

PM INOM VÄRMEMARKNAD SVERIGE, DECEMBER 2021

Kartläggning av kylmarknaden

-Tekniska och ekonomiska förutsättningar för att möta
framtidens behov av kyla

JULIA RENSTRÖM, JOHN JOHNSON OCH KJERSTIN LUDVIG PROFU



Sammanfattning

Klimatförändringar, ökad levnadsstandard och digitalisering är några av de trender som gör att efterfrågan på kyla förväntas öka markant i världen under kommande decennier. Även i Sverige finns starka indikationer på att efterfrågan på kyla kommer att öka. Från att utgöra en mycket liten del av den svenska värme- och kylamarknaden kan kyla således komma att få en alltmer framträdande roll de kommande åren. Flera prognoser pekar på att efterfrågan på komfortkyla och processkyla till bland annat datacenter kommer att öka, samtidigt som efterfrågan på värme förväntas ligga relativt konstant, trots en ökande befolkning.

Förändringar i förhållandet mellan efterfrågan på kyla och värme kommer att ställa nya krav på marknadens nuvarande och nya aktörer. För att kunna möta kraven är det viktigt att förstå dagens marknad, vad som ligger bakom det förändrade marknadsläget, vilka möjligheter detta kan ge och vilka fallgropar som finns. I detta PM utreds dagens och framtidens behov av komfortkyla, främst i Sverige med även en global utblick ges.

Resultatet från kartläggningen visar att det idag inte finns någon tillförlitlig offentlig statistik över hur stort behovet av kyla i Sverige är. Orsaken ligger bland annat i att mängden energi som använts för produktion av kyla historiskt har varit mycket liten i jämförelse med energianvändningen för att producera värme, varför intresset för att följa upp energianvändningen för kyla har varit lågt. Det är också svårt att uppskatta hur mycket naturlig kyla som används genom att exempelvis öppna fönster, och mängden el som används till decentraliserad kylproduktion i enskilda anläggningar. En sammanvägning av uppskattningar från olika rapporter indikerar att behovet av levererad kyla i Sverige idag kan utgöra omkring 5–7 TWh, men siffran är osäker.

På grund av osäkerheten i dagens behov av kyla är det svårt att dra slutsatser om framtidens behov. Ett par scenarioanalyser som gjorts under de senaste åren visar att efterfrågan på komfortkyla kan komma att öka med omkring 1,3 TWh under kommande decennier, mycket på grund av klimatförändringarna. Även efterfrågan på processkyla för datacenter och nya industriapplikationer kan öka mycket under kommande år om inte lösningar för att effektivisera processerna och utnyttja restvärmen tas fram.

Lokala förutsättningar kommer att avgöra vilken typ av produktionsteknik som lämpar sig bäst för produktion av kyla, liksom ifall fjärrkyla eller decentraliserade kyl lösningar passar bäst i vissa områden. Lokala förutsättningar i fastigheter för interndistribution av kyla blir också en avgörande faktor för när installation av lösningar för aktiv tillförsel av kyla kan motiveras. Även lagring av kyla kan bli viktigt för att öka lönsamheten och effektivisera driften av kylproduktion och användning med avseende på hela energisystemet. Exempelvis kan termiska lager hjälpa till att reducera lokal kapacitets- och effektbrist i elnäten, samt öka utnyttjandegraden av restvärme från industriprocesser och värme från energiåtervinning av avfall under sommaren.

Resultaten i PM:et visar att efterfrågan på kyla fortsatt kommer att vara betydligt mindre än efterfrågan på värme i Sverige. Det blir samtidigt allt tydligare att många av marknadens kunder egentligen efterfrågar ett behagligt inomhusklimat året om, och inte så eller så många kWh värme eller kyla. Det kan därför bli viktigt för energibolag som säljer fjärrvärme att i framtiden också erbjuda lösningar med kyla för att behålla värmeaffären. Marknaden för kyla växer i Sverige. Med den behövs mer forskning och innovation kring såväl

tekniker som integration med det övriga energisystemet för att möjliggöra effektiv energianvändning för att möta kommande kylbehov. Det behövs också djupare analyser av dagens och framtidens efterfråga på kyla, vilka kunderna är och hur deras behov kan tillfredsställas på det mest hållbara och kostnads- och energieffektiva sättet. Detta PM ger en början och en indikation på vägen fram-

åt, där ett viktigt första steg bör vara att ta fram bättre statistik över hur mycket aktiv kyla som egentligen används i Sverige idag. En samlad och tillförlitlig bild över dagsläget behövs för att kunna säga någonting om framtiden och hur en ökande efterfrågan på kyla kan komma att påverka värme- och kylamarknaden liksom framtidens hållbara energisystem.

Innehåll

Sammanfattning	1
Inledning	8
Syfte	9
Dagens kylamarknad i Sverige och globalt	10
Behov av kyla i Sverige	10
Komfortkyla till hushåll	11
Komfortkyla till lokaler	12
Totalt behov av aktiv kyla	13
Globalt behov av kyla	15
Fjärrkyla i Sverige och världen	16
Framtidens behov av kyla	18
Klimatförändringarna	18
Krav på komfortabelt inomhusklimat i lokaler och bostäder	19
Möjligheter för komfortkyla i nyproduktion	21
Möjligheter för komfortkyla i befintligt byggnadsbestånd	22
Interndistribution av kyla i en befintlig fastighet	23
Kyltillförsel till en befintlig fastighet	23
Digitalisering och nya behov av processkyla	26
Hur stor kan efterfrågan på aktiv kyla komma att bli?	27
Tekniker för produktion, distribution och lagring av kyla	29
Kylaproduktion	29
Frikyla	30
Kompressorkyla	30
Kyla med värmepump	31
Absorptionskyla	33
Sorptiv kyla	36
Kyladistribution	36
Fjärrkyla	36
Interna distributionssystem i fastigheter	38
Kylalager	44
Sensibel termisk lagring	45
Latent termisk lagring	45
Kemisk termisk lagring	46
Hur ska den ökande efterfrågan på kyla mötas?	47
Viktiga tekniker och deras systemeffektivitet	47
Fjärrkyla	47
Decentraliserade kylmaskiner och kombinerade värme- och kylalösningar	50
Termiska lager	52
Kylalösningar i framtidens energisystem	53

Nyheter - Ett axplock av pågående och kommande projekt på kylamarknaden	55
TERMO- värme och kyla för framtidens energisystem	55
Distribuerade kylager i fjärrkylanätet	55
Fjärrkyla vs. lokala lösningar för komfortkyla	56
Lågtemperaturvärme och högtemperaturkyla med termiskt lager för ökade energi- och miljövinster	56
Digitalisering och innovativ reglerteknik för effektiv lågtemperatursvärme och högtemperaturskyla med integrerad lagring	57
Flexi-Sync: Projekt kring flexibilitet för fjärrvärme och fjärrkyla	57
Sundsvall satsar på nytt fjärrkylasystem till staden	58
Produktion och lagring av kyla med SaltX Technology patenterade teknologi och plattvärmväxlare	59
Forskningsprojekt om effektbehov för kyla i fastigheter	60
PCM-lager i AWL-huset i Göteborg	60
Vidare utredningar och projekt	61
Sammanfattade diskussion	62
Referenser	63

Begreppsförklaring i denna rapport

Behov av kyla: ett överskott på värme som behöver kylas bort på något sätt för att uppnå en önskad temperatur

Passiv kyla: bortförande av överskottsvärme utan att energi aktivt behöver tillföras, exempelvis genom att öppna fönster

Frikyla: kylproduktion utan att någon eller väldigt lite energi aktivt behöver tillföras, genom exempelvis värmeväxling med kall utomhusluft eller ett kallt vattendrag

Aktiv kyla: kyla som produceras i en kylanläggning med el och/eller värme som aktivt tillförs som drivenergi, och som på något sätt levereras till en slutkonsument för att bortföra överskottsvärme

Levererad kyla/ använd kyla/ efterfrågan på kyla/ behov av aktiv kyla: den mängd **aktiv kyla** som en slutkonsument behöver för att bortföra ett värmeöverskott. När ett kylbehov kvantifieras i denna rapport är det denna använda kylmängd som avses. För omräkning av elanvändning för att producera levererad mängd kyla används köldfaktorerna 3,0–4,0 om inget annat anges. Ingen kvantifiering av passiva kylbehov görs i rapporten, då det inte finns någon tillförlitlig statistik för användning av passiv kyla och användningen generellt är mycket svåruppskattad

Tillförd energi/ levererad energi / köpt energi för kyla: mängden el och/eller värme som tillförs för att driva aktiv kylproduktion hos en slutkonsument, eller mängden fjärrkyla som köps in av en slutkonsument.

Komfortkyla och processkyla: behov av **aktivt tillförd kyla** för att bortföra överskottsvärme från bostäder, lokaler och processer. Frikyla från luft och vattendrag eller passiva kylåtgärder kan också användas för att generera komfortkyla eller processkyla. I denna rapport menas emellertid generellt aktivt levererad kyla för komfort- eller processytan om inget annat anges

Inledning

Historiskt har behovet av energi för kyla i Sverige varit litet jämfört med behovet av energi för uppvärmning. En stor del av kylbehovet kan tillgodoses med passiv kyla från luft under många av årets timmar, och få bostäder har haft lösningar för komfortkyla installerade. Istället tillförs kyla aktivt främst till industriprocesser, för livsmedel och för komfortkyla i bland annat kontorslokaler och butiker. Ökad levnadsstandard som genererar högre krav på inomhusklimat i både kontor och bostäder, ett varmare klimat och ett ökat byggnadsbestånd och är emellertid alla drivkrafter för att behovet av kyla förväntas öka i det svenska samhället framöver. Även nya typer av kunder, som stora datacenter och batterilager kommer att kräva stora mängder kyla. Prognoser från en utredning som nyligen gjorts för Energimyndigheten pekar på att behovet av fjärrkyla kan komma att öka till uppemot 2,3 TWh i Sverige år 2050, jämfört med 2020 års fjärrkylbehov på ungefär 1 TWh [1]. Även behovet av kyla i Europa och världen kommer att öka i takt med det varmare klimatet.

Samtidigt visar många prognoser på att behovet av värme kommer att vara relativt konstant under de kommande åren. Enligt scenarier från Energimyndigheten från 2021 kommer energianvändningen för uppvärmning inom bostäder och service till och med att minska fram tills ungefär år 2030, till följd av energieffektiviseringsåtgärder, klimatförändringar och byte av direktverkande el för uppvärmning(1). Efter år 2030 beräknas energianvändningen för värme öka igen på grund av befolkningsökning.

Ett skifte från att i princip helt utforma värme- och kylamarknaden efter uppvärmningsbehov till att även väga in ett allt större behov av kyla kommer att ställa krav på marknadens aktörer att hitta nya, innovativa lösningar vad gäller både tjänster och teknik för att underhålla och utveckla sin affär.

För att tillgodose behov av kyla finns idag ett flertal kommersiella tekniker för kylproduktion och distribution. Vanliga tekniker för kylproduktion sträcker sig från passivt utnyttjande av kyla i luften och i vattendrag till avancerade el- och värmedrivna kylmaskiner. För distribution av kyla finns såväl centraliserade lösningar i form av fjärrkylanät som decentraliserade lösningar med kylmaskiner installerade direkt hos konsumenten. Det potentiellt ökade behovet av kyla, nya krav på miljöprestanda hos köldmedium i kylmaskiner samt förändrade förutsättningar i det övriga energisystemet gör att högre krav kommer att ställas på de teknikerna och vilka paketlösningar och tjänster dessa tillhandahålls inom.

Hur stor påverkan ett förändrat kylbehov kommer att ha på den svenska kylamarknaden beror förstås i hög grad på hur mycket behovet kommer att öka. Det är redan idag osäkert hur stort behovet av kyla i Sverige egentligen är, vilket försvårar uppskattningar om hur stort framtidens behov kan komma att bli. Den låga energianvändningen för kyla jämfört med energianvändningen för värme har resulterat i att det i många fall har ansetts mindre intressant att titta på kylbehovet. Ofta pratas det istället om ”energi för värme och kyla” eller ”efterfrågan på värme och kyla”, och få studier på behovet eller energianvändningen för enbart kyla har gjorts i jämförelse med studier kring värmebehov. Utöver ett svalt intresse från berörda parter finns också andra hinder för att ta reda på det faktiska kylbehovet. Exempelvis är det rent datainsamlingsmässigt svårt att kartlägga hur mycket passiv kyla som används, samt hur mycket el som går åt för att driva enskilda, decentraliserade kylmaskiner i industrier, lokaler och bostäder.

Men en bristande kunskap om dagens totala behov av kyla är det svårt att göra uppskattningar om hur framtidens behov kommer att se ut. Samtidigt blir

sådana uppskattningar allt viktigare i och med de förändrade förutsättningarna på kyla- och värme-marknaden. Marknadens aktörer kommer att behöva ställa om och anpassa sina tjänster och produkter för att möta kundernas förändrade behov och behålla sin affär. Smarta, innovativa lösningar för att skapa resurseffektiva och konkurrenskraftiga marknadsstrukturer, samt system och tekniker som på ett effektivt sätt kan integreras i och samverka med det övriga energisystemet kommer att ligga i fokus för utformning av framtidens kyla- och värmemarknad.

I detta PM beskrivs statistik och uppskattningar kring vilka behov av aktiv kyla som finns i Sverige idag, och en sammanställning görs utifrån resultat från ett par olika scenarier som nyligen tagits fram om hur efterfrågan på kyla kan komma att utvecklas. Befintliga tekniker för produktion, distribution och lagring av kyla beskrivs också. Även de senaste trenderna på kylamarknaden diskuteras, samt förutsättningar och potentiella hinder för en växande marknad. Rapporten är baserad på litteraturstudie av forskningsartiklar, rapporter och hemsidor, samt en sammanställning av nyligen genomförda scenario- och modellanalyser av kylamarknadens utveckling.

Syfte

Syftet med detta PM är att visa på hur framtidens kylbehov kan komma att se ut, samt hur detta behov kan tillgodoses. Fokus ligger på att kvantifiera dagens efterfrågan och analysera drivkrafterna bakom framtidens potentiella behov av aktiv kyla i Sverige. Syftet är också att identifiera kunskapsluckor kring den svenska kylamarknaden, och därigenom kunna bidra med förslag på framtida projekt och scenarioanalyser inom området. Dessa kan bli nödvändiga för att på ett hållbart sätt möjliggöra för berörda aktörer att möta framtidens kylbehov och lösa marknadens stundande utmaningar.



Definition av kylamarknaden i denna rapport

Men kylamarknad avses i rapporten den marknad på vilken lösningar erbjuds för att aktivt, det vill säga genom tillförsel av energi, bortföra värme från ett utrymme där det finns ett värmeöverskott. Begreppet kylamarknad inkluderar därför energibolag, distributörer och producenter av teknik för distribution och produktion av kyla, producenter och distributörer av digitaliserade lösningar för smartare kylalösningar och integrerade system, ägare av fjärrkylanät, konsumenter i småhus, flerbostadshus och lokaler, staten, forskare med flera.

I rapporten är den del av kylamarknaden som tillhandahåller kylalösningar för komfortsyften i lokaler och bostäder den del som främst undersöks. Även processkyla till nya typer av applikationer som kan komma att öka det svenska energibehovet för kyla kraftigt, t ex stora datacenter och batterilager, är inkluderat i rapporten.

Dagens kylamarknad i Sverige och globalt

Kundernas ändrade beteenden och förväntningar, teknikutveckling och pågående klimatförändringar bidrar till osäkerheter inom kylamarknadens utveckling. För att få ett grepp om hur marknaden kan komma att utvecklas framöver behövs en god förståelse över hur marknaden ser ut idag. I det här avsnittet beskrivs dagens behov av kyla i Sverige och globalt i den mån det är möjligt att med tillgängliga statistik kvantifiera det totala behovet av aktivt tillförd kyla.

Användning av exempelvis komfortkyla i Sverige är låg i förhållande till annan energianvändning, vilket troligen är en anledning till att det finns förhållandevis lite statistik att tillgå. Speciellt är det svårt att finna statistik kring distribuerade kylanläggningar i individuella byggnader, samt utnyttjande av passiv kyla. Mer information finns att tillgå om fjärrkyla, och ett avsnitt som speciellt berör fjärrkylans utbredning i Sverige och världen idag är också beskrivet i det här avsnittet.

Behov av kyla i Sverige

Med ”behov av kyla” menas att det finns ett överskott på värme som behöver kylas bort på något sätt för att uppnå en önskad temperatur [2]. För att uppnå önskad inomhuskomfort när det är varmt kan antingen någon form av naturlig eller passiv kyla användas, genom att exempelvis öppna fönster eller skärma av från sol. Sådana lösningar är ofta

associerade med låga kostnader, men det är inte alltid möjligt att uppnå önskad temperatur. Vid dessa tillfällen kan olika typer av kyla-produktionsanläggningar användas för att aktivt tillföra kyla, där tekniker som kompressordriven kyla, absorptionskyla eller sorptiv kyla kan utnyttjas. En beskrivning av dessa tekniker finns att läsa i avsnittet *Tekniker för produktion, distribution och lagring av kyla senare i rapporten*. Genom att aktivt tillföra drivenergi i form av el och/eller värme till produktionsanläggningarna kan kall luft eller kallt vatten produceras, vilket sedan kan användas för att kyla bort överskottsvärme. Anläggningar för produktion av kyla kan antingen vara distribuerade ute hos konsumenten eller mer centraliserade i kombination med distributionssystem för kyla. Centraliserad produktion och distribution av kallt vatten i ett samhälle kallas fjärrkyla.

Efterfrågan på kyla kan delas in i olika kategorier, där kyla för komfort i bostäder och olika typer av lokaler är en kategori. Uttrycket för att beräkna nedkylningsbehovet för komfortkyla beskrivs i Ekvation 1. Andra typer av kyla är processkyla till livsmedelsbutiker, ishallar och serverhallar, såväl som processkyla för olika industriprocesser. Även transportkyla för att kunna transportera kyl- och frysvaror för exempelvis livsmedel eller läkemedel är en kategori. *Transportkyla och processkyla för industrier behandlas inte närmare i den här rapporten*.

$$\text{Kylbehov} = \text{Värmetransmission från omgivningen genom fönster} \& \text{väggar} + \text{kylning av inkommande ventilationsluft} + \text{värmestillskott}$$

Ekvation 1. Storlek på nedkylningsbehov för komfortkyla. Värmestillskott innebär exempelvis solinstrålning, värme från människans ämnesomsättning och värme som alstras från intern elanvändning i lokalen där kylbehovet uppstår. [3]



Olika typer av efterfrågan på kyla:

- Komfortkyla i bostäder och lokaler
- Processkyla i t ex ishallar, datahallar eller livsmedelsbutiker
- Processkyla för industriella processer
- Transportkyla

Idag finns ej någon tillförlitlig, offentlig statistik över exakt hur stort behovet av kyla i Sverige är. Det är möjligt att se hur många gigawattimmar fjärrkyla som har levererats under en viss period, men levererade mängder kyla från anläggningar för kylproduktion som är installerade i enskilda byggnader är svårt att säga. Det finns heller ingen tillgänglig statistik över hur mycket frikyla som används från mark, luft och vattendrag för enskilda kylapplikationer som för industrier och fastigheter, eller statistik över användningen av passiv kyla genom att öppna fönster eller skärma av från sol. I en rapport från Elforsk från år 2007 uppskattas den totala elanvändningen för komfortkyla i lokaler, småhus och flerbostadshus med värmepumpar och kylmaskiner uppgå till maximalt 3 TWh. Kylbehovet är högst under årets sommarmånader, men då behov av kyla även beror av sådant som antalet människor på en viss yta och olika maskiner som alstrar värme behövs kyla för komfort även under vintertid. [4]

Komfortkyla till hushåll

Statistik saknas för hur många värmepumpar (speciellt luft-luftvärmepumpar) som idag används för kylproduktion under vissa tider på året. I en tidigare rapport för Värmemarknad Sverige som gavs ut år 2017 uppskattas att omkring 7% av alla småhus år 2007 utnyttjade sina luft-luftvärmepumpar för kylproduktion en eller fler gånger

under sommaren [2]. Hur stor denna siffra är idag går inte att säga utan att göra vidare analyser, men sannolikheten är stor att fler hushåll idag använder kylfunktionen under delar av året. Användningen av aktiv komfortkyla i lokaler har blivit allt vanligare, och är idag mer en regel än ett undantag. Från arbetsplatserna har människor i Sverige därför en vana av ett svalt inomhusklimat även under sommarmånaderna. Ökad levnadsstandard följs också av ökade krav på inomhuskomfort året om, och ett par varma somrar under de senaste åren kan ha bidragit till att fler funnit det motiverat att använda sin värmepumps kylfunktion. Antalet värmepumpar installerade i svenska småhus uppgick år 2020 till 1 215 000st, varav 389 000st var luft-luftvärmepumpar [5]. De flesta luft-luftvärmepumpar drar mellan 500-1200W el för kylproduktion, beroende på storlek, modell och andra förutsättningar [6]. Om alla hushåll med luft-luftvärmepumpar skulle använda kylfunktionen under ca fem timmar per dag under 60 dagar om året visar en överslagsberäkning att elanvändningen totalt skulle uppgå till omkring 100 GWh. Andelen småhus som använder luft-luftvärmepumparna på detta sätt idag är som sagt svårbedömt, men det handlar troligen om mer än 7%. Vidare studier behövs för att uppskatta utnyttjandegraden närmare. Andra typer av värmepumpar kan också användas för att producera komfortkyla under delar av året, men även denna energimängd är svår att uppskatta.

I rapporten från Värmemarknad Sverige framhålls också att en del komfortkyla används i flerbostadshus, men att detta huvudsakligen utgörs av kyla till olika uthyrningslokaler inom bostadsfastigheten. Aktiv komfortkyla i lägenheter är således ovanligt, och bedöms endast utgöra ett fåtal GWh.

Komfortkyla till lokaler

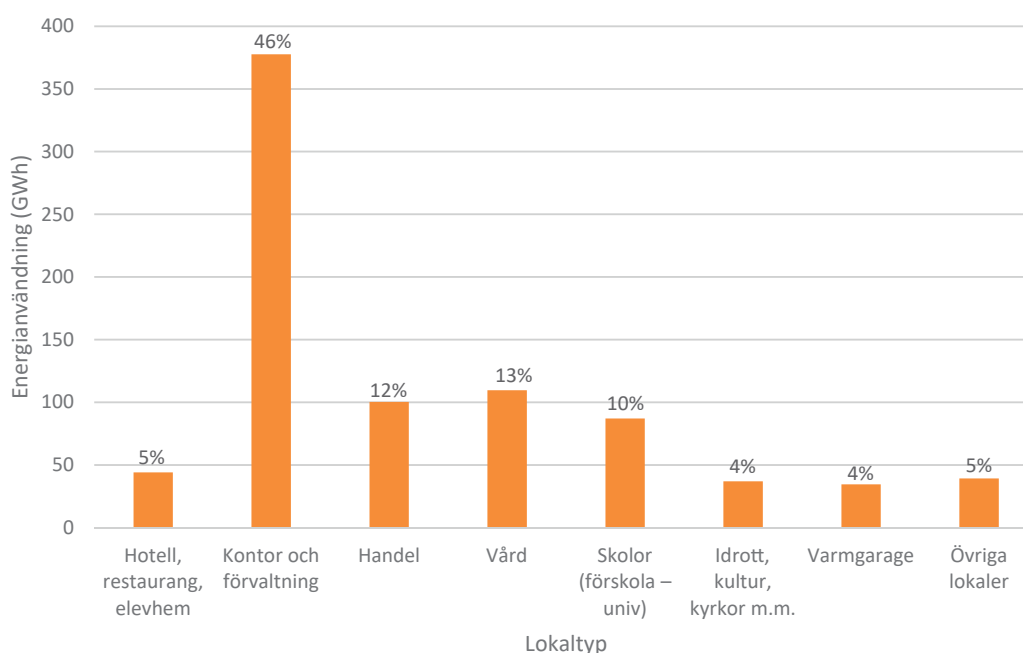
Enligt statistik från Energimyndigheten uppgick tillförd energi (köpt energi) i form av fjärrkyla (inklusive el för komfortkyla) för lokaler till 824 GWh år 2020 [7]. Fördelningen av tillförd energi till olika lokaliteter visas i Figur 1. Omkring hälften av energin för aktiv komfortkyla till lokaler går till kontorslokaler. Enligt den så kallade STIL2-undersökningen uppskattas dessa kontorslokaler ha en energianvändningen för aktiv komfortkyla på i genomsnitt mellan 10-15kWh/m² [8]. Då aktiv komfortkyla då och nu inte är särskilt vanligt i bostadshus ännu finns ingen statistik registrerad för detta.

Efter samtal med Energimyndigheten förtydligades att statistiken som visas i Figur 1 gällande användningen av *el för komfortkyla till lokaler* troligen är missvisande. Detta kan bland annat bero på att det ofta kan vara svårt för uppgiftslämnare att särredovisa hur mycket av lokalens elanvändning

som gått till komfortkyla. Detta leder till att många väljer att inte svara på frågan alls om hur mycket av lokalens elanvändning som går till komfortkyla när de ska lämna uppgifter till Energimyndigheten och SCB, trots att de har eldriven komfortkyla i byggnaden. Användningen av el till komfortkyla underskattas därför i energistatistiken.

Den tillförda energimängd till lokaler (köpt energi) som presenteras i Energimyndighetens siffror i Figur 1 utgjordes, enligt personlig kontakt med Energimyndigheten, ungefär till av 80% fjärrkyla och resterande av el till komfortkyla. Detta motsvarar en levererad energimängd på omkring 660GWh från fjärrkyla, vilket stämmer relativt väl med den senaste fjärrkylstatistiken från Energiföretagen Sverige (se avsnitt Fjärrkyla i Sverige och världen).

I tidigare nämnda rapport för Värmemarknad Sverige uppskattades levererad komfortkyla till lokaler i Sverige till mellan 3 200 – 4 100 GWh per år, till stor del baserat på uppgifter från STIL-undersökningen för lokaler [2]. Spannet mellan 3 200 – 4 100 GWh beräknades genom en omräkning med kylfaktorn 3,0 respektive 4,0 för kompressorell till levererad kyla. Det undersökta året var 2015. Denna uppskattning exkluderade industrilokaler,



Figur 1. Tillförd energi för fjärrkyla (inkl. el till komfortkyla) i olika lokaliteter år 2020. Källa: Energimyndigheten. Energi-statistik för lokaler 2020. 2021. Tillgänglig från <https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/statistikprodukter/energistatistik-for-lokaler/>

och bedömde endast användningen av kompressor- kyla och fjärrkyla. Lösningar med frikyla inklude- rades således inte i skattningen. Ungefär 20% av levererad komfortkyla till lokaler uppskattades här tillfredsställas med fjärrkyla. Under 2020 kom en rapport från Energimyndigheten där uppskattad mängd komfortkyla i lokaler utgjordes av fjärrkyla till 25% [9]. Även en undersökning som gjordes av konsultföretaget Devcco för Energiföretagen Sverige under 2019 uppskattade att fjärrkylans marknadsandel för kylning av kommersiella och offentliga lokaler ligger på över 25% [10].

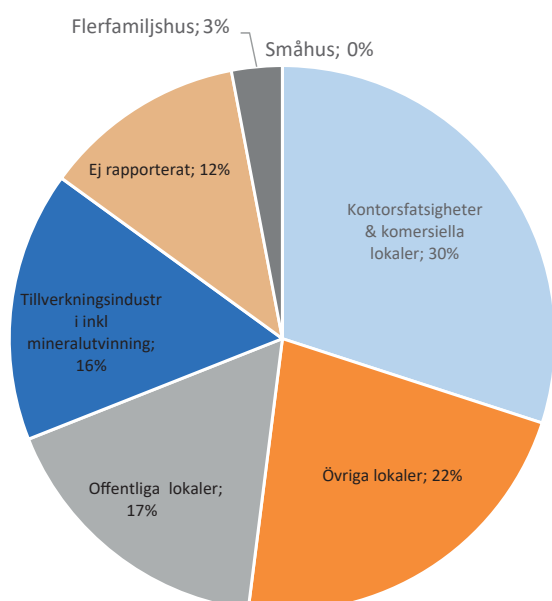
Fjärrkyla står alltså sannolikt för omkring 25% av den levererade kylan för komfort i lokaler, exklusive frikyla. Därmed kan det antas att de resterande 75% av den levererade kylan till lokaler utgörs av kyla producerad med eldriven kompressor- kyla. Om levererad fjärrkyla till olika lokaler utgör 660 GWh per år, som statistiken från Energimyndigheten indikerar, och detta antas utgöra 25% av de totala leveranserna, innebär det totala leveranser av kyla för lokalkomfort på ungefär 2 640 GWh. Om 75% av kylleveranserna tillfredsställs med kompressor- kyla, och kylfaktorn antas vara mellan 3,0–4,0, inne- bär det en elanvändning på mellan 495–660 GWh.

Totalt behov av aktiv kyla

I december 2020 släpptes en rapport från Ener- gimyndigheten som gjorts i enlighet med artikel 14.1 i direktiv 2012/27/EU (*Energieffektivise-*

ringsdirektivet, EED), för att bland annat utreda potentialen för effektiv tillämpning av fjärrvärme och fjärrkyla i Sverige [9]. I rapporten görs anta- ganden om dagens behov av aktiv kyla i Sverige, delvis utifrån nämnda rapport från Värmemarknad Sverige. Dessa antaganden används sedan för att göra scenarioanalyser för framtida användning av fjärrvärme och fjärrkyla. Bland annat antas att det mesta av efterfrågan på aktiv kyla utgörs av komfortkyla i lokaler, vilket främst antas kunna tillgodoses med fjärrkyla eller kompressor- driven kyla. Individuella kylalösningar till industrier och bostäder, det vill säga kyla som ej levereras med fjärrkyla från centralt håll, utvärderas ej i rapporten. Detta ses istället som en del av elanvändningen i dessa typer av byggnader, och dess omfattning går således ej att bestämma. I rapporten antas också att omkring 80% av fjärrkylanvändningen sker i olika typer av lokaler, och, som nämnt, att ungefär 25% av lokalernas efterfrågan på komfortkyla tillgodo- ses med fjärrkyla. I rapporten uppskattas att den totala mängden levererad kyla till tjänstesektorn uppgick till 1 242 GWh år 2018, samtidigt som total mängd levererad fjärrkyla uppgick till 1 156 GWh enligt officiell statistik från Energiföretagen Sverige.

Antagandena i Energimyndighetens rapport kan jämföras med resultaten från Energiföretagen Sveri- ges senaste publicering av den officiella fjärrkylsta- tistiken [11]. Enligt statistiken utgjorde olika typer



Figur 2. Fördelning av fjärrkylanvändningen mellan olika användarkategorier år 2020. Källa: Energiföretagen Sverige, 2021. Tillgänglig från: <https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrkylestatistik/>

av lokaler närmare 70% av efterfrågan på fjärrkyla, vilket stämmer väl överens med Energimyndighetens siffror. Tillverkningsindustrin inklusive mineralanvändning stod för 16% av användningen och flerfamiljshus för 3% (se Figur 2). Resterande 12% var ej rapporterade till en särskild kundgrupp. Således skulle en del av den icke i anspråktaga användningen av fjärrkyla också kunna utgöras av lokaler, varför antagandet om att omkring 80% av fjärrkylanvändningen sker i olika typer av lokaler kan stämma relativt väl.

I en rapport utgiven av Energiforsk år 2021 om hur klimatförändringar kan komma att påverka efterfrågan på fjärrvärme och fjärrkyla i framtiden görs också antaganden om dagens behov av aktiv kyla i bostäder och lokaler. Detta för att kunna göra bedömningar om framtidens behov. I rapporten antas att alla lokaler i Sverige har någon form

av kylanläggning installerad, medan inga bostäder antas ha några kylanläggningar i dagsläget. Detta är således en teoretisk konstruktion för att beskriva nuläget för kyl efterfrågan. Genom att också anta att det är möjligt för både lokaler och bostäder att använda naturlig kyla genom att öppna fönster uppskattas dagens teoretiska behov av aktiv kyla för komfort i Sverige till totalt 6 700 GWh. Om det istället antas att det ej är tillåtet för lokaler att använda naturlig kyla uppskattas det teoretiska behovet av aktiv kyla till 8 000 GWh. [12]

I Tabell 1 visas några vanliga typer av efterfrågan på kyla, vanliga sätt att möta behoven, samt uppskattad använd volym aktiv kyla idag för respektive behovskategori. En köldfaktor på mellan 3,0–4,0 har använts för omräkning av kompressorell till levererad kyla. Ett räkneexempel visas i Ekvation 2.

$$Q_{\text{använd volym}} = \frac{Q_{\text{överskottsvärme}}}{\eta} = Q_{\text{kompressorkyla}} = P_{\text{kompressorkyla}} \times COP_{\text{kyla}}$$

$$Q_{\text{använd volym}} = \frac{Q_{\text{överskottsvärme}}}{\eta} = Q_{\text{levererad fjärrkyla}}$$

Ekvation 2. Beräkning av använd volym aktiv kyla levererad via en kompressorkylmaskin (överst) och fjärrkyla (underst) för att möta ett specifikt kylbehov (dvs. bortföra en viss mängd överskottsvärme genom att aktivt tillföra kylenergi). Q är termisk energi i form av kyla, P är elenergi, COP är köldfaktorn och η är verkningsgraden där förluster orsakas av värmeväxling och intern kyladistribution i en byggnad eller process.



Tabell 1. Olika typer av kylbehov, de vanligaste kyllosningarna för att möta behoven samt uppskattad använd volym aktiv kyla (dvs exklusive frikyla) för respektive behovstyp

Typ av efterfrågan på kyla	Vanliga kyllosningar	Uppskattad använd volym	Källa
Komfortkyla i bostäder			
(i) Småhus	<ul style="list-style-type: none"> • Passiv kyla • Värmepump som körs för kylproduktion under delar av året • Fjärrkyla i flerbostadshus, främst för uthyrningslokaler 	(i) Ingen tillförlitlig statistik finns att tillgå, men troligen lite. Kanske >30 GWh via luft-luftvärmepumpar (>10 GWh _{el})	[2], [11]
(ii) Flerbostadshus		(ii) 29 GWh fjärrkyla (3% av levererad mängd 2020) samt en liten, svåruppskattad mängd annan kyla	
Komfortkyla i lokaler	<ul style="list-style-type: none"> • Fjärrkyla (ca 25% av behovet) • Decentraliserade kylmaskiner (kompressorkyla, sorptiv kyla, absorptionskyla, värmepump) • Passiv kyla 	2,7–4,1 TWh	[11], [12]
Processkyla i t ex ishallar, serverhallar, sjukhus & livsmedelsbutiker	Se komfortkyla för lokaler	Oklart då det är svårt att urskilja från komfortkyla för lokaler	
Processkyla för industriella processer, t ex tillverkningsindustri	<ul style="list-style-type: none"> • Fjärrkyla • Decentraliserade kylmaskiner (kompressorkyla, sorptiv kyla, absorptionskyla, värmepump) 	155 GWh fjärrkyla (16% av levererad mängd 2020) samt svåruppskattad mängd annan kyla	[11]
Totalt	Se ovan	Uppskattningsvis 5–7 TWh	[2], [11], [12]

Sammanfattningsvis kan konstateras att omfattningen av det totala behovet av kyla i Sverige idag är svår att uppskatta, mycket beroende på att behovet till stor del kan mötas med passiv kyla samt värmepumpar som arbetar med kylproduktion under sommarmånaderna. Genom att sammanfatta de rapporter och den statistik som finns att tillgå kan dagens behov av aktiv kyla i Sverige uppskattas till mellan 5–7 TWh. Detta är emellertid en grov uppskattning, och vidare studier behövs för att kunna säkerställa dagens efterfrågan på kyla i Sverige.

Globalt behov av kyla

Även om behovet av olika former av kyla, och framför allt komfortkyla, är litet i Sverige idag är det desto större globalt sett. Exempelvis är kom-

fortkyla i bostäder och lokaler standard i många länder på varmare breddgrader. Världens totala energianvändning för kyla var 2 075 TWh år 2018, och utan åtgärder för att öka energieffektiviteten vid kylproduktion förväntas denna siffra dubbleras till år 2040. I en rapport från International Energy Agency (IEA) från 2020 visas att energibehovet för komfortkyla i världen har mer än tredubblats sedan år 1990. Under 2019 stod komfortkyla för nästan 8,5% av den totala elkonsumtionen i världen, och genererade utsläpp på omkring 1 Gton CO₂. Trots att det finns flera effektiva luftkonditioneringsystem (AC) idag väljer många att hellre köpa mindre effektiva och billigare system, vilket bidrar till den höga energianvändningen och de stora utsläppen. För att kunna uppnå IEA:s hållbara utvecklingsscenario (Sustainable Development Scenario, SDS)

anser IEA att standarder för att energieffektivisera luftkonditioneringsystem behöver implementeras för att förbättra systemens prestanda med mer än 50% till år 2030. [13]

Det finns omkring 2 miljarder luftkonditioneringsanläggningar i världen idag, varav 68% av anläggningarna finns i bostäder. Således finns omkring en luftkonditioneringsanläggning för var femte människa, och den siffran förväntas öka. Luftkonditioneringsystem blir på detta sätt en ledande orsak till ökat elbehov i byggnader i världen, och för ökat behov av ny kapacitet för att möta toppeffektbehov av el. Elkonsumtion för kyla globalt står generellt sätt för omkring 15% av toppeffektbehovet, men under extremt heta dagar kan det stå för så mycket som 50% av bostäders toppeffektbehov. Exempel på sådana extrema händelser skedde under 2019 i New York och 2017 i Beijing [13].

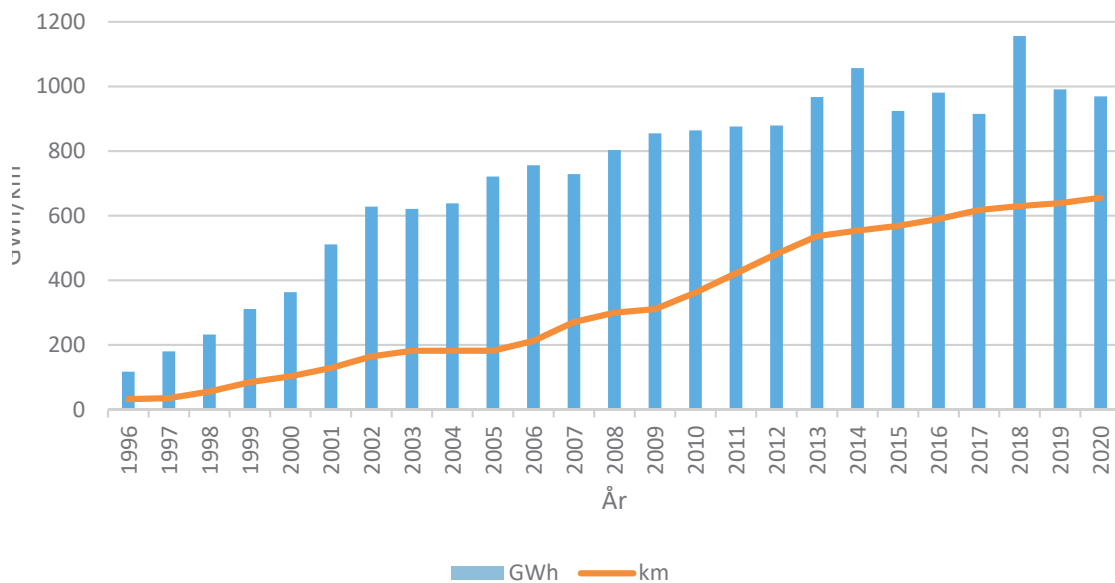
Det är viktigt att notera att 35% av jordens befolkning idag lever på platser i världen där den dagliga medeltemperaturen är högre än 25°C. Av dessa människor är det endast 10% som har tillgång till luftkonditioneringsystem. Befolkningsökning, förbättrad levnadsstandard samt mer frekvent förekommande värmeböljor på fler platser i världen är alla saker som förväntas driva upp behovet av aktiv kyla ytterligare de kommande åren. Mellan

2018 och 2019 växte den globala marknaden för luftkonditioneringsanläggningar med 10%. Detta framförallt i utvecklingsländer. [13]

Idag är Kina det land som har den största andelen av kylamarknaden, med omkring 40% av de globala köpen av kylutrustning under år 2019. Under det senaste årtiondet har över 500 miljoner kylanläggningar sålts i Kina. Snabbast ökning av årliga installationer av kylutrustning har emellertid skett i Indien och Indonesien under de senaste tio åren, med mer än 15% ökning i Indien och 13% i Indonesien. [13]

Fjärrkyla i Sverige och världen

Sverige är idag det land som är störst i Europa på att producera fjärrkyla, följt av Frankrike [14]. Fjärrkylanätet i Stockholm är världens största, och totalt i Sverige finns omkring 66 mil fjärrkyl-ledningar [11]. Den totala levererade mängden fjärrkyla i Sverige uppgick till nästan 1 TWh under 2020, och mer än 1 TWh under rekordåret 2018 då 36 företag levererade fjärrkyla till 40 städer i Sverige. År 2019 levererade 38 av Energiföretagen Sveriges medlemsföretag fjärrkyla, och ytterligare fyra företag tittar på möjligheten att bygga ut fjärrkylanät [10]. Utvecklingen av fjärrkyla i Sverige sedan mitten på 90-talet framgår av i Figur 3.



Figur 3. Levererad fjärrkyla och nätlängd i Sverige mellan 1996 och 2020. Källa: Energiföretagen Sverige, 2021. Tillgänglig från: <https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrkylestatistik/>

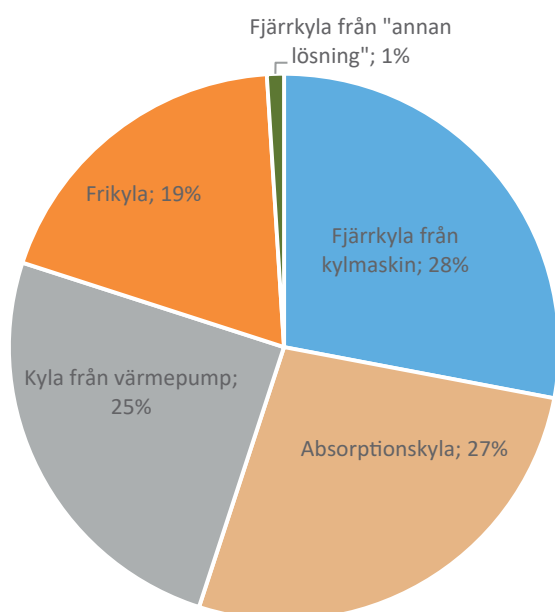
Mängden fjärrkyla i världen totalt är i genomsnitt 83 TWh per år [15]. En stor upptrappning globalt av fjärrkyla förväntas de närmaste åren för att ersätta individuella kylaggregat [14]. Detta då det globala behovet av aktiv kyla som tidigare nämnt är stort, men de lösningar som finns idag inte är hållbara i och med låg resurseffektivitet samt utsläpp av HFC-gaser (fluorerade kolväten, vilka är väldigt potenta växthusgaser). För att hitta lösningar globalt är Sveriges hållbara, storskaliga systemlösningar för kyla en inspirationskälla för många andra länder [16]. I en rapport från Strategy& Middle East från år 2019 beräknas att energianvändningen för kyla skulle kunna reduceras med upp till 5 000 TWh fram till år 2035 om fjärrkyla skulle anammas överallt där det är möjligt [17]. Beräkningen förutsatte en tredubbel ökning av det globala behovet av aktiv kyla de kommande 30 åren, och skulle potentiellt kunna motsvara besparingar på 1 miljard dollar.

Den vanligaste tekniken som används för att producera fjärrkyla i Sverige idag är kompressorkyla med ungefär 28% av marknaden, tätt följt av absorptionskyla som står för 27% (se Figur 4) [11]. Kyla från värmepump och frikyla är också vanliga lösningar för fjärrkylproduktion, där värmepumps-

lösningar under det senaste året har tagit en allt större andel av fjärrkylmarknaden. Detta främst på bekostnad av andelen frikyla.

Omkring 30% av den levererade fjärrkylan i Sverige går till kommersiella lokaler och kontorsfastigheter (se Figur 2) [11]. Stora användare är också offentliga lokaler, övriga lokaler och tillverkningsindustrin, men även flerfamiljshus använder en del fjärrkyla. År 2020 var småhus ännu inte en del av den kundgrupp som använde fjärrkyla.

Antalet kunder anslutna till det svenska fjärrkylanätet har de senaste fem åren vuxit med omkring 15%, och enligt kartläggning som gjordes av Energiföretagen under 2019 kommer att ökningen att fortsätta framöver. Om 8–10 år ska fjärrkylan enligt Energiföretagen Sverige ha vuxit med 50%, där utbyggnaden av absorptionskyla kommer att spela en viktig roll. Anledningen till att många fjärrvärmebolag finner det intressant att satsa på fjärrkyla med absorptionskyla beror på att tekniken bjuder in till att utnyttja värmen i fjärrvärmenätet för att producera kyla. Restvärme från industrier och energiåtervinning från avfall kan därigenom producera nytta under fler av årets timmar, då värmen kan utnyttjas även under sommartid. [10], [14]



Figur 4. Fördelning av tekniker använda för att producera fjärrkyla till svenska fjärrkylanät år 2020. Källa: Energiföretagen Sverige, 2021. Tillgänglig från: <https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrkylestatistik/>

Framtidens behov av kyla

Viktiga faktorer som påverkar det framtida behovet av kyla är klimatförändringar, människors förändrade krav på komfort, byggnadsregler och effektivitetskrav på fastigheter, ökning av den totala byggnadsstocken, ökad användning av elektroniska produkter som alstrar värme, samt nya typer av kunder och aktörer på marknaden så som data-center och nya industrier. De olika faktorerna som påverkar hur stort behovet av kyla kommer att bli i framtiden beskrivs mer utförligt i detta avsnitt, liksom ett par scenarier och analyser som kvantifierar hur behovet av aktiv kyla potentiellt kan utvecklas de kommande åren.

Klimatförändringarna

Den nionde augusti i år släppte FN:s klimatpanel IPCC sin nya rapport som sammanfattar vad forskningen säger om klimatet idag, möjliga framtida scenarion och människans påverkan på klimatet. Rapporten visar tydligt på att mänsklig aktivitet sedan 1850-talet har värmt klimatet till nivåer som inte skådats på över 100 000 år, och att temperaturen kommer att fortsätta öka ifall extrema åtgärder för att minska utsläppen av växthusgaser till atmosfären inte genomförs snarast. En ökande global medeltemperatur innebär bland annat att extrema väderfenomen som värmeböljor, regnoväder och torka kommer att bli allt vanligare i många delar av världen. [18]

Under sommaren 2021 har värden på flera håll fått uppleva stormar, bränder, mycket höga extremtemperaturer och dödliga värmeböljor. Exempelvis uppmättes i Kanada i slutet av juni en topptemperatur på 49,6°C, vilket var den högsta temperatur som någonsin uppmätts i Kanada [19]. Enligt rapporten från IPCC är det så gott som helt säkert att varma extremtemperaturer och värmeböljor har blivit intensivare och vanligare på land i de flesta regioner i världen sedan 1950-talet [18]. Samtidigt har motsvarande kalla extrema väderfenomen blivit allt ovanligare. I rapporten menar IPCC på att det

med stark säkerhet kan sägas att detta beror på mänsklig påverkan av klimatet, och att många av de värmeböljor som inträffat under det senaste årtiondet skulle ha varit högst osannolika utan mänsklig påverkan på klimatsystemet.

För varje 0,5°C som den globala medeltemperaturen ökar kommer extrema väderfenomen så som värmeböljor att bli allt vanligare [18]. Samtidigt menar folkhälsomyndigheten att inomhustemperaturen ej bör ligga över 26°C för att hålla ett bekvämt inomhusklimat(20), och WHO menar att den maximala inomhustemperaturen ej bör överstiga 32°C för att undvika skador på hälsan [21]. Värmeböljor, och även generellt ökad utomhustemperatur under fler timmar på dygnet allt större delar av året, medför att dessa krav på inomhusklimatet kan bli svårare att uppfylla utan att ibland tillföra kyla på många håll i världen.

Ur ett svenskt perspektiv bedömer SMHI det som troligt eller väldigt troligt att klimatförändringarna kommer att leda till ökat behov av både kyla och kyleffekt i Sverige. Med kylbehov menas i rapporten det totala behovet av energi för kyla i TWh, och kyleffekten refererar till max-effektoppar som kan uppstå under vissa timmar på året då behovet av energi för kyla är extra stort. SMHI bedömer att såväl längre värmeböljor som tropiska nätter kommer att bli allt vanligare i Sverige, speciellt i de sydöstra delarna av landet. [12]

Klimatförändringar kommer även att påverka det svenska behovet av värme i framtiden, där SMHI bedömer att det totala värmebehovet troligen kommer att minska. Värmebehovets minskning kommer i sig även det att påverka kylaffären. Ett minskat behov av värme under fler av årets timmar kan exempelvis leda till att mer restvärme från industrier och värme producerad vid energiåtervinningssystem kan användas för att producera kyla med absorptionskylmaskiner. [9] Detta spe-



ciellt ifall god tillgång på, och infrastruktur kring, termiska lager upprättas och om de kan utnyttjas energi- och kostnadseffektivt. Även decentraliserade värmeanläggningar som exempelvis luft-luftvärmepumpar eller bergvärmepumpar kan bli mer aktuella att utnyttja för kylproduktion under fler av årets timmar.

Temperaturen i vattendrag, så som hav och sjöar, kommer med stor sannolikhet också att bli högre till följd av klimatförändringarna menar SMHI. Då mycket av den frikyla som olika kylsystem bygger på utnyttjar kyla i vattendrag kan dess förhöjda temperaturer potentiellt komma att minska potentialen med den typen av frikyla. Även luftens temperatur kommer att överstiga 16°C oftare, vilket är gränsen för att frikyla från luft ska fungera för att kyla byggnader. Därav minskar också möjligheten att använda frikyla från luften fler av årets timmar. Minskade möjligheter att utnyttja naturlig kyla och frikyla kan leda till ökat behov av installerad kyleffekt i byggnader. [12]

Klimatförändringarna kommer alltså med stor sannolikhet att påverka efterfrågan på både kyla och värme, samtidigt som möjligheten till att utnyttja frikyla från luft och vattendrag kan komma att minska. De förändrade förutsättningarna kommer att generera nya krav på marknadens aktörer för att behålla och utveckla sin affär, både vad gäller utbudet av produkter, tjänster och teknik.

Krav på komfortabelt inomhusklimat i lokaler och bostäder

Även om Folkhälsomyndigheten och WHO:s rekommendationer för vad som räknas som icke hälsoskadligt höga inomhustemperaturer ligger mellan 26°C (24°C för längre perioder) respektive 32°C , är dessa temperaturer för höga för att de flesta ska uppleva inomhustemperaturen som komfortabel [20]. Temperaturer som ses som komfortabla ligger i spannet 20°C till 24°C för de flesta [22]. Men hur mycket är ett komfortabelt inomhusklimat året om värt och när blir det aktuellt att installera en lösning för aktiv kyltillförsel som komplement till naturlig kyla? Denna brytpunkt diskuteras i detta avsnitt.

För verksamheter har en arbetsgivare huvudansvaret att arbeta för att hålla ett komfortabelt inomhusklimat på en arbetsplats med anställda [23]. Även fastighetsägarna har ett ansvar att lokalen som denne hyr ut för någon typ av verksamhet ska ha möjlighet att tillhandahålla ett för de flesta människor komfortabelt inomhusklimat. Det finns emellertid inte någon bestämd övre gräns för hur varmt det får bli i en verksamhetslokal, och arbetstagare har ingen automatisk rätt att avbryta arbetet ifall denne upplever en obehagligt hög temperatur [24]. Emellertid är det visat att produktiviteten hos de anställda med hög sannolikhet kommer att sjunka ifall inomhusklimatet upplevs som obehagligt. Många verksamhetslokaler och övriga

lokaler har därför under de senaste decennierna valt att installera kylalösningar i sina lokaler som komplement till värmesystemen [25]. Detta är en trend som väntas fortsätta, och redan idag är kyla i verksamhetslokaler i princip en hygienfaktor.

Vi har med andra ord blivit vana vid ett behagligt inomhusklimat på arbetsplatserna, men betyder det också att människor blir mer medvetna och kräsna vad gäller inomhustemperaturen hemma? Under de varmaste veckorna sommaren 2021 mottog Hyresgästföreningen omkring hundra samtal i veckan som rörde varma lägenheter och frågor om hur varmt det egentligen får vara i dessa [26]. Frågan kan vara lite svår att svara på då en hyresbostads tillåtna temperatur regleras av hyreslagen, där ingen maxgräns för hur varmt det får vara inomhus är angiven [27]. Vad som står är att lägenheten ska vara brukbar, vilket kan tolkas på olika sätt.

Enligt Hyresgästföreningen innebär formuleringen ”brukbar” att temperaturen i en lägenhet inte ska överstiga 26°C under längre perioder, men att boende kan behöva stå ut med en inomhustemperatur upp till 28°C under kortare perioder med värmeböljor. Om lägenheten håller en varmare temperatur än så kan hyresgästen anmäla detta. Hyresvärden, som har ansvaret för att hålla bostaden brukbar, har då skyldighet att åtgärda problemet. I vissa fall kan en hyresgäst få ekonomisk kompensation vid längre perioder av för varmt inomhusklimat. Det finns emellertid väldigt lite praxis kring ärenden med för varmt inomhusklimat i bostäder i Sverige, då för höga inomhustemperaturer sällan har varit ett problem tidigare. [27]

För människor som bor i bostadsrätter gäller att bostadsrättsföreningen i praktiken utgör fastighetsägare, och därigenom har samma skyldigheter som en hyresvärd. Föreningen har därför ansvaret att åtgärda problem med oacceptabelt höga inomhustemperaturer, och ekonomisk kompensation i form av tillfälligt reducerad avgift kan i vissa fall begäras av boende i föreningen. Samtidigt är en boende i en bostadsrätt också själv medlem i föreningen, vilket gör att den ekonomiska kompensationen på sätt och vis kommer från en själv i detta fall. [27]

Att stå ut med temperaturer upp emot 28°C eller ens 26°C är inget som de flesta upplever komfortabelt, och att Hyresgästföreningen får många

samtal under sommaren är därför inte konstigt [27]. Som nämnt finns det väldigt lite praxis i Sverige idag kring hur för höga inomhustemperaturer bör hanteras, och att få ekonomisk kompensation kan vara långt borta i många fall. För boende i småhus finns heller ofta ingen bostads- eller hyresgästförening att begära kompensation ifrån. Hyresgästföreningen rekommenderar i första hand åtgärder med passiv kyla genom att bland annat att skärma av från sol och stänga av elektroniska apparater för att reducera värmen i bostaden. Dessa åtgärder kan hjälpa en del, men när perioder med obehagligt höga temperaturer blir allt längre och intensivare kan installation av aktiv komfortkyla i bostäder tänkas ligga allt närmre till hands. Detta speciellt om människor blir alltmer vana vid ett komfortabelt inomhusklimat på arbetsplatsen året om, samtidigt som levnadsstandarden, och därigenom betalningsviljan, ökar.

I den tidigare nämnda rapporten från Värmemarknad Sverige utgiven år 2017 gavs en tvetydig bild i en intervjuundersökning med branschaktiva personer över hur marknaden för komfortkyla i bostäder kommer att utvecklas framöver [2]. Där menade vissa på att efterfrågan fortsatt kommer att vara försumbar i jämförelse med efterfrågan på värme, medan andra trodde att efterfrågan kommer att öka mycket framöver. Slutsatsen i rapporten blev att en liten eller måttligt ökad efterfrågan på komfortkyla i bostäder var att vänta framöver.

Den osäkra bilden som gavs i rapporten från Värmemarknad Sverige står sig fortfarande relativt väl. I en artikel från november 2019 i *Tidningen Energi* menade flera aktörer i branschen att trenden med mycket begränsad användning av komfortkyla i bostäder kan vara på väg att ändras, och att det pratas mycket i bostadssektorn om att fjärrkyla kan komma att bli ett attraktivt alternativ till egna kylalösningar då allt fler efterfrågar ett behagligt inomhusklimat under årets alla timmar [28]. I samma artikel menade en annan branschaktör att de inte alls fått några indikationer från bostadssektor om att efterfrågan på komfortkyla i bostäder kommer att öka något särskilt. Samtidigt inkommer nu också rapporter från flera stora återförsäljare av luftkonditioneringssystem och fläktar om att försäljningen av sådana anläggningar för privat bruk har ökat de senaste åren [29].

Även trender och saker som andra gör kan mycket väl tänkas påverka ett eventuellt beslut om att skaffa en aktiv kylalösning till sin bostad. Detta både då fler installationer av kylmaskiner eller högre efterfrågan på fjärrkyla kan ge skaleffekter för på priset för kyla, samt att fler människor blir medvetna om att det både är möjligt och inte längre helt ovanligt att installera kylalösningar hemma eller utnyttja kylfunktionen på sin befintliga luft-luftvärmepump.

Ökad levnadsstandard och en befolkning som därigenom ställer högre krav på sin inomhuskomfort i kombination med ett varmare utomhusklimat tyder alltså på att efterfrågan på komfortkyla i lokaler och delvis även i bostäder kommer att öka framöver. Det är emellertid svårt att förutsäga hur stor efterfrågan på komfortkyla i bostäder kommer att bli eftersom brytpunkten när människor börjar anse att det är värt att investera i aktiva kylalösningar för sin bostad inte är helt lätt att identifiera. Kostnaden och engagemanget som krävs för att installera en kylalösning hemma måste vägas mot hur varmt det faktiskt blir i hemmet, under hur lång tid inomhusklimatet uppfattas som för varmt, vilka krav som ställs på komfort, vana från arbetsplatsen, ökad andel hemarbete med mera.

Möjligheter för komfortkyla i nyproduktion

En avgörande faktor i beslutet om att skaffa komfortkyla till en lokal eller en bostad är kostnaden för installation och drift av kylalösningen. Med kylalösning menas såväl leveransen av kyla till fastigheten, antingen via en fjärrkylcentral eller en egen kylproduktionsanläggning, som det interna distributionssystemet för kyla ut i fastigheten. Det är enklare, och därmed ofta mindre kostsamt och mer energi- och platseffektivt, att bygga in kylalösningar direkt i nyproducerade fastigheter än att installera sådana lösningar i befintliga byggnader. Lösningen för att leverera och distribuera kyla kan på detta sätt dimensioneras efter önskad kyleffekt och passas in som en naturlig del av byggnadens övriga infrastruktur. Ett ökat byggnadsbestånd kan därigenom öppna för möjligheten att redan från start bygga in lösningar för aktiv komfortkyla i såväl lokaler som bostäder. Mer om de tekniska fördelarna med att bygga in system för distribution och eventuell produktion av kyla direkt vid byggnation av en fastighet går att läsa i avsnittet *Intern distributionssystem i fastigheter*.

För nyproduktion av flerbostadshus med lokaler kan installation av komfortkyla även i bostäderna bli extra attraktivt, då en kylalösning ändå behöver installeras i byggnaden för att svara mot lokaler- nas behov. Huruvida efterfrågan på komfortkyla i lägenheter kommer att bli tillräckligt hög framöver för att motivera sådana investeringar behöver emellertid utredas närmare. Eventuellt kan tänkas att installation av aktiv komfortkyla i lägenheter vid nybyggnation blir extra aktuellt för fastigheter med stort kylbehov till lokaler, samt för byggnader med lägenheter i det dyrare segmentet. Detta då ökad levnadsstandard som nämnt i tidigare avsnitt ofta leder till högre krav på bland annat inomhuskomfort. Även installation av solceller på fastigheten, vilket är populärt vid nyproduktion, kan ge ekonomiska incitament att också installera aktiv komfortkyla i fastigheten. Hög energiproduktion från solkraft sammanfaller ofta med tider då efterfrågan på kyla är hög, vilket ger god potential att utnyttja solkraft för kylproduktion direkt i fastigheten. I flera studier som gjorts internationellt och i Sverige har särskilt solelsproduktion i kombination med kompressorkyla visat på god potential. Även solvärme i kombination med exempelvis sorptiv kylproduktion eller absorptionskyla är lösningar som det forskas mycket på.

Samtidigt har fastigheter som byggs idag höga krav på energieffektivitet, och har därför ofta låga u-värden. Byggnader med låga u-värden, det vill säga goda isolerande egenskaper, har som syfte att minimera termiska energiförluster från fastigheter. Detta ska bidra till energibesparingar och minskat värmebehov. Täta byggnader fungerar lite som termosar, vilket innebär att det inte bara är värme som hålls inne på vintern, utan även att värme kan hållas utanför byggnaden under sommaren. Kylbehovet bör således bli lägre ju tätare en byggnad är. Även andra lösningar i modern byggnadsdesignen kan bidra till ett reducerat kylbehov, som exempelvis placering av fönster. Ändå finns indikationer på att kylbehovet i vissa fall upplevs öka i nya, tätare byggnader. Detta beror ofta på att värme utifrån tar sig in i byggnaden genom exempelvis öppnade fönster och dörrar samt solinstrålning genom fönster. När värmen väl har tagit sig in i en fastighet med lågt u-värde stannar värmen kvar längre än i mindre välisolerade byggnader, just för att byggnadens klimatskal är utformat för att släppa ifrån sig så lite termisk energi som möjligt [30].

För att komma till bukt med problem att föra bort värme som tagit sig in i välisolerade byggnader behövs ofta inga aktiva kylålösningar installeras [30]. Passiva åtgärder som solavskärmning och vådning endast på tider då utomhustemperaturen är lägre än inomhustemperaturen kan göra mycket för att minska värmeförseln till byggnaden, och temperaturen kan därigenom ofta hållas nere. Hur långt passiva lösningar för att minska kylbehovet i täta byggnader räcker är emellertid beroende av hur väl optimalt bruk av en sådan fastighet kommuniceras till verksamheter och boende i fastigheterna. Det är inte alltid självklart att människorna som ska vistas på en plats förstår hur klimatskalet fungerar. Kommunikationen med en byggnads användare om optimalt bruk för effektivt utnyttjande av klimatskalet är därför viktigt. Det krävs också att människor är villiga att agera på de föreslagna åtgärderna. Digitala lösningar kan till viss del användas för att hjälpa till med anpassningen, så som automatisk solavskärmning.

Det är med andra ord lättare att installera kylålösningar direkt vid nyproduktion än i en befintlig fastighet, men samtidigt blir behovet av aktiv komfortkyla lägre i dessa byggnader på grund av bland annat ett tätare klimatskal. Aktiv komfortkyla kommer med största sannolikhet att fortsätta installeras i nya lokaler som byggs, men huruvida det blir populärt även i nya bostäder eller om passiva kylålösningar förblir tillräckliga behöver studeras närmare för att dra några slutsatser. Avgörande

faktorer blir bland annat tillgängliga kylålösningar utifrån lokala förutsättningar i byggnadens när-område, förekomsten av lokaler med kylbehov i byggnaden eller närområdet, bostadskostnaden i övrigt, var i landet byggnaden ska stå och hur hög utomhustemperaturen blir.

Möjligheter för komfortkyla i befintligt byggnadsbestånd

För kyla i befintliga fastigheter gäller nästan det omvända förhållandet mot för i nyproduktion. Det är ofta svårare att installera lösningar för aktiv kyltillförsel i en befintlig byggnad, samtidigt som byggnadens klimatskal sällan är lika tätt som vid nyproduktion. Äldre byggnader kan minska sitt u-värde genom att exempelvis installera tätare fönster och dörrar, vilket är vanliga energieffektiveringsåtgärder som bland annat bidrar till att minska både värme- och kylbehov förutsatt att byggnaden används på rätt sätt. Även andra passiva åtgärder som solavskärmning och nattvådning kan hjälpa till att reducera efterfrågan på kyla även i befintligt bestånd.

Om passiva åtgärder inte är tillräckligt för att täcka kylbehovet i en lokal eller bostad behöver aktiva kylålösningar för komfortkyla installeras. Detta behöver inte vara dyrt eller krångligt, beroende på vilka förutsättningar som finns i fastigheten gällande bland annat utrymme och ventilation, hur stort kylbehovet är samt vilken kylålösning som väljs.



Interndistribution av kyla i en befintlig fastighet

I en befintlig fastighet är kostnaden för installation av komfortkyla tätt knuten till fastighetens specifika förhållanden. För distribution av kyla i den befintliga fastigheten kan byggnadens centrala ventilationssystem ofta utnyttjas genom att ett så kallat kylbatteri monteras till ventilationssystemet. Därigenom kan ventilationens tilluft kylas med exempelvis vatten från ett rör som dras i ventilationstrumman, och kyla kan effektivt spridas till alla rum där ett kylbatteri installerats. Eventuellt kan kylbafflar eller fläktkonvektorer monteras i taket, under ett fönster eller i innertaket och sprida kylan till omgivningen. En lösning med en fläktkonvektor passar bäst i fastigheter med en öppen planlösning, eller där kyla endast krävs i ett visst rum. Vilken lösning som passar beror på kylbehovet, fastighetens förutsättningar samt krav på kostnad, bullernivå, estetik m.m. En fläktkonvektor har exempelvis rörliga delar, vilket ökar bullernivån och underhållsbehovet.

Om fastigheten har självdragsventilation blir distributionen av kyla ofta svårare och dyrare. I dessa fall är det ofta tekniskt möjligt att utnyttja befintliga vattenburna system, så som vanliga radiatorelement, för att distribuera kyla i form av kallt vatten. Denna typ av lösning kan emellertid innebära problem med exempelvis kondensering på rören, svårigheter men att uppnå tillräckligt hög kyl-effekt, samt ge en obehaglig upplevelse av kalla och daggiga golv. Mer om detta går att läsa i avsnittet Interna distributionssystem i fastigheter.

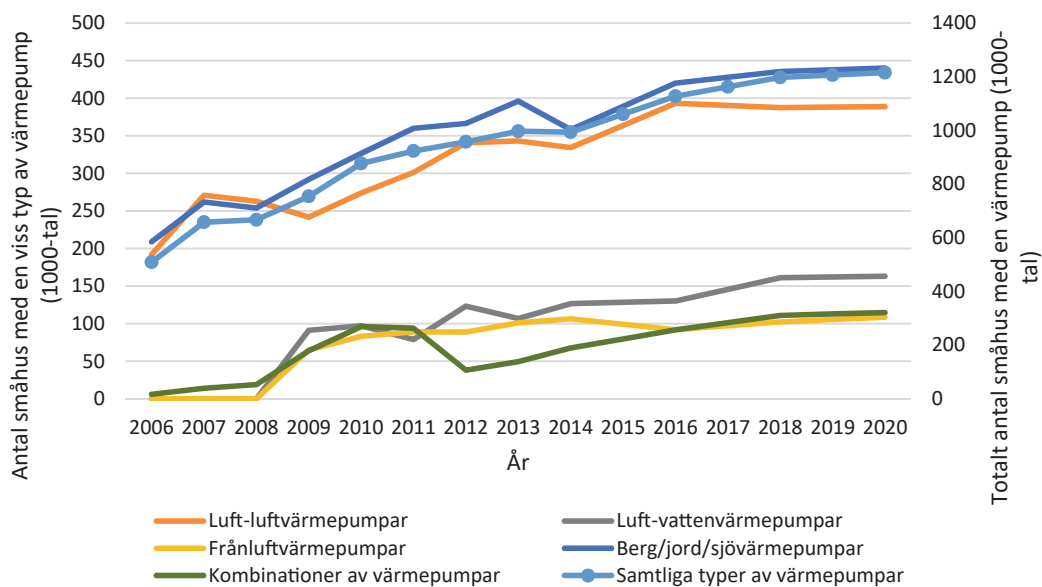
Kyllöslösning till en befintlig fastighet

Utöver distributionssystemet är även kylproduktionslösningen en avgörande del för kostnaden, ljudnivå och underhållsbehov vid eventuell installation av kyla i en lokal eller bostad. I befintliga byggnader är det ofta tekniskt möjligt och relativt billigt att utnyttja fastighetens värmelösning för kylproduktion under sommaren. Vanligast är att luft-luft- eller bergvärmepumpar används för kylproduktion, då det sällan krävs några eller endast små justeringar av det befintliga värmepumpssystemet för att addera en kylfunktion. För fastigheter med luft-vatten-, mark- eller jordvärmepump är det också fullt möjligt att utnyttja pumpen för aktiv kylproduktion, om än detta inte är lika vanligt. För fastigheter med en frånluftsvärmepump är det

möjligt att utnyttja en funktion för så kallad nattsvalka, då svalkande ventiler utnyttjas nattetid. Om behovet av kyleffekt är större än vad som kan genereras genom nattsvalka kan det bli nödvändigt att komplettera med en annan kylmaskin. Beroende på hur stort kylbehovet är kan även de andra värmepumpstyperna, som ursprungligen dimensionerats för ett visst värmebehov, få svårt att leverera tillräckligt med kyleffekt. Installation av en separat kylalösning blir då nödvändig. Om fastigheten värms med fjärrvärme behövs också en kompletterande kylalösning installeras, eller fjärrkyla dras in i fastigheten.

Trots att det ofta är tekniskt möjligt att använda befintliga värmepumpar för att också producera kyla under de varmare delarna av året är det som nämnt i tidigare avsnitt svårt att uppskatta hur många i Sverige idag som utnyttjar denna funktion för exempelvis komfortkyla till bostäder. I Figur 5 visas antalet värmepumpar installerade i svenska småhus mellan åren 2006–2020, där en ökning av installationer av framförallt berg- och luft-luftvärmepumpar är tydlig [5].





Figur 5. Antal småhus med någon typ av värmepump, år 2006–2020. Källa: Energimyndigheten. Energistatistik för småhus 2020. 2021 [5].

Om alla hushåll med värmepumpar idag skulle utnyttja kylfunktionen under ett par timmar varje dag de varmaste sommarmånaderna skulle elanvändningen för aktiv kylproduktion potentiellt kunna bli ganska stor. Som nämnt tidigare visar en överslagsberäkning på ca 100GWh elanvändning för kyla för bara luft-luftvärmepumparna.

Värmepumpsleverantören NIBE uppskattar elanvändningen för kyla med bergvärmepump till omkring 200kWh per sommar för ett vanligt hushåll med en av deras bergvärmepumpar [31]. Elen används då för att driva cirkulationspumpen som pumpar runt köldbärarvätskan i borrhålet, då själva kylningen av vätskan sker med frikyla från berget. För nyare bergvärmepumpar finns oftast en kylfunktion inbyggt, medan det för äldre bergvärmepumpar ofta saknas system för att styra kylfunktionen. Detta kan lösas med en extern termostat eller ett externt styrsystem. Ifall alla bergvärmepumpar i svenska småhus idag skulle utnyttja kylfunktionen till en elanvändning på 200k Wh per år skulle det innebära en elanvändning på ca 90 GWh. Hur bra siffran 200 kWh stämmer beror förstås bland annat på kyllasten samt storleken och prestandan på cirkulationspumpen, men den kan användas som ett ungefärligt mått i denna grova potentialuppskattning. Om ytterligare ett par GWh adderas till uppskattningen för luft-vattenvärmepumpar innebär det en potentiell elanvändning på omkring

200 GWh för kylproduktion med befintliga värmepumpar i småhus i Sverige idag.

Elförbrukningen skulle alltså kunna öka från dagens användning för kylproduktion i småhus, vilken är svåruppskattad, till omkring 200GWh redan under sommaren 2022. Detta utan att nya kylmaskiner införskaffas eller fjärrkylanät byggs ut. Det är ett extremt scenario att tänka sig att alla hushåll skulle utnyttjakylfunktionen på detta sätt då komfortkyla i bostäder idag inte är särskilt utbrett, men det visar på potentialen. Om trenden med ökat antal värmepumpinstallationer fortsätter i samma riktning som visas för tidigare år i Figur 5 fortsätter kommer potentialen för kylproduktion med värmepump i Sverige också att växa.

Vad gäller befintliga flerbostadshus värmdes 76% av den uppvärmda arean i svenska flerbostadshus år 2020 med enbart fjärrvärme [32]. För att i dessa byggnader också ska kunna installera komfortkyla i bostäderna och lokalerna behövs tillgång till fjärrkyla eller installation av en separat kylmaskin. Kylmaskinen kan då antingen drivas med el eller med värme från fjärrvärmecentralen i fastigheten. Drivkraften för att installera komfortkyla i dessa fastigheter behöver komma från ett ökat upplevt behov, kanske i kombination med en möjlighet att installera fjärrkyla. Exempelvis kan behovet komma från uthyrda lokaler i fastigheten vars



Om alla hushåll med värmepumpar idag skulle utnyttja kylfunktionen under ett par timmar varje dag de varmaste sommarmånaderna skulle elanvändningen för aktiv kylproduktion potentiellt kunna bli ganska stor. Som nämnt tidigare visar en överslagsberäkning på ca 100 GWh elanvändning för kyla för bara luft-luftvärmepumparna.

verksamheter behöver en viss kyleffekt, eller som en konsekvens av långa värmeböljor där passiva kylalösningar inte är tillräckliga för att inomhusklimatet ska vara acceptabelt att bo och verka i under en längre tid. Även möjligheten att installera fjärrkyla, när ett sådant nät ändå ska byggas ut i anslutning till ett flerbostadshus, kan tänkas bidra till att fler väljer att installera kyla. Detta förutsätter att det finns en efterfrågan på komfortkyla i byggnaden, eller en stark indikation på att efterfrågan kan tänkas öka inom kort.

Att utnyttja fjärrkyla är i många fall inte möjligt, då fjärrkylanät bara finns på vissa platser. Då de flesta flerbostads värms med fjärrvärme finns ofta möjligheten att utnyttja fjärrvärme under sommaren för att driva exempelvis en absorptionskylmaskin eller en sorptiv kylmaskin. Det är emellertid ovanligt med decentraliserade absorptionskylmaskiner i enskilda fastigheter idag, då investeringskostnaden ökar mycket relativt installerad effekt ju mindre den installerade effekten är. Läs mer om detta i avsnitt *Absorptionskyla*. Ett alternativ för att minska investeringskostnaden för en enskild fastighet kan vara att en grupp flerbostadshus, gärna med tillhörande lokaler, tillsammans investerar i en decentraliserad, fjärrvärmedriven absorptionskylmaskin. Den producerade kylan kan därefter distribueras ut till respektive flerbostadshus i mindre rörledningar. Detta fungerar på samma sätt som för fjärrkyla, fast med mer lokal, småskalig produktion och distribution. Detta kan vara ett bra alternativ för

flerbostadshus som vill installera fjärrkyla, men som ligger för långt från närmaste fjärrkylanät för att det ska vara lönsamt för nätägaren att bygga ut nätet till fastigheterna. Det kan också fungera som en övergångslösning när fjärrkylanätet ska byggas ut till fastigheterna som önskar ansluta sig till nätet, men det kommer att ta tid. Genom att installera en sådan tillfällig lösning kan den lokala rörinfrastrukturen som byggs för kyldistributionen senare kopplas ihop med fjärrkylanätet när det byggs ut. Genom att erbjuda denna typ av övergångslösning kan nätägaren säkra upp framtida kunder.

För flerbostadshus i befintligt byggnadsbestånd som idag värms med olika typer av värmepumpar, eller med en kombination av värmepumpar och fjärrvärme, finns också möjligheten att utnyttja värmepumparna för kylproduktion under sommaren. Enligt statistik från Energimyndigheten användes år 2020 omkring 41 000 värmepumpar för värmeproduktion i svenska flerbostadshus [32]. Omkring hälften av värmepumparna är av berg-, jord- eller sjövärmepumpstyp, ca 43% utgörs av luft-vatten- och frånluftsvärmepumpar, och resterade ca 6% utgörs av luft-luftvärmepumpar. Potentialen att möta ett ökande kylbehov genom att utnyttja befintligt bestånd av värmepumpar för kylproduktion i flerbostadshus är idag alltså inte alls lika stor som för småhus. Uppskattningsvis handlar det om ett par GWh. För att bestämma hur många som idag utnyttjar kylfunktionen hos sina värmepumpar

i flerbostadshus behövs vidare undersökningar. Installation av solceller vid ett befintligt flerbostadshus kan också öka motivationen att installera en soles- eller solvärmedriven lokal kylproduktionslösning, på samma sätt som vid nyproduktion. Komfortkyla till lokaler är redan idag mycket utbredd, framför allt i kontorsfastigheter. De flesta verksamhetslokaler som är i behov av kyla kan därför antas redan idag ha någon form av kylalösning installerad. Ett varmare klimat kan emellertid tänkas öka utnyttjandegraden av dessa kylanordningar, och i vissa fall även kräva installation av nya lösningar där kyllasten blir för stor för att tillfredsställas med dagens lösning. Den största potentialen för ett ökat kylbehov i lokaler kan antas komma från nyproduktion. Eventuellt skulle komfortkyla som installeras i lokaler i anslutning till nya bostäder, som exempelvis vid nyproduktion av flerbostadshus, kunna förbättra den ekonomiska kalkylen i att även utnyttja samma kylalösning i bostäderna. En ökad efterfrågan på kyla i bostäder till följd av ett varmare klimat och högre krav på komfort, i kombination med möjligheten att direkt installera en kylalösning som ändå skulle ha dragits in i fastigheten till förmån för en verksamhetslokal, kan därigenom öka attraktiviteten för komfortkyla i bostäder.

Digitalisering och nya behov av processkyla

En annan aspekt som påverkar inomhusklimatet är digitaliseringen. Ökad användning av elektriska apparater som alstrar värme i hemmen leder till ett varmare inomhusklimat, även om de nya apparaterna är mer energieffektiva idag är förr och därigenom genererar mindre värmeenergi än tidigare. Denna effekt är emellertid liten i jämförelse med behovet av kyla som uppstår i och med uppbyggnaden av fler datacenter i Sverige. Enligt en utredning från 2021 som beställts av Energiföretagen om ett högnivåscenariot för efterfrågan på fossilfri el i Sverige, kan elbehovet för datacenter öka från nästan ingenting idag till mellan 7-11 TWh år 2045 [33]. Av den tillförda energin till en serverhall blir mer än 30% till restvärme som antingen behöver kylas bort eller utnyttjas i någon typ av värmeapplikation [34]. En utbyggnad av serverhallar på den skala som högnivåscenariot indikerar skulle således innebära stora mängder restvärme på

omkring 2-3 TWh som potentiellt behöver kylas bort ifall ingen omfattande energieffektivisering av datacenter sker eller att nyttiga applikationer för restvärmen hittas.

Flera projekt pågår idag för att titta på hur restvärme från serverhallar kan användas till någonting nyttigt, samt vilken typ av mjukvaruarkitektur som krävs för att öka datacentrens energieffektivitet. Ett exempel är det av Energimyndigheten finansierade projektet Cloudberry Datacenters där man i ett delprojekt bland annat ska titta på om överskottsvärmen från datacenter effektivt skulle kunna användas för att värma växthus eller andra typer av fastigheter. På så sätt skulle behovet av kylenergi och kyleffekt kunna minskas i datacenter [35].

Även nya typer av energilagringmöjligheter som batterihallar genererar restvärme, vilken behöver kylas bort eller användas. Produktionen av vätgas beräknas också öka mycket i Sverige de kommande åren, förutsatt att alla satsningar som till dagens datum har annonserats från industrin kommer att genomföras. Även här produceras restvärme som antingen behöver kylas bort eller så behöver nyttiga applikationer för överskottsvärmen tas fram. Likadant gäller flera andra nya industrisatsningar som annonserats i Sverige de senaste åren. Att endast kyla bort överskottsvärmen är inte ett energi- eller resurseffektivt alternativ, och bör därför vara att beakta som sista möjliga utväg. Det framtida behovet av processkyla för exempelvis datacenter och batterilager bör därför i första hand försöka minimeras genom effektivare mjukvaruarkitektur och smartare användning. Överskottsvärmen som ändå uppkommer bör bortföras, det vill säga kylas, genom kombinationslösningar där värmen utnyttjas för andra, nyttiga applikationer i största möjliga mån.

En marknadsmöjlighet för leverantörer av kyla är att det är relativt vanligt att företag som har behov av processkyla för exempelvis egna serverhallar och som har kontorslokaler i närheten gärna installerar samma kylsystem för komfortkyla i de anslutande lokalerna som för processkylan. Att som leverantör kunna erbjuda kylalösningar för båda applikationerna kan således ses som attraktivt.

Hur stor kan efterfrågan på aktiv kyla komma att bli?

Det finns alltså många indikationer på att efterfrågan på kyla kommer att öka i Sverige de kommande åren. Exakt hur stor ökningen blir är svår att uppskatta, bland annat på grund av den rådande bristen på tillförlitlig statistik över hur stor efterfrågan på aktiv och passiv kyla är idag. Även osäkerheter i människors potentiella krav på komfortkyla i bostäder och storleksordningen på uppbyggnaden av nya datacenter, batterihallar och liknande i Sverige de kommande åren bidrar till svårigheterna med att kvantifiera framtidens kylbehov. Trots detta har det under de senaste åren kommit ut ett par rapporter som analyserar och försöker kvantifiera framtidens efterfråga på aktiv kyla i Sverige.

En av dessa rapporter är *Heltäckande bedömning av potentialen för uppvärmning och kylning* som utgavs av Energimyndigheten i december år 2020. Resultat från rapportens scenarioanalyser av framtida potential för värme och kyla visar på en markant ökning av levererad fjärrkyla under den modellerade perioden. Leveranserna ökar från omkring 1TWh under år 2015 till omkring 2,3 TWh levererad fjärrkyla år 2050 i samtliga grundscenarier som modellerats för rapporten. Det innebär alltså mer än en dubbling av dagens fjärrkylleveranser. För samma modellerade period visar modellresultat

taten samtidigt endast en måttlig ökning av marknadsandelen för fjärrkyla till komfortkyla för lokaler, från omkring 23% till 26%. Orsaken är framförallt en ökande kostnad för distribution av fjärrkyla till områden med ett glesare efterfrågan på kyla [9].

I rapporten görs framskrivningen av efterfrågan på aktiv kyla utifrån ett uppskattat behov för komfortkyla i lokaler idag. Användning av fjärrkyla inom bostäder och industri är inkluderat i uppskattningen av dagens kylbehov, men eventuella övriga kylalösningar hos dessa sektorer räknas ej med i rapportens uppskattning av det aktiva kylbehovet. Energin som används för sådana individuella kylalösningar antas istället ingå i sektorernas elbehov. Rapportens framskrivning av kommande aktiva kylbehov bygger på de tre parametrarna (i) förändring av lokalbeståndet (total area), (ii) förändring av andelen kyld lokalarea, samt (iii) förändring av kylbehov per kyld area. Förändring i parameter (iii) antas i rapporten framförallt bero på klimatförändringar. För att uppskatta storleken på nämnda parametrar har egna bedömningar kombinerats med litteratur från andra rapporten som gjort scenarioanalyser på ämnet. I Ekvation 3 visas hur framskrivningen av efterfrågan på kyla i lokaler mellan åren 2015 och 2050 gjorts i rapporten från Energimyndigheten. [9]

$$1,2 (\text{ökning total lokalarea}) \times 1,5 (\text{ökning andel kyld lokalarea}) \times 1,1 (\text{ökning specifikt kylbehov}) = 2,0$$

Ekvation 3. Framskrivningen av efterfrågan på komfortkyla i lokaler mellan åren 2015 och 2050 [9].

Som visas i Ekvation 3 resulterar antagandena som görs i rapporten i ett scenario där efterfrågan på komfortkyla i lokaler kommer att dubblas mellan åren 2015–2050. Därutöver antas också att ökningen av efterfrågan på fjärrkyla i industrier och bostäder kommer att öka i samma takt som efterfrågan på kyla i lokaler. I rapporten betonas emellertid att litteraturunderlaget som legat till grund för framskrivningen har varit begränsat, och att bedömningen därför bygger på flera osäkerheter. [9]

En annan rapport som också tittat på scenarier för framtidens efterfrågan på kyla är den tidigare nämnda rapporten *Klimatförändringarnas inverkan på fjärrvärme och fjärrkyla*, utgiven av Energiforsk år 2021. Scenarierna visar bland annat på hur efterfrågan på komfortkyla och kyleffekt påverkas av olika klimatsituationer, såväl som om det är möjligt att öppna fönster för att utnyttja frikyla i vissa fastigheter. Resultaten visar att behovet av komfortkyla och kyleffekt kommer att öka i alla undersökta scenarier, och mer ju mer årsmedeltemperaturen ökar.

Exempelvis visar rapporten att en ökad temperatur på 1,5 °C kan leda till ett ökat behov av komfortkyla på mellan 7–8% från idag, medan en temperaturökning på 2 °C kan generera ett ökat behov på mellan 15–18%. Spannet är beroende av möjligheten att utnyttja frikyla via öppnandet av fönster eller ej. Den relativa ökningen av kyleffekten är något mindre än det ökade behovet av kylenergi i båda fallen. [12]

I Tabell 2 sammanfattas resultaten om potentiella framtida behov av komfortkyla från de två ovan nämnda rapporterna som nyligen givits ut. Resultat

bygger på många antaganden och osäkerheter, vilket gör att även slutsatsen här är att betrakta som osäker.

Ökningen som indikeras i de två scenarioanalyserna visar att efterfrågan på komfortkyla i Sverige under kommande decennier skulle kunna öka med omkring 0,6–1,3 TWh, bland annat pådrivet av klimatförändringarna. Om kylbehov till processkyla för nya datacenter och liknande faciliteter också räknas in skulle ökningen kunna bli ännu större, kanske så mycket som uppemot 3 TWh.

Tabell 2. Scenarier över framtida utveckling av efterfrågan på komfortkyla i Sverige

Rapport (källa)	Uppskattat behov av komfortkyla [år]	Potentiellt behov av komfortkyla [år]
Energimyndigheten 2020 [9] (OBS! endast levererad fjärrkyla)	1 TWh [2015]	2,3 TWh [2050]
Energiforsk 2021 [12]	6,7–8 TWh [2020]	1,5°C ökad medeltemp ger ett ökat kylbehov på 7–8% → 7,3–8,6TWh 2°C ökad medeltemp ger ett ökat kylbehov på 15–18% → 7,9–9,2TWh

Tekniker för produktion, distribution och lagring av kyla

I det här avsnittet beskrivs de vanligaste sätten att producera kyla i Sverige idag, hur kylan ofta distribueras från produktion till konsument och internt hos konsumenten, samt hur kyla kan lagras. Tekniska, ekonomiska och miljömässiga aspekter diskuteras. Byggnadstekniska åtgärder för att minska kundens behov av kyla, såsom riktning/placering och utformning av byggnader, placering av fönster vid byggnadsfasen, solavskärmning eller liknande kan minska behovet av kyla i fastigheter väsentligt, men ingår inte i detta PM.

Kylaproduktion

Vanliga sätt att producera kyla är via frikyla, kompressorkyla, absorptionskyla och i några fall sorptiv kyla, där frikyla är det enklaste produktionssättet. Dessa tekniker för kylaproduktion presenteras i korthet i detta avsnitt. Extra fokus läggs på absorptionskyla då denna teknik erbjuder möjligheter med att bland annat utnyttja överskottsvärme och fjärrvärme för att producera kyla.

I Tabell 3 på nästa sida, beskrivs dessa vanliga sätt att producera kyla, teknikernas respektive årsköldfaktor samt tillhörande uppskattade kostnader. Observera att det finns olika leverantörer och grenar av tekniker inom varje kategori, liksom att olika tekniker kan fungera olika bra och kosta olika mycket beroende på specifika lokala förutsättningar, den dimensionerade storleken på anläggningen, utgående köldbärartemperatur, behov av rördragning och så vidare. Kostnaderna och årsköldfaktorn är därför genomsnittliga, uppskattade värden som är vanligt förekommande för respektive teknik. Investeringskostnaderna är *exklusive kostnader för omkringliggande system*, och avser endast inköp och installation för själva kylmaskinen. Delar av litteraturen som använts för att uppskatta kostnaderna kom dessutom ut för flera år sedan. För att erhålla mer aktuella och exakta kostnadsuppskattningar behöver en ny kostnadskartläggning för olika storlekar för respektive teknik göras.



Vanliga sätt att producera kyla är via frikyla, kompressorkyla, absorptionskyla och i några fall sorptiv kyla, där frikyla är det enklaste produktionssättet.

Tabell 3. De vanligaste sätten att producera kyla, inklusive årsköldfaktor och kostnader

Teknik (huvudsaklig källa för hela kolumnen om inte annat anges)	Frikyla [37]	Kompressorkyla [37]	Absorptionskyla [37]	Sorptiv kyla [36]
Kort beskrivning	Värmeväxlar mot omgivningsluft eller vattendrag	Mekanisk process för värmeväxling med köldmedium under olika tryck	Termokemisk process för värmeväxling med köldmedium under olika tryck	Evaporativ process byggd på värmeåtervinning mellan till- och frånluft
Huvudsaklig drivenergi	El	El	Värme (och el)	Värme
Köldmedia	-	Ex. R410A, R32, etanol	Ex vatten/ litiumbromid eller ammoniak/vatten	-
Typisk årsköldfaktor/COP ¹	>10	3–7 (2–4 för kylvärmepump som bygger på samma teknik)	0,5–1,2 (COP _{th}) 3–10 (COP _{el, system}) → är svårbedömd och beror starkt av olika tekniska val som t.ex. återkylningssystem) (38)	0,5–2
Typisk drivtemperatur (°C)	-		50–230	50–100 (55–80 vanligen)
Investeringskostnad (SEK/kW kyla)	Låg	1 400 – 3 500	3 500–8 000 (38)	Ca 3 500 – 10 000 (ofta dyrare än en absorptionskylmaskin)
Drifts- och underhållskostnad (SEK/kW kyla)	Mycket låg, ca 1% av investeringen	Ca 5% av investeringen	Ca 3% av investeringen	Låg

1) Årsköldfaktor (Coefficient of Performance, COP) är ett mått som beskriver hur mycket nyttig energi som kan fås ut från den energi som tillförts. I detta fall innebär det hur mycket nyttig kylenergi som kan fås ut av den tillförda el- eller värmeenergin. För absorptionskyla finns två COP angett, där COP_{th} är en termisk köldfaktor (beror av använd drivvärme) och COP_{el, system} är en elektrisk köldfaktor (beror av använd drivvel) inkl. återkylningssystem.

Frikyla

Frikyla bygger på principen att nästan inget arbete för att kyla behövs [39]. Kylan inhämtas istället passivt, och därigenom blir driftkostnaden låg. Både luft- och vattenburna system kan användas för att producera frikyla, men det enklaste sättet är att utnyttja utomhusluften och värmeväxla med den [40]. Det är möjligt att värmeväxla med utomhusluften under många timmar per år i det nordiska klimatet, där temperaturen ligger under 16°C ungefär 90% av årets timmar. 16°C är gränsen för att frikyla via utomhusluft ska fungera. Det är även möjligt att utnyttja frikyla i vattenburna system

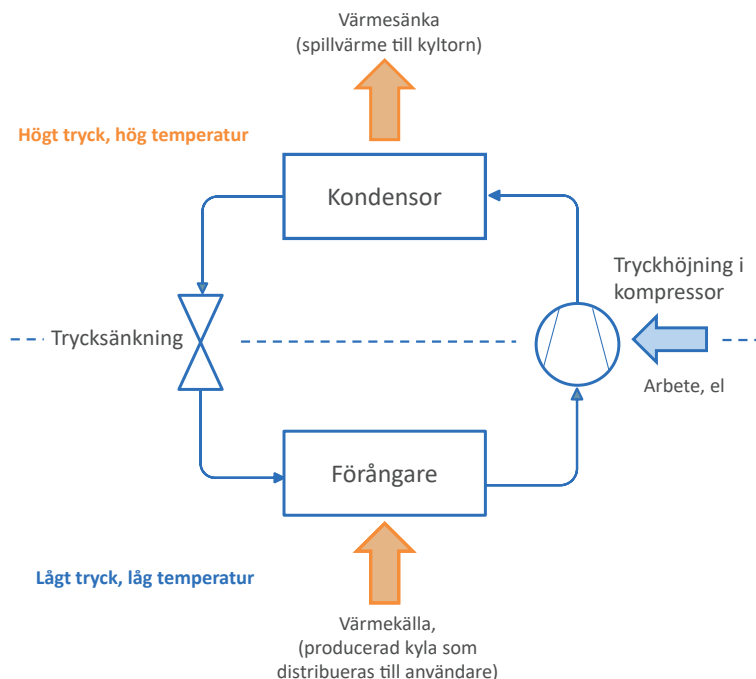
med kylaggregat. En värmeväxlare som använder utomhusluftens kyla byggs då in i kylaggregatet mellan köldbärar- och köldmediasystemen. Under en temperatur på omkring 10°C tillåts utomhusluften att kyla vattnet istället för kylaggregatet, och på så sätt kan frikyla utnyttjas under fler av årets timmar.

Kompressorkyla

Ett annat vanligt sätt att producera kyla är via kompressordrivna aggregat, vilket ofta bara brukar kallas kylmaskiner. Kompressorkylmaskiner är väldigt flexibla, och bygger på en teknik där värme

flyttas från en kall reservoar, kallad "värmekälla", till en varm reservoar, kallad "värmesänka", med hjälp av tillförd elektrisk energi. Värmeförflyttningen sker i en sluten krets där en värmebärarvätska, även

kallat köldmedia, cirkuleras genom fyra huvudsteg där köldmediets förångningstemperatur vid olika tryck utnyttjas (se Figur 6).



Figur 6. Principiell funktionsbeskrivning av en kompressorkylmaskin. Källa: Abrahamsson K, Nilsson J. Kartläggning av marknaden för fjärrkyla. Energimarknadsinspektionen; Eskilstuna, 2013.

I det första steget leds köldmediet genom en förångare vid lågt tryck, där värme utvinns från värmekällan och används för att hetta upp köldmediet tills det förångas. Då värme utvinns från värmekällan kyls källan ned, och på så vis har kylproduktion åstadkommit. Denna kyla kan sedan användas direkt på plats, eller distribueras vidare till sin slutdestination. I det andra steget i den slutna värmebärarkretsen komprimeras det nu gasformiga köldmediet till ett högre tryck via en kompressor som tillförs arbete genom elektrisk energi. Vidare leds köldmediet genom en kondensator, där värme från köldmediet avges till värmesänkan, och köldmediet kondenserar. Värmen som avges till värmesänkan blir restvärme, vilket antingen kan användas till någon värmeapplikation eller kylas bort via exempelvis kyltorn eller med hjälp av frikyla. I det sista steget i värmebärarkretsen sänks trycket på det vätskeformiga köldmediat tillbaka till den lägre trycknivån via en expansionsventil, innan den åter leds genom förångaren. [41]

Kyla med värmepump

Principen bakom en kompressordrivben kylmaskin är densamma som för en värmepump. För fall där värmen som avges i kondensorn till värmesänkan utnyttjas för något specifikt ändamål, och inte bara kyls bort, kallas kylmaskinen ofta kylvärmepump. Dimensioneringen för en kylvärmepump görs utifrån maskinens huvudsakliga applikation, där antingen kyl- eller värmebehovet prioriteras. Således görs dimensioneringen antingen för att anpassa produktionen för att möta ett befintligt värmebehov, och kylan som produceras ses som en biprodukt. Alternativt kan kylvärmepumpen dimensioneras för att möta ett visst kylbehov, och värmen som produceras ses som biprodukten.

Det finns många olika sorters värmepumpar som även kan utnyttjas för att producera kyla. Bergvärmepumpar som också används för att kyla byggnaden och därigenom flytta värme från en byggnad till borrhålet i marken är exempelvis ett



Köldmedium i värmepumpar och kompressordrivna kylmaskiner

Vilket köldmedia som används i den slutna värmebärarkretsen i en kylvärmepump eller kompressordriven kylmaskin beror bland annat på det önskade temperaturlyftet. Många vanligt förekommande köldmedia har historiskt innehållit freoner och andra miljöfarliga kemikalier så som fluor. Freoner som skadar ozonlagret är för länge sedan borttagna från kylmaskiner, men problem med andra ämnen som utgör betydligt mer potenta växthusgaser än koldioxid återstår fortfarande på många håll. EU har därför infört den så kallade f-gasförordningen, där en ny och reviderad version av förordningen började gälla från den första januari 2015 (EU/517/2014)

[80]. Syftet med förordningen är att minska utsläppen av fluorerade gaser, så kallade f-gaser, med två tredjedelar mellan år 2015 och 2030. Förordningen praktiseras genom mängdbegränsningar av utsläpp från f-gaser räknat i koldioxidekvivalenter som får ske inom EU, användarbegränsningar och successiva förbud mot vissa köldmedia. [81]

Enligt Svenska Kyl- och Värmepumpföreningen (SKVP) är det fullt möjligt att ersätta alla f-gasbaserade köldmedier med 100% naturliga varianter, trots utmaningar med nya, oprövade tekniker och komponenter, påverkan på verkningsgrader och nya risker. Exempelvis finns redan idag flera kompressorkylmaskiner och värmepumpar som drivs med propan (R290). [81]

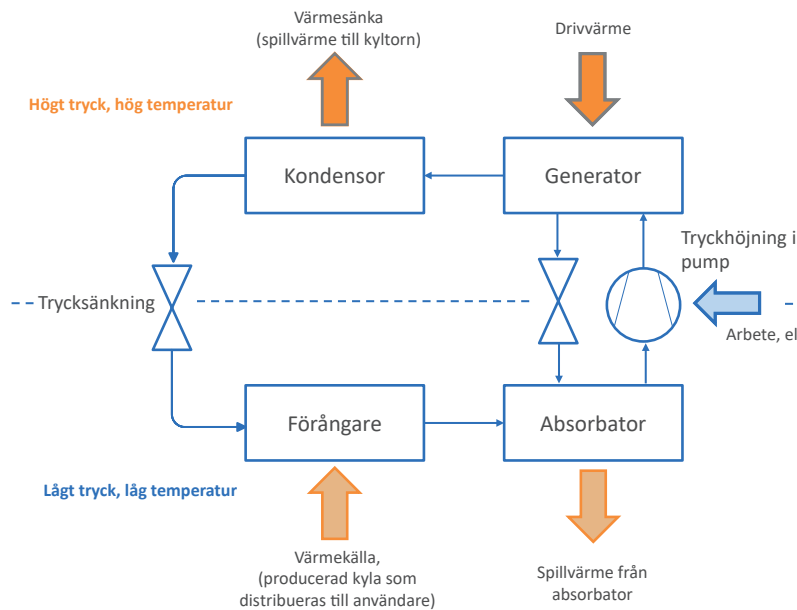
vanligt sätt att kyla byggnader under årets varmas-te månader. Det är en relativt enkel och effektiv lösning där väldigt lite extra el behövs för att driva cirkulationspumpen för bergvärmepumpssystemet. Systemet kan på så sätt i princip drivas med frikyla. Ett system med en bergvärmepump som används för kylning under sommarmånaderna kanske bidrar med fördelen att värme som flyttas från byggnaden under sommaren värmer marken. Därigenom värms borrhålet inför vintern, och mindre energi för att värma byggnaden kommer då att krävas. För andra typer av värmepumpar krävs mer aktiva system för att under sommaren kunna utnyttjas för kylproduktion. Tillägg för kylproduktion är emellertid fullt möjligt för både mark-, jord-, luft-, vatten- och frånluftvärmepumpar. [42]



Absorptionskyla

Det är även möjligt att producera kyla genom att använda värmeenergi istället för el, som i fallet med kompressordrivna kylmaskiner [43]. Ett exempel på värmedriven kyla kallas absorptionskyla. Absorptionskyla bygger, liksom kompressorkyla, på principen att ett köldmedium utsätts för stora

tryckskillnader och värmeväxlas med en köld- eller värmebärare. Däremot utnyttjar absorptionskylaren en termokemisk process med en saltlösning för att komprimera och transportera köldmediat, istället för mekanisk kraft som i fallet med kompressorkylaren (se Figur 7).



Figur 7. Principiell funktionsbeskrivning av en absorptionskylmaskin. Källa: Abrahamsson K, Nilsson J. Kartläggning av marknaden för fjärrkyla. Energimarknadsinspektionen; Eskilstuna, 2013.

En faktor som är viktig för absorptionskylmaskinens effektivitet är hur överskottsvärmen från maskinens kondensator och absorbator kyls bort (se Figur 7). Detta behöver göras effektivt för att den termiska verkningsgraden på kylmaskinen ska bibehållas. Hur mycket värme som behöver kylas bort bestäms av den upptagna värmen i förångaren, det vill säga kyllasten, samt den levererade drivvärmen till generatoren. Återkylningen sker ofta med frikyla via närliggande vattendrag om sådana finns tillgängliga, annars är olika typer av kyltorn vanliga lösningar. Investerings- och driftskostnaden för en absorptionskylmaskin beror därför, utöver kostnaderna för själva kylmaskinen och drivenergin, även till stor del på lokala förutsättningar att utnyttja frikyla för maskinens återkylning. [37]

En del el behöver också användas för att driva en absorptionskylmaskin, utöver den huvudsakliga

drivvärmen. El behövs både i själva kylprocessen för att driva en eller flera cirkulationspumpar, som framgår av Figur 7, och för återkylning av överskottsvärmen som produceras. Olika mycket el behövs till återkylningen beroende på vilken metod som används. En absorptionskylmaskin får därigenom två köldfaktorer (COP), en termisk köldfaktor (COP_{th}) som beror av förhållandet mellan den tillförda värmeenergin och den producerade kylan, och en elektrisk köldfaktor (COP_{el}) som beror av förhållandet mellan den tillförda elenergin och den producerade kylan. Detta framgår i Tabell 3. I ett övervägande om vilken typ av kylproduktionsanläggning som ska installeras behöver den elektriska köldfaktorn för en absorptionskylmaskin vara betydligt högre än den för en kompressorkylmaskin för att det alls ska vara intressant att överväga det värmedrivna alternativet. Då köldfaktorn för en kompressorkylmaskin oftast är större än tre

behöver den elektriska verkningsgraden för en absorptionskylmaskin således alltid vara större än så ($COP_{el} > 3$). En elektrisk verkningsgrad som är större än tio är att föredra. [37], [38]

Värmen som utnyttjas för att driva den termokemiska processen i absorptionskylaren kommer vanligtvis från ånga, varmvatten eller direktförbränning av exempelvis naturgas. Detta sker ofta i anslutning till industrier som har en absorptionskylmaskin med hög kyleffekt installerad vid industrianläggningen. De senaste åren har det blivit alltmer populärt att utnyttja fjärrvärme och överskottsvärme från industrier och anläggningar för energiåtervinning av avfall för att driva absorptionskylmaskiner [14]. Fjärrvärmens energi kan på så vis nyttjas effektivt under fler timmar på året, och mindre värme behöver kylas bort under sommaren. Fjärrvärmedrivna absorptionskylmaskiner kan användas såväl för centraliserad kylproduktion via fjärrkyla som distribuerat ute i fjärrkylanätet hos enskilda fastighetskunder.

Den temperatur som krävs för absorptionssystemets drivvärme beror främst på vilken saltlösning som används i processen, och temperaturintervallet brukar vara mellan 75–140°C [41]. För utnyttjande av värmen i fjärrvärmesystemet är det ofta lågtemperatur-absorptionskylmaskiner som används, där ungefär 80°C är en vanlig drivtemperatur. Generellt för produktion av absorptionskyla gäller att ju lägre drivtemperatur i systemet, desto lägre blir årsköldfaktorn och effekten som kan också fås ut [44]. Absorptionskylmaskiner som drivs med fjärrvärme får därigenom en lägre årsköldfaktor än de som drivs med exempelvis industriånga eller naturgas. Effektiviteten för fjärrvärmedriven absorptionskyla blir dessutom lägre på sommaren, när kyllasten är hög, eftersom framledningstemperaturen på fjärrvärme ofta är lägre på sommaren.

För utnyttjande av fjärrvärme för kylproduktion med absorptionskyla är det också viktigt att ta hänsyn till returtemperaturen på fjärrvärmerna. Denna blir ofta högre än önskat, då en vanlig absorptionskylmaskin har en relativt låg avkylning på drivvärmerna. Exempelvis resulterar en drivtemperatur på 80°C ofta i en retur på mellan 70–75°C, samtidigt som normal returtemperatur för fjärrvärme ofta ligger på omkring 50°C på sommaren. En högre returtemperatur genererar sämre effektivitet för fjärrvärmesystemet genom exempelvis minskad

värmeeffekt och ökad pumpeffekt för distributionen, samt svårigheter med att utnyttja det varmare vattnet för värmeproduktion med bland annat värmepumpar, kraftvärmekondensorer och rökgaskylare. En ökad returtemperatur kan därför medföra extra kostnader för kunden i form av avgifter från leverantören. [45]

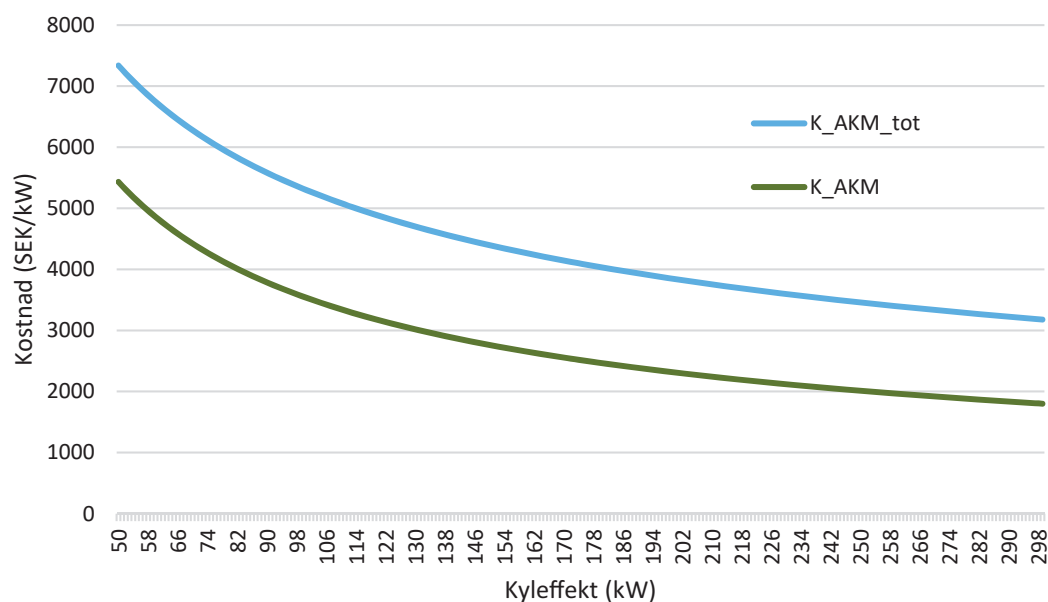
Inkopplingen av absorptionskylmaskinen har en direkt påverkan på vilken returtemperatur som erhålls. Inkopplingen görs vanligen genom att antingen koppla utloppet från kylmaskinen till byggnadens fram- eller returledning till fjärrvärmennätet. Att koppla utloppet från kylmaskinen direkt på returledningen för fjärrvärmerna, kallat fram/retur-koppling, genererar en ökad temperatur på fjärrvärmereturen. Absorptionskylmaskinens utloppsflöde och utloppstemperatur är tillsammans med byggnadens övriga värmelast det som avgör hur hög returtemperaturen på fjärrvärmerna blir. Om kylmaskinens utlopp istället kopplas på fjärrvärmens framledning kallas det fram/fram-koppling. Med denna lösning blir returtemperaturen för fjärrvärmerna inte lika hög, men samtidigt blir absorptionskylmaskinens drift beroende av den övriga fjärrvärmelasten. Kylbehovet är ofta som störst under årets varmare månader då lasten för uppvärmning är liten. Under denna tid utgörs det mesta av värmelasten istället av tappvarmvatten, vilket är en last som varierar mycket över dagen och därmed kan medföra svårigheter med driften av kylmaskinen. [45]

Absorptionskylmaskinens installerade effekt är en viktig parameter för att bestämma kostnaden för kylproduktionen. Ju högre installerad effekt, desto billigare blir generellt varje kWh kyla producerad. Det har därför historiskt varit ovanligt med absorptionskylmaskiner för kylproduktion hos kunder med mindre kyllaster än 1MW. Dessa kunder har istället ofta valt lösningar baserade på kompressor-driven kyla. En vilja att utnyttja överskottsvärme från bland annat solvärme och fjärrvärme har drivit på utvecklingen att förbättra tekniken, och dag har dessa mindre absorptionskylmaskiner också börjat installeras i enskilda fastigheter. [37]

Kraftigt sjunkande investeringskostnader fram till 2010 för mindre absorptionskylmaskiner observerades i rapporten *Värmedriven komfortkyla för mindre anläggningar* (Energiforsk AB; 2015).

Detta främst till följd av en ökad serietillverkning av maskinerna. I rapporten sammanställdes flera priskällor för att visa på ett samband för hur den installerade kyleffekten påverkar investeringskostnaden för absorptionskylmaskiner. Resultatet visas

för absorptionskylmaskiner större än 50kW i Figur 8. K_AKM innebär investeringskostnaden för endast absorptionskylmaskinen, och K_AKM_tot innefattar även kostnaden för kylsystemets cirkulationskrets och återkylningssystem. [38]



Figur 8. Investeringskostnad för en absorptionskylmaskin i relation till dimensionerad kyleffekt. K_AKM innebär investeringskostnaden för endast absorptionskylmaskinen, och K_AKM_tot innefattar utöver kylmaskinen även kostnaden för kylsystemets cirkulationskrets och återkylningssystem. Kostnaden är omräknad från Euro till SEK på en kurs om 10,16SEK/€ (2021-09-07). Källa: Sagebrand U, Zinko H, Walletun H. Värmedriven komfortkyla för mindre anläggningar. Vol. 184, Energiforsk AB; 2015

Som kan ses i Figur 8 finns det ett tydligt samband mellan investeringskostnaden och den installerade kyleffekten för en absorptionskylmaskin, där priset tydligt minskar för anläggningar med högre installerad effekt [38]. Prisuppgifterna som det framtagna sambandet i Figur 8 bygger på gäller för år 2013. Enligt en litteraturundersökning som utförts i det nyligen utförda examensarbetet *Fjärrvärme-Driven komfortkyla* (Lindqvist. E. Umeå; 2021) finns det inget som tyder på att priserna sjunkit särskilt mycket sedan dess [37]. Författaren till examensarbetet har även varit i kontakt med författare till den nämnda rapporten bakom det framtagna sambandet. Dessa författare menar i sin tur att priserna för absorptionskylmaskiner förmodligen också kommer att ligga kvar på ungefär samma nivå under den närmaste tiden, då framstegen inom tekniken framförallt kommer att vara

tekniska med inte markant kostnadsreducerande. Priserna som visas i Figur 8 kan därmed antas stämma relativt väl.

För att undvika förluster vid driften av en absorptionskylmaskin är det viktigt att undvika många start och stopp, eftersom det ofta tar 15–30 minuter för en absorptionskylmaskin att nå önskad effekt. En absorptionskylmaskin bör därför drivas på dellast i perioder mellan lasttoppar för att undvika extra uppstarter. Om den önskade kylhalten är lägre än vad absorptionskylmaskinen klarar av kan det vara en god idé att undersöka möjligheten att installera en kompressorkylmaskin som komplement till absorptionskylmaskinen för drift under låglasttimmarna. Alternativt kan en större och en mindre absorptionskylmaskin installeras, där den mindre maskinen kan användas som

basproduktion. Detta är emellertid sällan ett mer kostnadseffektivt alternativ än att installera en kompletterande kompressorkylmaskin. Olika typer av kylager kan också användas tillsammans med absorptionskylmaskinen för att undvika extra start och stopp. [37]

Sorptiv kyla

Sorptiv kyla är en annan metod för att producera kyla med hjälp av värme. Denna teknik har funnits sedan 50-talet, och har på senaste tiden blivit alltmer effektiv [46]. Sorptiv kyla bygger på principen att luft torkas med hjälp av exempelvis fjärrvärme, och sedan kan den torra luften kylas effektivt genom att åter fukta luften i en evaporativ process som bygger på värmeåtervinning mellan till- och frånluft. Teknologin är relativt utrymmeskrävande och har en hög investeringskostnad jämfört med exempelvis kompressorkyla. Däremot är driftkostnaden för sorptiv kyla relativt låg, och för att använda den behövs ingen kompressor eller några miljöfarliga köldmedier [47]. Det är med lite justeringar möjligt att installera sorptiv kyla på i princip alla platser som är kopplade till fjärrvärmenätet. Drivtemperaturen för sorptiv kyla är starkt beroende av utomhusluftens temperatur och fuktighet [36]. I Sverige, där luften är relativt torr och kall, fungerar ofta drivtemperaturer så låga som mellan 55–60°C. Längre söderut i Europa är det däremot vanligt med drivtemperaturer över 80°C.

Kyladistribution

Behov av distributionssystem för kyla beror som bekant på var kylan produceras och var behovet finns. Kallt vatten som produceras i större anläggningar centralt i ett samhälle och sedan distribueras ut till respektive kund via rörledningar i marken kallas fjärrkyla. Ett sådant distributionssystem med rörledningar i marken blir inte nödvändigt om kylan istället produceras decentraliserat i direkt anslutning till behovet via exempelvis en kylvärmepump. Interndistribution av kyla i en byggnad kan emellertid bli nödvändigt, beroende på var produktionsanläggningen i fastigheten står och var behovet finns. Kyla för komfortsyften kan exempelvis produceras lokalt i varje rum där kyla efterfrågas via individuella luftkonditioneringsaggregat, vilket tar bort behovet av ett internt distributionssystem. Komfortkyla kan också produceras via en eller flera centrala luftkonditioneringsenheter i fastigheten, och därefter distribueras ut till olika rum via ett centralt distributionssystem. För fastigheter som är kopplade till fjärrkylanätet installeras en fjärrkyl-



Tekniker för kyladistribution:

- Fjärrkyla:
- Interna distributionssystem i fastigheter:
 - Individuella luftkonditioneringsaggregat
 - Centralkyla
 - Vattenburen kyladistribution
 - Luftburen kyladistribution

central i byggnaden. Från fjärrkylcentralen behöver kylan sedan distribueras ut i fastigheten på samma sätt som för fastigheter med centrala luftkonditioneringsaggregat. [48]

I detta avsnitt beskrivs först externa distributionssystem för fjärrkyla, och därefter interna distributionssystem i fastigheter.

Fjärrkyla

Fjärrkyla innebär central kylproduktion via ett köldmedium, i princip alltid kallt vatten, som distribueras ut till slutanvändare i ett ledningsnätverk med rör i marken. Fjärrkyla började användas i USA på 60-talet och kom till Sverige 1992, där Västerås var först ut med ett fjärrkylsystem. I likhet med värme från fjärrvärmesystemet är syftet med att använda fjärrkyla att minska antalet lokala kylmaskiner, och istället samla produktionen på central nivå för att få skalfördelar och en mer effektiv produktion. Genom att minska antalet lokala kylmaskiner kan elbehovet från kylanläggningar och användandet av skadliga eller miljöfarliga köldmedier minskas. Fjärrkyla används framförallt för processkyla och för komfortkyla i lokaler, vilket gör att de kundgrupper som oftast är anslutna till fjärrkylanätet är kontorsbyggnader, tillverkningsindustrier och serverhallar. [41]

Det är möjligt att producera fjärrkyla på flera sätt, och det görs ofta med tekniker som utnyttjar lokala förhållanden i anslutning till fjärrkylanätet [41]. Fjärrkylan kan bland annat produceras med frikyla, genom att exempelvis utnyttja kalla, lokala

vattendrag eller sjöar för att kyla vattnet i fjärrvärmenätet. Det är också vanligt att industrier utnyttjar frikyla från närliggande vatten för att kyla sina processer på detta sätt [47]. Enligt ovan kan fjärrkyla också produceras med kompressorkylmaskiner, värmepumpar eller genom utnyttjande av energin i fjärrvärmenäten med absorptionskyla eller sorptiv kyla. [40]

Rörsystemen som används för att distribuera kallt vatten i fjärrkylanäten fungerar på ungefär samma sätt som med varmt vatten som distribueras i fjärrvärmenäten, men fjärrkylarören har en del andra krav på bland annat rördimensioneringen. Eftersom fjärrkyla arbetar i ett betydligt mindre temperaturspann än fjärrvärme, med en normal differens på fram- och returtemperatur på omkring 6–10°C, behöver rören ofta vara grövre än fjärrvärmerör som dessutom inte är lika känsliga för marktemperaturens påverkan. Större rördiameter innebär större värmeöverföringsyta, vilket genererar högre kylförluster. Om isolering används kan ledningsdimensionerna ofta minskas, samtidigt som rör med isolering ofta har en högre investeringskostnad. Isolering är speciellt effektivt för att minska distributionsförlusterna under sommarmånaderna då skillnaden mellan marktemperatur och framledningstemperaturen i fjärrkylarören är som störst. Under augusti och september månad uppstår de högsta förlusterna till marken eftersom det finns en fördröjning i markens temperaturvariation

jämfört med luftens. När rör läggs för fjärrkyla bör de placeras på skuggsidan av gatan för att reducera kylförluster till uppvärmd mark. I jämförelse med oisolerade rör kan effektiviteten för isolerade rör reduceras något under hösten och våren, då marktemperaturen är lägre och därmed ofta kan bidra med extra kylning av rören. Oisolerade rör innebär samtidigt en större risk för frysning, särskilt om rördiametern är liten. Denna risk kan minimeras genom inblandning av något frostskyddande ämne som exempelvis glykol. [45], [49]

När det kalla vattnet i fjärrkylanätet levereras till slutkonsumenten görs detta genom att vattnet leds fram i fjärrkylsystemets rörledningar till en fjärrkylcentral, antingen i kundens fastighet eller som en gemensam undercentral till flera närliggande fastigheter. Här växlas det kalla vattnet från fjärrkylsystemet, kallat framledning, med fastighetens eget kylsystem. Därefter kan kylan distribueras ut i fastigheten via kundens eget kylsystem (se avsnitt *Interna distributionssystem i fastigheter* nedan). Efter värmeväxlingen i fjärrkylcentralen leds det nu uppvärmda vattnet i fjärrkylsystemet tillbaka i rörledningar, kallat returledning, till den centrala kylproduktionsanläggningen för att åter kunna kylas.

Ett alternativ till ett storskaligt fjärrkylanät som samtidigt innebär att varje konsument inte behöver ha en egen kylmaskin placerad i fastigheten är att mindre områden med byggnader tillsammans



Fjärrkyla började användas i USA på 60-talet och kom till Sverige 1992, där Västerås var först ut med ett fjärrkylsystem.

använder en större kylmaskin som lokalt producerar kyla för hela området. Kallt vatten kan därigenom distribueras ut i kortare rörledningar till de närliggande kylkonsumenterna. Exempelvis kan absorptionskylmaskiner användas på detta sätt för kylproduktion i områden som är anslutna till fjärrvärmenätet. Därigenom blir behovet av att lägga långa rörledningar för ett fullskaligt, centralt fjärrkylanät mindre, och distributionsförlusterna och rörläggningskostnaderna kan reduceras. Som visas i Figur 8 är den relativa kostnaden för kyleffekt emellertid till stor del beroende av den dimensionerade kyleffekten på absorptionskylmaskinen. Att använda en mindre kylanläggning för att lokalt producera kyla i ett område ökar därigenom kostnaden för producerad kyleffekt i jämförelse med om flera större absorptionskylmaskiner kan användas för central kylproduktion och distribution i stora fjärrkylanät. Däremot blir denna typ av lokala lösning ofta mer energi- och kostnadseffektiv än om enskilda absorptionskylmaskiner skulle installeras i varje fastighet i området. [45]

Interna distributionssystem i fastigheter

Distributionen av kyla internt i en byggnad görs antingen med kall luft eller kallt vatten som distributionsmedium [38]. Alternativt kan kombinationslösningar med både vatten och luft användas. Luften eller vattnet kyls genom värmeväxling med antingen byggnadens egen kylanläggning eller fjärrkylcentral, och kan därefter distribueras ut i fastigheten på olika sätt [48]. Alternativt installeras en kylanläggning lokalt i ett rum utan tillgång till ett centralt distributionssystem, och kyler därigenom primärt luften i det rummet. Beroende på planlösning och luftflöden i fastigheten kan kylan spridas mer eller mindre även till andra rum i fastigheten. Vid höga krav på komfort i flera rum kan ett centralt distributionssystem i fastigheten, kallat centralkyla, vara nödvändigt. Alternativt kan flera lokala kylproduktionsanläggningar installeras i olika rum. Vilken variant som passar bäst beror framförallt på storleken på kylbehovet, men också på lokala förhållanden i fastigheten som har att göra med möjligheten att utnyttja ett fastighetscentralt distributionssystem.

I detta avsnitt beskrivs individuella luftkonditioneringsaggregat i korthet. Därefter följer ett avsnitt om centralkyla i fastigheter genom distribution av kall luft och kallt vatten. Centralkyla kan användas både för fastigheter med enskilda kylproduk-

tionsanläggningar installerade och för de som har fjärrkyla indraget.

Individuella luftkonditioneringsaggregat

Men ett litet kylbehov i ett eller ett fåtal rum kan ofta individuella luftkonditioneringsystem passa bra. Dessa system har generellt låga investeringskostnader, och det finns många varianter som passar fastigheter med olika förutsättningar. Energieffektiviteten för individuella luftkonditioneringsystem är emellertid låg, vilket bidrar till höga driftkostnader. Detta kan jämföras med centralkyla där högre energieffektivitet kan uppnås, vilket generellt genererar en lägre driftkostnad. Då ett centralt distributionssystem i fastigheten krävs för centralkyla blir investeringskostnaden för denna variant emellertid högre än för individuella aggregat. Hur hög drifts- respektive investeringskostnaden blir för de olika varianterna beror på önskad kyleffekt och fastighetens förutsättningar för att installera ett centralt distributionssystem. [48]

En väggmonterad luft-luftvärmepump som utnyttjas för direkt kylproduktion under årets varmare månader är ett slags individuellt luftkonditioneringsystem där kyla produceras och direkt distribueras i luften. Detta är framförallt en vanlig lösning för komfortkyla i småhus. För småhus med öppen planlösning kan detta vara en extra effektiv lösning, då spridningen av den kalla luften i huset underlättas. Om ingen luft-luftvärmepump finns i byggnaden är det möjligt att direkt installera ett luftkonditioneringsaggregat exempelvis på väggen eller i taket, antingen med en ytterdel eller ej. Alternativt kan en mobil luftkonditioneringsanläggning användas. Luftkonditioneringsaggregat med flera innerdelar finns också att installera, för att få bättre spridning av kylan till fler rum. [50]

En luftkonditioneringsenhet fungerar som en kompressorkylmaskin, och behöver således en värmeänkla för den varma luften som bortförts från rummet som ska kylas. Om en ytterdel används fungerar denna anläggning på samma sätt som en luftvärmepump, men är här dimensionerad för att möta ett specifikt kylbehov. Den varma luften flyttas då från inomhusluften till utomhusluften genom stegen i kompressorkylmaskinens kylcykel. Om ingen ytterdel används kan anläggningen fästas direkt på väggen utan att ta upp plats på tak eller fasad på byggnadens utsida, och ingen professionell installatör behövs för att utföra

installationen. Detta innebär en betydligt mindre investeringskostnad, med det är inte möjligt att uppnå en lika hög kyleffekt med en anläggning utan ytterdel och den är dessutom betydligt mer energikrävande. För att bortföra för den varma luften som bildas i kylcykeln utan en ytterdel till luftkonditioneringsanläggningen görs detta enklast genom exempelvis öppna ett fönster. [50]

Centralkyla

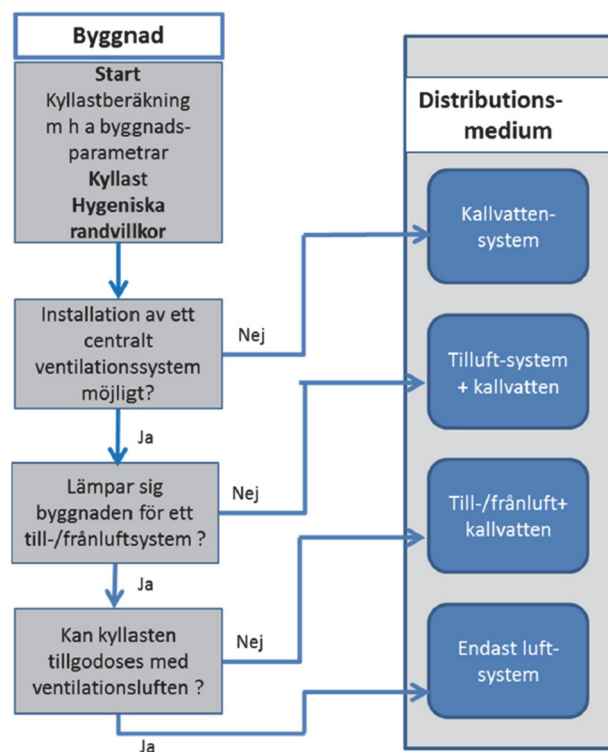
Det finns flera faktorer som är avgörande för vilket distributionsmedium, luft, vatten eller en kombination, som passar bäst för en fastighet med centralkyla. Såväl ekonomiska, estetiska och praktiskt genomförbara parametrar behöver vägas in. Exempel på parametrar som blir avgörande för vad som väljs är efterfrågad kylenergi och kyleffekt, hygieniska behov i fastigheten så som krav på fukthalt, om det finns ett centralt, mekaniskt ventilationssystem eller om det är möjligt att installera ett, tillgängligt utrymme för distributionssystemet, om byggnaden lämpar sig för till- och frånluftsventilation med mera. [38]

Vatten är en bättre energibärare än luft, vilket medför att storleken på distributionsrören och aggregaten för kyladistribution via kylvatten blir

mindre än för distribution via kallluft. Om det finns plats för installation av ett luftburet distributions-system innebär detta emellertid en relativt billig och enkel installation som dessutom kan utnyttja frikyla under många av årets timmar. Platseffektiviteten med vattenburna system gör att de ofta väljs vid nybyggnation och renoveringar, samtidigt som de också kan vara det enda möjliga alternativet i befintliga fastigheter där det kan vara svårt att få plats med ett luftkanalsystem. [51]

Ett beslutsschema för att välja distributionsmedium för komfortkyla i en fastighet togs fram i det internationella projektet IEA Solar Heating and Cooling, Task 38, som pågick mellan åren 2006–2010. En skiss över detta beslutsschema har tagits fram i rapporten *Värmedriven komfortkyla för mindre anläggningar* (Energiforsk; 2015) och visas i Figur 9. [38]

För att välja distributionssystem av kyla till en befintlig fastighet behöver således ett par lokala parametrar gällande lasten och fastighetens förutsättningar klargöras, i enlighet med beslutsschemat i Figur 9. För att bestämma kyllasten behöver önskad kylenergi och önskad kyleffekt kartläggas. När dessa parametrar är bestämda behövs en utvärde-



Figur 9. Beslutsschema över val av distributionsmedium för komfortkyla till en fastighet, beroende på önskad kylast och fastighetens lokala förhållanden. Källa: Sagerbrand U, Zinko H, Walletun H. Värmedriven komfortkyla för mindre anläggningar. Vol 184. Energiforsk AB. 2015.



ring av behovet av luftavfuktning i lokalen. Fuktig inomhusluft kan bidra till lika mycket obehag och koncentrationssvårigheter som ett för varmt inomhusklimat. God reglering av luftfuktigheten är extra viktigt för lokaler som exempelvis hanterar livsmedel, arkiv, museer eller för serverhallar. När dessa förutsättningar är klarlagda kan beslutsgången som föreslås i Figur 9 följas.

För befintliga fastigheter gäller att om svaret på den första frågan i beslutsschemat i Figur 9 om centralt ventilationssystem är nej, det vill säga att det inte finns ett tillgängligt, eller är möjligt att det installera ett centralt ventilationssystem, blir vattendistribution av kyla ofta den mest gynnsamma lösningen. Att installera ett nytt ventilationssystem i en befintlig fastighet kan vara mycket svårt och dyrt, särskilt om det ska dimensioneras för att utöver att möta luftkvalitetskraven också distribuera kall luft. Om det finns ett ventilationssystem tillgängligt, eller är möjligt att installera ett, blir storleken på ventilationskanalerna, typen av ventilationssystem och kyllastens storlek avgörande för om det är möjligt att leverera önskad kyleffekt med luft i tillgängligt ventilationssystem. Om så inte är fallet är det ofta gynnsamt att utnyttja ventilationssystemets egenskaper tillsammans med ett vattenburet distributionssystem, genom att ett kylaggregat installeras i ventilationssystemets tillufts-kanal. Kylaggregatet förses då med kallt vatten via små rörledningar från fastighetens kylmaskin eller

fjärrkylcentral, för att kyla tilluften. Genom integration med det befintliga ventilationssystemet kan kyld luft därigenom fördelas jämnt i fastigheten och inga separata maskiner eller kontrollpaneler för luftkonditionering behövs.

Oavsett om ett luft- eller vattenburet distributionssystem väljs bör temperaturerna i en distributionssystem inte vara för låga. Låga temperaturer genererar lägre effektivitet för systemet och kan leda till problematik med kondens på rörledningar, kopplingar och värmeupptagande ytor [52]. Generellt kan sägas att ju högre distributionstemperaturen i systemet kan tillåtas vara, desto effektivare blir kylsystemet(38). En temperaturökning från 6°C till 16°C i systemet kan medföra en ökad termisk årsköldfaktor (COP_{th}) på mellan 60–100%, beroende på vilken typ av kylanläggning som används. Med ett system som är dimensionerat för högre framledningstemperatur är det också möjligt att utnyttja frikyla under fler av årets timmar. Om avfuktning av rumsluften i fastigheten är nödvändig behöver temperaturen i kylsystemet emellertid vara lägre än luftens daggpunkt. Om avfuktning inte behövs kan köldbärartemperaturen i distributionssystemet hållas högre.

En översiktlig beskrivning av luftburna och vattenburna interna distributionssystem för komfortkyla i fastigheter ges i avsnitten nedan.

Vattenburen kyladistribution

I såväl nyproduktion som vid renoveringar och ombyggnation väljs ofta distributionssystem med kylvatten framför system med luft. Anledningen är platseffektiviteten, då utrymmet som krävs för att installera distributionskanaler i undertaket är betydligt mindre för vattenburna än luftburna system. I en byggnad med många våningar är det ibland till och med möjligt att spara in hela våningsplan genom att inte dimensionera ventilationskanalerna för att distribuera kyla, utan hellre utnyttja ett vattenburet system. Vanliga tillämpningar för vattenburna kyldistributionssystem är klassrum, konferensrum, kontorslokaler, IT-rum, hotell, banker och butiker. [51]

I en fastighet med ett vattenburet centralt kylsystem leds kallt vatten, kylt genom värmeväxling med fastighetens egen kylproduktionsanläggning eller fjärrkylacentral, ut till kylaggregat i fastighetens olika rum genom rörledningar. Antingen kan nya rörledningar för kylvattendistribution installeras, vilket är vanligt i ombyggnads- eller renoverings-situationer, eller så är det i vissa fall möjligt att utnyttja befintliga varmvattendistributionsrör för att även distribuera kallvatten under årets varmare delar. Kylaggregaten kan bestå av fläktkonvektorer eller radiatorer så som traditionella radiatorelement, slingor i golv, väggar och tak eller kylbafflar. I byggnader med ett befintligt vattenburet system för värmedistribution är det som nämnt ibland möjligt att utnyttja detta system även för distri-

bution av kyla. Genom att cirkulera kallt vatten istället för varmt vatten genom en befintlig vattenbärarkrets kan fastigheten kylas utan höga investeringar för att installera ett nytt cirkulationssystem för kylvatten [52]. Vissa justeringar behövs för att kallt vatten ska kunna distribueras i en befintlig vattenbärarkrets, exempelvis injustering, öppning eller byte av ventiler samt potentiellt byte av flödesriktning på vattnet under sommartid. Ett problem som kan uppstå när befintliga radiatorsystem utnyttjas för kyladistribution är kondensation på radiatorytan om den kalla luften har en temperatur lägre än luftens daggpunkt [53]. För att undvika kondensation behöver framledningstemperaturen på kylvattnet vara högre än daggpunkten, vilket begränsar den möjliga kyleffekten som kan uppnås. Om kondensation ska tillåtas behöver systemet istället kompletteras med ett dräneringssystem. Ett annat problem med att använda befintliga radiatorsystem för kyladistribution är att de är dimensionerade för uppvärmning, varför det inte alltid är möjligt att uppnå önskad kyleffekt med dessa system.

Ett sätt att potentiellt öka kyleffekten från befintliga radiatorelement är att utnyttja så kallade radiatorfläktar, det vill säga fläktar som blåser på radiatorerna, för att öka dess värmeupptagningsförmåga. Experiment som utförts i rapporten *Kombinerad fjärrvärme och fjärrkyla till nya kundgrupper*, utgiven av Svensk Fjärrvärme 2011, visar att kyleffekten för radiatorer kan ökas upp till 34–75% genom utnytt-



jande av radiatorfläktar, beroende på radiatortyp. Dessutom medför fläktarna en minskad upplevelse av kalla och daggiga golv, vilket annars kan komma som en bieffekt av komfortkyllning med befintliga radiatorsystem. I samma rapport har även kombinerade vattenburna system för golvvärme och golvkyla undersökts. Detta utnyttjas redan på många platser i världen, och potentialen i Sverige bedöms i rapporten som god. Kylförmågan från ett golvkyllt system ökar dessutom kraftigt vid hög solinstrålning på golvytan, varför potentialen för kombinerad kyl- och golvvärme bedöms extra stor i byggnader med hög solinstrålning. [52]

Om det är viktigt att önskad kyleffekt alltid kan nå utförs oftast en installation av ett nytt cirkulationssystem för kylvatten, hellre än att försöka utnyttja ett befintligt värmesystem med gamla radiatorelement. Kylaggregat som ofta väljs vid renovering eller nyproduktion är kylbafflar eller fläktkonvektorer. Dessa apparater kan vara fula och ta upp plats, men har samtidigt potential att ge en högre kyleffekt än traditionella radiatorelement. Även slingor i golv och tak är populära kylradiatorer för vissa applikationer. [52]

Kylbafflar är uppbyggda av stålflänsar som sitter i sektioner, kallat kylbatteri. Dessa kyls med kallt vatten från fastighetens centrala vattendistributionsystem. Genom kylbatterierna erhålls en bättre värmeavgivningsförmåga än med traditionella radiatorelement [54]. Kylbafflar finns i många varianter och kan antingen installeras på väggen, frihängande i taket, integrerade i undertaket eller på byggnaders fasad. Idag återfinns kylbafflar vanligen i kontorslokaler och på hotell, och kan användas för distribution av både värme och kyla. Distribution av kyla är den vanligaste applikationen. Under senare år har kylbafflar också börjat användas mer i bostäder, då fler bland annat väljer att utnyttja sin bergvärmepump för såväl värme som kylproduktion. En fördel med kylbafflar är att de inte har några rörliga delar, vilket bidrar till en tyst drift med låga underhållsbehov [53]. Kylbafflar genererar också låga luftflöden, vilket minskar risken för en dragig upplevelse.

Det finns flera varianter av kylbafflar, där de primära grupperna kallas passiva och aktiva. Passiva kylbafflar fungerar genom naturlig konvektion, där varm rumsluft stiger och passerar genom baffelns kylbatteri. Den kalla luften faller därefter ner i rummet då den fått högre densitet. Passiva

kylbafflar är inte kopplade till fastighetens ventilationssystem, till skillnad från aktiva kylbafflar som arbetar integrerat med ventilationen. Detta genom att rumsluft som sugts in i kylbaffelns kylbatteri blandas med tilluften från ventilationssystemet för att generera en jämnare rumstemperatur. Kylbafflar behöver installeras i varje rum som kyla önskas i. [53]

Även fläktkonvektorer behöver installeras i varje rum där kyla önskas. Dessa består av en eller flera värmeväxlare, en fläkt, ett filter och ett droppfat för kondensbildning inneslutet i ett metallhölje. Fläktkonvektorer används för att kyla eller värma luft samt sprida luften i rummet, och kan installeras såväl på golvet som i taket eller på väggen. Värmeöverföringen sker med konvektion genom att fläkten forcerar rumsluften genom värmeväxlaren. Då fläktkonvektorer har rörliga delar bidrar detta till såväl ökad bullernivå som behov av underhåll, jämfört mer exempelvis kylbafflar. [53]

Distributionen av kallvattnet ut till byggnadens kylaggregat kan göras på flera sätt. Den enklaste varianten bygger på att kylvatten pumpas runt med en cirkulationspump i vattenkretsen som är kopplad till de olika radiatorerna samt kyltillförselsystemet (kylproduktionsanläggningen eller fjärrkylacentralen). En shuntventil placeras mellan framledningen till radiatorerna och returledningen. Shuntventilen används för att reglera hur mycket kylvatten som ska ledas tillbaka till kylmaskinen eller fjärrkylacentralen för att återkylas. Därigenom kan kyleffekten regleras. Shuntventilen styrs ofta automatiskt efter utomhus- och/eller inomhustemperatur. [38]

För att säkerställa att samma driftförhållanden gäller för hela kylkretsen kan parallellkoppling av alla kylaggregat i kretsen göras, istället för att den enkla kopplingen som beskrevs ovan. För parallellkoppling kan antingen alla aggregat kopplas till varsin cirkulationspump och shuntventil, eller så kan en central pump användas för hela kretsen och tvåvägsventiler utnyttjas för att reglera kyleffekten. En annan kopplingsvariant bygger på att kylaggregaten i kretsen seriekopplas. Detta kan med fördel göras då olika kyleffekt efterfrågas för olika kylaggregat i byggnaden. Kyleffekten kan då utnyttjas stegvis i de olika aggregaten. Den resulterande returtemperaturen på kylvattnet blir därmed lägre, vilket höjer kylaggregatets kapacitet och prestanda. [38]

Luftburen kyladistribution

Det enklaste sättet att distribuera kyla med ett jämt flöde i en byggnad är att utnyttja ett befintligt, luftburet ventilationssystem för att cirkulera kall luft i fastigheten [38]. Emellertid är det som nämnt inte alltid säkert att ventilationssystemet kan leverera hela den efterfrågade kyleffekten, då ventilationskanalerna kan vara för små. Ett ventilationssystem som både ska leverera kyla och tillräckligt god luftkvalité dimensioneras i regel utifrån den förväntade kyllasten, då luftflöden som krävs för att leverera kyla ofta är stora. I fall där tillgängliga ventilationskanaler inte kan leverera tillräcklig kyleffekt kan kompletterande, vattenburna system vara nödvändiga.

På grund av den begränsade möjligheten att leverera tillräcklig kyleffekt genom att utnyttja ett befintligt ventilationssystem för kyladistribution kan det ofta vara svårt att använda luftburen kyla i befintlig bebyggelse. Installation av nya, centrala ventilationssystem i en befintlig byggnad är generellt mycket kostsamt, och dessutom finns sällan plats för att bygga in nya ventilationskanaler. Detta speciellt om de ska dimensioneras för ett större kylbehov. I vissa fall kan det vara motiverat att bygga in nya ventilationssystem vid större renoveringar, men kostnaden utgör ofta ett stort hinder. En annan problematik som kan uppstå i gamla byggnader är att de sällan är tillräckligt lufttäta för att möjliggöra effektiv luftburen kyladistribution. Detta till skillnad från nyare fastigheter där högre krav ställs på tätare och mer energieffektiva konstruktioner. [38]

I byggnader där det finns tillgängligt eller är möjligt att installera ett ventilationssystem med kanaler som är stora nog för att hantera de luftflöden som krävs för att leverera önskad kyleffekt, är det emellertid ofta både billigt och enkelt att installera ett tillhörande kylsystem. Vanliga applikationer för luftburen kyla är till butiker, konferensrum, klassrum, restauranger, sjukhus, lätt och specialiserad industri, idrottshallar och köpcentra. [51]

Luftburen kyla kan levereras på olika sätt, där de två huvudkategorierna bygger på ett konstant (CAV, Constant Air Volume) eller ett varierat (VAV, Variable Air Volume) luftflöde. Det finns också varianter som kombinerar de två kategorierna. CAV är ett ventilationssystem där kall luft kyler

ett konstant ventilationsluftflöde med varierande temperatur. Temperaturen styrs av utomhustemperaturen, inomhustemperaturen eller en kombination av båda. Temperaturen i rummet med störst kylbehov är oftast den bestämmande temperaturen när CAV-system används för kylning. För att få rätt temperatur i övriga rum kan luften eftervärmas. CAV-systemets konstanta luftflöde genererar konstanta tryckfall och därigenom erhålls ett jämt kylflöde. [55]

VAV-systemet arbetar istället genom att kyla ett ventilationsflöde som varierar i varje rum, men med en konstant temperatur på tilluften. Årstidsjustering av tilluftstemperaturen appliceras oftast som en funktion av utomhustemperaturen. Tilluftsflödet till varje rum regleras med hjälp av spjäll, vilket regleras genom mätning av inomhustemperaturen. Generellt styrs systemet mot att upprätthålla ett konstant tryck. Fördelar med att använda VAV-system i jämförelse med CAV-ventilation är att det krävs mindre fläktar för ett variabelt flöde, vilket leder till lägre drifts- och installationskostnader. VAV-system är också mer energieffektiva då ingen eftervärmning av vissa rum krävs, och det är dessutom möjligt att reglera inomhusklimatet för olika rum individuellt. Det är emellertid svårare att bestämma tryckförlusterna i ett VAV-system än ett CAV-system på grund av det varierande luftflödet [55].

Kylalager

Med ett ökande behov av kyla växer även efterfrågan på möjligheter att effektivt kunna lagra kyla. Syftet med att kunna lagra kyla är att liksom med all form av energilagring att ge möjligheten att producera kyla när och där det är lönsamt och/eller mest energieffektivt, för att senare kunna utnyttja den producerade kylan när eller där efterfrågan finns. Detta blir allt viktigare i ett energisystem som bygger på mer variabel elproduktion, samtidigt som bristen på lokal effekt och kapacitet ökar i delar av landet. Kylaproduktionen kan då ske under timmar när det finns god tillgång på billig, förnybar energi, och sedan lagras tills dess att efterfrågan på kyla ökar igen eller brist på lokal kapacitet eller eleffekt råder.

För kyla i framförallt europeiska och svenska klimat gäller dessutom att lasten ofta har mycket höga dygnsmedelvariationer under dagar med

stora kylbehov. I en undersökning av Helsingborgs fjärrkylasystem under 2009 gällde exempelvis att dygnsmedeleffekten var 30–40% mindre än den högst uppmätta timmedeleffekten under dagar med högt kylbehov. Detta ger ytterligare incitament att utnyttja kylager. Extra kyla kan då produceras under låglasttimmar och lagras över natten för att sedan utnyttjas under topplasttimmarna. Kapaciteten på anläggningen som producerar kylan kan därigenom dimensioneras för att möta höga dygnsmedeleffekter, snarare än toppeffekten. Detta kan generera såväl ekonomiska som energieffektiva fördelar, beroende på lastens variationer, samt lagrets kostnad och effektivitet. [56]

Lagring av kyla kan ske på olika sätt, ofta på samma sätt som för lagring av värme. Lagring av värme eller kyla kallas gemensamt för termisk lagring. Vanliga tekniker är byggnadsnära lagringstekniker i antingen fastighetens stomme eller fasadmaterial, i vattentankar eller borrhålslager i anslutning till byggnaden. Det finns även centraliserade termiska berglager för kyla, där kyla som producerats centralt kan lagras i berget och sedan distribueras ut till konsumenter via fjärrkylanät. Dessa typer av



Tekniker för kylalagring:

- Sensibel termisk lagring
- Latent termisk lagring
- Kemisk termisk lagring

termiska lager kan också förekomma mer utspritt ute i fjärrkylanäten.

Termiska lagringssystem kan delas in i tre huvudgrupper, kallade sensibel, latent och kemisk lagring. Dessa beskrivs översiktligt i detta avsnitt. I Tabell 4 visas en jämförelse av de tre huvudgrupperna av lagringstekniker med avseende på ungefärlig kapacitet, effektivitet och kostnad.

Tabell 4. Jämförelse av tre huvudgrupper av termisk lagringsteknik [57], [58]

Termiskt lager	Sensibel	Latent	Kemisk
Kort beskrivning	Energilagring i medium utan att fasomvandling sker	Energilagring i medium genom fasomvandling	Energi tas upp i mediet genom endoterma reaktioner, och avges när reaktionerna omvänds
Kapacitet (kWh/ton)	10–50	50–150	120–250
Effektivitet (%)	50–90	75–90	75–100
Kostnad (SEK/kWh)	1–100	100–500	80–1 000

Sensibel termisk lagring

Den vanligaste, billigaste och mest väletablerade huvudgruppen av termiska lager är sensibel lagring, där ingen fasomvandling av lagringsmediet sker. Det finns flera typer av tekniker som bygger på sensibel lagring, och mediet som används för att lagra energin beror på vilken lagringstemperatur som efterfrågas. Det är också viktigt att mediet har hög värmekapacitet då detta minimerar lagrets volym. Lagringsmediet kan antingen utgöras av en fluid eller vara av ett fast material. För sensibel termisk lagring under temperaturer på 100°C är vatten det vanligast förekommande lagringsmediet, då det både är billigt, lättillgängligt och har hög värmekapacitet. En nackdel med vatten som lagringsmedium är exempelvis att det kan orsaka problem med korrosion, men det kan ofta åtgärdas med hjälp av olika kemiska tillsatser. [57]

När fluider används som lagringsmedium för sensibel lagring görs detta oftast i ackumulatortankar, bassänger eller akviferer. Ackumulatortankarna fungerar ungefär på samma sätt som en termos, där en vätska vars temperatur ska bevaras innesluts i en isolerad behållare. Ett alternativ till att isolera ackumulatortanken är att gräva ner den. Då sker emellertid alltid vissa energiförluster till marken. Bassänger kan också användas som termiska lager, och täcks då med isolerande lock. Förlusterna från bassängen kan minimeras genom att konstruera bassängen med så stor volym som möjligt i förhållande till bassängens mantelarea. [57]

Sensibel termisk lagring i akviferer innebär att underjordiska, naturligt förekommande, grundvattenfyllda rum utnyttjas som lager. Grundvattnet används här som värmebärare mot ett vattenfyllt magasin som utgörs av ett material med goda värmeöverföringsegenskaper så som grus. Temperaturen hålls i princip konstant under årets alla säsonger i denna typ av lager. Lagring i akviferer kan således med fördel utnyttjas som långtids- eller säsongslager, men både dygns- och säsongslager i akviferer förekommer för fjärrkyla. Investeringskostnaden för denna typ av termiskt lager är relativt låg eftersom berggrummet är naturligt förekommande och inte behöver skapas. Det är också ofta möjligt att få ut hög effekt från denna typ av lager, men hur hög effekt som kan erhållas är starkt beroende av den lokala geologin. [57], [58]

Sensibel termisk energilagring i solida medier förekommer också. Nackdelen med detta är att solida material har lägre värmekapacitet än fluider. Storleken på lagringsvolymen blir således större för att lagra samma mängd energi med ett medium i solid form som för ett fluidbaserat lager. Termisk lagring i fasta media som stenar är emellertid ofta billigare och ger lägre energiförluster än lager med fluider som medium. Vanliga solida, sensibla termiska lager är borrhålslager och lager i sten- eller grusbäddar. Borrhålslager innebär att hål borrar i marken på vanligen mellan 50–200 meters djup. En kall eller varm köld- eller värmebärande vätska tillåts sedan cirkulera genom borrhålen för att antingen kyla eller värma marken i anslutning till hålet. Vätskan utgörs oftast av vatten, eller en blandning av vatten och någon alkohol för att minska fryspunkten på mediet. Den relativa energiförlusten blir mindre ju fler hål som borrar, men samtidigt är det själva borrhållningen som innebär den största delen av lagrets investering. [57]

Latent termisk lagring

Lagringsmediet genomgår en fasomvandling när energi lagras genom latent termisk lagring. I jämförelse med sensibel lagring kan latent teknologi lagra mellan 5–14 gånger mer energi per volymenhet. Temperaturvariationerna inom latent termisk lagring är också små eftersom energin används för att byta fas på lagringsmediet snarare än att förändra dess temperatur. Denna typ av lagring är därför extra lämpligt då höga krav ställs på konstant temperatur, litet lagringsutrymme eller hög energidensitet. Latent termisk lagring lämpar sig ofta bra för att lagra kyla, och lagringsmediet kan generellt lagras på samma sätt som för sensibel lagring. [57]

Lagringsmediet, eller fasändringsmaterialet (PCM, Phase Change Material), som används för latent termisk lagring kan antingen vara rena ämnen eller blandningar, och består av organiska eller oorganiska ämnen. Vilket fasändringsmaterial som passar bäst beror på önskade egenskaper för lagret. För temperaturer under 0°C används ofta saltvattenlösningar. De största problemen med latent termisk lagring ligger i att det är svårt att få till en robust fasförändring av fasändringsmaterialet under många cykler, samt att få processen kostnadseffektiv. [58]



Termiska lagringssystem kan delas in i tre huvudgrupper, kallade sensibel, latent och kemisk lagring.

Kemisk termisk lagring

Att lagra kyla eller värme på kemisk väg innebär att energi tas upp i kemiska reaktioner, så som genom absorption eller adsorption. Energin frigörs sedan igen när reaktionerna omvänds. Exempelvis kan termokemisk lagring ske med salt som torkas och sedan förvaras utan kontakt med vätska under alltifrån ett par timmar till flera månader eller ännu längre. [59] När det senare är dags att använda energin tillförs vatten åter till saltet. Då sker en kemisk reaktion som frigör energi i form av kyla och/eller värme. Tekniken kan jämföras med ett batteri, men istället för att lagra elektricitet lagras energi i form av kyla eller värme.

Det har länge varit känt att det är möjligt att lagra termisk energi i salt. Ett problem med tekniken har emellertid varit att saltet efter ett par gång-

ers användning klumpar ihop sig och förlorar de kemiska egenskaperna som möjliggör energilagringen. Företaget SaltX Technology har en lösning på problemet via sin patenterade teknologi ”nano coating”. Tekniken går ut på att saltet (kalciumoxid och kalciumhydroxid) som används för energilagringen först behandlas med nanopartiklar innan det tillförs processen. Den speciella behandlingen minimerar risken för att saltpartiklarna ska klumpa ihop sig, och gör att det i teorin är möjligt att återanvända saltet för den termokemiska lagringsprocessen hur många gånger som helst. SaltX Technology har idag flera pilotprojekt på gång för att testa och validera sin teologi och förbereda för storskalig användning. Ett av dessa projekt kan läsas med om i avsnittet *Nyheter – Ett axplock av pågående och kommande projekt på kylamarknaden* nedan. [59]

Hur ska den ökande efterfrågan på kyla mötas?

Alltmer pekar på att efterfrågan på kyla kommer att öka, speciellt vad gäller komfortkyla och processkyla till nya typer av användare som stora datacenter och batterilager. Som visat i tidigare avsnitt finns redan idag många etablerade tekniker för att möta dagens efterfråga på kyla, men hur står de sig inför utmaningen att möta den ökande efterfrågan och var passar de in i framtidens robusta, energieffektiva och integrerade energisystem? I det här avsnittet diskuteras möjligheten att möta det ökande behovet av aktiv kyla med olika tekniker, och hinder och möjligheter identifieras för kylamarknadens utveckling på systemnivå.

Viktiga tekniker och deras systemeffektivitet

I och med att det finns etablerade och kommersiellt gångbara tekniker för kylproduktion på marknaden, kommer den ökande efterfrågan sannolikt till stor del att kunna mötas med dessa tekniker. Det är kostnaden för att använda dem, samt hur de olika kylalösningarna passar in i och kan samverka med det övriga energisystemet, som kommer att avgöra vilka de ledande teknikerna blir. Särskilt viktiga blir lokala förutsättningar för respektive teknik. Även förmågan att attraktivt paketera kylalösningarna och sälja dem på ett sätt som är både smidigt och prisvärt för olika typer av kunder kommer att vara avgörande.

Fjärrkyla

Storleken på den potentiella kundbasen för fjärrkyla, tillgången på restvärme från industrier och energiåtervinning från avfall under sommarmånaderna, samt möjligheten att utnyttja frikyla från lokala vattendrag och billiga centrala kylalager så som akviferer blir avgörande för den lokala lönsamheten för energibolag att investera i fjärrkyla. Det viktigaste med fjärrkyla-affären kanske inte heller blir lönsamheten för produkten i sig.

Att också erbjuda kylalösningar kan bli avgörande för att behålla värmeaffären

I rapporten Klimatförändringarnas inverkan på fjärrvärme och fjärrkyla görs bedömningen att det är mycket troligt att det ökande kylbehovet till följd av klimatförändringarna kommer att påverka energibranschen på ett betydande vis [12]. Detta speciellt då klimatförändringarna samtidigt bidrar till ett reducerat behov av värme. Förändringen märks av redan idag då efterfrågan på kylalösningar blir allt vanligare. Trots detta kommer värmeaffären att fortsatt utgöra den dominerande delen av värme- och kylamarknaden i Sverige. Det kan däremot komma att bli kritiskt för energiföretag att också kunna erbjuda bra kylalösningar för att få behålla affären med värmelösningar. Kundens ökande efterfrågan på ett bekvämt inomhusklimat måste kunna tillfredsställas under flertalet timmar av året, och en leverantör som endast kan leverera detta under vissa perioder kommer att ses som mindre attraktiv än en aktör som kan leverera hela tiden. Fjärrkylan kan med andra ord bli ytterst viktig för energibolag som också säljer fjärrvärme, trots att lönsamheten från fjärrkylan i sig kanske endast blir marginell eller till och med uteblir i vissa fall.

Generellt visar rapporten utgiven av Energiforsk att många företag i branschen ser det som en möjlighet att behovet av energi för kyla ökar, då exempelvis restvärme och värme från energiåtervinning kan utnyttjas under fler av årets timmar genom värmeproducerad kyla till fjärrkyla [12]. Samtidigt ser samma företag att ett ökat behov av kyleffekt kan komma att utgöra ett hinder. Om det under vissa timmar inte är möjligt att leverera tillräckligt med kyleffekt kommer kunderna troligen att söka sig till andra, fastighetsnära lösningar så som värmepumpar som kan leverera såväl värme som kyla. Då riskerar även fjärrvärmeaffären att gå förlorad för ett energibolag. För att minska toppeffekten



för kyla som behöver levereras skulle korttidslager för kyla kunna vara ett alternativ, antingen ute i fjärrkylanätet eller decentraliserat i exempelvis kylkundernas fasadmateriäl.

Fjärrkylans kunder och lokala förutsättningar

Fjärrkyla kan alltså bli ett viktigt instrument för energibolag som säljer fjärrvärme att behålla sin affär, och potentialen för ett fortsatt ökat utnyttjande av fjärrkyla i Sverige bedöms stor enligt Energiföretagen Sveriges kartläggning från 2019 [14]. Särskilt i områden där det idag finns utbyggda fjärrvärmenät och densiteten av potentiella fjärrkylkunder är hög kan en utbyggnad av fjärrkylanät bli lönsamt. De främsta kunderna utgörs av olika typer av lokaler, men fjärrkyla kan också tänkas bli mer intressant för industrier och flerbostadshus i framtiden. Detta särskilt i områden där utbyggnad av fjärrkylanät i första hand är motiverat av en grundkundbas med lokaler. Fjärrkyla i bostäder är idag ovanligt, men om fjärrkylanät fortsätter byggas ut i tätbebyggda områden med många flerbostadshus som innehåller både bostäder och lokaler kan detta komma att ändras. Bostadskunder som tidigare varit intresserade av komfortkyla men tvekat inför att köpa en separat kylalösning kan tänkas bli mer benägna att köpa kyla ifall fjärrkyla ändå ska dras in i fastigheten för att möta efterfrågan på kyla från en verksamhet som där hyr en lokal.

Fjärrkyla kan också komma att bli intressant i nybyggda bostäder där denna kylalösning kan bli

installerad på ett resurseffektivt sätt redan från början, särskilt om ventilationssystemet från början är förberett för kyla. Nyttan med, och möjligheten att installera fjärrkyla i nybyggnation kommer att vara helt beroende av var i relation till det befintliga eller planerade fjärrkylanätet som dessa bostäder byggs. Förtätning genom nybyggnation på platser där det redan idag finns mycket bebyggelse är ett sätt för städer och kommuner att effektivisera mycket lokal infrastruktur, och kan bli ett viktigt verktyg på vissa platser för att nå Sveriges mål om fossilfrihet till år 2045. Vid nybyggnation genom förtätning kan uppkoppling av fjärrkyla till de nya fastigheterna bli aktuellt inom områden där fjärrkyla redan finns eller ska byggas ut.

Andra lokala förutsättningar som är gynnsamma för fjärrkyla kan exempelvis vara möjlighet att utnyttja lokala akviferer för kylalagring. Tillgång till effektiva lagringsmöjligheter med låga investeringskostnader ger goda möjligheter att effektivt drifva den lokala produktionen och distributionen av fjärrkyla. Ett annat vanligt sätt att göra fjärrkyla effektivt är att blanda produktionstekniker. Genom att utnyttja frikyla på vinterhalvåret och fjärrvärmedriven absorptionskyla på sommaren kan det uppnås en minskad produktionskostnad och en högre årlig verkningsgrad än för kyla som produceras lokalt ute hos enskilda kunder. Installation av fjärrkyla innebär också ett minskat behov av aktivt underhåll av det privata kylsystemet från kundens sida. Fjärrkyla är även ofta mer platseffektivt och

medför inte samma nivå av buller som decentraliserade kylsystem i varje fastighet kan göra.

Hur kommer framtidens fjärrkyla att produceras?

Fjärrkyla produceras som tidigare nämnt främst med hjälp av kompressordriven kyla eller absorptionskyla idag, med en ungefär jämn fördelning mellan dessa tekniker. Frikyla från exempelvis närliggande vattendrag används också för produktion av fjärrkyla, men potentialen för att använda frikyla är begränsad och kan inte alltid generera önskad kyleffekt på sommaren. Då frikyla är det billigaste alternativet kommer den potential som finns att använda frikyla att utnyttjas även i framtiden, men därutöver kommer produktionen att behöva ske med annan teknik. Potentialen med frikyla från luft och vattendrag kan också potentiellt komma att minska framöver på grund av klimatförändringar. Enligt scenarioanalyser som gjorts av Energimyndigheten i rapporten Heltäckande bedömning av potentialen för uppvärmning och kylning kommer användning av värmeproducerande värmepumpar i fjärrvärmenäten sannolikt att utgöra ett kostnadseffektivt alternativ för produktion av fjärrkyla. Potentialen för fjärrkylproduktion med värmepumpar begränsas emellertid av kapaciteten för teknikens värmepumpande funktion. [9]

Den efterfråga på fjärrkyla som inte kan täckas med frikyla eller värmepumpar kommer sannolikt att täckas med kompressordriven kyla eller absorptionskyla, då potentialen för dessa tekniker har få tekniska begränsningar. Vilken av teknikerna som blir den mest framträdande av de två under kommande decennier beror till stor del på priset på fjärrvärme i jämförelse med elpriset. Detta då potentialen med absorptionskyla driven av fjärrvärme bestäms av tillgången på värme till en låg rörlig kostnad, medan potentialen med kompressordriven kyla beror på elpriset. Låg rörlig kostnad för fjärrvärme kan erhållas under perioder då efterfrågan på värme är låg, som under sommarmånaderna, samtidigt som det finns stor tillgång på varmvatten från exempelvis industriell restvärme eller energiåtervinning från avfall. Med en tillräckligt låg värmekostnad för att driva absorptionskylmaskiner kan driftskostnaderna för tekniken hållas nere, och potentiellt utgöra en mer lönsam lösning än fjärrkylproduktion med kompressorkylmaskiner. [9] Enligt Energimyndighetens scenarioanalyser visar de flesta modellerade scenarier på att kompressor-

kylmaskiner kommer att vara en mer lönsam teknik än absorptionskyla för produktion av fjärrkyla fram till år 2050. Med andra ord blir tillgången på billig fjärrvärme under framförallt sommarmånaderna inte tillräckligt stor i dessa scenarier för att motivera storskalig investering i absorptionsdriven fjärrkyla. Ett par av de modellerade scenarierna i rapporten visar emellertid på större användning av absorptionskylmaskiner i fjärrkylsystemet. Gemensamt för dessa scenarier är att det uppstår en relativt stor tillgång på billig värme från bland annat energiåtervinning av avfall och restvärme från industrier under sommarsäsongen. [9]



Potentialen med frikyla från luft och vattendrag kan komma att minska framöver på grund av klimatförändringar.

En viktig aspekt för lönsamheten i att producera fjärrkyla med absorptionskylmaskiner är att framledningstemperaturen på den drivande värmeströmmen behöver vara tillräckligt hög för att driva kylmaskinen. I en framtid där lägre temperaturer i fjärrvärmenäten diskuteras, och mycket överskottsvärme vid lägre temperaturer från olika processer kommer att behöva avsättning, kan detta utgöra ett hinder för lönsam drift av fjärrvärmedriven absorptionskyla. Antingen behöver framledningstemperaturen på den lågtempererade fjärrvärmens höjas för att kylmaskinen ska kunna drivas, eller så behövs teknikutveckling för att möjliggöra lägre drivtemperaturer till en rimlig kostnad. Även för höga returtemperaturer kan utgöra ett problem med fjärrvärmedriven absorptionskyla. Idag pågår forskning internationellt för att ta fram tekniker för absorptionskyla som klarar av lägre drivtemperaturer, och som använder den tillförda värmen mer effektivt och därigenom genererar lägre returtemperaturer.

Decentraliserade kylmaskiner och kombinerade värme- och kylalösningar

I områden där densiteten av potentiella kunder för komfort- eller processkyla är lägre, som i bostadsområden med framförallt småhus eller på glesbygden, lämpar sig fjärrkyla sämre eller inte alls. Kundbasen bedöms mycket liten i dessa områden, och kostnaden för att bygga ut fjärrkylanäten kommer inte att kunna täckas av kundunderlaget. I dessa fall kan individuella kylmaskiner eller kombinerade kyla- och värmelösningar ute hos kunderna vara ett mer kostnadseffektivt alternativ. Produktionen av kyla blir på detta sätt mindre energieffektiv än en centraliserad lösning, och ofta tillkommer mer ljud och underhållskostnader av kylmaskinen än om fjärrkyla används. Samtidigt innebär en decentraliserad lösning att ingen utbyggnad av ett lokalt fjärrkylanät blir nödvändig, distributionsförluster kan undvikas och kostnader för nätutbyggnad och drift kan reduceras.

Värmedriven kyla i enskilda fastigheter

Om fastigheterna i ett område är uppkopplade mot ett fjärrvärmenät kan dessa installera egna absorptionskylmaskiner som drivs av fjärrvärme. Fjärrvärmen får på detta sätt en utökad användningstid under året i jämförelse med att eldrivna kylalösningar installeras i de enskilda fastigheterna. Det lokala elnätet kommer också att belastas mindre av en fjärrvärmedriven lösning än en eldriven, vilket kan bidra till minskad risk för lokal kapacitets- och effektbrist. Värmen som driver absorptionskylmaskiner i fastigheter kan även fås med solvärme. Idag finns flera demonstrationsanläggningar för detta i bland annat södra Europa, men flera studier har hittills visat på bristande lönsamhet från solvärmedriven kylproduktion i jämförelse med exempelvis soleldriven kyla. Det är även möjligt att driva kylmaskiner med sorptiv kylteknik med hjälp av solvärme. Det pågår också en hel del forskning och utveckling kring mindre kylmaskiner med absorptionskyla för att effektivisera tekniken och minimera priset.

Installation av småskaliga absorptionskylmaskiner i enskilda fastigheter är än så länge mycket ovanligt i Sverige, men desto vanligare i andra delar av världen. [60] Den första installationen av en absorptionskylmaskin för fjärrvärmedriven kylproduktion i en enskild fastighet i Sverige skedde år 2018 i Sundsvall. Detta var ett demonstrationsprojekt där den minsta anläggningen för absorptionskyla som den japanska leverantören Yazaki då kunde

leverera installerades i ett företagshotell. Maskinen hade en kyleffekt på 25kW, och tog inte upp mer plats än två kylskåp. Idag levererar Yazaki vätskekylaggregat för absorptionskyla i fem storlekar mellan 17kW och 352kW, med möjlighet till seriekoppling för ökad kyleffekt [61]. Företaget har funnits sedan 1975, och sedan 1985 har de levererat 2 400 absorptionskylaggregat till Europa.

En fördel med absorptionsdriven kylproduktion är att en absorptionskylmaskin endast har en rörlig del, vilket minimerar vibrationer och ljud från maskinen(60). Placeringen av en sådan kylmaskin i en fastighet blir därigenom mer flexibel, då endast golvyta blir en begränsande faktor och inte sådant som anpassning för buller eller vibrationer. Detta till skillnad från en kompressordriven kylmaskin, där buller och vibrationer från driften kan orsaka såväl problematik med placering, som stora kostnader i ljudisolering och underhåll av rörliga delar. Även decentraliserade värmedrivna lösningar med sorptiv kyla är möjligt. Sorptiv kyla kan liksom absorptionskyla drivas med fjärrvärme eller värme från solen.

Eldriven decentraliserad kylproduktion

Att installera en kompressorkylmaskin direkt i en fastighet är en vanlig lösningen för decentraliserad kylproduktion i enskilda fastigheter, och som tidigare nämnts har försäljningen av kylmaskiner som luftkonditioneringssystem (AC) skjutit i höjden de senaste åren. Dessa lösningar är populära då de ofta innebär en relativt enkel installation, speciellt om ingen ytterdel för värmebortförelse används. Investeringskostnaden för kompressordriven kyla är också generellt lägre än för värmedrivna kylanläggningar av mindre storlekar. Kompressordrivna kylanläggningar är däremot ofta mindre energieffektiva än fjärrkyla eller decentraliserade, kombinerade värme- och kylalösningar. De kan dessutom innehålla köldmedia av miljöskadliga ämnen. Mycket arbete pågår emellertid, som tidigare nämnt, med att ersätta dessa farliga ämnen med miljövänligare alternativ. Eldrivna anläggningar, som luftkonditioneringssystem oftast är, bidrar också till ett ökat el- och effektbehov.

Många ser stora möjligheter med soleldriven kyla, där solceller som installeras på en fastighets tak används för att producera el som sedan används för att driva en kompressordriven kylmaskin. Den producerade solelen blir såklart mer indirekt drivande av kompressorkylmaskinen, då elen kommer



att användas för att tillfredsställa hela fastighetens elbehov och inte bara kylmaskinen. En eldriven lösning för komfortkyla kan emellertid öka lönsamheten för solcellsanläggningen då efterfrågan på komfortkyla ofta är som störst under timmar då vädret är soligt. Alternativkostnaden blir därigenom att köpa el från elnätet för att driva kylanläggningen under årets varma timmar. Även kyla drivet med solvärme har fördelen att producera som mest när efterfrågan på kyla är som störst. Däremot har mycket forskning på ämnet visat att lönsamheten än så länge är betydligt högre i utnyttjande av solen för kylproduktion än solvärme.

Kylalösningar som kombineras med existerande värmesystem i fastigheter

En mer energieffektiv lösning än att installera enskilda, nya maskiner för kylproduktion i fastigheter kan vara att kombinera fastighetens värmelösning med produktion av komfortkyla. Detta görs genom att den redan installerade värmepumpen konfigureras för att också kunna producera kyla under årets varmare dagar. På detta sätt behövs ofta inga dyra och platskrävande installationer av nya maskiner, och effektiviteten för värmesystemet i fastigheten kan förbättras då utnyttjandetiden ökar. Då dimensioneringen av värmepumpen ofta är gjord utifrån fastighetens värmebehov är det emellertid inte alltid möjligt att uppnå önskad kyl-effekt med denna typ av kombinationslösning. Som tidigare nämnts är det svårt att bedöma hur stor andel av de svenska småhusen som har luft-luftvär-

mepumpar som idag också utnyttjar kylfunktionen under sommaren. Förmodligen handlar det om fler idag än de 7% som bedömdes utnyttja funktionen i tidigare nämnda rapport från Värmemarknad Sverige från år 2017, men hur många går inte att säga utan vidare analys [2]. Här bedöms emellertid finnas stor potential att svara upp mot en ökande efterfrågan på komfortkyla i bostäder utan att nya maskiner behöver produceras eller installeras. Även hushåll som har bergvärme har möjlighet att utnyttja sin värmelösning för kylproduktion. Borrhål kan användas för värmeproduktion på vintern och då samtidigt kyla borrhålet. På sommaren kan sedan värme från fastigheten flyttas till borrhålet vilket både leder till ett svalare inomhusklimat och att marken åter värms. Därigenom kan en effektivare värmeproduktion erhållas under vintern. För att utnyttja en befintlig bergvärmepump även för kyla behövs ofta inga stora eller dyra installationer, och driftkostnaden är låg då endast lite el behövs för att driva cirkulationspumpen i borrhålet. Potentialen för denna typ av kylalösning till fastigheter som redan har en bergvärmepump bedöms stor, förutsatt att fastigheten också har, eller har möjlighet att relativt enkelt installera ett system för intern distribution av kyla.

Lönsamheten i att borra en ny brunn och installera en bergvärmepump för att täcka en fastighets värme- och kylbehov är emellertid starkt beroende av de geologiska förutsättningarna på platsen [62]. Geologin inom ett visst område kan vara mycket

skiftande, och stora djup med fast berggrund är ett exempel på geologiska förutsättningar som minskar lönsamheterna för bergvärme och bergkyla. Detta då borrningen är kostsam och det på vissa platser i Sverige exempelvis är över 100 meter till fast berg. Även under drifttiden blir markens förhållanden viktiga för borrhålets effektivitet och lönsamhet, då stora värmeförluster kan ske till marken på grund av ogynnsamma förhållanden. Parametrar som avgör borrhålets lönsamhet under drifttiden är bland annat markens lokala vattenföring, samt bergets värmeledningsförmåga, värmediffusivitet och ostörda temperatur [63]. Det är därför viktigt att utföra en geologisk utredning före installation av bergvärme påbörjas. Tekniker för bergvärme och bergkyla blir emellertid allt bättre då det blir succesivt både lättare och billigare att borra djupare, samtidigt som teknik för förbättrat energiutbyte i borrhålen är under utveckling. Detta kan komma att medföra att bergvärme blir ännu populärare för uppvärmning av bostäder och lokaler framöver, och att användning av pumpen även för kyllösningar medföljer.

Efterfrågan och lokala förhållanden i fastigheten är avgörande för vilken typ av decentraliserad lösning som passar bäst

Potentialen för installation av alla typer av decentraliserade kyllösningar eller kombinerade värme- och kyllösningar i fastigheter är beroende av den önskade efterfrågan på aktiv kyla, samt förhållanden som råder på platsen där lösningen ska installeras. Förhållanden som kan vara avgörande för vilken typ av decentraliserad kyllösning som lämpar sig bäst är tillgången på ett lokalt distributionssystem för kyla inne i fastigheten, tillräckligt utrymme för att placera kylmaskinen på, samt möjlighet att skydda mot buller.

Om fjärrkyla inte är ett alternativ, och en fastighet inte är ansluten till fjärrvärme, kan en kombinationslösning med fastighetens värmesystem ofta vara den mest kostnads- och energieffektiva lösningen för installation av komfortkyla. Som nämnt är det emellertid inte alltid möjligt att få ut önskad kyleffekt via en sådan lösning, då värmepumpsanläggningen inte är dimensionerad för den önskade kyleffekten. Beroende på vilket kylbehov som fastigheten har kan det ibland anses acceptabelt av kunden att önskad kyleffekt inte alltid kan nås. Detta kan exempelvis gälla i en kontorslokal eller en bostad. På andra platser där det är mycket viktigt att önskad kyleffekt alltid kan nås, som

för exempelvis sjukhus, eller för fastigheter med väldigt stora kylbehov, så som köpcentrum, kan den kombinerade kyla- och värmelösningen behöva kompletteras med installation av kompressorkylmaskiner.

Tillgång till ett internt distributionssystem för kyla blir också en viktig parameter för lönsamheten i installation av komfortkyla i fastigheter. Om ett centralt ventilationssystem finns i fastigheten är det ibland möjligt att leverera tillräcklig kyleffekt genom luftburen kyla via detta system. Detta ger ofta en billig och enkel installation, vilket reducerar investeringskostnaden. Om kylasten är för stor för att kunna levereras via ett befintligt ventilationssystem är det vanligare att vattenburna system, eller en kombination av luft och vatten väljs för att distribuera kyla i fastigheten. Detta kan medföra en dyrare investeringskostnad, och i vissa fall bli avgörande för valet att installera ett kylsystem för komfortkyla eller ej. Även platsbegränsningar och estetiska krav kan utgöra viktiga hinder för installation av ett internt distributionssystem för kyla, och därigenom begränsa möjligheten för att installera komfortkyla.

Platsbegränsning för själva kylmaskinen kan också utgöra ett stort hinder för installation av komfortkyla, om det inte är möjligt att utnyttja samma maskin som för värmeproduktionen. Även stora problem med buller från decentraliserade kylmaskiner med rörliga delar, så som kompressorkylmaskiner, kan förekomma. För att dämpa bullret som uppstår från en lokal kylanläggning kan en lösning vara att ljudisolera rummet som kylmaskinen står i. Denna lösning kräver emellertid ännu större utrymme för maskinen, och kan även vara mycket dyr.

Termiska lager

Fortsatt utveckling av mer energi- och kostnadseffektiva lagringsmöjligheter för värme och kyla kan bli en avgörande del av framtidens hållbara och effektiva energisystem. Genom att lagra kyla såväl över dygn som under hela säsonger kan produktion av kyla ske under timmar då det gynnar energisystemet. Exempelvis då det finns ett överskott av förnybar el eller restvärme som annars inte skulle kunna utnyttjas. Lager kan också användas för att undvika produktion av kyla under timmar då efterfrågan på energi är stor, och höga effekttoppar för el kan då undvikas. Termiska lager kan därigenom bli viktiga i framtiden för att generera ekonomiska fördelar och energieffektivitet till ett energisystem



Termiska lager kan bli viktiga i framtiden för att generera ekonomiska fördelar och energieffektivitet till ett energisystem med ökad användning av komfort- och processkyla.

med ökad användning av komfort- och processkyla, samt möjliggöra för tillräckliga leveranser av kyleffekt under peak-timmar. Vilken typ av lager som fungerar bäst var och med vilken kyllösning är individuellt och beror mycket på vilket kylbehov som finns och lokala förutsättningar så som exempelvis geologin i området.

Korttidslager som ofta diskuteras idag är termisk lagring i fastigheters stomme eller fasad, där trögheten i en byggnads klimatskal utnyttjas för att tillfälligt bortföra överskott av värme ur ett rum och sedan återföra värmen när rummet har ett värmeunderskott. [64] Lagring av denna typ är möjlig att utnyttja under exempelvis ett eller ett par dygn beroende på byggnadens värmelagringsegenskaper, och tros kunna bli allt viktigare i framtiden. Denna typ av termiska lager kan bli extra gynnsamma för lagring av kyla, då dygnsmedelvariationen för kyla under sommaren i europeiskt klimat ofta är hög. Lösningar med latent kylalager (PCM) integrerade i fastigheter ses av vissa som en viktig möjliggörare för effektivare energianvändning i fastigheter. En pilotstudie på detta pågår just nu i den så kallade AWL-byggnaden (A Working Lab) i Göteborg, och kan läsas med om i avsnittet Nyheter- Ett axplock av pågående och kommande projekt på kylmarknaden.

Även säsongslagring av värme och kyla kan komma att spela en viktig roll framöver för vissa lokala system, speciellt på orter där mycket energi annars riskerar att inte kunna utnyttjas. [65] Exempel är

orter med mycket industrier med stora restvärme-strömmar, på platser där energiåtervinning av avfall sker eller i anslutning till solvärmeproduktionsanläggningar. Enligt Heat Roadmap Europe 4 från år 2018 kommer det att bli viktigast med energilagring på mellan 2–8 timmar i större städer, och 6–48 timmar i mindre städer.

En kartläggning som nyligen gjorts för Energiforsk i ett samarbete mellan KTH och Norrenergi visar att kylalager i det svenska fjärrvärmesystemet idag i princip endast består av kallvattenlager. Ett undantag är ett kylalager till ett sjukhus i Sundsvall där snö lagras säsongvis. En internationell utblick visar att användning av snö och is som fasändringsmaterial i latent kylalager är att föredra framför vattenlager i tätbebyggda områden. Detta då sådana lager är mer kompakta än vattenlager. Kartläggningen visar också att mer flexibla och kompakta lager så som latent och termokemiska varianter på ett bra sätt skulle kunna komplettera de lager som finns ute i fjärrkylnätet i Sverige idag. Emellertid är den tekniska mognaden för latent och termokemiska lager inte lika hög som för sensibla lager, och mer teknikutveckling och kostnadsreduktion krävs för att potentialen med dessa typer av komplexa lager ska komma att utnyttjas. [66]

Kylalösningar i framtidens energisystem

När en affär för att möta ett ökande behov av bland annat komfortkyla ska utvecklas är det viktigt att ha i åtanke att energin för produktion och distribu-

tion av kyla ska utgöra en del av det övriga energisystemet. Vi går mot ett samhälle med alltmer förnybar och variabel energiproduktion, samtidigt som en utbredd digitalisering och elektrifiering pågår. Det råder lokal kapacitetsbrist på vissa platser i landet, vilken kan komma att öka ifall utbyggnaden av elnät dröjer. Den stora ökningen av elbehovet i landet i kombination med den variabla, förnybara elproduktionen kan också komma att leda till effektbrist under vissa av årets timmar. Allt detta leder till att ett effektivt samspel mellan den växande kylamarknaden och det resterande energisystemet blir mycket viktigt i ett energisystemperspektiv.

Om kylbehovet ska mötas med drivenergi från el, och efterfrågan är hög under timmar då exempelvis det lokala elnätet är högt belastat, kan efterfrågan på kyla komma att förvärra situationen på elnätet och bidra till lokal effekt- eller kapacitetsbrist. Detta scenario är emellertid inte särskilt troligt ur ett svenskt perspektiv då efterfrågan på kyla sannolikt inte kommer att växa till några proportioner som är jämförbara med värmebehovet, och stora effekttoppar för efterfrågan på kyla framförallt kommer att inträffa under soliga dagar på sommaren. Under dessa timmar kommer efterfrågan på energi för andra ändamål ofta att vara liten, samtidigt som produktionen av solceller kan komma att vara hög. Det är dock värt att återvända till

exemplen från New York eller Beijing som beskrevs i kapitlet *Globalt behov av kyla*, där efterfrågan på kyla utgjorde så mycket som 50% av bostädernas efterfrågan på energi under ett par extrema timmar för några år sedan. Ju vanligare extrem hetta och värmeböljor blir desto oftare kommer liknande situationer att kunna uppstå, varför efterfrågan på kyla inte ska underskattas. Att utnyttja värme som drivenergi vid kylproduktion istället för el kan också leda till minskade utsläpp av koldioxid, då det kan reducera produktionen av marginalel. [37]

En annan aspekt av att de största effekttopparna för efterfrågan på energi för kyla kommer att vara som störst under soliga somrardagar är just det att efterfrågan på värme inte kommer att vara så hög under dessa timmar. Detta genererar en möjlighet för energiföretag med fjärrkyla att få avsättning för värmeströmmar från exempelvis kraftvärmeverk och restvärme från industrier och andra processer som datacenter eller vätgasproduktion. Genom att använda värmeströmmar för att producera kyla kan lönsamheten för att driva vidare kraftvärmeverk öka, vilket i sin tur leder till mer lokal, förnybar elproduktion som kan hjälpa till att reducera lokal kapacitets- och effektbrist. Om restvärmen inte används måste den istället kylas bort, så vida det inte finns några säsongslager för värme att tillgå.



Nyheter

- Ett axplock av pågående och kommande projekt på kylamarknaden

I detta avsnitt beskrivs några av de projekt inom kylamarknaden som är på gång idag eller som precis har avslutats. Syftet är att visa på några av de nyheter som finns inom området, och att därigenom få en överblick

av potentialen för att möta framtidens behov av aktiv kyla på ett hållbart och energi- och kostnadseffektivt sätt.

● TERMO

TERMO är ett pågående program som finansieras av Energimyndigheten och syftar till att stödja forskning och innovation som bidrar till utveckling av framtidens värme- och kylalösningar samt stärka svensk konkurrenskraft. Ingående projekt kan handla om allt från teknik och affärsmodeller till organisation och regelverk. Programmet startades upp under våren 2018 och ska pågå fram till slutet av 2021 med möjlighet till vissa fortsättningsprojekt. [67]

Programmet inrymmer fyra innovationskluster och många projekt. Exempel på innovationskluster är Varmt och kallt som leds av Svenska kyl- och värmepump föreningen (SKVP) och Utvecklingsplattform Uppvärmning som leds av Profu. Syftet med innovationsklustret Varmt och kallt är att vara en plattform för möjliga samarbeten och idéer inom områdena för värmepumpsteknik och kylning, geo-energisystem, termisk energilagring och frivärme respektive frikyla. Utvecklingsplattform Uppvärmning syftar till att de åtaganden och uppmaningar som antogs i färdplanen för fossilfri uppvärmning ska genomföras. [68]

Exempel på några projekt inom TERMO som genomförts eller pågår just nu och som i hög grad kan komma att bidra till utvecklingen av framtidens kylalösningar och kylamarknad beskrivs nedan.

• Distribuerade kyllager i fjärrkylanät

Distribuerade kyllager i fjärrkylanät är ett delprojekt i det av Energimyndigheten finansierade projektet Termiska energilager – lösningen för ett flexibelt energisystem (ett projekt inom programmet TERMO). I projektet tittade KTH i samarbete med Norrenergi på potentialen kring att införa kyllager decentraliserat ute i fjärrkylanätet. Syftet var att undersöka om sådana lager skulle kunna öka möjligheten till effektiv och jämn kylproduktion, samtidigt som maximal andel naturlig kyla utnyttjas i kylsystemet. Projektet startade i maj 2018, och slutfördes i december 2020. Uppdragsgivarna är Energimyndigheten, Energiforsk och Norrenergi, och en budget på ungefär 3,6 miljoner kronor tilldelades projektet. I projektet undersöktes olika lagerlösningar för kyla i fjärrkylanätet genom en litteraturstudie kring olika tekniker för kyllager och kylproduktion. Även en fallstudie utfördes med hjälp av simuleringar kring möjligheten att implementera kyllager distribuerat i Norrenergis fjärrkylanät. Här simulerades olika scenarion med ökad efterfrågan på kyla och begränsad produktions- och distributionskapacitet, och den teknoekonomiska

prestandan utvärderades. Målet var att se om olika typer av kylager kan reducera behovet av reservkapacitet, och om det är möjligt att kvalitetssäkra leverans av kyla till prioriterade kunder. [66], [69]

Projektets resultat ska kunna användas för att utforma strategier för optimal integration och drift med olika typer av kylager ute i fjärrkylanätet [69]. De parametrar som bedömdes viktigast för utvärdering av de olika lageralternativen är undviken topplasteffekt, topplast per dygn i MWh samt kostnaden för effekterna. Perspektiven breddas också till att inkludera övrig samhällsnytta som dessa lager kan utgöra, då effektbesparingar för kyla exempelvis kan ha direkt påverkan på elsystemet. Kyllagren kan då användas för att absorbera överskottsel i systemet via produktion av kyla, oberoende av om det finns något omedelbart kylbehov. I en delredovisning av projektets resultat under 2019 nämndes bland annat potential för sektorskoppling mellan ett elsystem med ökad andel variabel energiproduktion, och värme- och kylsektorn. Kopplingen sker genom produktion av värme och kyla med annars överbliven elektricitet som kan lagras i olika typer av termiska förråd. [70]

Resultat från fallstudien visar att det finns potential till kostnadsbesparingar genom att implementera kylager i fjärrkylanät, både centralt och decentraliserat. De främsta besparingarna kommer från ett reducerat elbehov under topplasttimmarna. De ekonomiska besparingarna som är möjliga genom kylager jämfördes också med andra typer av lösningar för att möta en ökande efterfrågan på kyla, så som rörförlängningar eller installation av ytterligare kylproduktionsanläggningarna. Implementering av kylager visade sig vara det ekonomiskt bästa alternativet för fallstudien. [66]

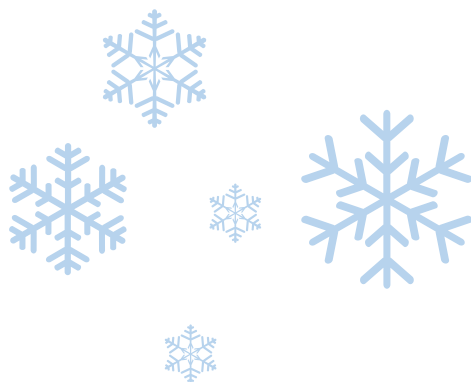
- **Fjärrkyla vs. Lokala lösningar för komfortkyla**

Fjärrkyla vs. lokala lösningar för komfortkyla är ett projekt inom programmet TERMO som utförs av Högskolan i Gävle. Syftet med projektet är att undersöka hur behovet av kyla kommer att påverkas av utbyggnaden av nya stadsdelar med Nära Noll Energi-Byggnader (NNEB). Dessa byggnader har bättre energiprestanda än byggnader historiskt och kommer därför att kräva en högre grad av kylning under delar av året. Projektet tittar också på vilken typ av lösning för komfortkyla som passar bäst för dessa stadsdelar på en systemnivå, med resurseffektivitet och miljönytta som viktiga parametrar. De undersökta lösningarna för kyla innefattar såväl lokala lösningar som centraliserade lösningar med fjärrkyla. Lönsamheten för de olika lösningarna utvärderas ur såväl fastighetsägares som energileverantörers perspektiv. Projektet startades under 2019 och ska pågå till mitten på 2022. [71]

- **Lågtemperaturvärme och högttemperaturkyla med termiskt lager för ökade energi- och miljövinster**

Projektet bygger på fem doktorsavhandlingar från KTH som alla visat på stor potential för energi- och miljömässiga fördelar med lågtemperaturvärme och högttemperaturkyla. Efter att forskningen fått uppmärksamhet internationellt ska forskningen nu tas med i det globala forskningsinitiativet IEA ECES Annex 37, genom vilket även termiska lager ska inkluderas i vidare studier. Då svenska forskningsmedel behövdes för att delta i det globala samarbetet har projektet tagits med i programmet TERMO och delfinansieras av Energimyndigheten. Projektet startades upp under slutet av 2020 och ska pågå tills slutet av 2024. Syftet med den fortsatta

forskningen är att undersöka hur olika termiska lager kan utnyttjas tillsammans med lågtemperaturvärme och högtemperaturkyla för att åstadkomma energieffektiva och hållbara system såväl i byggnader som i fjärrvärmenät. Preliminära beräkningsresultat visar att det finns stora möjligheter till energi- och ekonomiska besparingar genom att integrera energilager med aktiv styrning av system för lågtemperaturvärme och högtemperaturkyla för att åstadkomma optimal drift. [72]



- **Digitalisering och innovativ reglerteknik för effektiv lågtemperaturvärme och högtemperaturkyla med integrerad lagring**

Som nämnt i ovanstående projekt har det visats finnas god potential för att uppnå såväl energibesparingar som miljömässiga vinster för hela energisystemet genom utnyttjande av lågtemperaturvärme och högtemperaturkyla. Detta förutsätter emellertid god kontroll och aktiv styrning av de termiska systemen, samt integration med andra delar av energisystemet. För att klara detta behövs smartare kontrollsystem och bättre förutsägande modeller. Projektet ”Digitalisering och innovativ reglerteknik för effektiv lågtemperaturvärme och högtemperaturkyla med integrerad lagring” är en del av programmet TERMO. Projektet har som syfte att bidra till enkel och storskalig integration av lågtemperaturvärme och högtemperaturkyla genom att utveckla nya digitala hjälpmedel, metodiker för systemintegration och innovativa reglertekniker som ska kunna anpassa sig till nya miljöer med hjälp av maskininlärning. Projektet pågår mellan åren 2020–2024 och drivs av forskare på KTH [73.]startades under 2019 och ska pågå till mitten på 2022[71].

- **Flexi-Sync: Projekt kring flexibilitet för fjärrvärme och fjärrkyla**

Flexi-Sync är kort för *Flexible energy system integration using concept development, demonstration and replication*, och är ett projekt som involverar 16 partners från Sverige, Tyskland, Österrike och Spanien. [74] Projektet finansieras av European Research Area Network – Smart Energy Systems, vilka i Sverige är representerade av Energimyndigheten. IVL Svenska Miljöinstitutet koordinerar projektet. Totalt har Flexi-Sync en budget på 4.2

miljoner euro, och pågår mellan år 2019–2022. [75] Målet med projektet är optimera flexibiliteten i fjärrvärme och fjärrkyla-sektorn, där det tros finnas god potential för att bidra med balans till energisystemet.

Flera demonstrationsanläggningar kommer att uppföras i de länder som deltar i projektet. I Sverige kommer dessa att upprättas i Eskilstuna, Borås och

Möln dal. Målet med projektet ska uppnås genom att flexibilitetspotential i fjärrvärme- och fjärrkylanäten identifieras på demonstrationsanläggningarna. Därefter ska potentialen för kostnadseffektiv flexibilitet i de lokala energisystemen vid anläggningarna bedömas. Förståelse för vilka justeringar av befintlig infrastruktur och produktionskapacitet som skulle behövas för att åstadkomma kostnadseffektiv flexibilitet i energisystemet på ett klimatsmart sätt ska därefter erhållas. Efter att det initiala arbetet med undersökning av potential är klart ska justeringar för att åstadkomma flexibilitet implementeras på anläggningarna. Utifrån resultat från implementeringen ska affärsmässiga implikationer med ökad andel flexibilitet i fjärrvärme- och fjärrkylasystem utvärderas. [75]

I ett delprojekt inom ramen för Flexi-Sync kommer Luleå Tekniska Universitet att modellera och

optimera fjärrvärme- och fjärrkylasystem på flera nivåer i energisystemet. Syftet är att de ska utveckla en helt ny metod för att kvantitativt kunna utvärdera och utnyttja flexibilitet i fjärrvärme- och fjärrkylanäten. Den nya metoden kommer att integreras med en digital plattform där avancerade optimeringsfunktioner, maskininlärning och artificiell intelligens appliceras. Syftet med att utveckla en sådan plattform är att bidra till mer effektivt utnyttjande av resurserna som används för fjärrvärme och fjärrkyla. Bland annat kan andelen biobränslen som används för produktion minskas, och på så sätt kan uppvärmningssektorns bidrag till konkurrensen om skogsråvaran reduceras. Uppläst flexibilitet i fjärrvärme- och fjärrkylanäten kan också bidra till stöttning av elsystemet, bland annat genom samspel med elproduktion från förnybara energikällor. [74]

● Sundsvall satsar på nytt fjärrkylasystem till staden

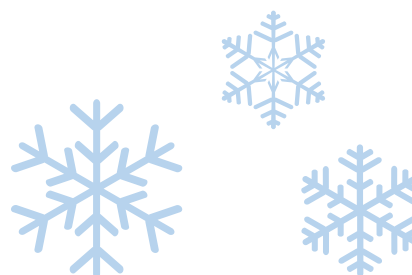
I april 2020 startade byggnationen av Sundsvalls nya fjärrkylasystem, där den första etappen ska tas i drift under 2021. Enligt en utredning om möjliga kylalösningar i staden, som gjorts av konsultfirman FVB för Sundsvall Energis räkning, ska fjärrkyla ha god potential i Sundsvall. Detta beror framförallt på de goda förutsättningarna kring kylproduktion, då det under Sundsvall centrum finns en grundvattenås som håller en konstant vattentemperatur på

7–9°C. Kylan till fjärrkylasystemet ska framförallt hämtas härifrån, genom ett borrhål på omkring 60 meter. Vattnet är inte möjligt att använda som dricksvatten på grund av den höga salthalten, och utnyttjande av resursen för kylproduktion anses därför motiverat. Den del av produktionen som inte kan täckas av grundvattenåsen kommer att tillföras till fjärrkylanätet genom värmedriven absorptionskyla. Värmen till absorptionskylmaski-



nerna kommer i första hand att komma från restvärme från Sundsvall Energis anläggning för energiåtervinning av avfall. Under sommaren kommer även restvärme från lokala industrier, som i vanliga fall utnyttjas i fjärrvärmenätet, att användas för kylproduktion när efterfrågan på värme går ner. [76]

Enligt Sundsvall Energi finns det stort intresse för fjärrkyla centralt i staden, framförallt från fastighetsägare som har kontor och butikslokaler. Dialog förs även med lokala vårdinrättningar. Det stora intresset grundar sig i att kunderna vill ha en kyl-lösning som är både kostnadseffektiv, energieffektiv och klimatsmart. Fjärrkyla ska dessutom vara en tyst kyl-lösning som kräver minimalt med underhåll och tillsyn, i jämförelse med att ha en egen kylmaskin i varje fastighet. Utöver tekniska och energieffektiva anledningar menar Sundsvall Energi också på att många kunder ser samhällsnyttan med att reducera sin elanvändning genom att ta bort sin eldrivna kylmaskin. På detta sätt minskas fastighetens effektbehov, vilket många kunder ser som positivt då de blir alltmer medvetna om stundande effektproblematik, menar Sundsvall Energi. [76]



Sundsvall Energi ser att fler och fler kommer att vilja ansluta till fjärrkylanätet med tiden. Det system som byggs idag är därför dimensionerat för att kunna skalas upp till produktion på 30MW kyla. Från uppstarten 2021 kommer emellertid endast 3MW att produceras, och en gradvis uppskalning av produktionen kommer att ske i takt med att fler kunder ansluter. Satsningen på ett nytt fjärrkylasystem i Sundsvall uppgår till 110 miljoner kronor från Sundsvall Energi. [76]

● **Produktion och lagring av kyla med SaltX Technology patenterade teknologi och plattvärmeväxlare**

Under 2018 startade företaget SaltX, på uppdrag av flera nordiska energiföretag, ett stort pilotprojekt för att testa SaltX unika patenterade teknik för produktion och lagring av kyla tillsammans med standardiserade plattvärmeväxlare. Syftet var att utvärdera potentialen för att åstadkomma en flexibel absorptionsmaskin med möjlighet att fungera både som kylaggregat, kyl-lager och värmepump. Detta skulle generera en mer kostnadseffektiv lösning än de vanliga stora och dyra värmeväxlarna som traditionellt sett brukar utnyttjas för absorptionskyla. Teknologin har stor potential både på den svenska och internationella marknaden. Detta då många energibolag har ett överskott på värme på sommaren, som med teknologin skulle kunna utnyttjas för att producera fjärrkyla och därigenom åstadkomma ekonomiska såväl som miljömässiga fördelar.

Vidare skulle potentialen från teknikens lagringsmöjligheter kunna utnyttjas för att lagra energi från exempelvis sol, vind, geotermisk och bioenergi, och därigenom ytterligare möjliggöra för ökad andel förnyelsebar produktion i energisystemet. [77]

Pilotprojektet genererade dessvärre inte de önskade resultaten då problematik med inläckage av luft i den kompakta plattvärmeväxlaren försämrade driften drastiskt. Vacuumtätethet i värmeväxlaren är avgörande för systemdriften då teknologin arbetar på gränsen för vad som är termodynamiskt möjligt, och därför krävs hög grad av integration av värmeväxlaren för den specifika applikationen. En ny design av värmeväxlare kommer således att krävas för att optimera driften och säkerställa vacuum. [77]

● **Forskningsprojekt om effektbehov för kyla i fastigheter**

Trots ökad efterfrågan på komfortkyla i fastigheter finns väldigt lite forskning om hur kyleffekt bör hanteras i samband med utnyttjande av byggnaden som ett kylager. Detta även fast kyleffekt är betydligt dyrare än värmeeffekt, och kostnaden för kyla styrs av den installerade effekten i en fastighet. I ett projekt samfinansierat av Energimyndigheten och Cementa AB håller forskare på Lunds universitet på att undersöka hur effektbehovet för kylning av byggnader kan reduceras. Projektet heter Minskat effektbehov för kylning i byggnader. En förstudie till projektet har gjorts, där resultaten visade att det är möjligt att kapa kyleffekten i en kontorsbyggnad utan att det uppstår märkbar skillnad på inomhus-

temperaturen på relativt lång tid. Med förstudien som underlag ska det nya projektet undersöka kyleffekter och hur dessa bör hanteras, på liknande sätt som tidigare forskning har tittat på lagring av värme i byggnader. Målet är att generera resultat som kan bidra till framtidens hållbara kylning av fastigheter. Detta genom att se hur effektbehovet för kylning kan minskas och hur kyla kan användas på ett optimalt sätt i byggnader. Både datasimuleringar och mätningar i verkliga fastigheter kommer att göras inom ramen för forskningsprojektet. Projektstart var i oktober år 2018, och det kommer att avslutas under oktober 2021. [78]

● **PCM-lager i AWL-huset i Göteborg**

AWL-huset (A Working Lab) är ett kontorshus på Chalmers campus Johanneberg i Göteborg. Byggnadens syfte är att ligga i framkanten för energi, teknik och lärandemiljöer genom att bland annat ge möjlighet för innovativa demonstrationsprojekt inom dessa områden. Ett sådant demonstrationsprojekt är ett PCM-kylager (Phase Change Material) som ska ersätta delar av fastighetens kylbehov genom att lagra extra kyla under natten. Tester med demonstrationsprojektet startades under sommaren 2019, där det visades att PCM-lagret minskar uttaget av kyleffekt från fjärrkyla under tider då det laddas ur, samtidigt som kyleffektbehovet ökar under tider då lagret laddas. Testerna visade också att lagret utnyttjade en lägre kapacitet på endast 36% av den dimensionerade kapaciteten på 275 kWh, och vidare undersökning behövs för att finna orsakerna. Nya mätningar utfördes under 2020 och några mindre fel identifierades och åtgärdades. Fler mätningar ska pågå under sommaren 2021. [79]

Ekonomiskt har resultaten från projektet hittills visat att de största besparingarna för detta lager finns att hämta genom att reducera de största effekttopparna för köpt kyleffekt, snarare än att nyttja mindre prisskillnader vid laddning och urladdning. Investeringskostnaden för PCM-lagret blev betydligt högre än den gräns som beräknats för att lagret skulle återbetala sig på 5 år. Slutsatser som hittills kunnat dras av demonstrationsprojektet visar att ekonomiska resultat för dessa typer av lager är starkt fallberoende, och därför bör vidare forskning fokuseras på att finna tillämpningar av PCM-lager där de har störst potential att vara lönsamma. Exempel kan vara tillämpningar där hög energidensitet på lagret kan generera ekonomisk vinst genom att spara golvyta, eller där ett PCM-lager kan reducera behov av investering i en ny kylmaskin. [79]

Vidare utredningar och projekt

Flera saker behöver ske för att möjliggöra en hållbar och resurseffektiv utveckling av värme- och kylamarknaden med en större andel kyla. Forskning och utveckling behövs exempelvis kring nya metoder för integrerade värme- och kyllösningar, möjligheter med digitalisering, sätt att använda värme- och kylproduktion som avlastning och komplement till elnäten, utveckling av billigare och effektivare produktionstekniker och tekniker för termisk lagring. Det behövs också vidare analyser för att titta på hur en ökad energianvändning för kylproduktion, distribution och lagring kan komma att belasta klimatet, både med avseende på hur stor efterfrågan blir och med vilka tekniker efterfrågan kommer att mötas. Som visat i föregående avsnitt pågår redan idag mycket forskning och utveckling inom dessa områden i bland annat Sverige, och mer kommer att behövas. Särskilt projekt som fokuserar mer specifikt på kylamarknaden och kyllösningar, och inte bara har kyla med som en bisats till värme, kommer att bli viktiga för att på ett resurseffektivt kunna möta framtida ökande efterfrågan på kyla.

En del kunskapsluckor som specifikt har identifierats i denna rapport gäller framförallt osäkerheter i att kvantifiera både dagens och kommande behov av aktiv kyla. Framtidsscenarioer är alltid befästa med olika grader av osäkerhet, men att det finns så pass bristande statistik kring dagens behov av aktiv kyla är anmärkningsvärt. Det är inte konstigt att det har blivit så, med tanke på såväl den begränsade användningen av komfortkyla som att det är svårt att uppskatta hur mycket el som används för decentraliserad kylproduktion. Emellertid är dagens energianvändning för kyla en viktig parameter att uppskatta. Denna kommer att vara en avgörande faktor i att förstå hur efterfrågan kan tänkas växa, och hur den kan mötas på ett hållbart sätt för hela energisystemet. Ett första steg kan vara att göra en ny analys av hur stor andel av de svenska småhusen

med värmepumpar som idag utnyttjar dess kylfunktion.

Det kan också vara intressant att undersöka och kartlägga elanvändningen för decentraliserad kylproduktion i kontorslokaler och kontorsfastigheter idag. Detta kan vara extra intressant för fastighetsägarna själva, då stora ansträngningar i energieffektiviseringsåtgärder under de senaste åren ofta har lett till reducerade värmekostnader och minskad elanvändning för fastighetsel. Energieffektiviseringsåtgärder för kyla är emellertid ofta inte lika prioriterat. Detta kan bland annat bero på att energianvändningen för kylproduktion sällan särredovisas, och därför inte uppmärksammas på samma sätt som energianvändning för värme. Till följd av energieffektiviseringsåtgärder för andra energiapplikationer kan kostnaden för kylproduktion och distribution därigenom ha ökat under de senaste åren relativt värmekostnaden. Således kan kyla idag utgöra en större del av den totala energikostnaden för en fastighetsägare, och därigenom bli mer intressant att ha koll och om möjligt agera på. En bättre uppföljning av elanvändningen för decentraliserad kylproduktion kan också leda till förbättrad energistatistik gällande exempelvis energi för komfortkyla till lokaler. Denna statistik som enligt Energimyndigheten idag tros vara missvisande på grund av att fastighetsägare ofta har svårt att särredovisa elanvändningen för kylproduktion.

Mer arbete kommer också att behöva göras för att identifiera vilka dagens kylkunder är, hur efterfrågan från dessa kommer att ändras i framtiden, samt vilka nya kundsegment som finns. När kunderna har identifierats kan produkter och tjänster utvecklas för att svara upp mot deras behov. Särskilt behövs vidare studier för att undersöka det troliga i att marknaden för komfortkyla i bostäder kommer att växa, och i så fall hur mycket. Även behovet av processkyla för datacenter, batterilager, samt nya

och utvecklade industriprocesser kan växa mycket framöver. Detta behöver undersökas vidare, och lösningar för att använda överskottsvärmen till nyttiga applikationer måste tas fram.

Kartläggningen som gjorts i denna rapport visar att lokala förutsättningar kommer att bli avgörande för den energisystem- och kostnadsmässigt mest effektiva lösningen för respektive kund. Rapporten

indikerar emellertid också att möjligheten att köpa en enkel lösning för att alltid hålla ett behagligt inomhusklimat oavsett utomhustemperatur kan bli minst lika viktigt för kundens val av energilösningar. Djupare analyser behövs för att fastställa såväl vilka lokala förutsättningar som är mest avgörande, samt i vilket läge införskaffande av kylalösningar blir tillräckligt attraktivt för bostadskunder.

Sammanfattande diskussion

Större efterfrågan på ett trivsamt inomhusklimat, klimatförändringar, ett ökat byggnadsbestånd och nya typer av kunder och bidrar till ett ökat behov av klimatsmarta och effektiva kylsystem. Innovativa lösningar kommer att krävas för att svara upp mot det ökade behovet av aktiv kyla och samtidigt minska samhällets totala energianvändning såväl i Sverige som globalt. En tydlig trend om har setts i Sverige är att andelen kunder kopplade till fjärrkylasystemet ökar, och allt fler ser nyttorna med att öka mängden centralt producerad kyla som distribueras ut till slutkonsumenten. Alternativet är att varje konsument har ett eget kylsystem installerat. Det finns fördelar och nackdelar med båda varianterna, och lokala förutsättningar blir på många platser avgörande för vad som blir mest energieffektivt och ekonomiskt lönsamt.

Huruvida det är dessa lokala förutsättningar som bestämmer vad kunderna i slutändan köper är emellertid inte självklart. Utöver priset kan en lösning som uppfattas som smidig och lätt att förstå i många fall föredras av kunder hellre än vad som egentligen gynnar det lokala energisystemet. Många lokal- och bostadskunder är främst ute efter att köpa tjänsten av ett behagligt inomhusklimat under alla årets timmar, och inte att köpa en värmepump eller koppla upp sig mot ett fjärrkylanät. Att kunna erbjuda kylalösningar såväl som värmelösningar kan därigenom bli avgörande för att behålla och utveckla affären och kundrelationen.

Oavsett vilken lösning som kunderna föredrar kommer mer aktiv kyla att behövas i framtiden,

både vad gäller komfortkyla och processkyla till industrier och nya typer av kunder så som datacenter. Kylalösningar som svara på den ökade efterfrågan måste implementeras på ett sådant sätt att de kan kombineras med det övriga energisystemet på ett effektivt och hållbart sätt för att klimatmålen ska kunna nås. Kylalösningar som utnyttjar restvärme kommer att kunna bli viktiga för att optimera energianvändningen i systemet. Termiska lager för både värme och kyla kommer sannolikt också att bli en avgörande del i framtidens energisystem, där de kan hjälpa till att begränsa lokal kapacitets- och effektbrist samt möjliggöra för energiproduktion med större andel förnybara energikällor.

Mycket är osäkert vad gäller framtidens kylamarknad, speciellt eftersom storleken på dagens efterfrågan inte är fastställd. Vad som med säkerhet kan sägas är att efterfrågan på kyla kommer att öka och värme- och kylamarknadens aktörer behöver anpassa sig. Det är av yttersta vikt att efterfrågan tillfredsställs med hela energisystemets robusthet och hållbarhet i åtanke. Samverkan mellan el, värme och kyla behövs för att optimera systemet, och samma typ av lösning kommer inte att fungera överallt. Såväl fjärrkyla som decentraliserade kylsystem har sin plats. Marknadens aktörer behöver undersöka var möjligheterna finns för just deras lösningar för att utveckla sin affär är i rätt riktning, och fler studier behöver göras kring bland annat dagens efterfrågan på kyla och vilka parametrar som driver på utvecklingen i framtiden.

Referenser

1. Energimyndigheten. Scenarier över Sveriges energisystem 2020. 2021.
2. Rydén B, Sköldberg H, Ludvig K, Göransson A, Johnsson J, Williamsson J. Lokala värme-marknader. Mölndal: Profu; 2017.
3. Frederiksen S, Werner S. Kylbehov. I: Fjärrvärme och fjärrkyla. 1:4. Lund: Studentlitteratur AB; 2021. s. 64.
4. Gode J, Axelsson J, Eriksson S, Holmgren K, Hovsenius G, Kjellström E, m.fl. Tänkbara konsekvenser för energi- sektorn av klimatförändringar Effekter , sårbarhet och anpassning [Internet]. Elforsk; 2007. Tillgänglig vid: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/39/015/39015068.pdf
5. Energimyndigheten. Energistatistik för småhus 2020 [Internet]. 2021 [citerad 29 september 2021]. Tillgänglig vid: <https://www.energimyn-digheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/statistikprodukter/energistatistik-for-smahus/>
6. Johnsson U. Vad kostar det att kyla med en luftvärmepump? [Internet]. IVT Värmepumpar. 2016 [citerad 29 september 2021]. Tillgänglig vid: <https://www.ivt.se/energipararen/vad-kostar-det-att-kyla-med-en-luftvarme-pump/>
7. Energimyndigheten. Energistatistik för lokaler [Internet]. 2019 [citerad 05 februari 2021]. Tillgänglig vid: <http://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/statistikprodukter/energistatistik-for-lokaler/?-currentTab=0#mainheading>
8. Energimyndigheten. Energin i våra lokaler [Internet]. Förbättrad energistatistik i samhället. Eskilstuna; 2010. Tillgänglig vid: <https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/forbatttrad-energistatistik-i-bebyggelsen-och-industrin/statistik-i-lokaler-stil2/>
9. Energimyndigheten. Heltäckande bedömning av potentialen för uppvärmning och kylning [Internet]. 2020. Tillgänglig vid: <https://energimyndigheten.a-w2m.se/FolderContents.mvc/Download?ResourceId=2765>
10. Devcco för Energiföretagen Sverige. Fjärrkyla i Sverige Nuläget och prognos för expansion till 2030 [Internet]. 2019. Tillgänglig vid: https://www.energiforetagen.se/globalassets/energiforetagen/nyheter/2019/prognos_fjarrkyla-2030-alla.pdf
11. Lejestrand A. Fjärrkylestatistik [Internet]. Energiföretagen Sverige. 2021 [citerad 06 juli 2021]. Tillgänglig vid: <https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrkylestatistik/>
12. Sandgren A, Fransson N, Gode J, Nyholm E, Holm J, Strandberg G. Klimatförändringarnas inverkan på fjärrvärmerna och fjärrkylan. Energiforsk AB; 2021.
13. IEA. Cooling [Internet]. Paris; 2020. Tillgänglig vid: <https://www.iea.org/reports/cooling>
14. Lejestrand A. Fjärrkylan växer stadigt i Sverige – nu är absorptionskylan störst [Internet]. Energiföretagen Sverige. 2020 [citerad 30 oktober 2020]. Tillgänglig vid: <https://www.energiforetagen.se/pressrum/nyheter/2020/maj/fjarrkylan-vaxer-stadigt-i-sverige--nu-ar-absorptionskylan-storst/>
15. IEA DHC CHP. Sustainable District Cooling Guidelines [Internet]. 2020. Tillgänglig vid: https://iea.blob.core.windows.net/assets/a5da464f-8310-4e0d-8385-0d3647b46e30/2020_IEA_DHC_Sustainable_District_Cooling_Guidelines_new_design.pdf
16. Lejestrand A. Fjärrkylestatistik 2019 [Internet]. Energiföretagen Sverige. 2020 [citerad 30 oktober 2020]. Tillgänglig vid: <https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrkylestatistik/>

17. Strategy& Middle East. Increased Adoption of District Cooling Could Save US\$1 trillion in Energy Costs Worldwide. 22 juli 2019; Tillgänglig vid: <https://www.strategyand.pwc.com/m1/en/press-releases/increased-adoption-of-district-cooling.html>
18. IPCC. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan [Internet]. Vol. 18, Cambridge University Press. In Press; 2021. Tillgänglig vid: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf
19. Schiermeier Q. Climate change made North America's deadly heatwave 150 times more likely. Nature [Internet]. 08 juli 2021; Tillgänglig vid: <https://www.nature.com/articles/d41586-021-01869-0>
20. Folkhälsomyndigheten. Temperatur inomhus [Internet]. 2020 [citerad 04 februari 2021]. Tillgänglig vid: <https://www.folkhalsomyndigheten.se/livsvillkor-levnadsvanor/miljohalsa-och-halsoskydd/tillsynsvagledning-halsoskydd/temperatur/>
21. Public Health Advice on Preventing Health Effects of Heat. World Heal Organ [Internet]. 2011;1–37. Tillgänglig vid: https://www.who.int/docs/default-source/climate-change/publication---public-health-advice-on-protecting-health-effects-of-heat.pdf?sfvrsn=5f1494a9_1
22. Socialstyrelsen. Temperatur inomhus [Internet]. 2005. Tillgänglig vid: <https://www.folkhalsomyndigheten.se/contentassets/a22abd3cdc1042e195d50fe4484a7fb9/temperatur-inomhus.pdf>
23. Arbetsmiljöverket. Temperatur och klimat [Internet]. 2021 [citerad 10 augusti 2021]. Tillgänglig vid: <https://www.av.se/inomhusmiljo/temperatur-och-klimat/>
24. Företagarna. När är det för varmt på jobbet för dina anställda? [Internet]. [citerad 10 augusti 2021]. Tillgänglig vid: <https://www.foretagarna.se/juridisk-faq/ovrigt/far-man-ga-hem-om-det-ar-for-varmt-pa-arbetsplatsen/>
25. Börjesson M. Vad är IEQ och varför är det viktigt? [Internet]. Swegon. 2020 [citerad 10 augusti 2021]. Tillgänglig vid: <https://blog.swegon.com/sv/vad-ar-ieq-och-varfor-ar-det-viktigt>
26. Hyresgästföreningen. Många klagar på varma lägenheter – det här kan du göra som hyresgäst [Internet]. 2021 [citerad 16 augusti 2021]. Tillgänglig vid: [https://www.hyresgastforeningen.se/aktuellt/extern-nyhet/manga-klagar-pa-varma-lagenheter--det-har-kan-du-gora-som-hyresgast!\\$4020260/](https://www.hyresgastforeningen.se/aktuellt/extern-nyhet/manga-klagar-pa-varma-lagenheter--det-har-kan-du-gora-som-hyresgast!$4020260/)
27. Däldborg L. Du kan få billigare hyra – om lägenheten är för varm. Dagens Nyheter. 16 juli 2021;
28. Åslund B. Fler kunder vill ha fjärrkyla. Tidningen Energi [Internet]. 15 november 2019; Tillgänglig vid: <https://www.energi.se/artiklar/fler-kunder-vill-ha-fjarrkyla/>
29. TT och SVT. Ökade försäljningen av AC ett problem för klimatet. 04 augusti 2020; Tillgänglig vid: <https://www.svt.se/nyheter/inrikes/allt-fler-vill-kyla-ned-sitt-hem-med-luftkonditionering>
30. Jansson U. Vi ingenjörer har missat skicka med manualen. Energi&Miljö [Internet]. 17 augusti 2021; Tillgänglig vid: <https://www.energi-miljo.se/tidningen/vi-ingenjorer-har-missat-skicka-med-manualen>
31. NIBE. En härligt svalkande värmepump [Internet]. 2021 [citerad 29 september 2021]. Tillgänglig vid: <https://www.nibe.eu/sv-se/kunskapsbank/kyla>
32. Energimyndigheten. Energistatistik för flerbo-stadshus [Internet]. 2021 [citerad 30 september 2021]. Tillgänglig vid: <https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/statistikprodukter/energistatistik-for-flerbo-stadshus/>
33. Gode J, Löfblad E, Montin S, Unger T, Renström J, Holm J. Efterfrågan på fossilfri el- Analys av högnivåscenari. Energiforsk & Profu; 2021.
34. Swegon. Lösningar med hög energieffektivitet för datacentraler [Internet]. 2021 [citerad 12 augusti 2021]. Tillgänglig vid: <https://www.swegon.com/sv/guider/guider-for-olika-byggnadstyper/datacenter/>
35. Sjödin J. Datacenter riskerar att bli miljöbovar – forskare söker lösningar [Internet]. Energimyndigheten. 2020 [citerad 11 augusti 2020].

- Tillgänglig vid: <https://www.energimyndigheten.se/arkiv-for-resultat/Resultat/datacenter-riskerar-att-bli-miljobovar/>
36. Bjurstr H, Ingvarsson P, Zinko H. Ökat fjärrvärmeutnyttjande med hjälp av absorptionstekniken. Värmeforsk; 2010.
 37. Lindqvist E. Fjärrvärmedriven komfortkyla- Lokala absorptionskylmaskiner i Visbys fjärrvärmenät [Internet]. Umeå: Umeå Universitet, Institutionen för tillämpad fysik och elektronik; 2021. Tillgänglig vid: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1564301/FULLTEXT01.pdf>
 38. Sagebrand U, Zinko H, Walletun H. Värmedriven komfortkyla för mindre anläggningar. Vol. 184, Energiforsk AB. 2015.
 39. Nilsson P-E. Komfortkyla [Internet]. Borås: Centrum för Effektiv Energianvändning; 2001. 1–16 s. Tillgänglig vid: <http://www.enerma.se/publications/komfortkyla/>
 40. Swegon Group AB. Frikyla eller kompressor-kyla? [Internet]. 2020 [citerad 02 november 2020]. Tillgänglig vid: <https://www.swegon.com/sv/guider/frikyla-eller-kompressorkyla/>
 41. Abrahamsson K, Nilsson J. Kartläggning av marknaden för fjärrkyla [Internet]. [Eskilstuna]: Energimarknadsinspektionen; 2013. Tillgänglig vid: https://www.ei.se/Documents/Publikationer/rapporter_och_pm/Rapporter/2013/EI_R2013_18.pdf
 42. NIBE. Ta kontroll över temperaturen hemma oavsett väder [Internet]. [citerad 02 november 2020]. Tillgänglig vid: <https://www.nibe.eu/sv-se/kunskapsbank/kyla>
 43. Yazaki. Yazaki absorption (ABS) vätskekyllagregat. Leveransfärdiga, serietillverkade enhetsaggregat från Japanska Yazaki. [Internet]. Yazaki-Nordic. 2018 [citerad 02 november 2020]. Tillgänglig vid: <https://www.yazaki-nordic.se/>
 44. Ingvarsson P, Bjurström H. Ökat fjärrvärmeutnyttjande med hjälp av absorptionskyla [Internet]. ÅF; 2010. 1–9 s. Tillgänglig vid: http://u1715295.fsdata.se/wp-content/uploads/2013/11/Panndagarna2010_Paul_Ingvarsson.pdf
 45. Zinko H, Söderberg S-O, Fahlén E, Gebremedhin A. Integration av absorptionskylmaskiner i fjärrvärmesystem. Vol. 119. Linköpings Universitet: Svensk fjärrvärme; 2004.
 46. Grossman D. När värme blir kyla. Fastighetstidningen [Internet]. 15 november 2016; Tillgänglig vid: <https://fastighetstidningen.se/nar-varme-blir-kyla/>
 47. Rydegran E. Fjärrkyla [Internet]. Energiföretagen Sverige. 2018 [citerad 30 oktober 2020]. Tillgänglig vid: <https://www.energiforetagen.se//energifakta/fjarrkyla>
 48. Fredriksen S, Werner S. Kylmarknader. I: Fjärrvärme och fjärrkyla. 1:4. Lund: Studentlitteratur AB; 2021. s. 36–40.
 49. Fredriksen S, Werner S. Distribution av kyla. I: Fjärrvärme och fjärrkyla. 1:4. Lund: Studentlitteratur AB; 2021. s. 337–43.
 50. Polarpumpen. Fast installerad eller portabel AC? [Internet]. 2021 [citerad 12 oktober 2021]. Tillgänglig vid: <https://www.polarpumpen.se/ac/ac-hemma/kunskapsbank/vilken-ac-ska-jag-kopa/fast-installerad-eller-portabel>
 51. Swegon. Luft- eller vattenkyla? [Internet]. 2021 [citerad 10 oktober 2021]. Tillgänglig vid: <https://www.swegon.com/sv/guider/tekniska-guider/luft-eller-vatten/>
 52. Johansson P-O, Frederiksen S, Wollerstrand J. Kombinerad fjärrvärme och fjärrkyla till nya kundgrupper. Vol. Rapport, Svensk Fjärrvärme AB. 2011.
 53. Eliasson M, Tufvesson J. Termisk komfort vid användning av låg systemtemperatur och högtemperaturkyla [Internet]. Stockholm: KTH School of Industrial Engineering and Management; 2018. Tillgänglig vid: <http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1234099/FULLTEXT01.pdf>
 54. Cyklande Rörmockaren. Kylbafflar [Internet]. 2019 [citerad 18 augusti 2021]. Tillgänglig vid: <https://cyklanderormokaren.se/kylbafflar/>
 55. Jardeby Å, Soleimani-mohseni M, Axell M. Distribution av kyla och värme i bostäder och lokaler. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut; 2009.
 56. Fredriksen S, Werner S. Kyllaster. I: Fjärrvärme och fjärrkyla. 1:4. Lund: Studentlitteratur AB; 2021. s. 111–3.
 57. Jernkontoret. Lagring av termisk energi [Internet]. Jernkontorets energihandbok. [citerad 09 augusti 2021]. Tillgänglig vid: <https://www.energihandbok.se/lagring-av-termisk-energi>

58. Holgersson J, Räftegård O, Gunasekara SN, Scharff R. Teknoekonomisk jämförelse av olika tekniker för termiska lager i fjärrvärmenät [Internet]. Energiforsk; 2019. Tillgänglig vid: <https://energiforsk.se/media/26771/teknoekonomisk-jamforelse-av-olika-tekniker-for-termiska-lager-energiforskrapport-2019-598.pdf>
59. SaltX Technology. Information i samband med SaltX nyemission [Internet]. 2018. Tillgänglig vid: <https://saltxtechnology.com/media/SaltX-infobladd-nyemission-2018-web.pdf>
60. Åslund M. Nytt grepp för absorptionskyla. Energi&Miljö [Internet]. 27 september 2018; Tillgänglig vid: <https://www.energi-miljo.se/tidningen/nytt-grepp-absorptionskyla>
61. Yazaki-Nordic. Absorption vätskekyllaggregat [Internet]. 2021 [citerad 18 augusti 2021]. Tillgänglig vid: <https://yazaki-nordic.se/produkter.html>
62. Krafftringen. Geoenergi – kraft från moder jord [Internet]. 2021 [citerad 18 augusti 2021]. Tillgänglig vid: <https://www.krafftringen.se/foretag/varme-kyla/geoenergi/>
63. Javed S, Fahlén P. Termisk modellering och utvärdering av borrhål. Tek och Forsk [Internet]. 2011; Tillgänglig vid: https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/151321/local_151321.pdf
64. Wahlström Å, (CIT Energy Management). Guide: Styrning av värmeeffekt. Svensk Byggtjänst [Internet]. 12 april 2021; Tillgänglig vid: <https://omvarldsbevakning.byggtjanst.se/artiklar/2021/februari/guide-styrning-av-varmeeffekt/>
65. Paardekooper S, Lund RS, Mathiesen BV, Chang M, Petersen UR, Grundahl L, m.fl. Heat Roadmap Europe 4: Quantifying the Impact of Low-Carbon Heating and Cooling Roadmaps. 2018;98.
66. Gunasekara SN, Martin V, Edén T. Distributed cold storage in district cooling. Energiforsk [Internet]. 2021; Tillgänglig vid: <https://energiforsk.se/program/termiska-energilagrar/rapporter/distributed-cold-storage-in-district-cooling-2021-751/>
67. Energimyndigheten. Värme och kyla [Internet]. 2019 [citerad 11 augusti 2020]. Tillgänglig vid: [http://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/forskning/omraden-for-forskning/termo--varme-och-kyla-for-framtidens-energisystem/innovationskluster-inom-termo/](http://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/forskning/omraden-for-forskning/termo--varme-och-kyla-for-framtidens-energisystem/http://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/forskning/omraden-for-forskning/termo--varme-och-kyla-for-framtidens-energisystem/innovationskluster-inom-termo/)
68. Energimyndigheten. Innovationskluster inom TERMO [Internet]. 2019 [citerad 11 augusti 2020]. Tillgänglig vid: <http://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/forskning/omraden-for-forskning/termo--varme-och-kyla-for-framtidens-energisystem/innovationskluster-inom-termo/>
69. Energiforsk. Distribuerade kylager i fjärrkylanät [Internet]. 2018 [citerad 27 november 2020]. Tillgänglig vid: <https://energiforsk.se/program/termiska-energilagrar/projekt/distribuerade-kyllager-i-fjarrkylanat/>
70. Gunasekara SN, Martin V. WP 2.3 Distributed Cold Storages in the District Cooling System. Energiforsk, Norrenergi, Energimyndigheten, KTH [Internet]. 23 oktober 2019; Tillgänglig vid: <https://energiforsk.se/media/27145/wp-23-distribuerade-kyllager-i-fjarrkylanat.pdf>
71. Energimyndigheten. Projektinformation- Fjärrkyla vs. lokala lösningar för komfortkyla [Internet]. 2019 [citerad 13 augusti 2021]. Tillgänglig vid: <http://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/projektdata-bas/sokresultat/?projectid=29503>
72. Energimyndigheten. Projektinformation- Lågtemperaturvärme och högtemperaturkyla med termiskt lager för ökade energi- och miljövinster [Internet]. 2020 [citerad 13 augusti 2021]. Tillgänglig vid: <http://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/projektdata-bas/sokresultat/?projectid=32506>
73. Energimyndigheten. Projektinformation- Digitalisering och innovativ reglerteknik för effektiv lågtemperaturvärme och högtemperaturkyla med integrerad lagring [Internet]. 2020 [citerad 13 augusti 2021]. Tillgänglig vid: <http://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/projektdata-bas/sokresultat/?projectid=32563>
74. Alfredsson L. Groundbreaking methods for district heating and district cooling. Luleå Tekniska Universitet [Internet]. 08 april 2020; Tillgänglig vid: <https://www.ltu.se/research/subjects/control/Banbrytande-metoder-for-fjarrvarme-och-fjarrkyla-1.197512?l=en>

75. IVL Svenska Miljöinstitutet. Flexi-Sync [Internet]. 2020 [citerad 27 november 2020]. Tillgänglig vid: <https://www.ivl.se/projektwebbar/flexi-sync.html>
76. Borglund A-S. Sundsvall får nytt fjärrkylasystem. Tidningen Energi [Internet]. 28 oktober 2020; Tillgänglig vid: <https://www.energi.se/artiklar/sundsvall-far-nytt-fjarrkylasystem/>
77. Blackman C. Pre-pilot: Absorption machine with integrated energy storage [Internet]. Energiforsk AB; 2020. Tillgänglig vid: <https://energiforsk.se/media/27814/absorption-machine-with-integrated-energy-storage-energiforskrappport-2020-655.pdf>
78. Borglund A-S. Minskat effektbehov för kylning i byggnader. E2B2 [Internet]. 07 maj 2019; Tillgänglig vid: <https://www.e2b2.se/forskningsprojekt-i-e2b2/vaerme-och-ventilation/minskat-effektbehov-foer-kylning-i-byggnader/>
79. Chalmers Tekniska Högskola & Akademiska Hus & AFRY. Design och driftsanvisningar för värmelager med fasändringsmaterial Design och driftsanvisningar för [Internet]. 2020. Tillgänglig vid: https://www.e2b2.se/media/h54gs0rt/slutrapport_design_och_driftsanvisningar_for_varmelager_med_fasandringsmaterial.pdf
80. Gunilla S. Vägledning om fluorerade växthusgaser [Internet]. Naturvårdsverket. 2021 [citerad 02 mars 2021]. Tillgänglig vid: <https://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Kemikalier-och-miljogifter/Fluorerede-vaxthusgaser/>
81. Morgan W. Värmepumpsektorns utmaningar. Fokus på minska växthusgasutsläpp från köldmedier. Sverige: Svenska kyl och värmepumpföreningen via seminarium för fossilfri uppvärmningssektor 2020-12-09;



VÄRMEMARKNAD SVERIGE, ETAPP 4

Värmemarknad Sverige är ett tvärvetenskapligt forskningsprojekt som utforskar hur värme- och kylmarknaden och dess aktörer tillsammans kan bidra till ett resurseffektivt, flexibelt och robust energisystem. Den pågående etappen är nummer fyra i ordningen och har sin utgångspunkt i att uppvärmningssektorn ska vara fossilfri år 2030 och en kolsänka 2045. Genom att ta ett helhetsgrepp på värme- och kylafrågorna och involvera alla berörda aktörsgrupper kan nya

utmaningar och utvecklingsvägar identifieras och analyseras och kunskapen kan spridas brett inom sektorn. Systemperspektiv, resurseffektivitet och samspel står i fokus.

Knappt 40 organisationer, vilka representerar kunder, teknikleverantörer, energibolag, branschorganisationer och myndigheter, medverkar i den pågående etappen. Energimyndigheten är en av finansiärerna.