterna till reduktion av både den energi som ingår i fastighetsenergin och verksamhetsenergin. Utveckling av samverkansmöjligheter mellan den som driver verksamheten och den som äger byggnaden, är därför viktig.

Fördjupningsområdet Storkök har varit verksamt sedan 2016 och har legat direkt under Belok som ett eget område. Inom Storkök har fokus varit på upphandling, utrustning, beteende och projektering samt demonstrationsprojekt. Nyckelaktörer inom gruppen är leverantörer, beställare, storkökspersonal och konsulter.

Under 2020 slogs Beloks två Fördjupningsområden Relivs och Storkök samman till ett område. Detta gjordes för att få mer driv i de båda Fördjupningsområdena men även för att det finns tydliga kopplingar mellan dem. Fördjupningsområdet Relivs är så vittomfattande att det hanteras som ett eget nätverk under paraplynätverket Belok.

Relivs finansieras av Energimyndigheten.

Alla förstudierapporter görs tillgängliga via www.relivs.se. Frågor kopplat till denna rapport hänvisas till Christoffer Alm (christoffer.alm@chalmersindustrieteknik.se).

SAMMANFATTNING

Nätverket Relivs har tidigare fokuserat på livsmedelsbutiker och storkök, men då kyl- och fryslager också är energiintensiva verksamheter som hanterar livsmedel utförs denna förstudie riktad mot dessa. Det finns stor potential för att minska tillförd el genom att optimera kylsystem och använda energieffektiv belysning, men det finns även betydande potential i att ta tillvara på den överskottsvärme som kylsystemen producerar.

Det övergripande syftet med denna förstudie är att samla och sprida kunskap om energifrågor i kyl- och fryslager, identifiera de viktigaste aktörerna och utforska energieffektiviseringspotentialen. Resultatet och intresset kring arbetet får sedan avgöra om Relivs fokusområde ska breddas för att även inkludera logistiklokaler och livsmedelsdistribution på kontinuerlig basis.

Förstudien inleds med en litteraturstudie för att förankra hur energianvändningen ser ut i kyl- och fryslager, vilka reglementen och krav som råder samt hur kylsystemen oftast utformas. Detta följs av erfarenhetsåterföring från de kylexperter, kylprojektörer samt olika kyl- och fryslagerverksamheter som intervjuats. 18 intervjuer har genomförts där erfarenheter från 28 olika personer erhållits. Det är främst ammoniak eller CO₂ som används som köldmedium då de har goda termodynamiska egenskaper och har lågt GWP. Åsikterna om vilket av dem som är mest fördelaktiga går isär. Vissa föredrar ammoniak på grund av dess historiska tillförlitlighet och lägre trycknivåer medan andra förespråkar CO₂ på grund av de högre överskottstemperaturerna och att utrustningen idag klarar av de höga trycken som det kräver.

Oavsett köldmedium så återanvänds överskottsvärmen i någon form av alla verksamheter som deltagit i denna förstudie. Främst används överskottsvärmen som tjälskydd under frysutrymmen, då det inte behövs höga temperaturer för detta, och förvärmning av tappvarmvatten, då det är också ett värmebehov som finns året runt. I många fall används överskottsvärmen även till uppvärmning av kontor eller andra utrymmen med värmebehov. Detta behov finns dock bara under vintertid, och det är därmed vanligt att inte finna avsättning för överskottsvärmen under sommartid. Vissa verksamheter värms däremot upp med borrhålslager, och kan då nyttja överskottsvärmen under sommartid för att ladda borrhålen. Det är högst ovanligt att sälja värme till fjärrvärmenätet då det är svårt att få ekonomi i det, och även att dela med sig av värmen till grannverksamheter är ovanligt, förutom i de fall då det är en gemensam fastighetsägare.

Förstudien visar att det återstår alltför många osäkerheter för att kunna kvantifiera total nationell energianvändning och effektiviseringspotential för kyl- och fryslager. Även om totala antalet kvadratmeter för de största aktörerna kan kartläggas skiljer sig energiintensiteten stort beroende på verksamheternas andel kyl-, frys- och torrlager. Att med en mer riktad insats kartlägga och kvantifiera energianvändningen och effektiviseringspotentialen i denna bransch skulle kunna utredas i vidare studier.

Då kyl- och fryslager är välisolerade och ofta innehåller stora volymer nedkylda varor så finns en relativt stor termisk tröghet i dom. Detta gör att det kan vara möjligt att korta stunder varva ner eller stänga av kylmaskiner. Med de stundtals väldigt höga elpriser som börjat vara återkommande kan det vara ekonomiskt att göra detta ibland för att minska elkostnader. Men det går framförallt att hjälpa elsystemet med att avlasta det lokala elnätet eller med att behålla rätt frekvens under de tider elsystemet är som mest belastat, och få ersättning för det. Detta är än så länge inte utbrett bland kyl- och fryslagerverksamheterna, men har bemötts av stort intresse inom denna förstudie. Även övriga berörda aktörer tror på att kyl- och fryslagerverksamheter har stor potential för att avlasta och balansera elsystemet, och det finns betydande ekonomiska ersättningar att hämta för kyl- och frysverksamheterna relaterat till detta. Kombinationen av stort intresse, betydande potential och att det ännu inte är utnyttjat i någon större grad gör det till ett mycket lämpligt område för fortsatt arbete.

INNEHÅLL

1	Inledning	6
1.1	Bakgrund	6
1.2	Syfte och mål	6
1.3	Avgränsningar	7
2	Genomförande.....	8
2.1	Litteraturstudie	8
2.2	Intervjuer	8
2.3	Analys av potential.....	8
3	Litteraturstudie.....	9
3.1	Energianvändning i kyl- och fryslager.....	9
3.2	Reglemente och krav	10
3.3	Utformning av kylsystem.....	11
3.4	Kyl- och fryslager som en aktör i energisystemet.....	15
4	Erfarenhetsåterföring	17
4.1	Projektörer, serviceansvariga och kylexperter.....	17
4.2	Lagerverksamheter och fastighetsägare	21
4.3	Verksamheter aktiva inom effektflexibilitet	26
5	Analys av potential för energieffektivisering och värmeåtervinning... 28	
5.1	Energieffektivisering.....	28
5.2	Värmeåtervinning.....	29
6	Analys av potential för samverkan med elsystemet.....	30
6.1	Frekvensreglering	30
6.2	Exempel på ersättning med frekvensreglering via FCR-D upp.....	34
6.3	Lokala flexibilitetsmarknader	34
7	Slutsatser och nästa steg	37

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Inom fördjupningsområdet Relivs har fokus tidigare lagts på butiker där livsmedels säljs, men inte lika mycket på lokaler där livsmedel lagras, i form av kylda eller frysta produkter. I dessa lagerlokaler kan elanvändningen vara relativt hög p.g.a. kylmaskiner som i sin tur producerar överskottsvärme som inte behövs i själva lagret.

Potential finns för att minska elanvändning (utformning och drift av kylsystem, minskade transmissionsförluster genom isolering och portar, etc.) men även för att ta tillvara på överskottsvärmen (kondensorvärme) från kylmaskiner, och leverera den till intilliggande verksamheter eller till fjärrvärmenätet om tillgång till det finns och temperaturnivåerna tillåter.

En annan fråga som är intressant att utvärdera är potential för stödtjänster till elnätet som till exempel flexibilitetstjänster för balansering av elnätets effektuttag genom utnyttjande av lagrets temperaturtröghet. Det handlar om nyttor på både fastighets- och energisystems nivå.

Dagligvarulager är en målgrupp som skulle kunna bidra till att uppnå Sveriges energimål. Det handlar om livsmedelsgrossister som distribuerar kylda och frysta matvaror till både butiker, restauranger/storkök och till privata personer (s.k. darkstores). Ur ett strategisk perspektiv är det intressant att identifiera nya aktörer som distribuerar och/eller lagrar livsmedel och som skulle kunna delta i Relivs.

1.2 Syfte och mål

Syfte med förstudien är att höja kunskapen inom energifrågor i lagerlokaler med kylda och frysta livsmedel, identifiera dess viktigaste aktörer samt utforska potential för energioptimering.

Förstudiens ambition är även att bredda nätverket Relivs genom att bjuda in organisationer från en ny målgrupp (matgrossister med kylda och frysta livsmedel) som har en relativt stor energianvändning för hantering av livsmedel.

Förstudien kommer även att identifiera behov för utveckling av lösningar eller metoder för optimering av energianvändning inom egna lagerlokaler och potential för demonstrationsprojekt där samverkan mellan olika aktörer gynnar energisystemet (såsom värmeåtervinning av överskottsvärme och test av flexibilitetstjänster för att balansera eleffektuttaget).

Förstudien har två huvudmål :

1. Höja kunskap inom energianvändning i lagerlokaler med kylda och frysta matvaror, samt identifiera områden med potential för energioptimering både i själva lokalerna men även på energisystemets nivå.

Exempel på frågeställningar relaterade till detta delmål som kommer att hanteras inom förstudien är:

- a. Vilka kravställningar och riktlinjer tillämpas vid utformning av tekniska installationer i kyl- och fryslager?
 - b. Vilka installationer och/eller processer är energi- eller effektkrävande?
 - c. Vilka vanliga energieffektiviseringsåtgärder kan genomföras i kyl- och fryslager?
 - d. Vilken potential finns för samverkan med andra aktörer för nyttjande av värmeöverskott från kylmaskiner (intelligande verksamheter med värmebehov, ev. fjärrvärmebolag)
 - e. Vilken potential finns för att hjälpa energisystemet att balansera eleffektuttaget?
 - f. Vilka utvecklingsbehov finns som kan leda till en minskad energianvändning i branschen?
2. Kartlägga större aktörer inom livsmedelslagringsbranschen (matgrossister), sondera deras intresse av att vara med i Relivs fördjupningsområde och identifiera deras behov inom energifrågor.
Förstudiens ambition är att få svar på följande frågor:
- a. Vilka större aktörer och organisationer bedriver verksamhet inom kyl- och fryslager för livsmedel (matgrossister)?
 - b. Vilka behov har dessa aktörer gällande energifrågor? Vilka möjligheter finns för dem?

1.3 Avgränsningar

Då Relivs är ett fördjupningsområde inom Belok är fokuset inom denna förstudie de kyl- och fryslager som ingår i fastigheter som kan kategoriseras som lokalfastigheter. Men i de fall då lärdomar från andra typer av fastigheter, exempelvis industrier, kan appliceras på lokalfastigheter så har även dessa beaktats. Vidare är fokus i första hand på aktörer på den svenska marknaden och praktiska exempel härifrån.

2 GENOMFÖRANDE

2.1 Litteraturstudie

Förstudien inleds med en litteraturstudie för att erhålla en överskådlig bild av hur energianvändningen ser ut i kyl- och fryslager idag. För att skapa en förståelse för förstudiens senare avsnitt beskrivs även de vanligaste typerna av kylsystem kort.

2.2 Intervjuer

För att ta reda på hur kylsystemen är utformade och underhållna så har totalt fem intervjuer genomförts med de som dagligen arbetar med detta; kylexperter, projektörer, kylentreprenörer och serviceansvariga. Detta för att få information om hur energianvändningen ser ut idag och diskutera tankar och idéer om möjlig potential till energieffektivisering.

En dialog med de aktörer som bedriver lagerverksamhet av livsmedelsvaror är en viktig del av förstudien. I dessa intervjuer har det samla upp vilka möjligheter och behov de ser för en utökad energieffektivitet i kyl- och fryslager. Hur nyttjandet av överskottsvärme kan öka och möjligheterna till att anpassa eleffektuttaget har också diskuterats. Totalt har åtta kyl- och fryslagerverksamheter intervjuats. Då flera lagerverksamheter inte äger sina fastigheter själva har även en intervju genomförts med en fastighetsägare som har kyl- och fryslagerverksamheter som hyresgäster.

Utöver detta har även fyra ytterligare intervjuer genomförts med aktörer med kunskap om hur en verksamhet kan samverka med elsystemet. Detta har varit ett energibolag som erbjuder s.k. flexitjänster, en verksamhet (som delvis kan liknas med ett kyl- och fryslager) som ska börja nyttja detta samt en nätägare och en aggregator.

2.3 Analys av potential

Med samlad information från litteraturstudier och intervjuer utförs en bedömning om möjligheter till en analys av nationell energibesparingspotential i kyl- och fryslager. Vidare har det under förstudiens gång uppmärksammats att kyl- och fryslager under korta stunder kan vara flexibla med sin kyleffekt, tack vara deras termiska tröghet som kommer med de välisolerade klimatskalen och lagrade kylan i matvarorna. Därmed är kyl- och fryslager lovande leverantörer av stödtjänster för frekvensreglering i elnätet, och då intresset under förstudien varit stort så utförs även en fördjupning och potentialbedömning för att vara flexibla med effekt.

3 LITTERATURSTUDIE

3.1 Energianvändning i kyl- och fryslager

Vanligtvis är kylmedelkyla den största elanvändningsposten i kyl- och fryslager, men detta beror på hur stor del av lagrets yta som är nedkylt och hur stor del som är ”varmlager”, kontor, etc. Exempelvis så uppgick elanvändningen för kyla till 40% av total elanvändning för ett lager där ungefär hälften av lokalens yta var kyld¹. Energidata baserat på 21 kyl- och fryslager i USA visade att elanvändningen för kyla istället var 62%, med okänd andel tempererad yta². Vidare så beror dess elanvändning på hur energieffektiv kylsystemet är, vilket COP är det vanligaste måttet för. Oavsett utformning av lagret så är belysningen en betydande del av elanvändningen. Detta till trots att belysningen åtminstone i lagrens kylda delar brukar vara utbytta till LED, då äldre armaturer avger viss värme. Utöver typ av belysning är även styrningen av belysningen avgörande för hur stor del av energianvändningen som belysningen står för. I samma exempellager där kylan stod för 40% av elanvändningen så uppgick elanvändningen för belysning till 20% av totala elen, och detta var då med lysrörsarmaturer utan styrning. Övriga 40% av elanvändningen utgjordes av truckladdning, kontor och okända laster.

Fläktar för ventilation använder också en del el, men hur mycket beror på hur lagret är utformat. Vissa kylda lager har bara återluftsventilation där man räknar med tillräcklig friskluftsintag från öppning av portar, då de kylda varorna lagras under kort tid och det därmed är mycket in- och utlastning³. Ventilationssystem med återluft får dock endast installeras om luftkvaliteten i vistelsezonen kan hållas tillfredsställande⁴.

Köpt värme av kyl- och fryslager bör minimeras genom återvinning av all den värme som kylsystemen avger, så att den kan utnyttjas i de varma delarna av anläggningen. Det finns idag exempel på kyl- och fryslager som är helt självförsörjande på värmesidan genom återvunnen värme och därmed inte behöver köpa in någon energi för detta^{5,6}. De allra flesta kyl- och fryslager har idag någon form av värmeåtervinning, men det är ofta svårt att kvantifiera den eller veta hur optimerad den är.

Det är ont om kartläggningar för hur många kyl- och fryslager det finns i Sverige och hur stor energianvändning dessa står för. För Stockholmsområdet har dock en sammanställning utförts som visar på att det 2013 fanns 78 lager som bedrev kyl- och frysverksamhet⁷. Utifrån rapporterad mängd kylmedia beräknades den genomsnittliga kyleffekten för dessa vara 820 kW och den genomsnittliga värmeeffekten vara 1 070 kW. Detta resulterar i en årlig värmeåtervinningspotential om drygt 530 GWh. Även om denna sammanställning är några år gammal och den bara är för Stockholmsområdet så ger det en fingervisning om att det är stora

¹ M. Håll, N. Johansson, (2013), *Energiutredning och solkraftsanalys av kyl- och fryslager*

² P. Grudzien, Examensarbete KTH (2020), *Comparative analysis of Energi Intensity and profitability in emerging e-grocery retail models*

³ Energi & Miljö (2013), *Rätt temperatur för varje vara i nya kombilagret*

⁴ AFS 2020:1, *Arbetsplatsens utformning*

⁵ Frigoscandia (2021), *Ljusekulla Distributionscenter*

⁶ Energi & Miljö (2022), *Cirkulärt system reducerar Catenas energiförbrukning kraftigt*

⁷ G. Rönnholm, CELEC, *Stockholms livsmedelsbutiker och deras läge i förhållande till fjärrvärme och fjärrkylanät*

värmeåtervinningspotentialer det rör sig om. Med dagens utveckling mot mer och mer hemleveranstjänster blir det en förändring i distributionskedjorna så att fler matvaror levereras direkt från lager istället för via livsmedelsbutiker. Detta leder till att livsmedelsbutikernas del i distributionskedjan till viss del ersätts av kyl- och fryslager och att en större del av varornas distributionskedja därmed är kyl- och fryslager, och att behovet av denna del av kedjan ökar. Denna utveckling gör att det förmodligen är större kyleffekter för kyl- och fryslager för Stockholmsområdet idag jämfört med 2013.

3.2 Reglemente och krav

2015 började F-gasförordningen att gälla, vilket är ett regleringsverk som ska fasa ut användningen av flourerade växthusgaser⁸. Detta innebär en stegvis begränsning av flourerade växthusgaser vad gäller påfyllnad av detta i befintliga system och vid installation av nya system. Förordningen innehåller även bl.a. drift- och skötselinstruktioner, krav på läckagakontroller och rapportering av köldmedelsanvändning samt certifieringar av personal och företag som hanterar kylsystem⁹. Under 2022 har det även kommit ett förslag till ny F-gasförordning som ska öka takten på utfasningen av flourerade växthusgaser som köldmedium¹⁰. Om detta förslag godkänns så kommer den totala tillåtna växthuspåverkan från sålda köldmedier 2030 vara en fjärdedel än vad den skulle vara med nuvarande F-gasförordning.

När det gäller livsmedelstemperatur, gäller det att livsmedlen inte får förvaras vid temperaturer som kan medföra att hälsofara uppstår och kylkedjan får inte brytas om det kan medföra en hälsorisk¹¹. Utöver detta så ställs det även krav på temperaturkontroll i kyl- och fryslager, för att säkerställa att livsmedlens kvalitet inte försämras. Svensk Dagligvaruhandel har tagit fram branschriktlinjer gällande temperaturhållning och temperaturkontroll under lagring och transport av kylda och frysta livsmedel¹².

När det gäller djupfrysta livsmedel ska dessa i alla delar hålla en temperatur på -18°C eller lägre¹³ (kortvarig temperaturhöjning till högst -15°C kan godtas vid transport, lokal distribution samt vid avfrostning i frysdiskar). Vidare ska färdigförpackade kylvaror vara märkta med en förvaringsanvisning med rekommenderade förvaringstemperatur¹⁴, alltså är det producentens ansvar att fastställa en lämplig produkttemperatur för varje enskild produkt. Men generellt sett är +8°C en övre temperaturgräns innan tillväxten av bakterier ökar väsentligt¹⁵. Därför ska det, oavsett kyl- eller frysutrymme, finnas fungerande temperaturgivare för att kontrollera aktuella

⁸ Sveriges Riksdag (2016), *Förordning (2016:1128) om fluorerade växthusgaser*

⁹ Naturvårdsverket, *Vägledning om fluorerade växthusgaser*

¹⁰ Svenska kyl- och värmepumpföreningen (2022), *Förslag till ny F-gasförordning - kommissionen vill öka tempot i utfasningen av HFC-köldmedier*

¹¹ Europaparlamentets och rådets förordning (EG) nr 852/2004 om livsmedelshygien

¹² Svensk Dagligvaruhandel, branschriktlinje rätt Temperatur under Lagring och transport För kylda och frysta livsmedel (2021)

¹³ LIVSFS 2006:12, *Livsmedelsverkets föreskrifter om djupfrysta livsmedel*

¹⁴ Artikel 25 i förordning (EU) nr 1169/2011 Förordning (EU) nr 1169/2011, bilaga X LIVSFS 2006:12

¹⁵ Livsmedelsverket, <https://kontrollwiki.livsmedelsverket.se/artikel/349/temperatur>

temperaturer. Då temperaturen även varierar i utrymmena är det viktigt att det finns kunskap om hur man placerar temperaturmätare och livsmedel på lämpligast platser¹⁶.

3.3 Utformning av kylsystem

Då kyl- och fryslagens kylsystem både är den största energianvändaren och det område där det bedöms finnas mest effektiviseringspotential är det som sagt detta som denna förstudie fokuserar på. Med bakgrund av tidigare nämnda F-gasförordningen används idag oftast de naturliga köldmedlen ammoniak (R717) och/eller CO₂ (R744) då de båda två har mycket låga GWP-värden (Global Warming Potential), 0 respektive 1. Utöver detta skiljer de sig åt en hel del, vilket påverkar hur kylsystemen utformas. I avsnitten nedan beskrivs de karaktäristiska dragen i kylsystem med respektive köldmedium. Men det ska poängteras att det inte är ovanligt att en verksamhet har flera kylsystem med olika köldmedium för att nyttja respektive köldmediums fördelar.

Livsmedelslager är indelade i kyl-, frys- och varmlager. Varje del har egna temperaturkrav. Representativa värden på lufttemperatur i frys och kyl kan vara:

- Frys: mellan -22°C och -25°C
- Kyl: mellan 2°C och 4°C
- Varmlager (torra varor): mellan 18°C och 23°C

Slussar och/eller snabbportar med lufridåer användas för att skilja olika temperaturzoner samt vid lastkajer. Avfuktning kan behövas vid lastslussar för att förhindra frost i lagret. Förångaren i kyl- och frysrum placeras vid taket för att motverka temperaturskiftning (varm luft stiger) och få en jämnare lufttemperatur. Höglager kan behöva en mer utspridd placering av förångarna. Fryslager behöver ha någon form av tjälspärr för att undvika skador i lagrets grund. Kylsystemets kondensorvärme kan med fördel återvinnas och användas i det varma lagret, i kontorsdelen, som tjälspärr, vid avfrostning och eventuell avfuktning.

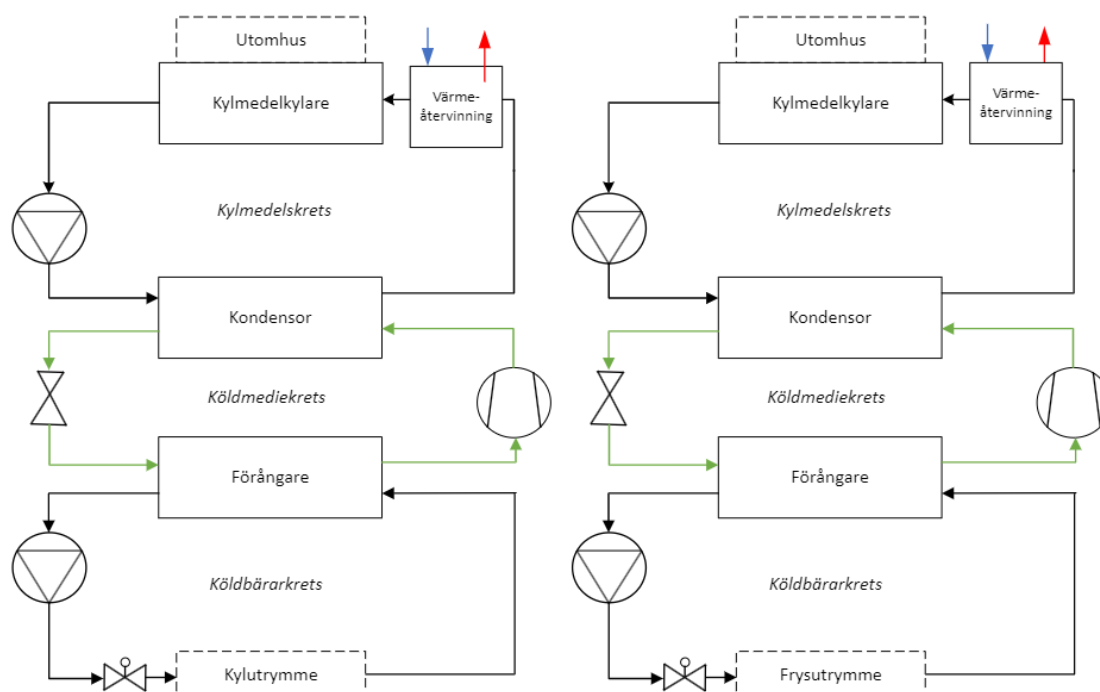
3.3.1 System med ammoniak som köldmedium (R717)

Ammoniak har goda termodynamiska egenskaper för att överföra värme och kyla. Det är dock giftigt och brandfarligt, vilket gör att det bör hanteras inom begränsat område där ett eventuellt läckage gör så liten skada som möjligt. Det är dock en fördel att ammoniak har en starkt doft som gör att läckage snabbt kan upptäckas, och att det är lättare än luft vilket gör att det stiger upp i takhöjd så inte personer exponeras för det lika snabbt. Men på grund av detta är det vanligt att kylsystem med ammoniak, eller andra brandfarliga och giftiga köldmedel, utformas som indirekta system¹⁷. Detta betyder att köldmediekretsen kyler en sekundär köldbärare (vanligtvis en blandning av vatten och glykol), som sprider kylan ut i verksamheten. Då kondenseringstemperaturen blir relativt låg med ammoniak som köldmedie kräver ofta värmeåtervinning från dessa system att en värmepump lyfter kondensortemperaturen så att

¹⁶ Livsmedelsverket, *Temperatur*

¹⁷ P. Tiljande m.fl., Belivs (2015), *Utformning av kylsystem för butiker utifrån bästa tillgängliga teknik*

värmen kan nyttjas. I Figur 1 nedan visas ett exempel på hur ett kylsystem med ammoniak för frysrums respektive kylrum ofta utformas, med köldmediet markerat i grön.



Figur 1 – Principskiss över hur ett kylsystem med ammoniak som köldmedium ofta utformas

3.3.2 System med CO₂ som köldmedium (R744)

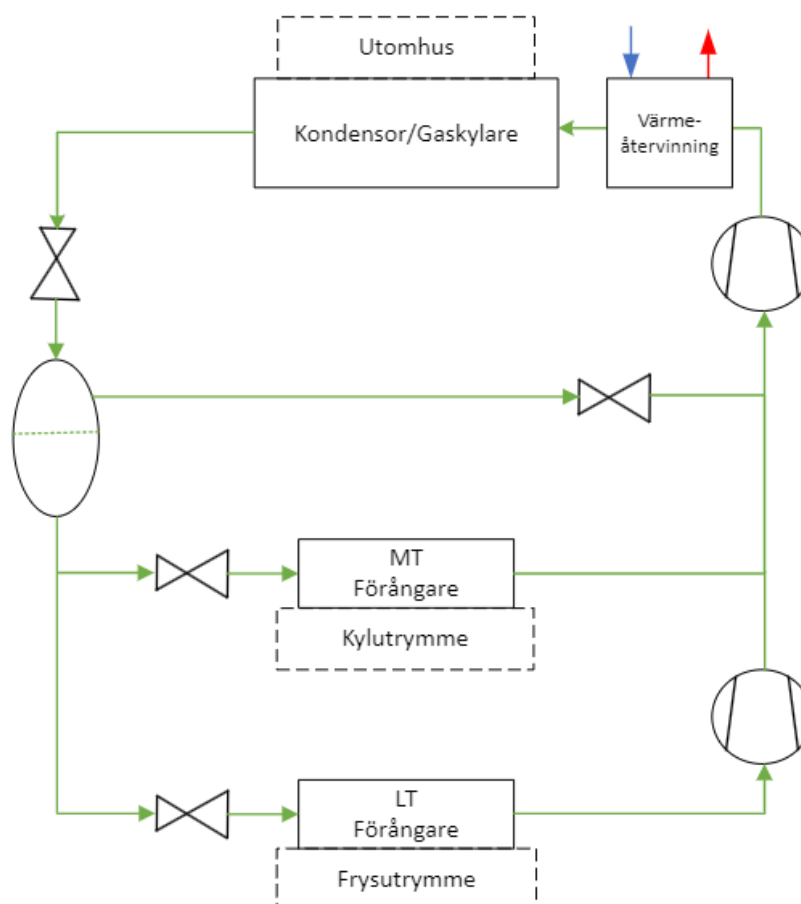
CO₂ har en kvävande effekt vid höga koncentrationer och är tyngre än luft, varpå det samlas runt marknivå vid läckage. I övrigt är CO₂ inte hälso-, miljö-, eller brandfarligt¹⁸. Detta gör att kylsystem med koldioxid som köldmedium inte nödvändigtvis måste begränsas till skyddade områden med värmeöverföring till annan köldbärare, utan kan ledas direkt ända ut till förångare som är placerade där kylan ska avges. Detta kallas för direktexpansionssystem.

En betydande skillnad mellan CO₂-system och traditionella kylsystem är att trycknivån på grund av CO₂'s fysikaliska egenskaper är högre än andra köldmedier, i området av 60-100 bar (kondenseringstryck). Den kritiska punkten, som är punkten innan ämnets skillnad mellan vätska och gas upphör och ämnet blir superkritiskt, för CO₂ är 31°C och 74 bar. Om kylcykeln passerar denna gräns kallas det för transkritiskt drift och om cykeln håller sig under denna kallas det subkritiskt, vilket är det normala fallet för andra köldmedier. Fördelen med en transkritisk cykel är att kondenseringstemperaturen ökar, vilket gör att överskottsvärmen håller en högre temperatur och kan vara mer användbar, men nackdelen som följer är att kompressionen av köldmediet blir mer energikrävande varpå COP sjunker. Vanligtvis eftersträvas CO₂-system att köras subkritiskt, men under varma sommar dagar när temperaturen överstiger ca 25°C är inte subkritisk drift möjlig.

Att konstruera CO₂-systemet med två förångare på olika trycknivåer, medeltemperaturnivå (MT) och lågtemperaturnivå (LT), och kompressorer i två trycknivåer (långt respektive högt

¹⁸ Dafo (2016), *Säkerhetsdatablad koldioxid*

tryck), är ett vanligt förfarande för att kunna betjäna både kyl- och frysutrymmen med samma system¹⁹ (s. k. boostersystem). I Figur 2 nedan visas ett exempel på denna utformning, även här med köldmediet visat i grönt. Efter kondensorn eller gaskylaren expanderas CO₂t vilket ofta resulterar i en tvåfasblandning, det vill säga både gas och vätska. Då gas inte bidrar till någon kyleffekt är detta inte önskvärt i MT-förångaren, varpå det är fördelaktigt att använda en vätskeavskiljare innan detta och sedan by-passar gasen förbi förångaren²⁰.



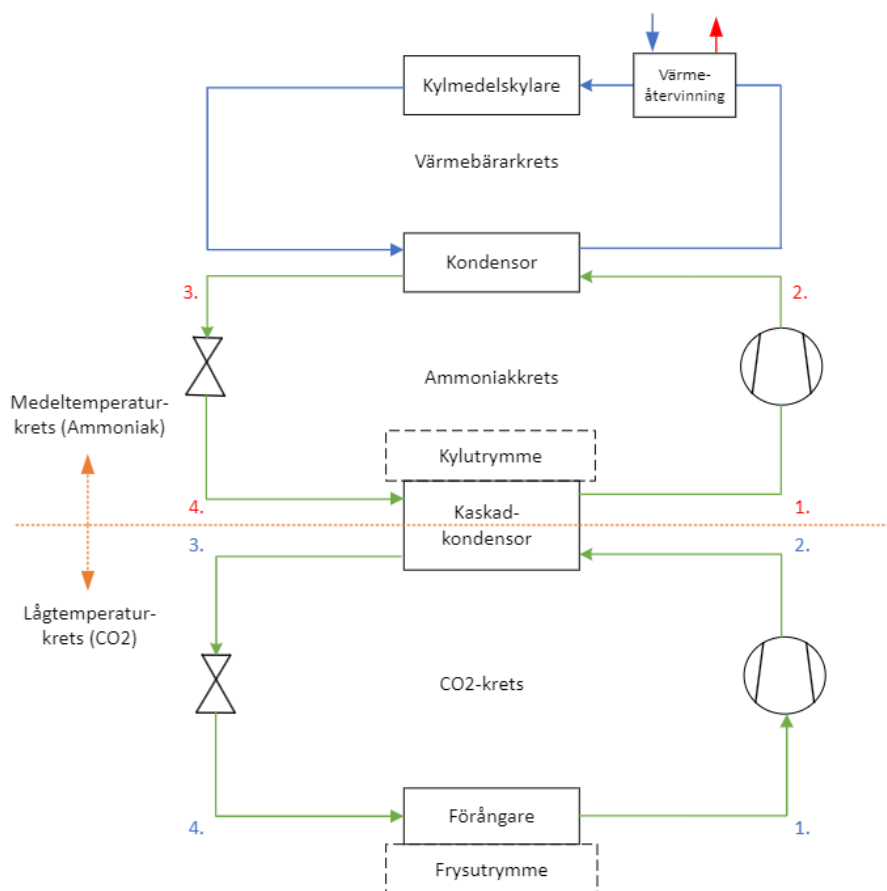
Figur 2 - Principskiss över hur ett kylsystem med CO₂ som köldmedium ofta utformas

3.3.3 Kaskadsystem CO₂ och ammoniak

Ett annat alternativ är ett kaskadsystem där både CO₂ och ammoniak används, vilket Figur 3 visar en typisk utformning av. CO₂ används som köldmedium i lågtemperaturkretsen som betjänar frysdelen medan ammoniak används i kylkretsen. Kondensorn i lågtemperaturkretsen (CO₂) agerar samtidigt som förångaren i medeltemperaturkretsen (ammoniak). Värme fläktas bort via kondensorn i ammoniakkretsen alternativt via en separat värmebärarkrets med kylmedelkylare.

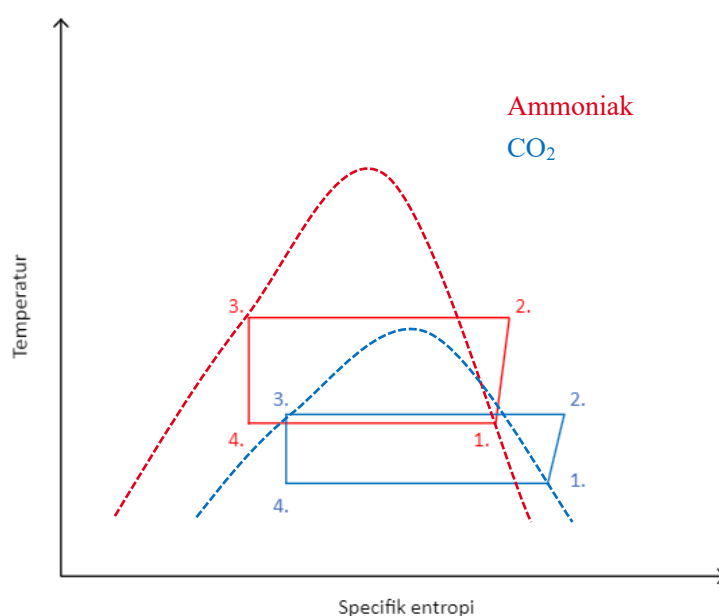
¹⁹ P. Tiljande m.fl, Belivs (2015), *Utformning av kylsystem för butiker utifrån bästa tillgängliga teknik*

²⁰ M. Lööf (2019), *Utvärdering och jämförelse av CO₂-kylsystem i en livsmedelsbutik*



Figur 3 – Exempel på typisk utformning av kaskadsystem

I Figur 4 nedan visas ett kaskadsystem med ammoniak och CO₂ i ett s.k. T-S-diagram, med temperaturen på y-axeln och entropin på x-axeln. CO₂-kretsen med lägre temperaturer visas i blått och ammoniakkretsen med något högre temperatur i rött. Siffrorna visar vilka delar av cyklerna nedan som motsvaras av respektive del i den schematiska bilden ovan. Det är tydligt hur cyklerna överlappar varandra något i kaskadkondensorn.



Figur 4 – Översikt av hur respektive köldmediums temperatur och entropi varierar i kaskadsystemet

3.4 Kyl- och fryslager som en aktör i energisystemet

Som nämnts tidigare finns det ofta mycket överskottsvärme i kyl- och fryslager, även om det egna värmebehovet tillgodoses med återvunnen värme. Istället för att bara släppa ut denna överskottsvärme kan kyl- och fryslager sälja den till fjärrvärmenäten. Några kyl- och fryslager har börjat sälja delar av sin överskottsvärme, men här finns mycket potential kvar. SamEnergi är ett initiativ från Vattenfall som verkar för att öka utnyttjandet av överskottsvärmen från verksamheter som kyl- och fryslager²¹. På sikt hoppas Vattenfall att 10-15% av värmen i fjärrvärmenäten ska bestå av överskottsvärme som tidigare bara slösats bort²². Bland annat har även Stockholm Exergi goda ambitioner om att ta tillvara på så mycket överskottsvärme som möjligt i sitt fjärrvärmesystem²³.

Utöver att leverera överskottsvärme kan kyl- och fryslager även erhålla en viktig roll i energisystemet genom att anpassa sitt effektuttag. I den nationella strategin för elektrifiering²⁴ som regeringen publicerade i början av 2022 betonas vikten av effektiv användning av både energi och effekt. Med ett kraftigt ökande effektbehov och mer intermittent elproduktion kommer det finnas ett stort behov av flexibilitet i elsystemet.

Kyl- och fryslager kan här spela en viktig roll då deras kylsystem använder stora mängder el och har betydande effektuttag. För då det finns en viss tröghet i dessa ofta välisolerade fastigheter och en tolerans för temperaturnivån (främst i lagrens frysutrymmen) så finns det möjligheter att dra ner på effektuttaget vid utvalda tider då elnätet är som mest belastat, och få ersättning för det. Flexibilitetstjänster till elnätet som lämpar sig till kyl- och fryslager kan vara:

- Frekvensreglering: Svenska kraftnät (SvK) ansvarar för balansering av produktion och användning av el, eller frekvensreglering. Vissa elanvändare kan leverera stödtjänster för frekvensreglering genom att avstå från att använda el under korta perioder. Tjänsten tillhandahålls via elhandelsbolag och aggregatorer²⁵.
- Lokala flexibilitetsmarknader: för att lösa lokala kapacitetsbrister i elnäten har Svenska kraftnät, i samverkan med vissa regionnåtsägare, några pågående pilotprojekt där elanvändare minskar sin elanvändning när det behövs och skapar flexibilitet i elnäten²⁶.

Till exempel har Göteborg Energi under 2022 startat sin första insats inom flexitjänster på SvKs stödtjänstmarknad med en av deras elhandelskunder, och detta är en kund som har viss kyl- och frysverksamhet²⁷. När det gäller lokala flexibilitetsmarknader finns idag dessa i sex svenska geografiska regioner (Stockholm, Göteborg, Skåne, Uppsala, Gotland och Västernorrland/Jämtland) där en stor andel av landets kyl- och fryslager är belägna. För att

²¹ Vattenfall (2021), *Så kan du återvinna din överskottsvärme*

²² SVT (2019), *Nu värms svenska hem av ishallar och fryslager*

²³ Stockholm Exergi, *Vi tar vara på överskottsvärmen*

²⁴ Regeringen (2022), *Nationell strategi för elektrifiering – en trygg, konkurrenskraftig och hållbar elförsörjning för en historisk klimatomställning*

²⁵ Svenska kraftnät (2021), *Frekvensstabilitet*, www.svk.se/om-kraftsystemet/om-systemansvaret/kraftsystemstabilitet/frekvensstabilitet/

²⁶ Svenska kraftnät (2021), *Lokala flexibilitetsmarknader*, www.svk.se/utveckling-av-kraftsystemet/systemansvar--elmarknad/lokala-flexibilitetsmarknader/

²⁷ Göteborg Energi (2022), *Med flexitjänster får Direkt Chark betalt för att bidra till ett mer hållbart elnät*

upprätta en förståelse för hur dessa lokala flexibilitetsmarknader fungerar och vad som krävs för att bli en flexleverantör har Power Circle nyligen gjort ett sammanfattande faktablad om detta²⁸.

²⁸ Power Circle (2022), *Lokala flexibilitetsmarknader*

4 ERFARENHETSÅTERFÖRING

I detta kapitel sammanställs de erfarenheter som erhållits via förstudiens intervjuer. Det första avsnittet utgörs av en sammanställning från intervjuer med projektörer, serviceansvariga och kylexperter, vilket sedan följs av ett avsnitt med innehåll från intervjuerna med lagerverksamheterna och fastighetsägare. Kapitlet avslutas med intervjuerna av två verksamheter som tillsammans är aktiva inom effektflexibilitet.

4.1 Projektörer, serviceansvariga och kylexperter

4.1.1 Utformning av kylsystem

I frysutrymmen bör det vara mellan -20°C och -25°C , för att säkerställa att produkterna inte överstiger -18°C . Temperaturen i kylutrymmen beror mer på vilka produkter det är, men vanligtvis runt $+2^{\circ}\text{C}$. Det är viktigt att inse att lagrens kylar inte ska kyla ner produkter, utan bara se till att de bibehåller sin låga temperatur. För att hålla samma temperatur i hela lagerutrymmena är placering av förångare viktiga. De bör placeras högt då värme stiger uppåt och det då blir en naturlig omrörelse av lagrets luft. Detta blir viktigare ju högre lagret är. Denna aspekt är utmanande i kyl- och frystransporter där utrymmet ofta är väldigt begränsat.

Vissa lager har avfuktare, främst vid inlastningsytor. Behovet av avfuktare varierar dock och är bl.a. beroende på hur mycket portöppningar det är, hur väl luftfridåer och porttätningar används samt hur mycket tvärdrag det är i lagret. På de flesta lager är portar inte öppna mer än nödvändigt och ofta styrs dessa på rörelse. Men i vissa fall trycks det på nödstopp när porten är öppen för att den inte ska stängas och transporterna genom porten ska gå fortare, vilket givetvis är ofördelaktigt ur ett fukt- och temperaturperspektiv.

Ett intervjuobjekt berättade om ett nybyggt kyl- och fryslager där kylcentralen är högt belägen under fastighetens tak och längs med takets utsida sprids sedan ammoniak ut till olika takplacerade förångare som sedan kyler de tre olika lagerområdena torrlager, kylager och fryslager. Det är tre separata ammoniaksystem, ett för respektive lagertyp och förångningstemperatur. Takets ammoniakledningar är konstruerade med en liten lutning mot kylcentralen så att all ammoniak naturligt rör sig tillbaka dit vid ett eventuellt stillestånd. Då takhöjden är ca 30 meter är det viktigt att kylan sprids horisontellt i takhöjd så att det blir en naturlig cirkulation av luften där den något varmare luften stiger uppåt mot förångarna. Även in- och utlastningszonerna kyls av samma ammoniaksystem, men via ett indirekt system. Ammoniaken växlas mot glykol som agerar som köldbärare ut till in- och utlastningszonerna.

Kyleffekten varierar mellan olika kyl- och fryslagens beroende på dess utformning och karaktär, så som höjd till tak och hur mycket ofrivillig ventilation det är genom dörrar och portar. Men en kylprojektör har en tumregel om 130 W/m^2 i kyleffekt, som sedan då får anpassas efter olika utstickande förutsättningar.

4.1.2 Val av köldmedium

I princip alla kylsystem i kyl- och fryslager använder CO_2 eller ammoniak som köldmedium. Tidigare har ammoniak varit mer vanligt förekommande som köldmedium än CO_2 då CO_2 kräver betydligt högre tryck. CO_2 -kompressorer har därför traditionellt sett varit mindre i storlek och ammoniak därmed vanligast i de största kylsystemen. Men CO_2 -kompressorerna har nu utvecklats tekniskt och blivit större i storlek, inte minst efter att de blev vanliga i livsmedelsbutiker för ca 15 år sedan. Nu när tekniken tillåter även större CO_2 -system så

konkurrerar det ut ammoniak mer och mer, även i stora system där tidigare ammoniak dominerat.

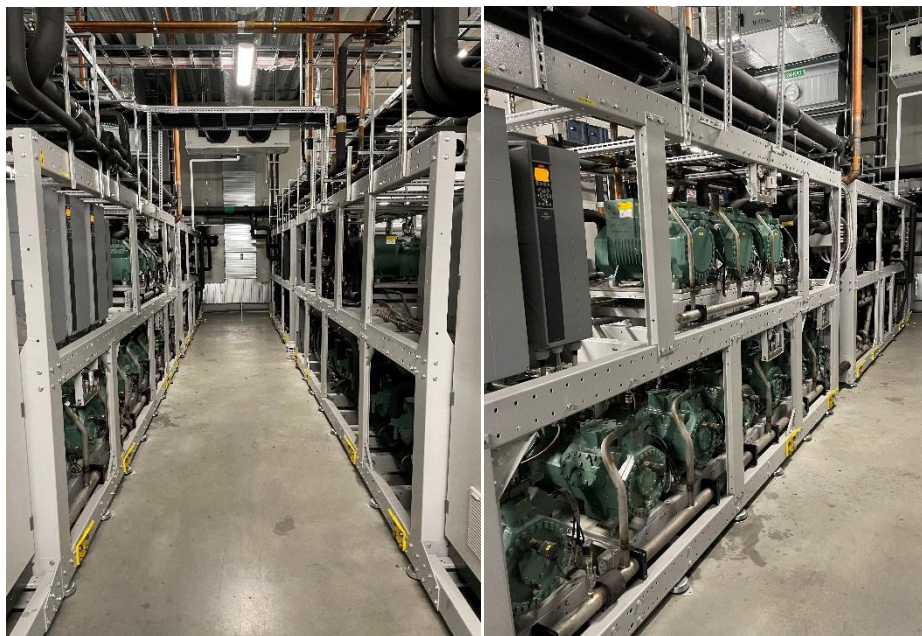
I vissa kyl- och fryslager har man både CO₂ och ammoniak, där ammoniaken vanligtvis används till kyl och CO₂ till frys. Men då ammoniak är giftigt och brandfarligt är dessa system ofta indirekta, dvs värmeväxlas mot en köldbärare som t.ex. glykol som sprider kylan i lokalen. Även om ammoniak bör begränsas till brandsäkra områden så vittnas det om att detta inte alltid följs. Däremot brukar det åtminstone alltid finnas ammoniakdetektorer som larmar vid ammoniakförekomst.

De främsta anledningarna till att ammoniak väljs är att det är det traditionella köldmediumet i industritillämpningar och är välbeprövat, det är energieffektivt och oftast ett något billigare alternativ än CO₂. Men då ammoniak är brandfarligt och giftigt begränsas ofta utrymmet som detta hanteras på. Därför utformas dessa system ofta som indirekta, vilket betyder att ammoniaken värmeväxlas mot en annan köldbärare, exempelvis glykol. En extra värmeväxling medför mer förluster. Ett direkt system utan annan köldbärare skulle dock utöver brandrisken även resultera i större mängder köldmedium och större risk för läckage.

De största fördelarna med CO₂ är att det inte är giftigt (men kan vara kvävande) vilket gör det mer anpassningsbart vad gäller placering av förångare och gaskylare och att det inte behövs värmeväxling till någon annan köldbärare för att minska ytan som köldmediet hanteras i. Sedan är det också en stor fördel att värmeåtervinningen från CO₂-system kan göras vid en högre temperatur. Ur värmeåtervinningssynpunkt levererar CO₂-system högre kondensortemperaturer (ca 50-60°C, jämfört med ca 25-35°C för ammoniaksystem) och överskottsvärmen kan därmed nyttjas mer till uppvärmning av tappvarmvatten och lokaler. Dock så försämras CO₂-systemens prestanda när skillnaden mellan förångningstemperatur och kondenseringstemperatur blir för stor och när det körs transkritiskt. Det är vanligt med s.k. boostersystem med seriekopplade låg- och högtryckskompressorer med två olika förångare. Även om CO₂ ofta är ett dyrare alternativ än ammoniak så blir CO₂ mindre och mindre dyrt då de systemen görs i allt större serier, och många serviceföretag börjar rikta in sig mer och mer mot CO₂.

En person var vid intervjudpunkten med och utformade ett kylsystemen i ett nytt stort kyl- och fryslager. Verksamheten har valt ammoniak som köldmedium till sina större kylsystem då man haft det i gamla lager där det fungerat bra och man känner sig därmed trygga med det. Vidare ansågs inte högre temperaturer på restvärmen vara en tillräckligt stor fördel gentemot det underhåll som krävs för CO₂-system och för att livslängden på utrusningen påverkas av de höga trycken som krävs. Det finns dock två mindre CO₂-kylsystem som betjänar kökskylan i anslutning till ett bageri och en personalmatsal fastigheten.

I samband med erfarenhetsutbytet med en av kylexperterna genomfördes ett studiebesök på ett kyl- och fryslager som denna varit med och utformat för två år sedan. I Figur 5 nedan visas ett par bilder från denna kylanläggning. I detta fall valdes CO₂ som köldmedel då totalkostnaden i detta fall blev lägre jämfört med ett ammoniaksystem samt att det i kyl- och fryslagrets närområde fanns fler som kan serva och underhålla CO₂-system. Att det sedan gör kyl- och fryslagret helt självförsörjande på värme, utan några värmepumpar, har också varit en faktor.



Figur 5 – Utseende på besökt CO₂-kylanläggning

4.1.3 Avsättning av värmeåtervinning

Det är väldigt vanligt att värmeåtervinning nyttjas under fryslagerdelarna för att motverka tjälfrysning i marken under då det räcker med låga temperaturer för detta. I övrigt är det utmanande att hitta avsättning för dessa låga värmeåtervinningstemperaturer, som främst är vanliga med ammoniaksystem. Men ska värme från ammoniaksystem nyttjas till annat så krävs det mer eller mindre alltid en värmepump som lyfter temperaturen ytterligare, helst upp mot 80°C. Med högre temperaturer kan det vara möjligt med ett eget litet "fjärrvärmenät" som även grannar kan ta del av, men det är ovanligt förekommande. Utöver att återvunnen värme används till uppvärmning av golv så är det vanligt att det används till varmvatten eller uppvärmning av kontor etc.

Den största energimässiga bristen i kyl- och fryslager idag är att inte värmeåtervinning utnyttjas tillräckligt. Speciellt i ammoniaksystem varifrån temperaturen är låg används vanligtvis bara överskottsvärmen som tjälskydd via golvvärme. De fastighetsägare som har flera verksamheter i samma eller närliggande byggnader är bättre på att utnyttja överskottsvärme, då de har mer avsättning för det själva.

Att sälja värme över fastighetsgränser eller till fjärrvärmenät är ovanligt, då de ekonomiska incitamenten för det är för små. Förmodligen krävs större lönsamhet för att detta ska ske oftare. För avsättning till fjärrvärmenät varierar även temperaturkravet från energibolaget, men anses det okej med temperaturer runt 70-80°C är det möjligt om det är CO₂-kylsystem. Den stora utmaningen med det värmeöverskott som finns i kyl- och fryslager idag är att finna avsättning för det under sommartid när värmebehovet är lågt.

En intervjuad person gav ett exempel på en verksamhet där temperaturen på värmen från kylsystemen höjs med värmepumpar och förser fastigheten med värme till både varmvatten och uppvärmning så att man i princip räknar med att vara självförsörjande på värme. Möjlighet till anslutning och avsättning mot fjärrvärmenätet via värmepumparna planeras. Värmeöverskott som det inte finns behov för dumpas idag via någon av kondensorererna på taket.

4.1.4 Energieffektiviseringsåtgärder

Övriga vanliga energieffektiviserande åtgärder i kyl- och fryslager handlar mycket om att minska den ofrivilliga ventilation genom tätning runt lastbilsslussar eller lufridaer vid portar. Utöver att det släpper in värme i kyl- och fryslagren så för det även in fukt som fryser och ställer till besvär inne i lagren. Därför bör avfuktare monteras vid inlastningszonerna så att inkommande luft avfuktas direkt. Det finns avfuktare som idag till stora delar kan drivas av värme istället för el. Detta är en passande applikation i kyl- och fryslager då det finns som mest värmeöverskott under årets varmare delar då även avfuktningsbehovet är som störst.

4.1.5 Utvecklingsbehov, möjligheter och utmaningar

En av de största utmaningarna med kyl- och fryslager är att få till en optimalt fungerande helhet med kylsystemen och dess angränsande system. Det är ofta flera olika typer av konsulter och projektörer inblandat (kyla, VVS, el etc.) och det kan lätt bli att var och en sköter sin del, vilket leder till fel och brister i gränsdragningarna mellan respektives ansvarsområde. Vid uppförande av nya kylsystem bör det därför fokuseras mer på dialog och samverkan mellan de olika aktörerna. Intrimning av ett nytt kylsystem tar ofta upp mot ett år innan det fungerar optimalt även vid bra samarbeten, och ännu längre om det blir problem mellan de olika delsystemen.

För att anpassa kyl- och fryslagrens effektuttag hade lagring av el varit fördelaktigt. Batterilager är dock dyrt och man vill inte överdimensionera dessa. För att anpassa effektuttaget skulle man även kunna vara lite flexibel med temperaturen i fryslager och gå ned något lägre i temperatur då elnätet inte är som mest ansträngt, för att sedan gå ner i effekt när belastning i elnätet är stort. Generellt sett har dock kyl- och fryssystemen högre elbehov under dagtid då det är mer ofrivillig ventilation genom portar och dörrar. Det finns även frysvaror som är mer känsliga än andra, exempelvis glass. Vidare är temperaturregleringar känsligare i kyldelarna. Det förekommer att temperaturen i frysdelarna sänks något under natten då elen är billigare, för att inte behöva förbruka lika mycket under dagen. Kyl- och fryslager utvecklas mot att de blir bättre och bättre isolerade vilket gör att förutsättningarna för att vara flexibla med sin kyleffekt förbättras.

Det anses därmed finnas potential för att kyl- och fryslager till viss del kan anpassa sin effekt efter rådande effektläge i elnätet. Precis som med att sälja överskottsvärme blir detta en affärsmässig fråga där tillräcklig lönsamhet behövs för att en förändring eller anpassning ska ske. Detta är hittills ovanligt i Sverige, men betydligt vanligare i Finland. Där är affärsmodellen för att anpassa sitt effektuttag så pass fördelaktigt att många kyl- och fryslager är beredda att göra detta. Förmodligen är detta något Sverige kan lära sig av.

Laddning av ellastbilar kommer bli viktigare att erbjuda för lager i framtiden, och kommer bli ytterligare en effektmässig utmaning. Ett nytt lager som byggs under 2022 kommer redan vid driftstart erbjuda vissa möjligheter till laddning av ellastbilar, och man är medvetna om att denna efterfrågan kommer öka och att elbehovet därmed kommer följa efter. Därför har elen dimensionerats högt och det ska även installeras solceller på större delen av taket. Elförsörjningen är redundant med två olika matningar vilket gör att man inte behöver reservaggregat.

4.2 Lagerverksamheter och fastighetsägare

4.2.1 Rådighet över kylsystem

En av verksamheterna äger majoriteten av sina kvadratmeter kyl- och fryslager. De lager man inte äger själva är upplägget för rådighet över energifrågorna liknande som där man äger, via hyresgäst Anpassningar med aktuell fastighetsägare.

En annan verksamhet äger bara en av sina fastigheter och hyr därmed majoriteten, av olika fastighetsägare i olika delar av landet. Avtalen är ofta långa och när det kommer till energieffektivisering tar man hela investeringen och hela besparingen själva. Verksamheten har fullt ansvar över sina kylsystem under avtalstiden, och vid ett avslutat avtal ska kylsystemen vara i brukligt skick, annars får man stå för reparationerna. När ett avtal närmar sig sitt slut är man av naturliga skäl mer återhållsamma med investeringar.

Det är även vanligt att en verksamhet hyr sina lager av en och samma fastighetsägare som man har ett bra samarbete med. En av lagerverksamheten uttrycker att denna typ av samarbete gör att de kan vara med och påverka själva mer, och också kan driva på med ett eget hållbarhetsfokus. Via detta samarbete anser man sig få relativt bra koll på energifrågorna och det finns kunskap och medvetenhet om vad som behöver göras för att öka energieffektiviteten. Det finns ett hållbarhetsmål om att vara klimatneutrala om inte alltför många år. Även om man är hyresgäst så arbetas det aktivt mot fastighetsägaren med vad som kan behöva göras och tar del av investeringar. I några fall där man delar fastighet med andra verksamheter kan det vara svårare att påverka och se till att energieffektiviseringsåtgärder blir gjorda.

En verksamhet är i arbete med att bygga ett nytt större lager, som på sikt ska ersätta två andra. När lagret är färdigställt kommer verksamheten att vara hyresgäst i fastigheten, men man ansvarar själva för driftskostnad och underhåll. Behöver någon nyinvestering göras i lagret så förs en dialog om det med fastighetsägaren.

Kärnverksamheten med kyl- och fryslager bedrivs för en aktör i fyra större hyrda lagerlokaler. Det finns även dotterbolag med liknande mindre verksamheter. Man hyr av två olika fastighetsbolag som båda är uppmuntrande till energieffektivisering. Verksamheten har själva full rådighet över sin energianvändning och kostnaden för detta, samt har ansvaret av att drifta och underhålla kylsystemen, vilket man tar in kylentreprenörer för. Vid genomförande av energieffektiviseringsåtgärder utförs en förhandling med fastighetsägare vad gäller investering och eventuell korrigerande av hyra.

Även en verksamhet som hyr ut kyl- och fryslagerfastigheter har intervjuats. Avtalen med hyresgästerna och deras egna rådighet varierar från fall till fall, men det vanligaste är att hyresgästerna har ett eget abonnemang och har full rådighet över sin energianvändning. Vad gäller kyl- och frysutrustning så äger oftast fastighetsägaren dessa, men hyresgästen står själva för driften och underhållet. Även när energieffektiviseringar ska genomföras så varierar upplägget, men fastighetsägaren brukar stå för investeringen och sedan anpassas hyresavtalet efter de minskade driftskostnader effektiviseringen innebär för hyresgästen. Det eftersträvas att båda parter ska tjäna på energieffektiviseringen.

Bland de kyl- och fryslager som är fristående och inte ingår i någon större koncern äger samtliga intervjuade verksamheter själva sina fastigheter och har därmed full rådighet över alla sina kylsystem, installationer och klimatskal.

4.2.2 Val av köldmedium

Desto äldre kylsystemen är desto större är andelen ammoniak som köldmedium, då det är det köldmedium som traditionellt sett varit vanligast men som fortfarande är aktuellt, medan CO₂ blir vanligare i nyare kylsystem.

CO₂ är det köldmedium som ett av de vidtalade verksamheterna satsat på sedan 2011. Idag är det nästan uteslutande CO₂ som används, det är bara några äldre kylmaskiner kvar med annat köldmedium som ska bytas ut.

En av de intervjuade verksamheterna har främst ammoniak som köldmedium, men har CO₂ som köldmedium på en av sina anläggningar. Vissa mindre splittar och system har ickenaturliga köldmedier som man håller på att fasa ut. En annan verksamhet har inte heller något uttalat val av ammoniak eller CO₂, utan försöker se varje fall för sig och applicerar det som lämpar sig bäst för aktuellt projekt.

En verksamhet använder nästan uteslutande ammoniak som köldmedium, bara på en av de mindre anläggningarna används CO₂. Även om fastigheterna hyrs och man inte själva äger kylsystemen brukar krav ställas och det är då ammoniak som önskas. Det främsta argumentet för detta är att underhållet av ammoniaksystem anses som mindre och billigare, i jämförelse mot CO₂-system där man tycker det blir mycket underhåll till följd av många kompressorer och höga trycknivåer.

Även en annan aktör använder ammoniak som köldmedium, vars kyla sedan distribueras ut i lagret med glykol. Verksamheten var inte själva inblandade i projekteringen av kylsystemet och har därmed inte lagt så mycket värdering i val av köldmedium mer än att det ska ha låg klimatpåverkan. Andra anledningar att ammoniak valts som köldmedium är att det ansetts passa verksamheten bäst med avseende på temperaturkrav och att det inte funnits något jättestort behov av överskottsvärme.

4.2.3 Avsättning av värmeåtervinning

Alla intervjuade verksamheter använder åtminstone återvunnen värme för att värma golven under frysutrymmena som tjälskydd. Utöver detta skiljer det sig åt en hel del med hur stor del av det interna värmebehovet som täcks eller om man till och med säljer värme. De flesta använder även återvunnen värme för tappvarmvattenbehovet och delar av lokaluppvärmningen, men med ammoniaksystem krävs då som sagt någon typ av värmepump. Några av de intervjuade lagerverksamheterna nyttjar även återvunnen värme till upptyningsprocesser, vilket är extra fördelaktigt då det liksom tjälskyddet och tappvarmvatten är ett värmebehov som även finns under sommarhalvåret då avsättningen för återvunnen värme annars är låg.

Under vinterhalvåret är det vanligt att majoriteten av överskottsvärmen kan användas, men under de varmare månaderna finns det som tidigare nämnts inte mycket avsättning för den. En verksamhet säger att geolager hade varit ett bra alternativ om man haft någon anläggning med bergvärmepumpar. På befintliga anläggningar har det inte övervägts att sälja överskottsvärme,

men när man tittar på nya anläggningar kommer det i framtiden beaktas alternativ för att kunna dela med sig av överskottsvärmen.

Värmeåtervinning från kylsystemen nyttjas mer på de större och nyare lagren för en av verksamheterna. Återvunnen värme försörjer dock bara egna värmebehov så som värme till kontor, kolonialtor och värmeslingor för tjälskydd under frysar. Detta då det ofta inte finns avsättning tillräckligt nära eller inte är tillräckligt lönsamt. Men att kunna avsätta till närliggande fastigheter eller fjärrvärmenät är något som kommer beaktas mer och mer framgent. Det har dock av vissa verksamheter erfarits att fjärrvärmebolaget inte är intresserade av att köpa överskottsvärme.

En verksamhet säljer överskottsvärme till fjärrvärmenätet på ett av sina lager och har geoenergilagret på ett annat, medan övriga bara täcker interna värmebehov. Att sälja värme till fjärrvärmenätet var en anpassning som gjordes i samband med att lagret byggdes om.

Ett nytt lager som en verksamhet bygger har inte någon fryst yta och den kylda andelen utgör knappt 40% av totala ytan, varpå värmeöverskottet från kylsystemet inte beräknats bli betydande. Alternativ för att sälja värme har därmed inte beaktats i någon större utsträckning. Utöver uppvärmning av lokalytor så förvärms även allt varmvatten med överskottsvärme. Värme återvinns även från lagrets tryckluftskompressorer. Anläggningen beräknas i stort sett kunna vara självförsörjande på värme, men fjärrvärme ska dras fram för att kunna spetsa under de kallaste perioderna. Användningen av fjärrvärme som redundans förekommer på flera verksamheter. En annan kyl- och fryslagerverksamhet hyr ut delar av sina fastigheter till andra typer av verksamheter som har ett större värmebehov, och kan därmed avsätta en stor del av sin överskottsvärme där. Även denna verksamhet har fjärrvärme som redundans.

En fastighetsägaren har utöver kyl- och fryslager en stor andel av angränsande lokaler som inte är kyl- och fryslager och har därmed också en större intern avsättning för värme som återvinns från kylsystemen. Det sker dels inom samma fastighet som kylsystemen är belägna i, men det finns även exempel då fastighetsägaren har flera fastigheter i samma område där man med ett eget värmesystem använder återvunnen värme i grannfastigheter. Utöver detta är det vanligt att fastigheterna värms upp med geolager, och dessa laddas ofta med överskottsvärme från kylsystemen. Det främsta incitamentet för detta är inte ett högre COP för anläggningen, utan att det istället gör att geolagret med hjälp av överskottsvärmen inte behöver lika många borrhål och på så vis sparar investeringskostnader. Av dessa anledningar är det ovanligt att fastighetsägaren har värme över att avsätta till fjärrvärmesystem. Detta har utvärderats i vissa fall, men det har fastslagits mer lönsamt att skicka ner värmen i borrhålen. Kombinationen av intern värmeåtervinning och geolager täcker i många fastigheter hela värmebehovet och flera verksamheter har därmed kopplats bort från fjärrvärmenätet helt. I dessa fall är det vanligt med en elpanna som spets, som sällan eller aldrig behövs.

4.2.4 Energieffektiviseringsarbete

Energieffektiviseringsarbetet för en verksamhet sker i nära samarbete med Facility Management-leverantörer i form av olika typer av konsulter och entreprenörer. Det som arbetas mest frekvent med är implementering av frikyla, optimering av återvinning av värme samt utbyte av belysning till LED-alternativ. Värmeåtervinning är mest implementerat på större samt nya anläggningar. Än så länge är inga solceller installerade på något av lagrens tak, men det är

något som det börjat tittas på. Det finns utmaningar i att montera det på tak av olika anledningar, bl.a. takens hållfasthet.

De vanligaste energieffektiviseringsåtgärderna för en annan verksamhet är installering av LED-belysning med närvarostyrning, utbyte av kompressorer till varvtalsstyrda samt optimering av kyldriften, som verksamheten har egen personal och expertis för. Det arbetas även en del med arbetsrutiner som sparar energi. Exempelvis så används infrysningstunnlar som snabbare sänker temperaturen på gods, och dessa är betydligt mer energieffektiva om de körs fullastade och inte halvfulla. Tidigare behandlades energifrågor inom koncernen mer decentraliserat för varje enhet för sig, men numera arbetas det centraliserat och mer konsekvent med detta.

En verksamhet som inte äger sina fastigheter belyser att man har olika förutsättningar för energieffektivisering på olika lager beroende på fastighetsägare, om man är ensam i fastigheten, hur ny fastigheten är etc. Men vid möjliga energieffektiviseringar tittas det först på hur stort genomslag det ger med avseende på kWh/m² och investeringen det innebär. Användandet av nyckeltal är i övrigt relativt outnyttjat i kyl- och fryslagerbranschen. Detta då det är svårt att få till en rättvis jämförelse av energianvändning eller annan energiprestanda då anläggningarna är så pass olika vad gäller fördelningen mellan kyl-, frys-, och varmlageryta.

Utöver de vanligaste större energieffektiviseringsåtgärderna som utbyte till LED och installation av solceller fokuserar en aktör mest på kontinuerliga optimeringar som effektiviserar energianvändningen. Men det är även på gång att börja utföra mer undermätning för att kunna dela in energianvändningen mer. I dagsläget tittas det mest på fastigheternas totala energi per kvadratmeter, vilket man nu vill börja specificera för kyla, belysning, truckar etc.

En fastighetsägaren berättar att hur mycket de driver på energieffektiviseringsarbetet i fastigheterna beror till stor del på hur medvetna och drivna hyresgästerna själva är i frågan. Beståndets energianvändning följs upp kontinuerligt och det finns ambitioner om att erhålla en hög energiklass i samtliga fastigheter. De hyresgäster som bedriver kyl- och fryslagerverksamhet är ofta större verksamheter där det på grund av större energianvändning finns en större egen medvetenhet om energieffektivisering.

Förutom utbyte till LED har ett kyl- och fryslager fokuserat mycket på att installera frekvensomvandlare för att kunna anpassa kompressorernas effekt efter rådande behov. Även solceller finns installerat på delar av taket, men om det inte varit så mycket skattehinder hade man installerat mycket mer solceller. Framgent siktas det på att förbättra isoleringen på verksamhetens äldre delar, något som de ökade energipriserna driver på. Bidrag hade varit bra för att kunna driva på energieffektiviseringsarbetet mer.

4.2.5 Utvecklingsbehov, möjligheter och utmaningar

Utmaningarna, och därmed utvecklingsbehoven, som det pratats om mest frekvent under intervjuerna är effektrelaterade. Dels att kunna generera mer effekt själva genom solceller och dels genom att minska effekttoppar. Att dessutom kunna få ersättning för att minska sin effekt under korta stunder har fått många positiva reaktioner.

Det varierar hur mycket verksamheterna ännu arbetar med effektreducerande åtgärder. Men generellt sett börjar delar av energieffektiviseringsarbetet mer övergå i fokus på att kapa effekttoppar, både för att minska effektagiften, men också för att säkerställa att effekten man har tillgång till ska räcka till det ökade elbehovet. Det är vanligt att det tittas på att styra vissa

flexibla elanvändare så de inte sker vid hög effektbelastning och att inte starta effektintensiv utrustning (som t.ex. infrysningstunnlar) samtidigt.

De allra flesta uttrycker att det måste bli enklare att bygga större solcellsanläggningar på kyl- och fryslagens tak och att det inte ska hämmas av lagstiftning och beskattningar. Elbehovet i kyl- och fryslagen går ofta hand i hand med när solcellerna genererar som mest. Bidrag hade varit bra för att kunna driva på energieffektiviseringsarbetet mer, men att sänka trösklarna för solceller anses som en av de viktigaste utvecklingsbehoven. Nästan alla som har installerat solceller hade installerat mer om det inte varit för beskattningen av större anläggningar. Det är redan elintensiva verksamheter och det blir mer och mer automation i lagren som använder el och det blir för varje år mer aktuellt att förbereda för laddning av både bilar och lastbilar.

Även om självanvändningen av solen är stor finns det även önskemål om att det ska bli mer fördelaktigt att sälja el, då det finns så stora takytor att installera solceller på. På ett nytt lagers tak har man trots beskattningsfrågan byggt en så pass stor solcellsanläggning att det kommer förekomma att det blir ett överskott på el. Det hade då varit önskvärt att det skulle vara förmånligt att sälja el till nätet eller grannfastigheter, men i dagens läge lutar det mer åt att det är mer gynnsamt att vid dessa tillfällen stänga av delar av anläggningen. Ett antal laddstationer för personbilar kommer finnas när lagret tas i drift, men framdragen effekt överdimensioneras för att förbereda för ett större antal och för att framgent eventuellt kunna erbjuda laddning för lastbilar. Men då lastbilarna av logistiska skäl ska stå så kort tid som möjligt vid portarna behövs det snabba laddare med hög effekt för att det ska göra nytta, och för detta antas en effektproblematik uppkomma.

Både lagerverksamheterna och fastighetsägaren har märkt av effektbristen, inte minst när det gäller utvecklingen av laddinfrastruktur. Några av verksamheterna sköter även transporter av livsmedel, delvis med egna fordon. En del av dessa drivs redan idag med el, och på sikt kommer fler och fler göra det. Det finns även laddstolpar till personbilar, vilket efterfrågan också ökar för. Man ser därmed redan nu att det kommer bli en utmaning framgent att ha tillgång till tillräcklig eleffekt för framtida behov. En av de verksamheterna som även ansvarar för transporter är ett globalt företag. Utöver utmaningarna relaterat till el har man därmed även utmaningar med bränslepriser och det politiska läget i östra Europa.

En fastighetsägare vittnar också om effektbristen relaterat till laddning av fordon. Det blir vanligare och vanligare att hyresgäster efterfrågar laddningsstationer och det brukar implementeras där det finns utrymme effektmässigt, vilket det inte alltid gör. Idag har man laddningsstationer för personbilar vid vissa kontor, och har även börjat förbereda för laddning av lastbilar på sikt. Det finns solceller på flera fastigheter, men det förs dialoger om att göra detta i större omfattning, för att på sikt eventuellt kunna lagra el och minska effekttoppar.

En verksamhet har påbörjat dialoger med kommunala elbolag om möjligheter och förutsättningar för att anpassa sitt effektuttag. De inser att det finns en tröghet i sina kyl- och fryslager som gör det möjligt att dra ner effekten på kylsystemen under korta stunder. Men man har också en respekt för att vissa varor är temperaturkänsliga och att det under de varmaste sommarmånaderna kan vara utmanande att avvara effekt och samtidigt säkerställa att rätt temperaturer bibehålls. En verksamhet har stora kyleffekter som delvis stundtals stängts ner vid höga elpriser under vintern 2021 och 2022. På en av de större anläggningarna med 1 600 kW i kyleffekt stängdes ca 1 200 kW ner i upp mot 3 timmar under vintermorgnar då elpriset var

som högst, vilket var mycket lönsamt bara ur ett elprisperspektiv. Det skulle bli ännu mer lönsamt om man dessutom varit leverantör av effekttjänster.

Kunskapen om effekterelaterade stödtjänster är relativt låg i branschen än så länge. Men de flesta är överens om att det finns en termisk tröghet i kyl- och fryslager som passar bra för effektreducerande stödtjänster och det har funnits ett stort intresse av att titta närmare på möjligheterna med detta. Det finns dock begränsningar i att inte alla lokala nätägare och elhandelsbolag ännu erbjuder möjligheter till effektreducerande tjänster.

Även om kyleffektbehovet beräknas vara som störst under sommarhalvåret så berättar en av verksamheterna att simuleringar har utförts i lager som liknas deras egna, som visat att omgivande luftens temperatur inte har så stor inverkan på kyleffekten som man tidigare trott. Detta beror på att nyare lager har bättre isolering och system för minskad ofrivillig ventilation genom portar etc. Därmed bör möjligheterna för att kunna stänga av kylsystemen under korta stunder vara goda även under sommarhalvåret.

Andra generella utmaningar som nämns är att energieffektiviseringens lägsta frukter är plockade och att det är de mer investeringstunga åtgärderna som fortfarande kvarstår. Sedan är även bristen på el med resulterande höga elpriser något som påverkar verksamheten i stort.

Nätverkandet mellan de olika aktörerna är i princip obefintligt, förmodligen delvis på grund av konkurrensfaktorer. Det hade kunnat vara givande för alla om man kunde dela med sig mer av sina erfarenheter relaterat till energieffektivisering, t.ex. via något typ av nätverk. Men det bör i så fall beaktas att det kan vara skillnader i rådighet mellan verksamheter som hyr sina lokaler och de som äger dem själva.

4.3 Verksamheter aktiva inom effektflexibilitet

Då potentialen för effektflexibilitet är hög för kyl- och fryslager så genomfördes intervjuer med ett energibolag och en verksamhet som under 2022 ingår i ett samarbete för effektflexibilitet.

Det finns idag flera olika flexibilitetsmarknader och intervjuat energibolag erbjuder två stycken. Den ena är en egen lokal marknad som riktar sig mot elnätskunderna och den andra riktar sig mot elhandelsekunderna som kan sälja sin flexibilitet till Svenska kraftnäts stödtjänstmarknad. Flexitjänster verkar aktivt för att anpassa förbrukning och konsumtion för att stödja balans och frekvens i energisystemet. Det är även denna flexibilitetsmarknad som främst riktar sig mot verksamheter likt kyl- och fryslager och som därmed främst berörs i denna förstudie.

För att vara flexleverantör behöver man kunna avsätta minst 100 kW effekt under 20 minuter. Bud på tillgänglig effekt läggs enligt pay-as-bid-prognosen och ersättning ges för varje godkänt bud per timme. För att samordna effektbehovet och den effekt som flexleverantören kan erbjuda finns det en budsamordnare som tredjepart (även kallat aggregator). Denna tredjepart lägger bud till elproducenten för den effekt som kan erbjudas. Hur stor ersättningen sedan blir för flexleverantören beror på hur stor del av deras bud som via budsamordnaren sedan avropas av elproducenten. Ersättning fås oavsett aktivering, likt en försäkring.

Även om ersättningen är svår att förutse så är investeringen, och därmed risktagandet, för att vara flexleverantör låg. Det finns även ett värde i att verksamheten slår ett slag för miljö och hållbarhet, då detta är en väg vi måste gå för att kunna utöka våra energisystem med förnyelsebara och intermittenta energikällor som sol- och vindkraft.

Verksamheten som ska bli flexleverantör har tillsammans med energibolaget identifierat energianvändare som via fjärrstyrning kan stängas av i 20 minuter då elnätet är som mest belastat, utan att det skadar verksamheten på något sätt.

Samarbetet initierades efter att en diskussion om flextjänster uppkommit vid samtal om olika elavtal. Detta följdes av inventering och kartläggning av verksamhetens största energianvändare, och man identifierade då några energianvändare som skulle vara lämpliga att testa för flextjänster. Utrustning för mätning och fjärravstängning inhandlades för respektive punkt. Detta kostar ca 25 000 kr per mätpunkt inklusive installation, och ungefär hälften om det kan installeras på egen hand.

Anledningen att detta valdes att genomföras var en kombination av att verksamheten ville göra en insats för en hållbar energianvändning och att det var lönsamt. Att inte fler har gjort det än beror förmodligen på att det ses som något nytt och okänt, samt att man inte ännu vet hur pass lönsamt det kan vara.

5 ANALYS AV POTENTIAL FÖR ENERGIEFFEKTIVISERING OCH VÄRMEÅTERVINNING

5.1 Energieffektivisering

Det finns sedan tidigare inget underlag eller statistik på hur mycket energi som totalt används i kyl- och fryslager i Sverige. Vidare finns det inte heller någon kartläggning över totalt antal kvadratmeter kyl- och fryslager det rör sig om. Inom denna förstudie har en uppskattning av totalt antal kvadratmeter gjorts för de åtta största kyl- och fryslagerorganisationernas (inklusive mat- och restauranggrossisters) lager samt fem av de största enskilda kyl- och fryslagren (de över 4 000 m²) i Sverige, vilket visas i Tabell 1 nedan.

Tabell 1 - Översikt av totala ytor för de största kyl- och fryslagerverksamheterna

Verksamhet	Total yta [m ²]
Organisation 1	407 000
Organisation 2	232 000
Organisation 3	191 000
Organisation 4	130 000
Organisation 5	113 000
Organisation 6	110 000
Organisation 7	85 000
Organisation 8	73 000
Enskilt kyl- och fryslager 1	36 000
Enskilt kyl- och fryslager 2	20 000
Enskilt kyl- och fryslager 3	16 000
Enskilt kyl- och fryslager 4	9 000
Enskilt kyl- och fryslager 5	8 000
Totalt:	1 428 000

Även om många mindre aktörer inte är inräknade här, som tillsammans säkert kan summeras till en betydande del, så ger detta en fingervisning om att det är stora ytor det rör sig om. Vidare är detta ofta energiintensiva ytor då stora delar är tempererade, så att det rör sig om stora totala energimängder råder det inga tvivel om. Men att utifrån detta beräkna den totala energianvändningen för kyl- och fryslager blir alltför många antaganden då det återstår många osäkerheter som gör att energianvändningen per kvadratmeter varierar stort.

Man vet inte vilka olika takhöjder det rör sig om eller hur ytfördelningen ser ut mellan kyl- och fryslager, fryslager, varmlager och kontor. Vissa lager är rena fryslager medan andra knappt har några kylda ytor alls. Även om nyckeltal som energi eller effekt per kvadratmeter är kända för enstaka lagerbyggnader kan dessa därmed skilja sig markant mellan olika lager. Vidare så behöver inte naturliga köldmedium som koldioxid och ammoniak rapporteras, vilket är de köldmedium som

används mest i kyl- och fryslager. En uppskattning av energianvändning till kylsystem i kyl- och fryslager baserat på rapporterad mängd köldmedium är därmed inte heller möjlig.

Båda energianvändningen och energieffektiviseringspotentialen varierar stort mellan olika typer av kyl- och fryslager och därmed går det inte erhålla en trovärdig uppskattning av någon av dessa utan en noggrannare analys. Detta är något som skulle kunna inkluderas i en framtida kartläggning av sektorn, med benchmarking över energianvändning eller demonstrationsprojekt på ämnet. Mer om detta i avsnitt 7 där möjligheter för nästa steg diskuteras.

Men då kylsystem enligt källorna till denna förstudie både utgör en klar majoritet av den totala energianvändningen och även är det område där potentialen för energieffektivisering är störst bör fokuset för energieffektivisering koncentreras än mer här. De vanligaste energieffektiviseringsåtgärderna på övriga energianvändare är i form av utbyte av belysning till LED eller minimering av ofrivillig ventilation genom portar och dylikt, och under denna förstudies intervjuer har dessa åtgärder visat sig generellt sett vara relativt brett implementerat redan. Vidare behöver kunskapen om effektreduktion ökas ytterligare, i dagsläget främst kopplat till kylsystemen men framgent även relaterat till laddning av fordon. Alla är redan medvetna om effektproblematiken, men det är färre som har koll på hur effektuttaget kan minskas eller vilka ersättningsmöjligheter det finns för att under korta stunder sänka sin effekt.

5.2 Värmeåtervinning

Utan vetskapen om mängd eller typ av köldmedium finns det även osäkerheter för vilka temperaturer överskottsvärmen från kylsystemen har. Som nämnts tidigare behöver ammoniaksystemen ofta värmepumpar för att lyfta temperaturen på överskottsvärmen medan CO₂-system ofta inte behöver det. Därmed vet man inte i hur många fall värmepumpar behövs, vilket påverkar systemens SCOP. Det blir därmed osäkert hur mycket värme som kan återvinnas, och även hur mycket el som eventuellt behöver tillsättas.

Det finns inte heller idag någon uppföljning på hur mycket överskottsvärme som redan nyttjas. Vidare är det även komplicerat att identifiera hur stor del av överskottsvärmen som är rimlig att återvinna. För oavsett exakt hur stor värmeåtervinningspotentialen är så är det för de flesta stora utmaningar med att finna avsättning för överskottsvärmen under sommarhalvåret. Även om det är vanligt att värme återvinns till tappvarmvatten som det finns behov av året runt täcker detta ofta bara en mindre del av värmeöverskottet. Avsättningen för detta kan öka om man även kan värma upp tappvarmvatten till angränsande verksamheter i samma fastighet eller i grannfastigheter. Ett annat effektivt sätt att nyttja överskottsvärmen även under sommarhalvåret är att värma upp borrhål. Detta kan göra att antalet borrhål som behövs för att täcka vinterns värmebehov minskar, och därmed även ett borrhålssystems installationskostnader.

6 ANALYS AV POTENTIAL FÖR SAMVERKAN MED ELSYSTEMET

Som det beskrevs i avsnitt 4 har kyl- och fryslager, tack vare dess termiska tröghet, goda förutsättningar och möjligheter att vara flexibla med dess eleffektuttag under korta tidsperioder och bidra till elnätets stabilitet, samtidigt som man får ekonomisk ersättning för det.

Kyl- och fryslager kan stötta elsystemet genom att hjälpa till att hålla frekvensen i elnätet stabil (frekvensreglering) och/eller genom att avlasta det lokala elnätet när det finns kapacitetsbrist. Det första alternativet gäller oavsett var i landet lagret befinner sig medan det andra är platsberoende. Vidare har frekvensregleringsmarknaden fungerat i mer än tio år och är relativt mogen medan de lokala flexibilitetsmarknader har varit verksamma under ett till tre år som pilotprojekt.

6.1 Frekvensreglering

För att utreda förutsättningarna och potentialen för frekvensreglering har intervjuer genomförts med en aggregator, ett elhandelsbolag och Svenska kraftnät, som detta avsnitt till stora delar bygger på.

För att elnätet ska fungera måste frekvensen hela tiden hållas inom snäva gränser runt 50 Hz. Detta innebär att elproduktion och elanvändning måste vara i balans hela tiden. Frekvensen i elnätet minskar när elanvändningen är större än elproduktionen. Faller frekvensen under 48,8 Hz måste elsystemet skyddas genom att bortkoppla elleverans stegvis, vilket sker genom automatisk förbrukningsfrånkoppling²⁹.

Störningar i elnätsfrekvensen kan uppstå vid fel och bortkopplingar av produktion eller förbrukning samt på grund av slumpmässiga variationer som förekommer i produktion och användning. I takt med att andelen planerbar elproduktion blir mindre och mindre (andelen väderberoende elproduktion via vind- och solenergi ökar) kan balansen mellan produktion och användning bli svårare att uppnå.

Det finns olika mekanismer och skyddsfunktioner för att hålla frekvensen stabil. En del av dessa är stödtjänster eller ”reserver” som syftar till att ändra produktion eller användning. Svenska kraftnät ansvarar för dessa stödtjänster, som är marknadsbaserade (d.v.s. upphandlas i öppen konkurrens, förutsatt att leverantören uppfyller vissa tekniska krav). Det finns olika typer av stödtjänster för frekvensreglering, beroende på om syftet är att höja eller sänka frekvensen, vid vilken frekvens dessa kan aktiveras, responstid och uthållighet. Figur 6 nedan visar de olika frekvensreserver/stödtjänster som Svenska kraftnät upphandlar.

²⁹ Svenska kraftnät (2022), *Styrel och förbrukningsfrånkoppling*

FRR	FCR-N	FCR-D upp	FCR-D ned	aFRR	mFRR
Snabb frekvensreserv (Fast Frequency Reserve)	Frekvenshållningsreserv -Normaldrift (Frequency Containment Reserve-Normal)	Frekvenshållningsreserv -Störning uppreglering (upwards Frequency Containment Reserve - Disturbance)	Frekvenshållningsreserv -Störning nedreglering (downwards Frequency Containment Reserve - Disturbance)	automatisk Frekvens- återställningsreserv (automatic Frequency Restoration Reserve)	manuell Frekvens- återställningsreserv (manual Frequency Restoration Reserve)
Avhjäljande åtgärd	Stödtjänst ymmetrisk produkt (för upp- och nedreglering)	Stödtjänst Avser uppreglering	Stödtjänst Avser nedreglering	Stödtjänst	Stödtjänst
Minsta budstorlek 0,1 MW	Minsta budstorlek 0,1 MW	Minsta budstorlek 0,1 MW	Minsta budstorlek 0,1 MW	Minsta budstorlek 1 MW	Minsta budstorlek 10 MW (5 MW i SE4)
Aktivering Automatiskt vid frekvensförändringar vid låg nivå av rotationsenergi	Aktivering Automatiskt vid frekvensavvikelse inom 49,90-50,10 Hz	Aktivering Automatisk linjär aktivering i frekvensintervallet 49,9-49,50 Hz	Aktivering Automatisk linjär aktivering i frekvensintervallet 50,1-50,5 Hz	Aktivering Automatiskt via frekvensavvikelse från 50,00 Hz	Aktivering Manuellt på begäran av Svenska kraftnät
Aktiveringstid Tre alternativ för 100 %: - 0,7 sek (vid 49,5 Hz) - 1,0 sek (vid 49,6 Hz) - 1,3 sek (vid 49,7 Hz)	Aktiveringstid 63 % inom 60 sek och 100 % inom 3 min	Aktiveringstid 50 % inom 5 sek och till 100 % inom 30 sek	Aktiveringstid 50 % inom 5 sek och till 100 % inom 30 sek	Aktiveringstid 100 % inom 5 minuter	Aktiveringstid 100 % inom 15 min
Volymkrav för Sverige Upp till ca 100 MW	Volymkrav för Sverige Ca 230 MW	Volymkrav för Sverige Upp till ca 556 MW	Volymkrav för Sverige Upp till ca 530 MW*	Volymkrav för Sverige Upp till ca 140 MW	Volymkrav för Sverige Inga volymkrav
Uthållighet - Uthållighet: 30 sek alternativt 5 sek - Repeterbarhet: Redo för aktivering inom 15 minuter	Uthållighet - Uthållighet: 1 h	Uthållighet - Uthållighet: Minst 20 min	Uthållighet - Uthållighet: Minst 20 min	Uthållighet - Uthållighet: 1 h	Uthållighet - Uthållighet: 1 h

Figur 6³⁰ – Översiktlig kravbild för olika stödtjänster

Den s.k. primära reserven består av tjänsterna FCR (Upwards Frequency Containment Reserve) -N och -D. FCR-N kräver att man måste kunna reglera lika mycket upp och ned (d.v.s. avstå respektive använda effekt) medan FCR-D har två olika varianter för att reglera upp eller ned.

Kyl- o fryslager har goda förutsättningar för **FCR-D upp**. Den kräver att man bortkopplar minst 100 kW effektuttag (aktiveringstid 5-30 sekunder) under max 20 minuter, vilket med tanke på kyl- och fryslagrens termiska tröghet inte borde påverka varornas temperatur avsevärt. Reservan aktiveras automatiskt när elnätets frekvensavvikelse går under 49,90 Hz, vilket händer sällan och under kort tid (oftast 5-6 minuter). Regleringen sker genom att den effekt, som bestämts lämplig för frekvensreglering, automatiskt slås av under den korta tid det tar för frekvensen att återhämta sig.

För att delta i reservmarknaden måste flera aktörer samarbeta:

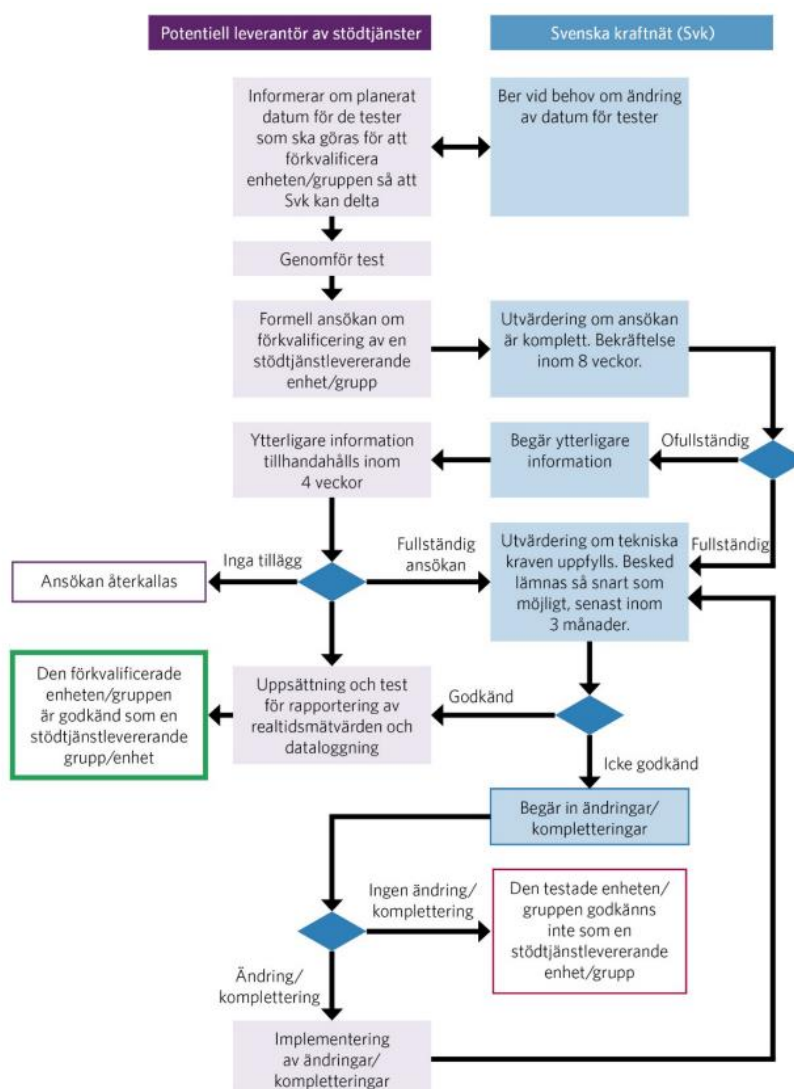
- Resursägare: elanvändare och leverantör av stödtjänst, d.v.s. företaget som erbjuder reserv genom att bortkoppla laster vid behov.
- Aggregator: leverantör av balans tjänster som samlar ett stort antal laster och resursägare och, i samarbete med en balansansvarig, sätter upp dessa för försäljning till Svenska kraftnät och sköter budgivningsprocessen. Ansvarar för tekniken och processen för att bortkoppla laster när det behövs.
- Balansansvarig: elhandelsbolag som planerar tillförsel och uttag av el så att dessa är i balans. Samarbetar med aggregator.
- Svenska kraftnät: systemansvarig som ansvarar för förkvalificering av resursägare, upphandlar reserver och håller koll vilka bud som accepteras.

En lagändring håller på att utredas som skulle innebära en förenkling i processen. Idag behöver en balansansvarig (BRP) samarbeta med aggregatorn för att få handla på balansmarknaderna. Inom

³⁰ Svenska kraftnät (2022), <https://www.svk.se/siteassets/4.aktorsportalen/systemdrift-o-elmarknad/information-om-stodtjanster/oversiktlig-kravbild-for-reserver-7-juli-2022.pdf>

några få år (preliminärt 2024) kommer en ny roll införas: leverantör av balanstjänster (BSP), som preliminärt³¹ inte behöver ha en balansansvarig som partner.

För att kunna delta i marknaden behöver resursägare förkvalificeras av Svenska kraftnät, det vill säga garantera att kraven för aktiveringstid och uthållighet med mera uppfylls. I Figur 7 visas en översikt över ansökningsprocessen och de ungefärliga ledtiderna för att bli stödtjänstleverantör. Den totala ansökningstiden är olika från fall till fall beroende på om kompletteringar behövs och hur omfattande de är, men det brukar enligt Svenska kraftnät vanligtvis röra sig om ett par månader. Enligt erfarenheter från några Belok-medlemmar som deltar i marknaden har ansökningsprocessen upplevts som komplex, och kan vara ett hinder för en del. Vid godkännande av att bli stödtjänstleverantör behöver utrustning som styr avkopplingen av laster installeras. Kostnaden för det kan ligga ungefär mellan 12 000 kr och 25 000 per mätpunkt, men kan variera något.



Figur 7³² - Översikt av ansökningsprocessen för att bli stödtjänstleverantör

³¹ Beroende av Energimarknadsinspektionens godkännande av villkor för rollerna BSP och BRP

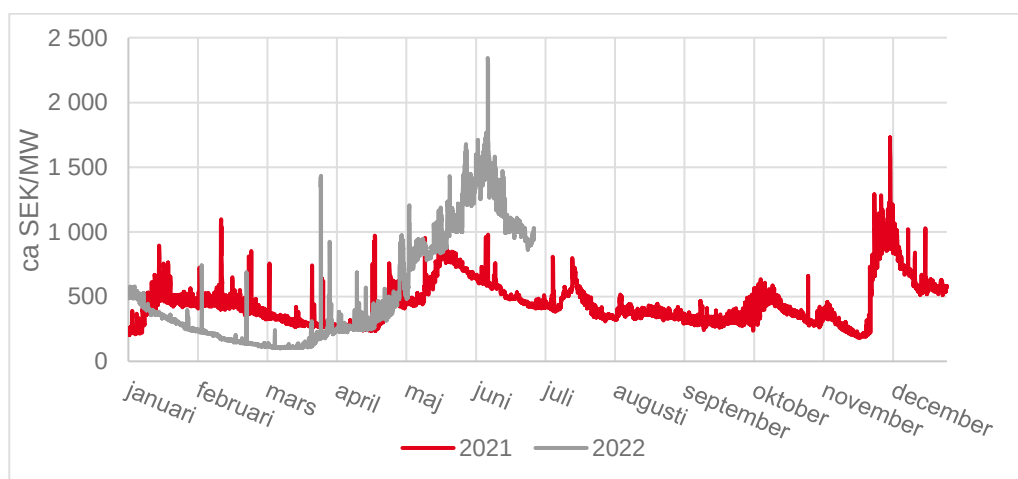
³² Svenska kraftnät (2021) – *Vägledning för att leverera stödtjänster*

När resursägare är kvalificerade och överenskommelse med aggregator och balansansvarig har uppnåtts kan resursägaren börja delta i reservmarknaden. Bud läggs enligt ”pay-as-bid”-prognos dygnet innan och ersättning ges för varje godkänt bud per timme för den sålda tillgängliga effekten. Ersättning fås oavsett aktivering likt en försäkring, det vill säga att om budet accepteras är ersättningen garanterad även om reserven inte behöver aktiveras (man får alltså betalt för den tiden man står redo att sänka sin elförbrukning). Det kan troligtvis bli lättare att få accepterade bud i en första fas när marknaden inte är så mogen och antalet aktörer som deltar inte är så stor än inom en närmare framtid där flera aktörer förväntas konkurrera. Från och med februari 2024 kommer ersättningsmodellen ändras till pay-as-cleared (s.k. marginalpris), d.v.s. att alla som bjuder får det högsta avropade priset (idag får man det priset som man själv har bjudit).

Det som avgör den totala ersättningen för stödtjänsten är därmed hur stor effekt resursägaren kan vara flexibel med, antalet timmar under året som man kan erbjuda denna effektreserv, vilket pris aggregatorn bjuder och hur stor andel av buden som godkänns. Sedan hur stor del av denna ersättning som resursägaren (i detta fall ett kyl- och fryslager) erhåller beror på vilken andel av ersättningen som tredjeparter (aggregatorer, elhandelsbolag) tar som arvode. Om verksamheten kan vara flexibel med sin effekt året runt kan ekvationen nedan användas för att beräkna total årlig ersättning.

$$\text{Flexibel effekt [MW]} * \text{Genomsn. budpris} \left[\frac{\text{kr}}{\frac{\text{MW}}{\text{h}}} \right] * 8760 [\text{h}] * \text{andel godk. bud} [\%]$$

På Svenska kraftnäts sida Mimer³³ publiceras priset för avropad kapacitet för FCR-D upp timme för timme. Figur 8 visar budpriserna för 2021 och första halvan av 2022 (priserna publiceras i EUR/MW och för enkelhetens skull har valuta växlats till SEK genom att 1 EUR = 10 SEK). Medelpris för FCR-D upp under 2021 var ca 450 kr/MW och under första halvan av 2022 ca 530 kr/MW. Värt att notera är att medelpriserna timme per timme var ganska lika, det vill säga priset påverkas inte nämnvärt av när på dagen som kapaciteten avropas.



Figur 8 - Översikt av pris för avropad kapacitet för FCR-D under 2021 och 2022

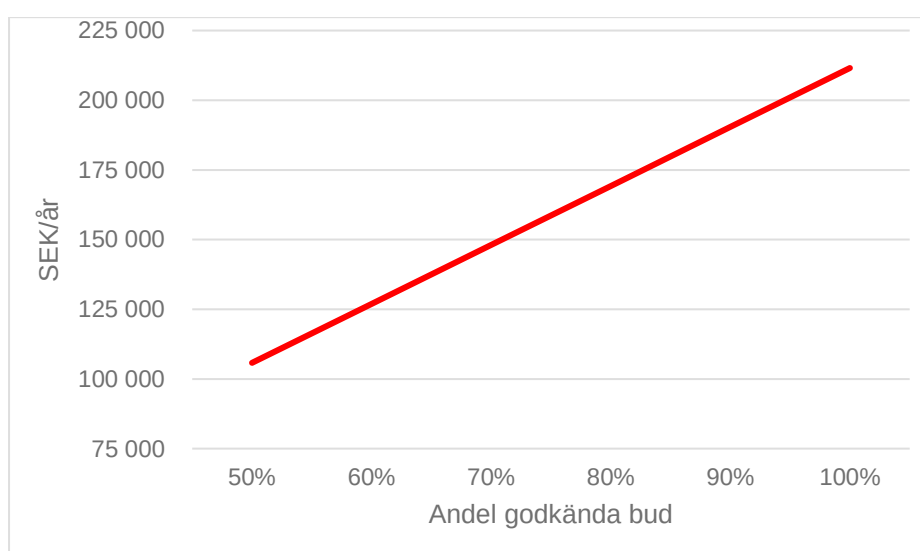
³³ Svenska kraftnät Mimer, <https://mimer.svk.se/PrimaryRegulation/PrimaryRegulationIndex>

Frekvensreglering kan öppna nya intäktsmöjligheter för företag med flexibilitet. Marknaden för reservtjänster omsatte runt 1,5 miljarder kronor år 2020 och fram till 2024 beräknas den bli dubbelt så stor, runt 3 miljarder kronor³⁴, varav FCR-D upp beräknas stå för ca en tredjedel (över 900 miljoner kronor).

6.2 Exempel på ersättning med frekvensreglering via FCR-D upp

För att erhålla en känsla om ungefär vilken ersättning det kan röra sig om för ett kyl- och fryslager att delta i FCR-D upp utförs här ett beräkningsexempel. Under det senaste året (juli 2021 till och med juni 2022) var medelpriset för godkända bud på Mimer 483 SEK, med samma förenkling som tidigare om att 1 Euro är 10 SEK. Vidare antas resursägaren kunna vara flexibel med 0,1 MW under årets alla 8 760 h.

Från intervju med en aggregator har uppgiften erhållits om att en vanlig fördelning mellan aggregator och resursägare är 50% vardera. Till sist beror även ersättningen på hur stor andel av aggregatorns bud som accepteras, vilket varierar men brukar vara i området mellan 70-90% enligt uppgifter från ett energibolag och en aggregator. Men som nämndes tidigare kan andelen accepterade bud minska i framtiden när fler ansluter sig till stödtjänster. I Figur 9 nedan visas resursägarens årliga ersättning för detta exempel (där 50% av totala ersättningen går till resursägaren) beroende på olika andelar godkända bud.



Figur 9 - Exempel på årlig ersättning för resursägare som kan vara flexibel med 0,1 MW alla årets timmar beroende på andelen godkända bud

6.3 Lokala flexibilitetsmarknader

Syftet med de lokala flexibilitetsmarknaderna är att lösa lokala kapacitetsbrister i elnätet under vissa perioder och säkerställa leveransen av el. Kapacitetsbrist kan uppstå när effektbehovet är

³⁴ Svenska kraftnät, <https://www.svk.se/press-och-nyheter/press/marknaden-for-stodtjanster-till-kraftsystemet-vaxer-kraftigt---3292104/>

högt (vanligtvis vintertid). Mängden el som överförs begränsas av tillgänglig produktion och lokala elnätets kapacitet, men även kapacitet av överliggande nät.

Genom att ett antal elanvändare avstår från att använda el under dessa perioder (efterfrågaflexibilitet) kan leveransen garanteras till resten. De elanvändare som levererar flexibilitet får en ersättning för det.

Aktörerna som deltar i lokala flexibilitetsmarknader är:

- Flexibilitetsleverantör: aktör med tillgång till flexibilitetsresurser, det vill säga elanvändare som kan avstå från att använda el under vissa perioder.
- Aggregator: aktör som säljer flexibilitet åt flexibilitetsleverantörer genom att sammansätta bud och hantera de tekniska och administrativa aspekterna.
- Flexibilitetsköpare: i Sverige är dessa regionnätägare och lokalnätägare
- Marknadsoperatör: Marknadsplatserna utformas och administreras av oberoende marknadsoperatörer

Med hjälp av aggregatorer kan en flexibilitetsleverantör som på egen hand inte uppnår budgränsen eller som inte har tillgänglig kunskap om budprocessen medverka med sina resurser på marknaderna.

I Sverige finns det idag enbart pilotversioner av lokala flexibilitetsmarknader, se Tabell 2. Coordinet är ett EU-finansierat Horizon 2020-projekt och har varit i drift tre vintersäsonger, varav säsongen 2021/2022 var projektets sista. Sthlmflex har varit i drift två vintersäsonger och pågår till våren 2023. Effekthandel Väst i Göteborg lanserades i januari 2022.

Tabell 2 - Översikt av idag existerande lokala flexibilitetsmarknader

	<i>Coordinet</i>	<i>Sthlmflex</i>	<i>Effekthandel Väst</i>
Områden	Uppsala, Skåne, Gotland, Västernorrland, Jämtland	Stockholm	Göteborg
Flexibilitetsköpare	Vattenfall Eldistribution, E.ON Energidistribution, Krafringen, Landskrona Energi, Öresundskraft, Gotlands Energi	Ellevio, Vattenfall Eldistribution, E.ON Energidistribution	Göteborg Energi Nät
Flexibilitetsleverantörer	Uppsala kommun, villor med VP, Akademiska Hus, Castellum, LKF, Riksbyggen, Boliden Bersöe, Ryftes,...	Skolor och förskolor, Arenabolaget, Stockholms hamnar, elbilsladdare, ...	Akademiska Hus
Aggregatorer	Ngenic	Entelios, Myrspoven, Tibber	Tibber
Marknadsplattform	SWITCH	NODES	NODES

Marknadsreglerna och marknadsprocesserna är ganska lika mellan dessa tre pilotprojekt. Minsta budstorlek är 0,1 MW och flera resurser kan hjälpas åt att nå budgränsen genom aggregering. Minsta leveranstid (uthållighet) är 1 timme. Merparten av köpen sker dagen före

(”dagen-före-marknad”) fast det finns även kontinuerlig marknad och intradag (bud läggs senast 2 timmar innan leverans).

Det finns en prekvalificeringsprocess för att säkerställa att flexibilitetsleverantörerna uppfyller vissa tekniska krav och bevisa att flexibiliteten kan levereras.

När det gäller flexibilitetsprodukter och ekonomisk ersättning finns det två varianter:

- Fria bud: flexibilitet handlas som medelvärde per timme. Ersättning består av aktiveringspris (MWh/h). Man får ersättning bara om flexibilitetsköparen verkligen behöver aktivera resursen.
- Tillgänglighetsavtal: flexibiliteten erbjuds några timmar under en vecka eller säsong. Ersättningen består av ett tillgänglighetspris (MWh/h) som betalas ut oberoende av aktivering, samt ett aktiveringspris vid avrop.

Normalt gäller modellen ”pay-as-bid”, det vill säga att flexibilitetsleverantören får den begärda ersättningen för de bud som blir avropade (olika leverantörer får olika betalt för att leverera flexibilitet under samma timme). En annan metod är ”pay-as-cleared”, där den dyraste budet som avropas under en given timme sätter prisnivån för alla resurser som avropas.

Tabell 3 nedan visar en jämförelse av ersättning i de olika flexibilitetsmarknaderna under säsongen 2021/2022.

Tabell 3 - Ersättning i de olika flexibilitetsmarknaderna under säsongen 2021/2022³⁵

<i>Säsong 2021-2022</i>	<i>Total avropad volym (MWh)</i>	<i>Snittpris (kr/MWh)</i>	<i>Lägsta pris (kr/MWh)</i>	<i>Högsta pris (kr/MWh)</i>
SthlmFlex	878	883	10	10 000
SthlmFlex veckoflex*	144	3 159	-	-
SthlmFlex säsongsflex*	7 381	929	-	-
Coordinet (Uppsala)	109	248	100	314
Coordinet (Skåne)	9,8	2 767	1 000	3 500
Effekthandel Väst	0,83	2 602	2 000	4 000

**Tillgänglighetsavtal*

Erfarenheterna från dessa lokala flexibilitetsmarknader visar att det fortfarande finns ett antal tekniska, regulatoriska och ekonomiska hinder som behöver lösas. Idag är lönsamheten för flexibilitetsleverantörer för låg, och avropade volymerna för låga. Det finns brist på flexibilitetsleverantörer och det saknas kunskap och erfarenhet. Dessa marknader befinner sig därmed fortfarande i ett tidigt stadium och behöver utvecklas.

³⁵ Power Circle (2022) *Lokala flexibilitetsmarknader*

7 SLUTSATSER OCH NÄSTA STEG

Förstudien ger en bild av vilka energifrågor som är aktuella och relevanta inom kyl- o fryslager samt vilka behov, utmaningar och möjligheter som finns, vilket är ett första steg för att involvera livsmedelsgrossister och livsmedelsdistribution i Relivs-nätverket. De viktigaste aktörerna inom branschen har identifierats.

Kyl- och fryslagers förutsättningar är annorlunda än livsmedelsbutikernas. När matgrossister är hyresgäst (händer ofta) är fastighetsägaren den som äger kylsystem (hyresgäst ansvarar för drift och underhåll), vilket innebär en begränsad rådighet inför eventuella optimeringar. Oftast handlar det om ensamma hyresgäster i lokalen, därför saknas externa mottagare av överskottsvärme. Köldmedier som används är ammoniak och CO₂ (i butiker är CO₂ vanligast och R404A, som håller på att fasas ut). Ammoniak har lägre kondenseringstemperatur än CO₂ och därför blir värmeåtervinningspotential lägre, om inte värmepump används för att lyfta temperaturen, vilket medför en ökad elanvändning. Det är även svårt att hitta avsättning för överskottsvärme sommartid, om man inte har geoenergilagrar att ladda.

Det finns många faktorer och osäkerheter som gör det svårt att kunna kvantifiera total nationell energianvändning och effektiviseringspotential för kyl- och fryslager i denna förstudie: olika lager har olika höjder och andelen temperaturzoner (frys/kyl/varm) varierar stort. Dessutom saknas nyckeltal kring energianvändning i branschen. I ett nästa steg skulle ett antal representativa anläggningar med olika förutsättningar kartläggas för att få en bättre bild över dess energi- och effektanvändning samt för att ta fram nyckeltal som man kan jämföra sig emot.

Det finns ett tydligt intresse och potential för solceller. Stora takytor, behov av kyla när utetemperatur är som högst och stigande elpriser gör detta val mycket intressant, men verksamheterna upplever om att de blir begränsade av rådande skattelagstiftning. En annan utmaning som flera av de intervjuade aktörerna har varit överens om är dimensionering av laddinfrastruktur och effektproblematik vid laddning av ellastbilar. Det handlar om stora elfordon som i en nära framtid kommer att efterfråga relativt snabb laddning vid lastning. Frågan är även kopplad till användning av el inom hela livsmedelsdistributionskedja, både för transport och för att hålla rätt temperatur i distributionsfordon.

Kyl- och fryslager har en stor termisk tröghet som kan vara till nytta för elsystemet, framförallt frysdelen som vanligtvis har något större temperaturlöslans och därmed kan vara något mer flexibla. Kylmaskinernas kompressorer kan varvas ner eller stängas av under korta perioder utan att påverka inomhustemperatur avsevärt, och än mindre varornas temperatur. Detta innebär att denna typ av lokal har stor potential för att leverera stödtjänster till elnätet i form av frekvensreglering och effektflexibilitet vid lokala effektoppar. Leverans av stödtjänster har relativt bra ekonomiska incitament och kräver låg investering, medan de lokala flexmarknaderna behöver utvecklas ytterligare och erbjuda högre ersättning för att vara attraktiva.

Möjlighet att delta i frekvensregleringsmarknaden har bemötts av stort intresse inom denna förstudie och är det tydligaste fortsättningsspåret. Ett demonstrationsprojekt i form av uppföljning och utvärdering av ett antal kyl- och fryslager som levererar frekvensregleringstjänster kan vara till hjälp för att öka antalet leverantörer av reservtjänster, vilket efterfrågas av Svenska kraftnät. I ett sådant projekt skulle även en inledande mätning av termisk tröghet samt en uppföljning av driftaspekter kunna ingå.