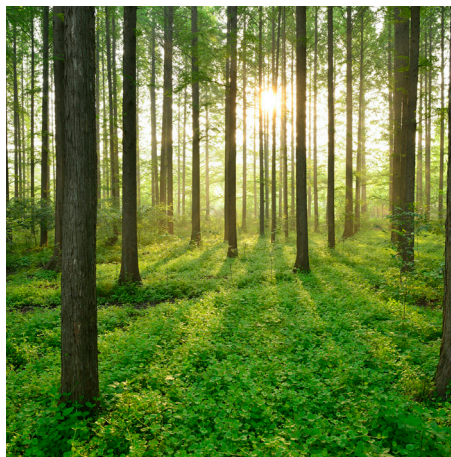


PRAKTISKT GENOMFÖRANDE AV SAMOPTIMERING MED SYSTEMPERSPEKTIV

RAPPORT 2024:1066



 FUTUREHEAT



Praktiskt genomförande av samoptimering med systemperspektiv

ANÍTA GUDNADÓTTIR, FILIPPA SANDGREN, JONAS OTTOSSON, SARA MÅNSSON

ISBN 978-91-89919-66-2 | © Energiforsk december 2024

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Dagens energisituation med höga elpriser och där många lokala elnät har brist på överföringskapacitet ställer nya krav på fjärrvärmebranschen. Både energibolag och fastighetsägare står inför rejält ökade kostnader.

Situationen har accelererat drivkraften att nyttja befintliga investeringar effektivare, och både energibolag och fastighetsägare vill prova nya lösningar, till exempel att samoptimera lokala energisystem med stadens energisystem och att bilda lokala marknader för effekthandel. Lastväxling mellan värmepump och fjärrvärme kan ge ett signifikant bidrag till att minska effektbehovet under hög-last och bidra till att lösa kapacitetsbristen. Denna typ av lösningar har redan påvisats vara lönsamma ur ett systemperspektiv och det finns ett flertal pilotprojekt där lösningarna implementerats. Trots detta klarar inte branschen att realisera denna typ av affärer med fastighetsägare. Det här projektet syftade till att ge fjärrvärmebolag och fastighetsbolag praktisk vägledning för hur kunder som har både värmepump och fjärrvärme kan bidra till att minska kapacitetsbristen i elnätet genom att samoptimera lokala energisystem med stadens energisystem.

Projektet att ta fram handboken har letts av Jonas Ottosson, Utilifeed. Peter Mattsson, Södertörns Fjärrvärme AB – sammanhållande; Stina Berg, Tekniska verken i Linköping; Håkan Bergman, Härnösands Energi & Miljö AB ; Fredrik Anarp, Nässjö Affärsverk; Fredrik Olsson, E.ON Infrastruktur AB; Niclas De Lorenzi, Stockholm Exergi; Fredrik Martinsson, Mölndal Energi; Mikael Karlsson, Energiforsk Projektet ingår i programmet FutureHeat vars långsiktiga mål är att bidra till visionen om ett hållbart uppvärmningssystem med framgångsrika företag som utnyttjar nya tekniska möjligheter och där de samhällsinvesteringar som gjorts i fjärrvärme- och fjärrkyla tas till vara på bästa sätt. Detta projekt ingår i programmets tredje etapp. Programmet leds av en styrgrupp bestående av Cecilia Bergquist (ordförande), Halmstad Energi och Miljö; Stefan Hjärtstam, Borås Energi och Miljö; Peter Mattsson, Södertörns Fjärrvärme; Svante Carlsson, Skellefteå Kraft; Stina Berg, Tekniska Verken i Linköping; Dado Hadziomerovic, Vattenfall; Fabian Levihn, Stockholm Exergi; Lisa Granström, Mälarenergi; Magnus Ohlsson, Öresundskraft; Magnus Revland, Finspångs Tekniska Verk; Harald Andersson, E.ON Energiinfrastruktur; Linda Östberg, Karlstads Energi; Ulf Lindqvist, Jämtkraft; Patrik Grönbeck, Norrenergi; Erik Axelsson Göteborg Energi

Mikael Karlsson, Energiforsk

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

Sammanfattning

Hur kan befintliga värmepumpar och fjärrenergisystem samoptimeras för att uppnå systemeffektivitet och fördelar? Denna rapport syftar till att besvara den frågan för energibolag och fastighetsägare genom att visa lösningar som fungerar i praktiken och genom att lyfta fram förutsättningar som är avgörande framgångsfaktorer.

Rapporten sammanfattar två fallstudier som genomfördes i Mölndal mellan 2022 och 2024, där potentialen för teknisk samoptimering i kombination med föreslagna affärsmodeller utvärderades—en i ett teoretiskt ramverk och den andra testad i en verklig miljö.

Resultaten bekräftar att win-win-samarbeten mellan energibolag och fastighetsägare inte bara är möjliga utan även fördelaktiga, förutsatt att vissa villkor uppfylls. Studien fann att dynamiska prissättningsmodeller och användningen av marginalkostnadsbaserade tariffer är avgörande för att låsa upp samoptimeringens fulla potential. Den realtidsanpassning som dessa system möjliggör gör det möjligt för fastighetsägare att utnyttja fjärrvärme under perioder med höga elpriser, vilket optimerar både driftkostnader och systemeffektivitet.

Utöver teknisk-ekonomisk testning genomfördes en kvalitativ analys genom intervjuer och workshops för att utforska hur samoptimering framgångsrikt kan uppnås. Denna analys visade att både energibolag och fastighetsägare är öppna för samarbete genom att använda olika energitekniker. Dock är den mest kritiska faktorn för framgång viljan hos båda parter att våga prova lösningar och upprätthålla öppen, transparent kommunikation om hur systemet fungerar.

Intervjuerna och workshoparna betonade vikten av att anpassa incitamenten. Fastighetsägare framhöll att även om de miljömässiga fördelarna är en viktig drivkraft, är den primära drivkraften de ekonomiska besparingarna. Energibolagen å sin sida erkände de långsiktiga systemstabilitets- och effektivitetsvinster som samoptimering kan ge, särskilt när det gäller att hantera effekttoppar. En viktig lärdom är att samoptimeringsinitiativ bör börja småskaligt med enkla modeller som bygger förtroende och förfinar processerna, innan de skalas upp till mer komplexa system.

Rapporten drar slutsatsen att även om tekniken och affärsmodellerna för samoptimering finns tillgängliga, är framgång starkt beroende av nära samarbete, dynamiska prissättningsmekanismer och ömsesidigt förtroende.

Nyckelord

Fjärrvärme, fjärrkyla, värmepump, samoptimering, dynamiska priser, marginalpriser, affärsmodeller, kostnadsbesparingar

Summary

How can existing heat pumps and district energy be co-optimized to achieve system efficiency and benefits? This report aims to answer that question for energy companies and building owners by showcasing solutions that work in practice and by highlighting prerequisites that are key success factors.

The report summarizes two case studies conducted in Mölndal between 2022 and 2024, where the potential for technology optimization, combined with proposed business models, was evaluated—one in a theoretical framework and the other tested in a real-world setting.

The findings confirm that win-win collaborations between utilities and property owners are not only possible but also beneficial, provided certain conditions are met. The study found that dynamic pricing models and the use of marginal cost-based tariffs are critical in unlocking the full potential of co-optimization. The real-time adaptability of such systems allows building owners to leverage district heating during high electricity price periods, thus optimizing both operational costs and system efficiency.

In addition to techno-economic testing, a qualitative analysis through interviews and workshops was conducted to explore how co-optimization can be successfully achieved. This analysis revealed that both utilities and property owners are open to collaboration through the use of diverse energy technologies. However, the most critical factor for success is the willingness of both parties to take a leap of faith—trying out solutions and maintaining open, transparent communication about how the system operates.

The interviews and workshops emphasized the importance of aligning incentives. Property owners highlighted that while the environmental benefits are a key motivator, the primary driver remains financial savings. Energy companies, on the other hand, recognized the long-term system stability and efficiency gains that co-optimization can provide, particularly in managing peak load demands. A key takeaway is that co-optimization initiatives need to start small, with simple models that build trust and refine operations, before scaling up to more complex systems.

The report concludes that while the technology and business models for co-optimization are available, success depends heavily on close collaboration, dynamic pricing mechanisms, and mutual trust.

Innehåll

1	Introduktion	8
1.1	Rapportens struktur	9
2	Teori och metod	10
2.1	Syfte och sammanfattning av metod	10
2.2	Litteraturstudie	12
2.2.1	Värmemarknaden i Sverige	12
2.2.2	Samoptimerade värmepumpar	12
2.3	Intresset för samoptimering hos energibolag	14
2.4	Avgränsningar	16
3	Energibolags och fastighetsägares syn på samoptimering	17
3.1	Incitament för samoptimering	17
3.2	Tidigare erfarenheter av samoptimering	19
3.3	Nackdelar från samoptimering från fastighetsägarens perspektiv	21
3.4	Framgångsfaktorer för samoptimering	22
3.4.1	Organisatoriska faktorer	22
3.4.2	Tekniska faktorer	23
3.4.3	Affärsmässiga faktorer	23
3.4.4	Juridiska och avtalsmässiga faktorer	25
4	Utförande	26
4.1	Fallstudier	26
4.1.1	Fallstudie 1: Fastighetsägare med borrhål, solceller, tvåvägs värmepumpar	26
4.1.2	Fallstudie 2: Fastighetsägare med borrhål och värmepumpar	41
5	Resultat	45
5.1	Fallstudie 1	45
5.1.1	Energikostnader	45
5.1.2	Användning av energi	48
5.1.3	Utsläpp	50
5.1.4	Resultat från Tidstegen	50
5.2	Fallstudie 2	53
5.2.1	Testperiod 1: endast spotpriser	53
5.2.2	Testperiod 2: Effekthandel Väst	58
6	Diskussion	61
7	Slutsats	73
7.1	steg-för-steg för samoptimering	73
7.1.1	Dynamiska priser	73
7.1.2	Affärsmodeller och andra priskomponenter	74
7.1.3	Kommunikaton	75
7.1.4	Teknik	76

7.2	Ytterligare slutsatser	77
8	Framtida arbete	78
9	Referenslista	79
Bilaga A:	Översikt av samtliga scenarion för fallstudie 1	83

1 Introduktion

Vår värld blir alltmer komplex för varje minut, och energisystemet är inget undantag. Fastighetsägare och energibolag hittar nya sätt att maximera nyttan av värdefulla energikällor inom sina respektive områden, vilket är lovvärt. Men genom att upprätthålla barriärer mellan leverantörer, kunder och slutanvändare blockeras potentiella viktiga samoptimeringar som kan ge holistiska systemfördelar. Dock bryter vissa energibolag och fastighetsägare mönstret och skapar win-win-samarbeten. Denna rapport syftar till att lyfta fram dessa lysande exempel och inspirera andra att våga ta steget själva.

Förenklat går det att säga att den svenska värmemarknaden består av tre stora kategorier av värmeleverans till byggnader: fjärrvärme, värmepumpar och direkt uppvärmning med el eller andra bränslen. Historiskt sett har det funnits en konkurrens mellan fjärrvärme och värmepumpar, där en byggnad förses med ett av alternativen och inte båda. Skälen till att välja det ena framför det andra inkluderar kostnader, miljöfaktorer, tillgänglighet, pålitlighet och servicenivå.

Med stigande energipriser, ökad miljömedvetenhet och större osäkerhet kring energiförsörjningens trygghet, söker många proaktiva fastighetsägare nu efter sätt att kombinera olika energikällor för sina byggnader. Detta görs för att skydda sig mot ökade energipriser och för att kunna minska den totala mängden köpt energi.

Genom att inkludera flera energiteknologier för att möta efterfrågan i en eller flera byggnader möjliggörs en mer dynamisk och optimerad användning av energi. Om, till exempel, fjärrvärme är mycket billigare än el under en viss timme, bör fjärrvärme användas, och vice versa. Genom att aktivt växla energikällor baserat på realtidspriserna för de olika källorna kan samoptimering uppnås. I många fall är dock prissättningslogiken och strukturen för fjärrenergi (fjärrvärme och fjärrkyla) inte lämpad för att leverera energi till sådana byggnader. Även om energibolagen skulle införa nya prismodeller som möjliggör sådana lösningar, kan de sakna infrastrukturen för att effektivt stödja dem.

Det har gjorts tidigare studier om detta ämne inom forskningsprogrammet Futureheat. I (Kensby, Johansson, Jansson, & Carlsson, 2019) utvärderades den ekonomiska potentialen för samoptimering på en övergripande nivå. I (Ottosson, et al., 2020) föreslogs och utvärderades affärsmodeller för samoptimering. Utöver den tidigare forskningen har några exempel på samoptimering implementerats av energibolag, såsom SmartHeat av Göteborg Energi, Nästa generations fjärrvärme av Stockholm Exergi och i Råbylund av Kraftringen.

Fokus för denna studie är därför att ytterligare undersöka konceptet samoptimering i praktiken. Angreppssättet har varit att undersöka varför samoptimering är av intresse för både fastighetsägare och energibolag. Vilka är de främsta incitamenten för att arbeta med samoptimering, och vilka svårigheter kan

uppstå? Studien har också undersökt de teknisk-ekonomiska aspekterna av samoptimering genom att genomföra två fallstudier av samoptimering i två befintliga byggnader i Mölndal, Sverige. Huvudmålet med studien är att ge fastighetsägare och energibolag förslag på bästa praxis och metoder att använda vid implementering av samoptimering i deras fastigheter och energisystem. Ambitionen med denna rapport är att erbjuda all denna information i form av en enkel steg-för-steg-guide för aktörer som vill genomföra samoptimering mellan fjärrenergi och värmepumpsteknik.

1.1 RAPPORTENS STRUKTUR

Rapporten består av sex olika kapitel där kapitel 1 är inledningen och kapitel 2 behandlar teori och metodik.

Kapitel 2 beskriver först projektets syfte och en sammanfattning av den använda metodiken, och går sedan igenom hur den svenska värmemarknaden har utvecklats genom åren och hur värmepumpar kan användas för att öka flexibiliteten och försörjningstryggheten i systemet.

Kapitel 3 presenterar energibolagens och fastighetsägarnas nuvarande syn på samoptimering. Innehållet i detta kapitel samlades in genom en intervjuundersökning och en workshop.

Kapitel 4 kallas utförande och beskriver alla steg och antaganden som gjordes under projektets fallstudier.

Kapitel 5 presenterar resultaten från de olika fallstudierna och kapitel 6 täcker alla diskussionspunkter relaterade till dessa resultat.

Kapitel 7 sammanfattar slutsatserna, och det sista kapitlet i rapporten, kapitel 8, föreslår vidare forskning.

2 Teori och metod

2.1 SYFTE OCH SAMMANFATTNING AV METOD

Syftet med detta projekt är att skapa vägledning och instruktioner för fastighetsägare och energibolag om hur man framgångsrikt implementerar samoptimering av energiteknologier i befintliga byggnader och därigenom bidrar till den övergripande systemnyttan. För att ge en välgrundad och praktisk förståelse av samoptimering genomförde vi en serie kompletterande studier, där varje studie erbjuder ett eget perspektiv eller insikt. Eftersom samoptimering är en komplex process som involverar olika intressenter, tekniska lösningar och organisatoriska faktorer, skulle en enda studie inte vara tillräcklig för att fånga alla aspekter av dess genomförande. För att hantera detta implementerades ett mångsidigt tillvägagångssätt, inklusive en litteraturstudie, en intervjuundersökning, en workshop och två utförda fallstudier.

Litteraturstudien gav en grundläggande bakgrund, som sammanfattade befintlig kunskap om samoptimering och beskrev de tekniska principerna bakom värmepumpar och fjärrenergisystem. Denna teoretiska förståelse kompletterades sedan av en intervju med en fastighetsägare, vilket gav insikter i hur dessa teknologier uppfattas och implementeras i praktiken. Intervjun genomfördes med en representant från ett kommunalt fastighetsbolag i västra Sverige under hösten 2023. Företaget äger cirka 7 000 byggnader, inklusive både kommersiella fastigheter och bostäder av olika storlekar. Den största delen av företagens fastigheter värms upp med fjärrvärme. Intervjupersonen arbetade som energistrateg och projektledare på företaget och hade insikt i de olika projekt som pågick mellan fastighetsbolaget och det lokala energibolaget. Syftet med intervjun var att få en insikt i en fastighetsägares syn på samoptimering, och specifikt på de lösningar som övervägdes inom ramen för detta projekt – samoptimering mellan fjärrvärme och värmepumpar för att värma en byggnad. Eftersom intervjuundersökningen endast inkluderade en representant från ett kommunalt fastighetsbolag, begränsar det möjligheten att dra bredare, generella slutsatser från intervjumaterialet. Dock hade intervjupersonen deltagit i nätverksdiskussioner där representanter från flera andra kommunala och större privata fastighetsbolag deltog. Detta gav en viss insikt i de allmänna diskussioner som pågår kring fastighetsägarnas idéer om samoptimering mellan värmepumpar och fjärrvärme.

Workshopen breddade perspektivet genom att involvera både fastighetsägare och energibolag för att utforska deras erfarenheter, incitament och samarbetsfaktorer. Workshopen genomfördes online under våren 2024 och inkluderade representanter från tre fastighetsbolag och fyra energibolag. Alla tre fastighetsbolag var privatägda och belägna i Sverige. Tre av energibolagen var belägna i städer där fastighetsägarna hade byggnader. Detta gav deltagarna möjlighet att under workshopen diskutera för- och nackdelar med sina nuvarande samarbeten. Ett av huvudsyftena med workshopen var att undersöka deltagarnas tidigare erfarenheter av samoptimering samt att förstå om de hade några pågående samoptimeringsprojekt. Workshopen diskuterade även vilka incitament som finns för att arbeta med samoptimering, både ur fastighetsägares och energibolags

perspektiv. Ett annat syfte var att identifiera och diskutera de viktigaste faktorerna i ett framgångsrikt samoptimeringsprojekt. Under workshopen presenterades fallstudie 2 av det energibolag och fastighetsbolag som deltog i projektet, och workshopdeltagarna kunde ställa frågor till deltagarna i fallstudien. Baserat på presentationen och diskussionerna identifierades fyra huvudsakliga samarbetsfaktorer: organisatoriska faktorer, tekniska faktorer, affärsfaktorer och juridiska eller administrativa faktorer. Dessa fyra faktorer diskuterades och analyserades i detalj, och olika fördelar och nackdelar inom de olika ämnena identifierades. Alla företag som deltog i workshopen hade i viss mån övervägt eller planerat att implementera samoptimeringsprojekt i sina fastigheter eller energisystem. Vissa hade redan konkreta planer för genomförandet, medan andra precis hade börjat utforska möjligheterna med samoptimering. Detta innebär att alla företag i workshopen hade en positiv inställning till samoptimering. Det är möjligt att resultaten hade varit mer varierade om deltagarna hade valts slumpmässigt, inklusive företag med både negativa och positiva attityder till samoptimering. Dock ansågs urvalskriterierna vara tillräckliga eftersom studien syftade till att hitta goda exempel på samoptimering och de viktigaste faktorerna för framgång i sådana projekt.

För att ytterligare illustrera fördelarna med samoptimering genomfördes två fallstudier. Den första var en simuleringsstudie som visade hur optimering av värmepumpsdriften i en fastighet kunde minska energikostnader och miljöpåverkan. En algoritm skapades för att optimera hur en tvåvägs värmepump skulle drivas i en byggnad som även är ansluten till fjärrvärme och fjärrkyla. Algoritmen väljer det billigaste uppvärmnings- eller kylalternativet för varje timme under året och optimerar därigenom driften av värmepumpen. I denna studie hade fastighetsägaren beslutat att investera i en värmepumpslösning och ville se fördelarna med att köra den på olika sätt. Värmepumpen var dock ännu inte installerad i byggnaden. En analys av byggnadens driftskostnader för energi gjordes, tillsammans med den miljöpåverkan som driften skulle ha, med hjälp av Tidstegen-metoden.

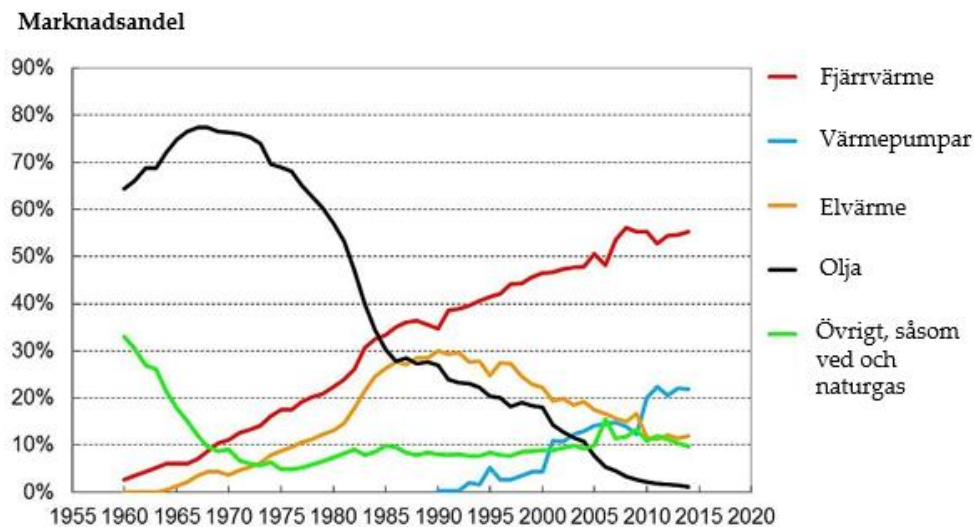
Den andra fallstudien tog dessa insikter ett steg längre genom att implementera optimeringslogiken i verkliga byggnader, vilket validerade de praktiska fördelarna med detta tillvägagångssätt ur både ett tekniskt och affärsmässigt perspektiv. Fastighetsägaren i fallstudie 2 hade redan installerat värmepumpar och var intresserad av att se fördelarna med att optimera driften tillsammans med fjärrenergi, istället för att låta dem vara igång alla timmar på året. Utvärderingen av fallstudien begränsades till driftskostnader för energi.

Var och en av dessa studier bidrar till en mer holistisk förståelse av samoptimering, från teoretisk bakgrund till tillämpning i verkligheten, vilket säkerställer att den vägledning som ges är både välgrundad och användbar.

2.2 LITTERATURSTUDIE

2.2.1 Värmemarknaden i Sverige

Enligt Energimyndigheten (Energimyndigheten, 2021) står bibränslen som träpellets och flis för över 70 % av Sveriges värmeproduktion, medan fossila bränslen som naturgas och kol står för mindre än 5 %. Figur 1 visar marknadsandelen för olika uppvärmningsalternativ i Sverige sedan 1955, och som figuren visar är fjärrvärme (FV) det vanligaste alternativet och står för cirka 55 % av marknadsandelen.



Figur 1 Marknadsandel för olika uppvärmningsalternativ i Sverige (Frederiksen & Werner, 2013)

Andelen värmepumpar (VP) har ökat snabbt i samma takt som fjärrvärme sedan omkring 1990 och är nu tydligt den största konkurrenten till fjärrvärme i Sverige. Introduktionen av värmepumpar på den svenska värmemarknaden kan spåras tillbaka till oljekrisen på 1970- och 1980-talen, som senare finansierades av Byggeforskningsrådet och främjades av regeringen (Gehlin, Andersson, Bjelm, Alm, & Rosberg, 2020).

2.2.2 Samoptimerade värmepumpar

Att introducera värmepumpar i fjärrvärmesystemet kan ge stora övergripande fördelar, eftersom det minskar mängden värmekällor som annars skulle gå till spillo genom att möjliggöra användning av olika värmekällor (Kontu, Rinne, & Junnila, 2019). I Sverige är det en vanlig och välkänd metod att kombinera fjärrvärme med värmepumpar, särskilt med en frånluftsvärmepump (FVP) för att både minska byggnadens energianvändning och energikostnader (Boss, 2012). Boss (2012) beskriver de olika kombinationerna av hur fjärrvärme och värmepumpar kan användas tillsammans i byggnader.

En tidigare studie från 2019 om värdet av flexibel värmeefterfrågan visade hur de totala driftskostnaderna för en byggnad kan minskas med 0,22–1,12 kSEK/år eller med 120–610 kSEK/år per kontrollerbar MW värmeeffekt från värmepumpen. De totala driftskostnaderna minskas mer i ett fjärrvärmenät med stor andel överskottsvärme och mindre i nätverk med storskaliga centrala värmepumpar (Kensby, Trüschel, & Dalenbäck, 2017).

Det finns olika typer av värmepumpar på marknaden som hämtar värme från olika typer av värmekällor för att förse byggnader med värme. Vilken typ av värmekälla fastighetsägare väljer för sin värmepumpslösning beror i hög grad på värmebehovets storlek i byggnaden. En byggnad med relativt litet värmebehov kan installera en värmepump som använder antingen frånluft eller utomhusluft som värmekälla, medan byggnader med större värmebehov skulle vilja ha en värmepump med en mer temperaturstabil värmekälla, som marken eller en sjö (Swedish Energy Agency, 2021). Den stabila temperaturen i marken gör bergvärmepumpen (BVP) till en av de mest effektiva värmepumptyperna på marknaden (Chua, Chou, & Yang, 2010). En BVP kan därför vara ett utmärkt alternativ i miljöer där det sker stora variationer i utomhustemperaturen under dagen eller om vintrarna kan bli mycket kalla och/eller somrarna mycket varma (Sarbu & Sebarchievici, 2014). Värmepumpar med utomhusluft som värmekälla har lägre installationskostnader, men har nackdelen att de har låg eller mycket låg effektivitet vid låga utomhustemperaturer, då värmebehovet dessutom är som störst. (Danielski, Fröling, & Joelsson, 2012).

Förhållandet mellan den nyttiga energin och energiinmatningen för värmepumpen beskrivs som värmepumpens verkningsgrad, eller Coefficient of Performance (COP) (Sarbu & Sebarchievici, 2014). COP varierar beroende på värmekällans temperatur, där högre temperaturer ger högre COP, eller högre nyttig energi. Enligt NIBE (NIBE, 2023) är livslängden för en värmepump vanligtvis omkring 15–20 år, och även om värmepumpen fortfarande verkar fungera vid den tidpunkten, har effektiviteten troligtvis minskat, vilket resulterar i onödigt höga energikostnader.

I flerbostadshus i Sverige är en frånluftsvärmepump (FVP) den vanligaste typen av värmepump som installeras i kombination med fjärrvärme, där de i genomsnitt är dimensionerade för att täcka cirka 56 % av byggnadens värmebehov för uppvärmning (Kensby, Trüschel, & Dalenbäck, 2017). Detta beror, som nämnts ovan, på att värmepumpens effektivitet inte är hög under hela året. Bergvärmepumpar (BVP), som har högre och mer stabil effektivitet året runt, är däremot vanligtvis dimensionerade för att täcka 90–95 % av byggnadens årliga totala energibehov och upp till 65–70 % av det högsta effektbehovet (Energikontoren, 2023).

Vid en jämförelse av de olika typerna av värmepumpar är det tydligt att en värmepump som använder marken som värmekälla kräver en större investering/installationskostnad, eftersom ett borrhål måste borrar i marken, medan det inte finns något sådant krav om till exempel utomhusluft används som värmekälla. Men som nämnts ovan, kommer en bergvärmepump att ha en högre COP över året, vilket gör den till ett mer effektivt val som resulterar i lägre driftkostnader.

Även om värmepumpar främst används för att generera värme under kalla perioder, kan de också användas för kylning under varma perioder (Lun & Tung, 2020). De som endast ger uppvärmning kommer i projektet att kallas för envägs värmepumpar, och de som ger både uppvärmning och kylning kommer att kallas tvåvägs värmepumpar.

2.3 INTRESSET FÖR SAMOPTIMERING HOS ENERGIBOLAG

Under projektet har en studie genomförts för att ta reda på hur vanliga kombinationslösningar är bland svenska fjärrvärmeföretag, där fjärrvärme/kylning och värmepumpar/kylmaskiner samverkar. Undersökningen har utförts av företagen i referensgruppen och genom att granska offentligt tillgänglig information på marknaden. Studien visar att intresset för samoptimering av befintliga värmepumps-/fjärrvärmeinstallationer är relativt lågt, och att de flesta offentligt beskrivna exempel är enskilda projekt som inte har replikerats på andra platser. Få av dessa har lett till några standarderbjudanden från fjärrvärmeföretagen. Å andra sidan är samoptimering i nybyggnadsprojekt, där energisystemet designas från grunden, mer allmänt beskrivet.

Den kanske mest välkända samoptimeringen, och som faktiskt har varit en inspiration för detta projekt, är Göteborg Energis SmartHeat:

Göteborg Energi har haft flera olika projekt för att testa samoptimering eller energioptimerade områden, till exempel BRF Viva och SmartHeat. I dessa projekt har fokus legat på att minska både driftskostnaderna och miljöpåverkan för både fastighetsägaren och energibolaget (Ottosson, et al., 2020).

Ett annat väl beskrivet projekt/lösning som kombinerar värmepumpar med fjärrenergi är EctoGrid-lösningen som drivs av E.On i Lund. Ett mindre lågtempererat fjärrenerginätverk som använder värmepumpar och kylmaskiner används i kombination med det överliggande högttempererade fjärrvärmenätet (E.On, 2024).

Nyare exempel fokuserar mer på nybyggnation av stora områden, där ett optimerat tillvägagångssätt för energianvändning antas från allra första början:

Ett sådant exempel är det nya bostadsområdet Råbylund i Lund, där fastighetsägaren, utvecklaren och det lokala energibolaget (Krafringen) har designat det lokala energisystemet i samarbete. Energisystemet består av fjärrvärme, värmepumpar, värmelagring, elbatterilagring, solcellsanläggningar och hybrida solcells-PV-T-paneler. Ett centralt styrsystem optimerar för maximal användning av lokalt genererad energi (Krafringen, 2024). En liknande lösning beskrivs och analyseras som Fallstudie 1 i denna rapport.

Ett annat exempel är Nästa Generations Fjärrvärme från Stockholm Exergi, där hela delar av nätet i Stockholm byggs med samoptimering som grund. Lågtempererade fjärrenerginät konstrueras och ansluts till resten av nätet. Inom det lågtempererade nätet läggs ett extra rör till det konventionella tvärörssystemet, vilket möjliggör energitransport mellan olika behov inom nätet. Konceptet inkluderar även olika former av energilagring, vilket möjliggör optimering av både

elförbrukning och elproduktion. Sammanfattningsvis ger konceptet följande värden (De Lorenzi, 2024), (Stockholm Exergi, 2024):

- Lägre systemtemperaturer gör det möjligt att fånga upp restvärme från flera källor. Med lägre systemtemperaturer utnyttjas "lågvärdig energi", vilket möjliggör att kunders överskottsvärme kan delas och utbytas mellan byggnader från en kund till en annan. Samtidigt kan det övergripande systemet – genom digitalisering och systemoptimering över produktion, distribution och kund – uppnå "verkligt värde" med cirkulära processer.
- Lägre systemtemperaturer, termiska nätverk och energilagring gör det möjligt för energibolaget att bättre anpassa sig till och utnyttja den volatila elmarknaden. När grön el är billig kan Stockholm Exergi producera mer värme i sjövärmepumpar, som sedan lagras i ackumulatortankar för att användas när produktionen av förnybar el är otillgänglig. Nästa generations fjärrvärme fungerar således som ett elbatteri med hög effektivitet.

Andra liknande exempel inkluderar Crossways i Växjö (Linnéuniversitetet, 2023) och Mälarporten i Västerås (Wickström, 2024).

2.4 AVGRÄNSNINGAR

Detta projekt behandlar huvudsakligen driftkostnader för en byggnad som använder värmepumpar och/eller fjärrvärme/-kyla. För alla fallstudier och analyser antas det att investeringar i någon av värme-/kylteknologierna redan har gjorts och att driften nu ska optimeras för att ge totala systemfördelar.

Vid nybyggnation eller renovering av en befintlig byggnad för att använda både värmepumpar och fjärrenergi (eller endast en av teknologierna), kommer investerings- och kapitalkostnaderna för den installerade utrustningen att starkt påverka projektets ekonomiska genomförbarhet. Dock kan investeringskostnader för mer komplexa energisystem i byggnader vara svåra att generalisera, eftersom både lokala faktorer (närhet till fjärrenerginät, tillgänglighet av entreprenörer etc.) och globala faktorer (räntor, kostnader för material och utrustning etc.) påverkar kostnaderna. Läsaren av denna rapport bör ha detta i åtanke när resultaten granskas.

På samma sätt, vid analys av CO₂-utsläpp för de olika teknologierna, beaktas endast driftfasen av deras livslängd. CO₂-utsläpp från tillverknings- och installationsfaserna inkluderas inte. Dessutom beaktar denna studie endast CO₂-utsläpp ur ett konsekvensperspektiv och innehåller ingen djupgående analys av hur samoptimering presterar ur ett bokföringsperspektiv vid rapportering av utsläpp.

Liksom med CO₂-utsläpp analyserar eller utvärderar denna studie inte hur samoptimering presterar i förhållande till energirapporteringsramverk som byggregler för nybyggnation (BBR i Sverige), byggnadseffektivitetsklassificeringar eller energideklarationer (Energideklaration i Sverige). Samoptimering bygger på premissen att olika energityper har olika fördelar vid olika tidpunkter, vilket inte beaktas i dessa ramverk.

3 Energibolags och fastighetsägares syn på samoptimering

Processen att genomföra ett samoptimeringsprojekt kan vara komplicerad, eftersom flera olika parter måste samordnas och komma överens om en mängd olika aspekter innan projektet ens kan starta. För att undersöka hur energibolag och fastighetsägare ser på samoptimeringsprojekt genomfördes en intervjuundersökning och en workshop. Nedan följer en sammanfattning av de viktigaste resultaten från intervjun och workshopen.

3.1 INCITAMENT FÖR SAMOPTIMERING

Att optimera energianvändningen mellan fjärrvärmeföretag och fastighetsägare erbjuder en möjlighet att nå gemensamma mål på ett effektivt sätt. Fastighetsägare är intresserade av att köpa energi till lägsta möjliga pris och med minsta möjliga miljöpåverkan, och energibolag drivs av att producera energi så att alla kunders behov möts till lägsta möjliga pris och miljöpåverkan. Historiskt sett har dessa två mål främst hanterats isolerat, utan storskaligt integrerat tänkande mellan de två parterna. Istället har båda parter arbetat med att optimera sina individuella system. I morgondagens energisystem finns ett starkt behov av att dessa två intressen interagerar i större utsträckning. Tanken är att flytta systemgränsen så att fastighetsägare och energibolag samarbetar för att hålla de totala kostnaderna och miljöpåverkan för hela energisystemet så låga som möjligt.

Under workshopen diskuterades incitament för att flytta dessa systemgränser. Bland annat finns det ett ökat behov av att kapa effekttopparna som uppstår i energisystemet, eftersom dessa har haft en allt större inverkan på energipriserna med de effekttariffer som införs. Det blir också allt dyrare för energibolagen att bygga ett system som kan hantera de högsta effekttopparna i nätet, särskilt eftersom de endast uppstår under några få timmar per år. Det är viktigt i denna typ av arbete att se alla enheter i systemet som tillgångar i samoptimeringen, för att kapa effekttoppar. Om detta systemtänkande kan uppnås, samtidigt som man säkerställer att effekt används vid rätt tidpunkt och på rätt sätt, kan både systemnyttan och nyttan för de enskilda aktörerna bli större.

Flera andra incitament för att fokusera på samoptimering framkom under workshopen. De miljökrav som fastighetsägare måste följa kan ge incitament att använda fjärrvärme istället för elbaserad uppvärmning. Detta beror på energibolagets produktionsmix, där vissa mixar är mer fördelaktiga än andra ur ett miljöperspektiv. En av fastighetsägarna uttryckte att om förhållandet mellan priserna på fjärrvärme och el var 1:1, skulle de hellre använda fjärrvärme, eftersom fjärrvärmens i deras kommun ger en lägre total miljöpåverkan än el. På grund av produktionsmixen i deras system uttryckte andra fastighetsägare att de inte såg samma incitament, eftersom miljöpåverkan från fjärrvärmeproduktionen i deras respektive kommun var större än den för el.

Från intervjun framgick det att de ekonomiska incitamenten relaterade till energikostnaderna inte var tillräckliga för den aktuella fastighetsägaren att investera i lösningar för samoptimering. Dock såg intervjupersonen att det fanns andra incitament, både i nuvarande och framtida scenarier, där samoptimering kan vara fördelaktigt för en fastighetsägare.

Det första scenariot relaterade till den nuvarande uppvärmningsmetoden för den aktuella fastigheten. Under intervjun framgick det tydligt att incitamenten för att installera lösningar för samoptimering är olika beroende på om en fastighet för närvarande värms upp med fjärrvärme eller en elbaserad lösning. Intervjupersonen såg inte många incitament för att installera en värmepump i fastigheter som värms upp med fjärrvärme. Däremot, i fastigheter där en värmepump var det enda uppvärmningsalternativet, fanns det större incitament att installera fjärrvärme och samoptimera mellan de två lösningarna. Incitamenten uppstod främst på grund av de höga elpriserna i början av 2020-talet, vilket orsakade höga energikostnader för fastighetsägare som hade elbaserad uppvärmning. Samtidigt var räntorna höga under samma period. Detta innebär att, enligt intervjupersonens erfarenhet, många fastighetsägare fortfarande var tveksamma till att göra större investeringar i sina uppvärmningssystem, såsom att installera fjärrvärme.

Det andra scenariot som intervjupersonen nämnde relaterade till fallet där en byggnads primärenergital är högt och hamnar i en byggnadsenergiklass där individuell mätning och debitering (IMD) krävs. IMD innebär att värmeanvändningen mäts och debiteras för varje enskilt hushåll i ett flerfamiljshus. Idén med IMD är att om varje hushåll betalar för sin egen energianvändning, kommer den totala energianvändningen i byggnaden att minska, vilket leder till minskad energiförbrukning i byggnaderna (J. Terés-Zubiaga, 2018). IMD bör dock endast installeras i byggnader där det är tekniskt genomförbart och kostnadseffektivt (European Union, 2012). Även när detta är fallet kan fastighetsägaren vidta andra energieffektiviseringsåtgärder för att undvika att implementera IMD. Energieffektiviseringsåtgärderna måste vara tillräckligt betydande för att flytta byggnaden till en energiklass där IMD inte längre krävs (Boverket, 2024). En sådan åtgärd, som nämndes under intervjun, är att installera en värmepump i fastigheten, eftersom detta minskar byggnadens primärenergital. Att undvika kravet på att installera IMD kan således vara ett incitament för fastighetsägare att implementera samoptimering i sina byggnader.

Ett annat scenario som kan vara relevant i framtiden är det faktum att fastighetsägare blir alltmer medvetna om miljöpåverkan från sina fastigheter. Intervjupersonen såg att många fastighetsägare också blev medvetna om att de kunde bidra till att minska miljöpåverkan från hela energisystemet genom att minska sin energianvändning under effekttoppar. Detta framkom även under workshopen, där fastighetsägarna uttryckte ett intresse för att få större insikt i och medvetenhet om hur fjärrvärmebolagen planerar att driva sin produktion. Ett exempel som nämndes var att de skulle vara intresserade av att veta om en oljepanna behöver startas för att klara av vissa individuella effekttoppar. Fastighetsägarna uttryckte att de i sådana situationer skulle vara intresserade av

att omdirigera sin användning och därmed minska sitt bidrag till effekttopparna. I framtiden kan detta vara ett tillräckligt incitament för att besluta sig för att investera i lösningar för samoptimering. Intervjupersonen och workshopdeltagarna ansåg dock inte att dessa incitament var tillräckligt betydande för att agera på i dagsläget, särskilt eftersom de nuvarande prismodellerna för fjärrvärme oftast inte är baserade på marginalkostnader för värmeproduktion. Istället ansåg de att andra energieffektiviseringsåtgärder var mer effektiva och lättare att implementera i sina fastigheter för att minska belastningen under effekttoppar.

Enligt intervjupersonen är ett annat scenario där fastighetsägare kan vilja installera värmepumpar i en fastighet när en privat fastighetsägare vill kontrollera och äga sitt eget uppvärmningssystem. Även om fjärrvärme kan vara en tekniskt enklare lösning för en fastighetsägare i termer av underhåll och optimering, måste värmepumpen hanteras av fastighetsägaren själv. Detta innebär att fastighetsägaren i större utsträckning kan kontrollera värmeproduktionen och energiförsörjningen i byggnaden. Detta kräver dock att fastighetsägaren har ett visst intresse för och kunskap om den teknik som är installerad i fastigheten. Enligt intervjupersonens erfarenhet är fastighetsägare som har ett stort intresse för teknik också engagerade i att minimera energikostnaderna i sina fastigheter. Detta innebär att denna typ av fastighetsägare kan vara mer benägna att investera i lösningar som minskar deras energikostnader, såsom samoptimering. Vidare, om elpriserna skulle sjunka i framtiden, skulle denna grupp av fastighetsägare också vara mer benägen att installera värmepumpar i sina fastigheter och samoptimera mellan fjärrvärme och el baserat på energipriset varje timme.

3.2 TIDIGARE ERFARENHETER AV SAMOPTIMERING

Workshopen deltog av företag, både från energi- och fastighetssektorerna, med olika erfarenhetsnivåer inom samoptimering. Dock var alla företag som deltog i workshopen intresserade av att lära sig mer om samoptimering och av att höra hur andra energi- och fastighetsbolag tänker kring ämnet.

Energibolagens erfarenheter av samoptimering var blandade. Vissa företag hade redan testat och implementerat samoptimering i sina nätverk, medan andra ansåg att de fortfarande befann sig i de tidiga stadierna av denna typ av projekt. Dock ansåg alla energibolag att detta var en mycket relevant och viktig fråga, och att samoptimering är något de ser som både en viktig och nödvändig del av framtidens energisystem.

Energibolagen uttryckte att de har ett ökande intresse av att arbeta mer aktivt med samoptimering. En anledning till detta är att de ser ett ökat intresse bland fastighetsbolag att kombinera värmepumpar med fjärrvärme för att hantera effekttoppar som värmepumparnas värmeproduktion inte kan täcka själva. I dessa situationer är det inte fördelaktigt för energibolagen att endast sälja effekt under de mest ansträngda timmarna, eftersom det kommer att vara en förlustaffär för alla inblandade. Energibolagen vill hellre se lösningar där värmepumparna och fjärrvärmesystemet ses som gemensamma tillgångar i systemet. Dessa bör också optimeras som en helhet, oavsett om de tillhör energibolaget eller andra aktörer,

såsom fastighetsägare. En annan aspekt är att fjärrvärmeföretagen vill ha en något längre användningstid för de lösningar som byggs, och inte bara under effektopparna. Om detta kan uppnås blir affären mer lönsam, eftersom det finns större ekonomisk potential att uppnå om kostnaderna kan spridas över ett större antal driftstimmar.

Många företag anser dock att det finns en svårighet i att de affärsmodeller som för närvarande finns inte är tillräckliga för att täcka denna typ av samoptimering. Detta innebär att det inte finns några direkta incitament för energibolag eller fastighetsbolag att ingå den typ av avtal som krävs för att uppnå samoptimering.

Energibolagen som deltog i workshoppen upplevde att det kan vara svårt att få kontakt med fastighetsägare i deras system som är intresserade av samoptimering som koncept. På samma sätt kände fastighetsbolagen att det kunde vara svårt att närma sig energibolagen för att diskutera den här typen av lösningar. Båda parter uppgav att detta till stor del berodde på historiska relationer och förutfattade meningar från både energibolag och fastighetsbolag gällande användningen av värmepumpar. Energibolagen kände att det tidigare funnits en viss typ av misstro mot lokala lösningar i nätverket, men att företagen nu börjar bli mer mottagliga för att implementera denna typ av lösning. De anser dock att de skulle vilja ha mer av denna typ av dialog, och att de vill fortsätta vara "de som man vänder sig till" för uppvärmningslösningar i framtiden. Fastighetsbolagen känner att de också har ändrat sin inställning och ser nu ett stort värde i att sitta vid samma bord i gemensamma dialoger med energibolagen. De har även börjat erbjuda energibolagen möjligheten att delta i olika pilotstudier inom samoptimering, och förhoppningen är att fler energibolag ska vara villiga och öppna för denna typ av dialog i framtiden.

Fastighetsbolaget som deltog i intervjuundersökningen hade inte implementerat samoptimering i någon större utsträckning i sina fastigheter. När intervjun genomfördes (hösten 2023) hade företaget nyligen installerat en frånluftsvärmepump (FVP) i en av sina fastigheter. Fastigheten var fortfarande ansluten till fjärrvärmesystemet och tanken var att samoptimera användningen av värmepumpen och fjärrvärmesystemet. Anledningen till att installera värmepumpen var att minska fastighetens primärenergital. Vid tidpunkten för intervjun hade dock värmepumpen precis tagits i drift. Detta innebär att det ännu inte fanns några tydliga resultat av hur värmepumpen hade påverkat primärenergitalet.

Fastighetsbolaget som deltog i intervjuundersökningen planerade för närvarande inte att investera i ytterligare samoptimeringsprojekt. Det fanns två huvudskäl bakom deras resonemang. Det första var att företaget nyligen hade genomfört en potentialstudie för implementering av samoptimering med hjälp av värmepumpar i sina fastigheter. Studien visade att det, på grund av den kraftiga ökningen av elpriserna, inte skulle vara lönsamt att investera i samoptimeringsprojekt i deras fastigheter. Fastighetsbolaget hade istället övervägt att fasa ut så mycket elbaserad uppvärmning som möjligt för att minska risken för ökade uppvärmningskostnader på lång sikt. Av samma anledning försökte de också undvika att införa nya värmekällor som är beroende av el så långt det var möjligt. De försökte endast använda denna typ av uppvärmning när det inte fanns några andra alternativ, till exempel när fjärrvärme inte var tillgängligt av olika skäl. Dock såg

intervjupersonen att det kunde finnas andra fall där samoptimering skulle kunna och borde övervägas. Detta gällde särskilt de fall där en värmepump redan var installerad i en fastighet. I dessa fall kan de ökade elpriserna göra det lönsamt att investera i en kombinerad lösning med fjärrvärme och värmepump. Intervjupersonens erfarenhet var att det främst var privata fastighetsägare som hade installerat värmepumpar i sina byggnader, och att privata fastighetsägare kunde vara den huvudsakliga målgruppen för denna typ av samoptimeringslösningar.

Den andra anledningen till att fastighetsbolaget för närvarande inte såg samoptimering som en lönsam lösning var att de flesta av deras byggnader var anslutna till fjärrvärmesystemet i kommunen. Energibolaget i kommunen hade inte en prismodell som gynnade samoptimering mellan fjärrvärme och värmepumpar, eftersom de inte hade en pristariff baserad på timpriser. Detta innebar att det inte fanns några ekonomiska incitament för fastighetsbolaget att genomföra samoptimering i sina fastigheter. Intervjupersonen nämnde att det fortfarande skulle kunna vara lönsamt för dem att genomföra samoptimering, även om ingen timprisbaserad modell var tillgänglig. Dock skulle fjärrvärmepriserna behöva öka avsevärt för att de skulle överväga att konvertera från fjärrvärme till ett elbaserat uppvärmningsalternativ, antingen helt eller delvis.

Förutom att fastighetsägaren inte hade incitament att implementera samoptimeringslösningar, nämnde intervjupersonen också att energibolaget i kommunen hade vidtagit andra åtgärder för att hantera effekttopparna i sitt fjärrvärmesystem. Bland annat hade företaget nyligen investerat i ny produktionskapacitet och en ackumulator. Detta gjorde det möjligt för dem att hantera effekttopparna utan att behöva investera i kundrelaterade flexibilitetslösningar, såsom samoptimering. Därför fanns det inga incitament, ur energibolagets perspektiv i denna specifika kommun, att införa nya prismodeller som uppmuntrar samoptimering i de fastigheter som är anslutna till deras system.

3.3 NACKDELAR FRÅN SAMOPTIMERING FRÅN FASTIGHETSÄGARENS PERSPEKTIV

I intervjuundersökningen framgick det tydligt att intervjupersonen såg fördelar med att implementera samoptimering, om de ekonomiska incitamenten fanns på plats och var tillräckligt stora för att agera på. Dock såg fastighetsbolaget också några nackdelar med denna typ av lösning. Den första var att två värmekällor i en fastighet kräver en stor ekonomisk investering. Lösningen kommer också att ta upp mer fysisk plats, vilket kan vara ett hinder i vissa fastigheter. Systemet blir dessutom allt mer komplext när mer än en värmekälla används för uppvärmning av byggnaden. Själva samoptimeringen är en komplex utmaning, och fastighetsägaren såg behovet av automatiserad optimering av värmesystemet baserat på prisnivåerna för el respektive fjärrvärme. Fokus för en fastighetsägare är byggnaden och dess boende, vilket innebär att de inte vill lägga för mycket tid och ansträngning på själva värmesystemet.

3.4 FRAMGÅNGSFAKTORER FÖR SAMOPTIMERING

Under workshopen identifierades fyra framgångsfaktorer för samoptimering: organisatoriska faktorer, tekniska faktorer, affärsfaktorer och juridiska eller administrativa faktorer. Nedan följer en sammanfattning av dessa fyra faktorer och vad energibolag och fastighetsbolag bör tänka på vid implementering av samoptimering i en fastighet.

3.4.1 Organisatoriska faktorer

En bra och nära samverkan mellan energibolag och fastighetsbolag är en given organisatorisk faktor för att lyckas med samoptimering. Några aspekter av framgångsrikt samarbete som nämndes under workshopen var tidig dialog och transparens. Dialogen bör baseras på en tidig gemensam förståelse för vad som ska uppnås i projektet. Det är också viktigt att båda parter enas om att sätta ett realistiskt mål och inse att det inte kommer vara möjligt att uppnå 100 % exakthet från början. I projektet som presenterades under workshopen (Fallstudie 2 i denna rapport) uppnåddes cirka 80 % noggrannhet i samoptimeringen. Båda parter ansåg att detta var enligt det mål de satt tillsammans. Det innebär också att båda parter hade ett intresse av att lära sig mycket under projektets gång, för att förbättra noggrannheten i samoptimeringen. Genom att arbeta aktivt med detta kunde de tillsammans identifiera vad som hade gått fel och varför, i de fall där optimeringen inte var helt korrekt. Detta krävde dock en nära och kontinuerlig dialog, något som både energibolag och fastighetsbolag uttryckte att de önskar i denna typ av projekt. De uttryckte också att de ser fram emot att komma igång med detta, inte bara när det gäller samoptimering.

Ett samarbete baserat på transparens syftar främst till att våga vara öppen om de ekonomiska aspekterna av samoptimering. Detta innebär att det är viktigt för både energibolag och fastighetsbolag att våga visa de siffror som olika beräkningar och beslut baseras på. Ett exempel är att båda parter tidigt bör visa sina marginalpriser för varandra för att skapa en gemensam förståelse för hur kostnaderna bör och kan se ut, så att alla lämnar samarbetet nöjda. Deltagarna uttryckte också att det är viktigt att vara transparent om hur de olika delarna av energi- och byggnadssystemen fungerar tekniskt. Vilken typ av utrustning är installerad var, hur är systemet anslutet och hur styrs det? Om företagen sätter sig ner i ett tidigt skede och diskuterar detta, är det mer sannolikt att samarbetet blir framgångsrikt.

En annan viktig aspekt när det gäller samarbete och avtal är att våga avgränsa och börja med en enklare modell, för att kunna starta samoptimeringsprojektet på ett snabbt och enkelt sätt. En av deltagarna uttryckte att *"... Det är viktigt att inte fastna för mycket i diskussioner om miljövärden, prestanda och så vidare i början. Om man fastnar i det kan det bli svårt att gå vidare med projektet. Det är bättre att börja med en enkel modell med mycket praktiskt arbete i början för att se hur man kan optimera systemet mot det övergripande målet. Vi vill trots allt skapa ett system som är anslutet och där man kan kapa de dyra, för båda sidor, effektopparna. Det är då vi kan nå en win-win-situation!"*

Andra faktorer som är viktiga på den organisatoriska nivån är vem som faktiskt är ansvarig för att sprida kunskap och information om samoptimering. Deltagarna var överens om att det främst är energibolagen som har ansvaret för att sprida information om detta. "... Energibolaget har mer information om hur systemet fungerar och vilka fördelar det ger, så det är viktigt att energibolaget tar ansvar för informationen! Det kan vara svårt med olika typer av byggnader som har olika typer av krav och utmaningar, men det betyder att vi måste se till att vi ger olika, och rätt, information till olika typer av kunder."

3.4.2 Tekniska faktorer

För att samoptimering överhuvudtaget ska fungera är det viktigt att en rad tekniska faktorer finns på plats. En (kanske självklar) grundläggande faktor är att styrsystemet som är installerat i fastigheten som ska samoptimeras måste vara utformat för att ta emot styrsignaler om när värmepumpen eller fjärrvärmens ska användas. Alla fastighetsbolag som deltog i workshopen uttryckte att de arbetar mycket med digitalisering och vill kunna fatta mer datadrivna beslut i framtiden. Detta innebär att de system som de nyligen installerat i sina byggnader var redo för denna typ av styrning.

Workshopen avslöjade också att deltagarna tror att den här typen av projekt kan lyckas både i befintliga och nya byggnader. Fallstudien som presenterades under workshopen involverade en befintlig byggnad, där fastighetsägaren förutseende nog designade ett system för 10 år sedan som var redo för denna typ av samoptimering. Detta innebär att det, som fastighetsägare, är viktigt att inte låsa sig vid nuvarande lösningar. En deltagare i workshopen uttryckte att man måste "... anta att nya förutsättningar kan tillkomma, arbeta med dem och använda dem! Vi kan inte tro att vi vet allt idag!". Detta innebär också att, för att lyckas med samoptimering, är det en stor fördel om energibolag och fastighetsbolag kan sätta sig ner och diskutera de tekniska aspekterna av en ny fastighet i ett tidigt skede och därmed säkerställa att rätt förutsättningar finns på plats. På så sätt kan parterna också arbeta tillsammans för att sänka returtemperaturerna i nätverket. Höga returtemperaturer kan bli mycket kostsamma för båda parter i slutändan.

Det är också viktigt att komma ihåg att det finns olika förutsättningar i fjärrvärmesystemen, både för energibolag och fastighetsbolag. En viktig faktor i det fall som presenterades under workshopen var att fjärrvärmebolaget hade ett kraftvärmeverk (CHP) som en del av sin produktionsmix. Detta förstärkte den ekonomiska kalkylen för samoptimeringsfallet avsevärt. Om kraftvärmeverk inte ingår i systemet är samoptimering fortfarande möjlig, men de ekonomiska incitamenten förändras och minskar något.

3.4.3 Affärsmässiga faktorer

Det finns många affärsfaktorer som spelar en roll för framgången i ett samoptimeringsprojekt. Den viktigaste faktorn är hur fjärrvärme prissätts. Under workshopen diskuterades olika versioner av hur prismodellen skulle kunna se ut. I den fallstudie som presenterades under workshopen användes timpriser baserade på marginalkostnader. Det inkluderade också en fast kostnad baserad på effektförbrukningen i fastigheten för att täcka energibolagets grundkostnader.

Både energibolaget och fastighetsbolaget som var involverade i studien såg dock att den kombinerade kostnaden, med timpriser och en fast kostnad, ledde till lägre totala kostnader för fastighetsbolaget när samoptimering användes. Innan projektet startade gjordes också beräkningar som visade besparingspotentialen med den nya prismodellen. Detta gjorde att både energibolag och fastighetsbolag kände sig säkra på att gå vidare med projektet och att prismodellen skulle fungera. Detta innebär dock att energibolagen måste förstå och reda ut de interna faktorerna inom sitt företag. De behöver veta vilka deras marginalkostnader är för att kunna skapa de dynamiska prismodeller som diskuterades i exempelstudien. "... Energibolagen måste göra sin interna hemläxa!", som en av deltagarna uttryckte det under workshopen.

En annan viktig faktor i affärsupplägget för samoptimering är utformningen av fastighetsbolagets elavtal. Fastighetsbolag som har fasta elavtal med låga elpriser har färre ekonomiska incitament för samoptimering. Dock uttryckte de företag som deltog i workshopen, och som för närvarande har fasta elavtal, oro för vad som kommer att hända när deras nuvarande elavtal löper ut. "... Elen kommer att bli mycket dyrare på lång sikt, så det kommer att bli viktigt att kunna samoptimera för att minska kostnaderna. Du kan använda konceptet som en försäkring mot höga elpriser, eftersom det lönar sig när elpriserna är höga och fjärrvärmepreiserna är låga samtidigt." Detta visar återigen att samoptimering kräver en annan typ av dynamisk prismodell för fjärrvärme än den klassiska fasta kostnaden. Utan detta kommer det att finnas få ekonomiska incitament för fastighetsbolag att engagera sig i samoptimering. "... Vi styr värmepumpen efter elpriset, och vi har beräknat när man når brytpunkten mellan fjärrvärmepriset och elpriset." Om energibolagen kan visa att de kan justera brytpunkten till fördel för användning av fjärrvärme, uttrycker fastighetsbolagen att de är villiga att använda samoptimering i sina fastigheter. "I grunden finns det ett visst antal kWh som ska produceras för varje fastighet, var den kommer ifrån spelar ingen roll. Det är slutpriset som är viktigt! Samoptimering kan definitivt vara intressant."

För att nå denna nivå av samarbete är det dock viktigt att både energibolag och fastighetsbolag är redo och villiga att visa sina priser och kostnader. På så sätt kan avtalet utformas tillsammans så att båda parter uppnår det de vill med samoptimering. Båda parter uttryckte att det då kan vara möjligt att skapa fjärrvärmetariffer som i framtiden ytterligare främjar denna typ av samarbete, särskilt när det blir allt viktigare att begränsa de dyra effektopparna. Ett problem som fastighetsbolagen ser är dock att det inte finns några långsiktiga regler för hur fjärrvärmetariffer förändras över tid. Detta innebär att de beräkningar som görs bara håller i några år, och då blir långsiktiga dialoger allt viktigare. Fastighetsbolagen uttryckte ett intresse av att få en större förståelse för fjärrvärmebolagets tankar och förutsättningar kring dessa ämnen genom mer öppna och närmare dialoger.

3.4.4 Juridiska och avtalsmässiga faktorer

Under workshopen diskuterades även vissa juridiska och administrativa faktorer som bör beaktas vid samarbete kring samoptimering. En av faktorerna är rapporteringen av olika miljövärden, såsom koldioxidekvivalenter. Om samoptimering fungerar som avsett, är det troligt att topplastpannor kommer att köras färre timmar under året. Rapporteringen av denna typ av data görs dock på årsbasis, och information om vad som har bidragit till att en panna har kunnat köras mindre sparas inte för närvarande. För att visa på samoptimeringens påverkan på antalet driftstimmar för topplastpannor krävs två huvudsakliga förändringar. Den första är att emissionsfaktorer och rapportering bör vara tillgängliga på timbasis snarare än på årsbasis. Den andra är att information om timvisa emissionsfaktorer bör kopplas till information om när samoptimering har använts och i vilka byggnader. På detta sätt skulle både energibolag och fastighetsbolag kunna bygga upp en tydlig rapportering av de uppnådda miljövinster i samoptimeringsprojekten.

En ytterligare faktor som togs upp under workshopen är att det för närvarande främst finns direktiv (på EU- och nationell nivå) som kräver att byggnader görs energieffektiva till en viss nivå. Det finns för närvarande få initiativ, direktiv eller lagstiftning som skapar incitament för att kapa effekttoppar. Detta innebär också att det finns få initiativ som uppmuntrar samoptimering, vilket främst leder till att effekttoppar täcks av olika typer av energikällor vid olika tidpunkter för att minska effektbehovet. För närvarande utvecklas många lösningar för att spara energi, medan det har lagts mindre fokus på att skapa lösningar för att kapa effekttoppar. Deltagarna i workshopen var dock överens om att denna typ av projekt behövs för att spara miljö, energi och pengar.

4 Utförande

Det är tydligt från resultaten som presenterades i kapitel 3 att det verkligen finns ett ömsesidigt intresse för samoptimeringslösningar. Deltagarna i workshopen och intervjustudien är överens om att huvudprincipen för samoptimering är logisk och har ett värde. Den stora obesvarade frågan är dock: Vad är det värdet i praktiken? För att besvara den frågan innehåller detta projekt två fallstudier där samoptimering analyseras och testas under verkliga förhållanden. Båda byggnaderna som ingår i projektet är belägna inom Mölndal Energis nätverk.

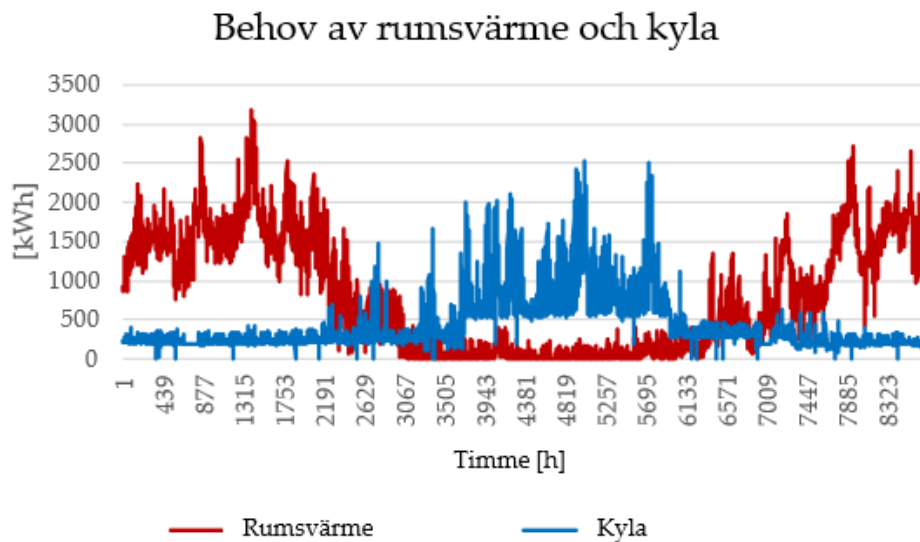
4.1 FALLSTUDIER

4.1.1 Fallstudie 1: Fastighetsägare med borrhål, solceller, tvåvägs värmepumpar

Den första fallstudien var ett vårdbyggnadskomplex där fastighetsägaren avsåg att bygga om byggnadernas energisystem för att möta nuvarande och framtida energibehov. De främsta drivkrafterna bakom denna förändring var att minska energikostnaderna och byggnadernas koldioxidutsläpp. Byggnaderna förses för närvarande med enbart fjärrvärme och fjärrkyla, men i den nya planerade designen skulle dessa till stor del ersättas av bergvärmepumpar med tvåvägsfunktion och borrhålslagring, hybrida solcells-PV-T-paneler som skulle förse värmepumparna med elektricitet samt värma upp borrhålen och byggnaden. Se (Kraftringen, 2024) för ett liknande fall.

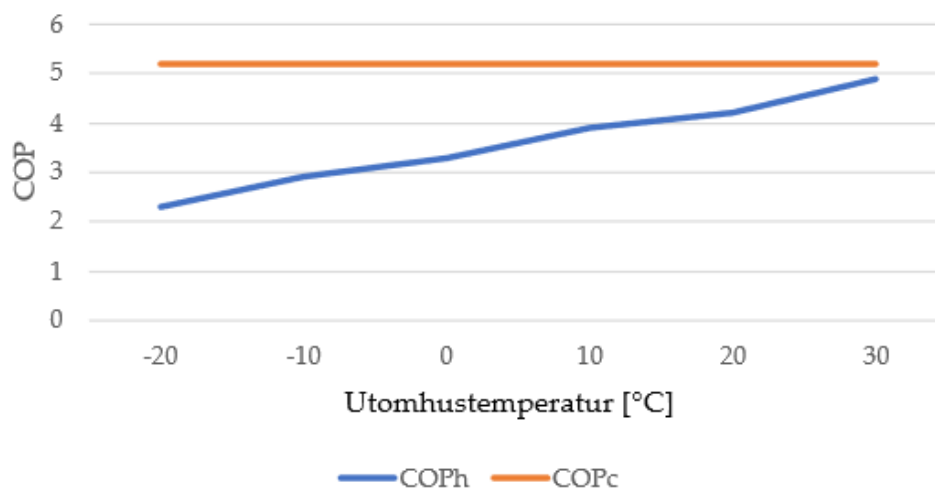
För fallstudie 1 var huvudmålet att utvärdera de ekonomiska och miljömässiga fördelarna med att driva byggnaden samoptimerat. Detta gjordes genom att simulera hur energi skulle användas i byggnaden under ett simuleringsår, givet olika energipriser och styrningsstrategier.

Först samlades byggnadens totala timvisa uppvärmnings- och kylbehov från år 2018 in. Under 2018 hade byggnaden fungerat nära vad som skulle betraktas som ett normalår och därför hade data från 2018 använts för att utforma de nya energilösningar som skulle implementeras. Av den anledningen användes samma data för att utvärdera samoptimeringen i detta projekt. Det timvisa uppvärmnings- och kylbehovet från 2018 kan ses i Figur 2. Den uppvärmda ytan (A-temp) för byggnaden är 106 600 m². Det totala årliga värmebehovet (endast rumsvärme) var 6,9 GWh och det totala kylbehovet var 3,9 GWh år 2018, där den högsta värmeeffekten var cirka 3200 kW och den högsta kyleffekten cirka 2500 kW.



Figur 2 Uppvärmnings- och kylbehov för byggnaden år 2018. Dessa behov användes för att utvärdera samoptimering genom att simulera driften av värmepumpar och fjärrenergi för olika energipriser och styrningsstrategier.

Den tvåvägs värmepump som fastighetsägaren avsåg att installera för att täcka behoven som visas i Figur 2 hade en kapacitet på 1000 kW med en COP_h som varierade linjärt från 2,3 (vid -20°C) till 4,9 (vid 30°C) beroende på utomhustemperaturen och en konstant COP_c eller EER (Energy Efficiency Ratio) på 5,2. Värmepumpens COP kan ses i Figur 3. Det bör noteras att dessa värden är preliminära och används främst för projekteringsfasen av projektet av Bengt Dahlgren AB.



Figur 3 Värmepumpens COP i värme- och kylaläge

Simulering och utvärdering av samoptimering

Givet de uppvärmnings- och kylbehov samt tekniska specifikationer för värmepumpen ovan, skapades en algoritm som, baserat på priset på el, fjärrvärme och fjärrkyla, valde det billigaste uppvärmnings-/kylalternativet varje timme under året. Algoritmen testade tre alternativ för varje timme:

1. **Ingen värmepump:** Fjärrvärme och fjärrkyla täcker hela byggnadens uppvärmnings- och kylbehov.
2. **Värmepump i värmeläge:** Värmepumpen tillhandahåller så mycket värme som möjligt samt motsvarande frikyla som biprodukt.
 - a. Om det finns kvarvarande behov täcker fjärrvärme och/eller fjärrkyla resten.
 - b. Om värmepumpen ger ett överskott av kyla, lagras överskottet i borrhålet (genom att kyla ner borrhålet).
3. **Värmepump i kylningsläge:** Värmepumpen tillhandahåller så mycket kyla som möjligt samt motsvarande värmebiprodukt.
 - a. Om det finns kvarvarande behov täcker fjärrvärme och/eller fjärrkyla resten.
 - b. Om värmepumpen ger ett överskott av värme från biprodukten, lagras överskottet i borrhålet (genom att värma borrhålet).

Genom att välja det billigaste alternativet varje timme under året optimerades byggnadens uppvärmnings- och kylkostnader, vilket resulterade i en lägre total årlig energikostnad. Algoritmen optimerade endast baserat på driftskostnader, medan fasta kostnader, främst effekttariffer för både el och fjärrvärme/-kyla, lades till den totala kostnaden efter att algoritmen hade optimerat för lägsta driftskostnader.

I verkligheten behöver värmepumpen köras i minst 12 timmar, främst för att undvika stora fluktuationer i flöden och temperaturer. Denna begränsning innebär att potentialen för styrningen blir begränsad eftersom inte alla elprisvariationer under en 24-timmarsperiod kan utnyttjas. Värmepumpens kompressorer är frekvensstyrda, och även om kompressorslitage är en bidragande faktor till att vilja ha långa cykler, är det inte lika betydande jämfört med effekterna på styrsystemet. För enkelhetens skull ignorerades detta i algoritmen. På samma sätt skulle värmepumpen behöva köras i minst 4 timmar i samma läge, vilket också ignorerades men beaktades vid slutsatserna från resultaten.

Scenarion

Flera scenarier inkluderades i studien, och tre av dem kan ses i detalj i Tabell 1 nedan. Det första scenariot var referensfallet där ingen värmepump hade installerats, vilket är hur byggnaden för närvarande drivs, med fjärrvärme och fjärrkyla som täcker allt uppvärmnings- och kylbehov. Det andra scenariot var om värmepumpen installerades men inga specifika åtgärder vidtogs för att optimera uppvärmnings- och kylkostnaderna, vilket innebär att den nuvarande standardprismodellen användes för el, fjärrvärme och fjärrkyla, och att värmepumpen kördes varje timme under året. I scenario 3 optimerades driften av värmepumpen för att ge lägsta totalkostnad per timme. Dessutom användes marginalpriser för fjärrvärme och fjärrkyla samt timvisa spotpriser för el. Notera att i scenario 3, utöver energikostnader för fjärrvärme/-kyla och spotpriser för el, läggs flödes-, nät- och effektkostnader till för att ge den totala energikostnaden. Dessa priser och kostnader beaktas dock inte i optimeringen utan läggs till den optimerade energianvändningen i efterhand.

Tabell 1 Tre scenarier i detalj i fallstudie 1

	Drift	Energipriser
Scenario 1	Ingen VP: <ul style="list-style-type: none"> FJV & FJK täcker alla behov 	FJV: Dagens prismodell FJK: Dagens prismodell EL: N/A
Scenario 2	VP körs maximalt: <ul style="list-style-type: none"> VP körs så ofta som möjligt FJV & FJK täcker resten 	FJV: Dagens prismodell FJK: Dagens prismodell EL: Dagens prismodell (Fast avtal 2024)
Scenario 3	VP körs optimalt: <ul style="list-style-type: none"> VP används när marginalpriser för FJV och FJK är högre än elpriser FJV och FJK används när det är billigare än VP och/eller om VP:s kapacitet inte räcker 	FJV: Marginalpris FJK: Marginalpris EL: Spotpriser

Totalt simulerades 9 olika scenarier, som presenteras i Tabell 2, där varje scenario representerar en kombination av olika energipriser, prissättningslogiker och drift av värmepumpen.

Tabell 2 Simulerade scenarier för Fallstudie 1, se följande avsnitt för förklaringar av värmepumpens drift och de energipriser som används.

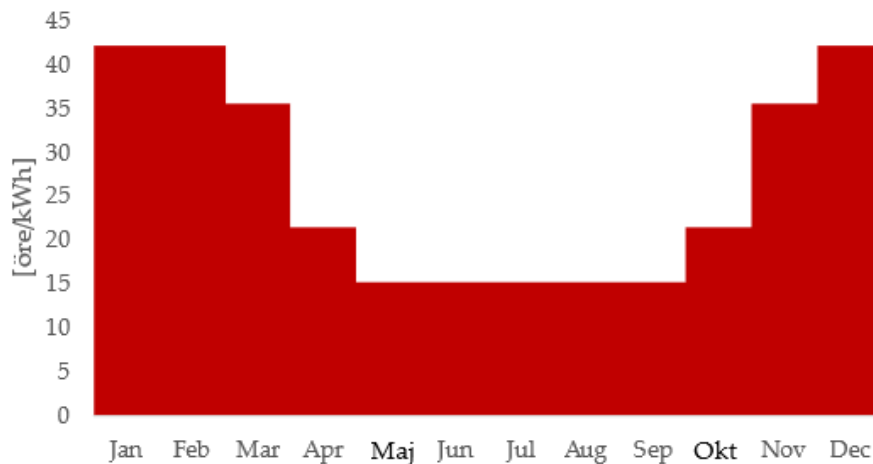
	Drift VP	Priser FJV, FJK	Elpriser
Scenario 1	Ingen värmepump installerad	Dagens prismodell	Ej relevant
Scenario 2	Värmepump körs alla timmar	Dagens prismodell	Fast avtal 2024
Scenario 3	Värmepumpen optimeras	Marginalpriser	Spotpriser
Scenario 4	Värmepump körs alla timmar	Dagens prismodell	Spotpriser
Scenario 5	Värmepump körs alla timmar	Dagens prismodell	Fast avtal 2025
Scenario 6	Värmepump körs alla timmar	Dagens prismodell	Högt fast avtal
Scenario 7	Värmepumpen optimeras	Marginalpriser	Fast avtal 2024
Scenario 8	Värmepumpen optimeras	Marginalpriser	Fast avtal 2025
Scenario 9	Värmepumpen optimeras	Marginalpriser	Högt fast avtal

Fjärrvärmepriser

Mölndal Energis nuvarande prismodell för fjärrvärme består (i princip) av:

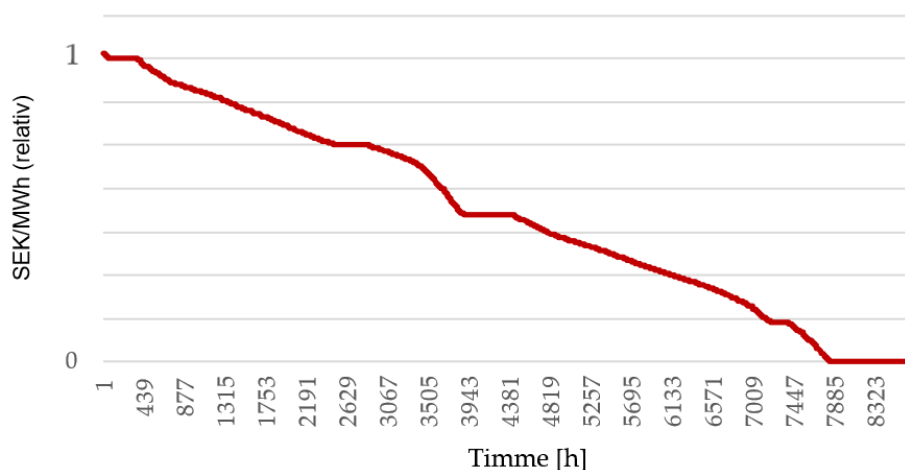
- Energipris, SEK/kWh
- Effektpris, SEK/kW
- Flödespris, SEK/m³

Figur 4 Energipriser för fjärrvärme i Mölndal 2023 visar energipriset för fjärrvärme i Mölndal år 2023, som användes som indata till algoritmen i de scenarier som inkluderade aktuella fjärrvärmepriser. Som figuren visar varierade energipriset säsongsmässigt, där det var högst från december till februari och lägst från maj till september.



Figur 4 Energipriser för fjärrvärme i Mölndal 2023

I de scenarier där marginalpriser för fjärrvärme användes, varierade fjärrvärmepriset timvis enligt Figur 5. Observera att på grund av sekretess visas y-axeln i Figur 5 endast som ett relativt värde, där 0 motsvarar 0 SEK/MWh och 1 motsvarar det högsta marginalpriset för fjärrvärme under ett år. Marginalpriset är konstruerat som kostnaden för att producera en ytterligare enhet energi (som fjärrvärme eller el) vid en given timme, baserat på rådande utbuds- och efterfrågeförhållanden i energisystemet. Marginalpriserna i detta projekt simulerades baserat på Mölndal Energis faktiska fjärrvärmeproduktion från september 2021 till september 2022 samt den uppskattade import-/exportkapaciteten till och från Göteborg under samma period. Den uppskattade importen/exporten kan ha stor inverkan på resultaten, eftersom det ofta kan ligga på marginalen och därmed styra marginalkostnaden för fjärrvärme.



Figur 5 Kostnadsvaraktighetskurva för marginalpriset på fjärrvärme i Mölndal under det simulerade året. Observera att y-axeln är uttryckt i relativa värden på grund av sekretess. De relativa värdena är baserade på marginalpriset, där 1 = det högsta beräknade marginalpriset under perioden och 0 = 0 SEK/MWh.,

Både fasta effektavgifter och flödesavgifter för fjärrvärme lades till i efterhand när driften av värmepumpen redan hade optimerats. Detta gjordes för alla scenarier, oavsett om dagens prismodell användes eller marginalpriser. Den fasta effektavgiften för fjärrvärmemodellen, kallad "nätavgift", baserades på den högsta dagliga uppmätta energiförbrukningen under månaden, där enhetspriset gradvis minskar när den uppmätta dagliga energiförbrukningen ökar. Nätavgifterna för 2023 i Mölndal kan ses i Tabell 3. Att inkludera dessa priser i optimeringen skulle ha ökat optimeringens komplexitet avsevärt och exkluderades därför. Genom att även exkludera effekt-/nätavgifter för el, jämnades spelplanen något mellan fjärrvärme/kylning och el. Dessutom genomfördes en kontrollberäkning efter att optimeringen hade körts för att utvärdera om samoptimeringen skulle ha påverkat fjärrvärme-/fjärrkyla- eller eltopparnas kostnader jämfört med scenario 1. Resultaten visade att topparna helt enkelt hade förskjutits i tid men hade ungefär samma magnitud, vilket innebär att förenklingen kan rättfärdigas.

Tabell 3 Nätpriser för fjärrvärme i Mölndal 2023

Högsta uppmätta dygnsförbrukning (kWh)		
Från	Till	kr/kWh, månad
0	299	4,66
...
16 800	19 199	2,99
19 200	21 599	2,89
21 600	23 999	2,8
24 000	inf.	2,69

Flödesavgiften i prismodellen var ett konstant pris på 3,99 SEK/m³ levererad fjärrvärme till byggnaden. En ytterligare kostnad lades också till driftskostnaden för värmepumpen, nämligen underhållskostnad. Den antogs vara 20 SEK/MWh, värme.

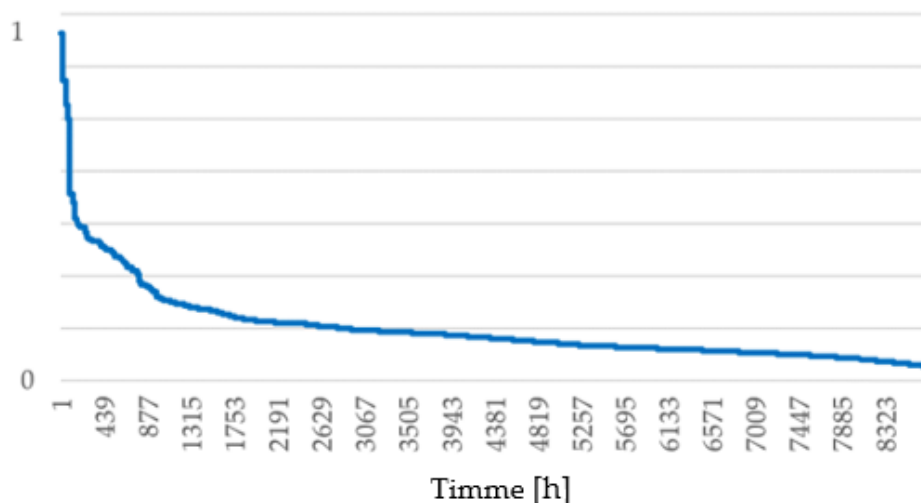
Fjärrkylpriser

Mölndal Energis nuvarande prismodell för fjärrkyla består (i princip) av:

- Energipris, SEK/kWh
- Effektpris, SEK/kW
- Flödespris, SEK/m³

På samma sätt som för fjärrvärmepriser inkluderade algoritmen endast energikostnaderna vid optimering av driften, medan fasta avgifter och flödesavgifter beräknades och lades till den totala kostnaden i efterhand. Fjärrkylans energipris i Mölndal år 2023, som användes som indata till modellen i alla scenarier som inkluderade dagens prismodell för fjärrkyla, var ett fast värde

på 25 öre/kWh. I de scenarier där marginalpriser inkluderades, användes istället marginalpriset för fjärrkyla. Kostnadsvaraktighetskurvan för marginalpriset för fjärrkyla kan ses i Figur 6, där värdena varierade timvis under året. Precis som för fjärrvärme uttrycks marginalpriserna i Figur 6 som relativa värden på grund av sekretess. Dessa värden baserades på prognoser från Mölndal Energi, baserade på uppskattad framtida efterfrågan och produktion av fjärrkyla i systemet.



Figur 6 Marginalpris för fjärrkyla i Mölndal under det simulerade året. Observera att y-axeln är uttryckt i relativa värden på grund av sekretess.

En ytterligare effektavgift lades till enligt den nuvarande prismodellen för fjärrkylakunder i Mölndal: 616 SEK/kW baserat på den högsta dagliga uppmätta effekten. Den högsta dagliga uppmätta effekten tar hänsyn till byggnadens totala kylbehov, exklusive behov från kylmaskiner. Flödesavgiften, som också lades till efter optimeringen, var 2 SEK/m³ levererad fjärrkyla till byggnaden.

Elpriser

Byggnaden i fallstudie 1 hade redan ett fast elprisavtal där elhandelsdelen av priset ökar något under de kommande åren. Elprismodellen består av en kombination av olika elnätsavgifter och en enskild elhandelsavgift.

Elnätsavgifterna, baserade på om de är rörliga eller fasta kostnader, kan ses i Tabell 4, och de olika elhandelsavgifterna beroende på scenarier kan ses i Tabell 5. Värdet för spotpriset i Tabell 5 inkluderades inte direkt i beräkningarna, men finns kvar i tabellen som en jämförelse med kostnaderna i de andra scenarierna för att ge en bättre förståelse av prisindatan till scenarierna.

Både anslutningsavgiften och effektavgiften inkluderades i beräkningarna som fasta kostnader, men de var inte en del av optimeringsalgoritmen. De lades istället till i efterhand, på samma sätt som de fasta fjärrvärme- och fjärrkylekostnaderna som nämnts tidigare. Utöver dessa två fasta värden antogs en inflation på 10 % samt en säkerhetsmarginal på 10 % för att säkerställa att de fasta kostnaderna inte underskattades i beräkningarna.

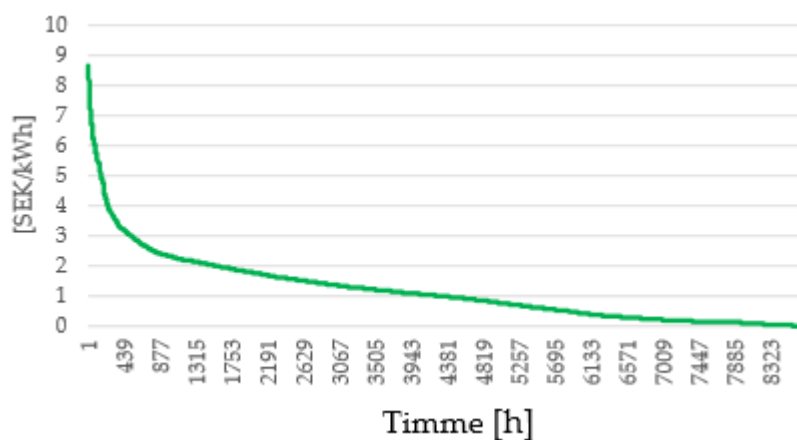
Tabell 4 Elnätsavgifter och övriga elpriser

Elnät		
Rörliga priser		
- Elcertifikat	3	öre/kWh
- Bra Miljöval	10,5	öre/kWh
- SvK bas	8,78	öre/kWh
- SvK effektreserv	3,3	öre/kWh
- Energiskatt	379	öre/kWh
- Elnät	58	öre/kWh
Fasta priser		
- Anslutningsavgift	11 500	SEK/år
- Effektagift	264	SEK/kW/år

Tabell 5 Elhandelspriser i olika scenarion

Elhandel	
Scenario	öre/kWh
Fast 2024	45
Fast 2025	68
Fast högt elpris	225
Spotpris (medel)	130

I de scenarier där spotpriser för el användes istället för de fasta elpriserna, användes spotpriserna från september 2021 till september 2022. Dessa var de senaste 12 månaderna av tillgängliga spotpriser när beräkningarna utfördes. Detta antagande representerar en felkälla vid generalisering av resultaten i denna rapport. De framtida elpriserna vid tidpunkten för skrivandet (2024) är avsevärt lägre än de priser som användes i simuleringarna, och potentialen för lastskiftning av värmelast ligger troligen i den lägre delen av de scenarier som presenteras i resultaten. Varaktighetskurvan för spotpriserna kan ses i Figur 7 nedan. Som figuren visar varierade spotpriserna kraftigt under dessa 12 månader, med en stor skillnad mellan de högsta och lägsta perioderna på året, nästan 9 SEK/kWh skillnad.



Figur 7 Kostnadsvaraktighetskurva för spotpriser på el under det simulerade året

Utsläpp

De tre huvudsakliga scenarierna som presenteras i Tabell 1 inkluderades i beräkningarna, där dock scenario 2, som antar att värmepumpen har installerats med nuvarande prismodeller, används som referens för resultaten. Resultaten kommer därför att presenteras i termer av hur mycket koldioxidutsläppen har ökat eller minskat jämfört med referensfallet. Alla utsläppsberäkningar utförs med antagandet att både värmepump och fjärrvärme/-kyla redan har installerats, det vill säga att endast utsläpp från drift inkluderas.

För att bedöma den globala påverkan av växthusgasutsläpp eller koldioxidekvivalenter från en produkt eller tjänst kan två huvudsakliga tillvägagångssätt tillämpas. Det ena är bokföringsanalys, som tittar på de utsläpp som orsakas av en aktivitet i efterhand, medan konsekvensanalys fokuserar på resultatet av en förändring. I konsekvensanalys undersöks systemövergripande effekter av att modifiera något, såsom valet eller användningen av teknologier. Dessa effekter kan variera beroende på den tidsram som studeras och kategoriseras generellt som antingen kortsiktiga eller långsiktiga. Eftersom energilösningar i byggnader vanligtvis har en lång livslängd, påverkar de energisystemet över både kort och lång tid. Därför görs ofta en åtskillnad mellan drift- och byggmarginal. Driftmarginalen bedömer hur befintliga energiteknologier justerar sin produktion baserat på energibehovet av en lösning, medan byggmarginalen undersöker de teknologier som byggs eller tas ur drift över tid på grund av dessa förändringar (Hagberg, Gode, Ekvall, Adolfsson, & Martinsson, 2017). Bokföringsanalys utvärderar å andra sidan den miljöpåverkan genom att kartlägga resursanvändning och utsläpp kopplade till en specifik enhet eller funktion. Denna metod ger en miljöprofil som visar den totala påverkan som enheten är ansvarig för, men tar inte hänsyn till i vilken ordning anläggningar drivs eller vid vilken tidpunkt utsläppen sker, utan förlitar sig istället på årliga medelvärden. Även om bokföringsdata ofta används för att bedöma byggnadslösningar kan det leda till felaktiga slutsatser (Hagberg, Gode, Ekvall, Adolfsson, & Martinsson, 2017).

När driften av värmepumpen ändras, förändras också utsläppen av koldioxidekvivalenter från uppvärmningen av byggnaden. Eftersom detta innebär en modifiering av ett befintligt system bör de resulterande utsläppen bedömas med en konsekvensanalys. Detta kräver att marginalutsläppen från värme- och elproduktion, som ändras på grund av variationer i energianvändningen, beräknas för att ge en tydligare bild av potentiella utsläppsminskningar. För byggnader som använder fjärrvärme tillämpas ofta Tidstegen-metoden för att uppskatta dessa förändringar (Hagberg, Gode, Ekvall, Adolfsson, & Martinsson, 2017; Gode, Nilsson, Ottosson, & Sidvall, 2020). Denna studie använder också Tidstegen och inkluderar emissionsfaktorer för fjärrvärmeproduktion och den marginala elmixen från det nordeuropeiska systemet. En liknande metod som är allmänt använd i energisektorn är Klimatbokslutet (Profu, 2020), som bedömer klimatpåverkan genom att överväga vad som skulle hända om ett fjärrvärmeföretag inte existerade på en viss plats. Medan Klimatbokslutet jämför fjärrvärmeanvändning med alternativa uppvärmningsmetoder för att mäta både direkta och indirekta climateffekter, betonar Tidstegen hur specifika förändringar på fastighetsnivå

påverkar energiförbrukningen, vilket är anledningen till att den är den föredragna metoden i denna studie.

Sammanfattningsvis bör läsaren notera att Tidstegen är ett verktyg som använder konsekvensanalysmetodik för att bedöma klimatpåverkan av olika alternativ. Det ska inte förväxlas med andra rapporteringsmetoder såsom Scope 1, 2, 3 enligt GHG Protocol Corporate Standard och de europeiska hållbarhetsstandarderna, som använder bokföringsmetoder (Deloitte, 2022).

Marginalutsläpp från el i Mölndal

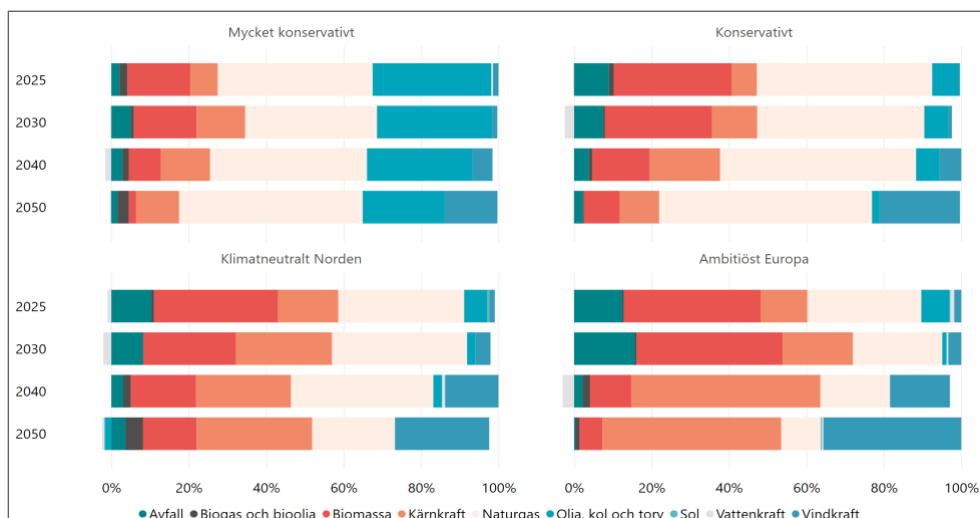
Ur ett konsekvensperspektiv innebär minskad elanvändning i en byggnad i Sverige att marginalproduktionen av el i det nordeuropeiska elsystemet kommer att minska på kort sikt eftersom elförbrukningen minskar. Om elanvändningen i en värmepump ersätts av lokalt genererad fjärrvärme, blir konsekvensen att utsläppen av koldioxidekvivalenter minskar med nettoskillnaden mellan utsläppen för fjärrvärme och marginalmixen i det nordeuropeiska elsystemet under den timme då förändringen ägde rum. Tidstegen har ett långsiktigt perspektiv och tar hänsyn till hur utsläppen från elproduktion i det nordeuropeiska elsystemet kan utvecklas i framtiden. I Tidstegen ges emissionsfaktorer för fyra olika möjliga scenarier som beror på teknologierna i elsystemet. Scenarierna är "Mycket konservativt", "Konservativt", "Klimatneutrala Norden" och "Ambitiöst Europa". Dessa scenarier representerar ett spann av möjliga framtida utfall av utvecklingen av elsystemet som ett resultat av politiska åtgärder, subventioner, teknologi och den allmänna opinionen kring klimatåtgärder.

Dessa scenarier definieras av IVL Svenska Miljöinstitutet och beskrivs i (IVL Svenska Miljöinstitutet, 2022). En sammanfattning av scenarierna visas i Tabell 6.

Tabell 6 Huvudantaganden för framtida marginala utsläppsscenarier för det nordeuropeiska elsystemet

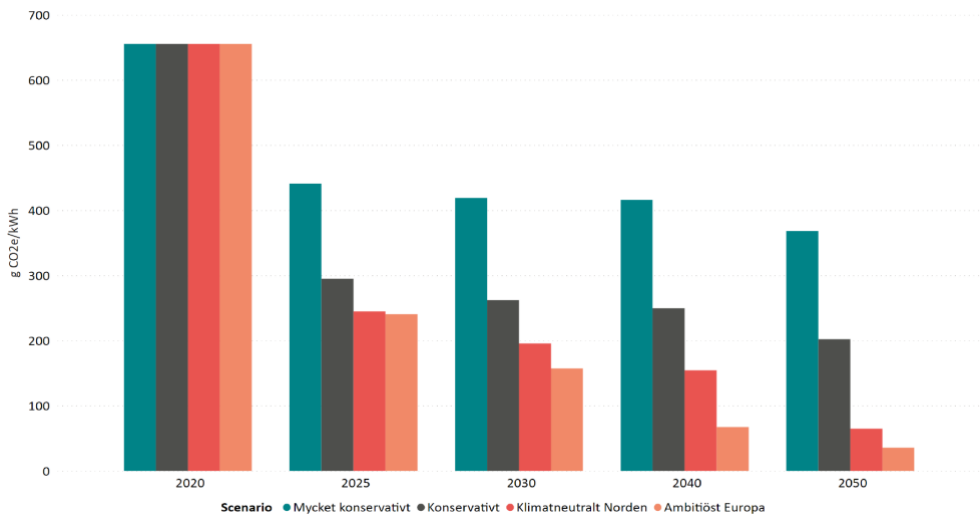
	Scenario			
	Mycket konservativt	Konservativa	Klimatneutrala Norden	Ambitiöst Europa
	<i>Generellt sett råder konservativa åsikter kring klimatåtgärder</i>	<i>Oförändrade policys</i>	<i>Norden uppnår mål om klimatneutralitet</i>	<i>Hela Europa gör policyförändringar för klimatet</i>
Pris på CO ₂	Konstant, 25 €/ton	Konstant, 50 €/ton	Ökande, 100 €/ton 2040	Kraftigt ökande. 140 €/ton 2040
Generell acceptans för sol- och vindkraft	Låg	Låg	Medel	Medel
Industriell elektrifiering/efterfrågan på elektrobränslen	Låg	Låg	Medel	Hög
Nordiska elsystemet CO ₂ -neutralt 2050	Nej	Nej	Ja	Ja

Givet dessa huvudsakliga antaganden, körs en simulering av energisystemet för det nordeuropeiska elsystemet, vilket ger följande sammanfattade marginalelproduktion i de olika scenarierna, Figur 8:



Figur 8 Marginal elproduktionsmix 2025–2050 i respektive scenario. Figuren visar den relativa fördelningen av teknologier under ett år. Negativa värden indikerar att nedreglering sker på marginalen under vissa timmar under året.

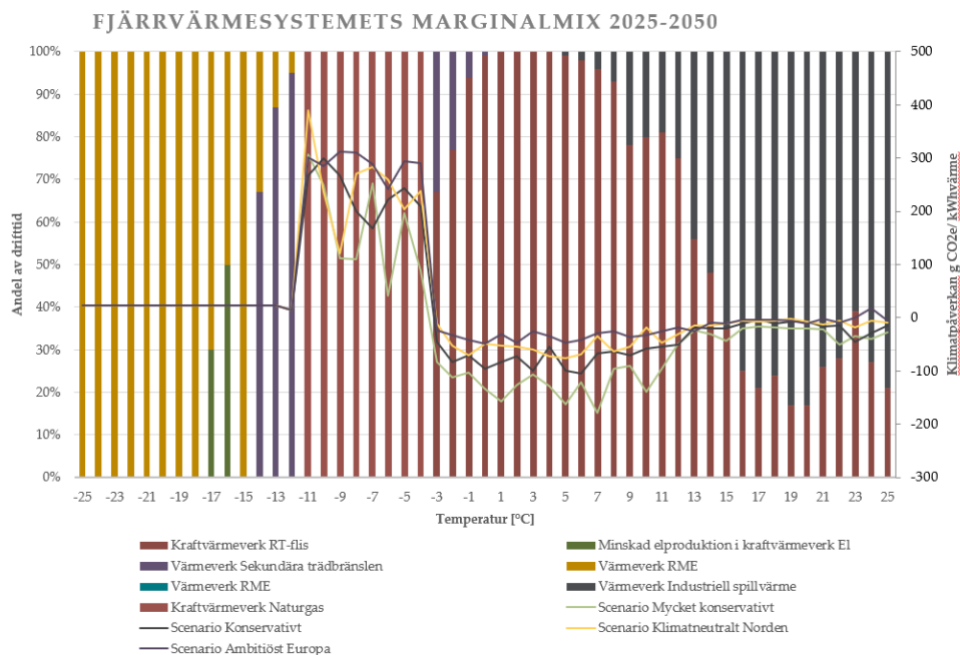
Dessa marginala produktionsmixer ger i sin tur följande marginala CO₂e-utsläpp per år, Figur 9. Observera att Figur 9 visar de aggregerade, genomsnittliga emissionsfaktorerna per år för enkelhetens och läsbarhetens skull. De marginala emissionsfaktorerna varierar timvis, och det är dessa som används i de efterföljande beräkningarna och analyserna.



Figur 9 Genomsnittlig emissionsfaktor per kWh elektricitet (g CO₂e/kWh) per år och scenario

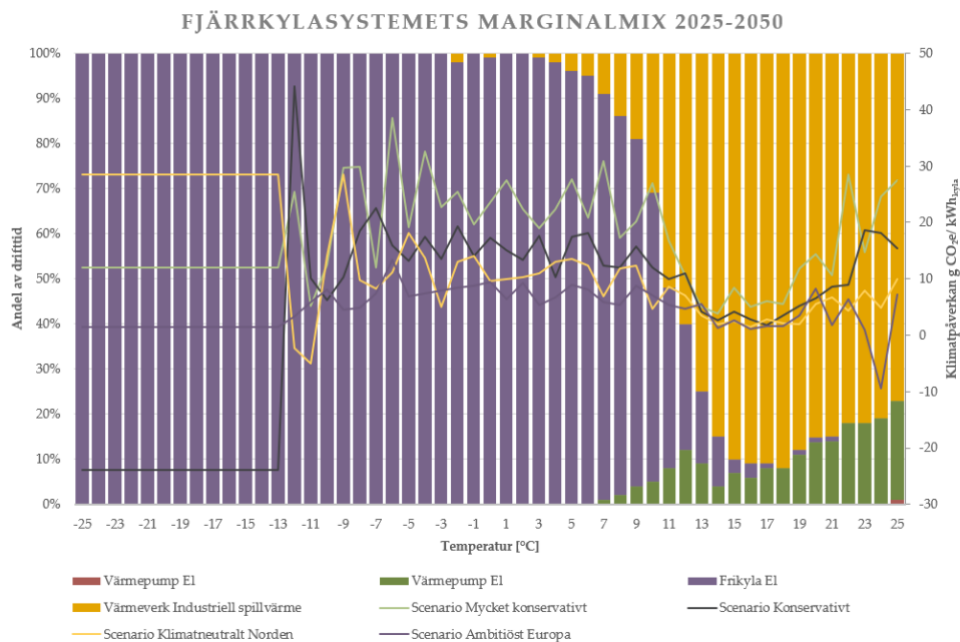
Marginalutsläpp från fjärrvärme i Mölndal

För att utvärdera den konsekvensmässiga förändringen i CO₂-utsläpp från samoptimerad drift av fallstudie 1, behövs de marginala utsläppen från fjärrvärme och elektricitet i Mölndal. För fjärrvärme i Mölndal presenteras beräknade emissionsfaktorer per utomhustemperatur och olika elscenarion i Figur 10.



Figur 10 Marginalmix och emissionsfaktorer för fjärrvärme i Mölndal 2025–2050

Marginalutsläpp från fjärrkyla i Mölndal



Figur 11 Marginalmix och emissionsfaktorer för fjärrkyla i Mölndal 2025–2050

4.1.2 Fallstudie 2: Fastighetsägare med borrhål och värmepumpar

Den andra fallstudien omfattade ett antal kommersiella byggnader där fastighetsägaren redan hade investerat i borrhål och värmepump, men ville undersöka fördelen med att optimera värmepumpen istället för att köra den varje timme under året. Värmepumpen i denna fallstudie var dock en en-vägs värmepump som endast tillhandahåller värme. Fallstudie 2 är även en del av EU-forskningsprojektet "Resonance!"

Byggnadskomplexet inkluderar kontor, hotell och bostadsbyggnader som alla huvudsakligen försörjs av bergvärmepumpar med fjärrvärme som backup och för tappvarmvatten. Vissa byggnader kräver höga temperaturer i radiatorerna och försörjs därför enbart med fjärrvärme. Det totala värmebehovet för alla byggnader är cirka 10 GWh. Den installerade värmepumpkapaciteten är totalt cirka 1 500 kW värme och den årliga fjärrvärmeanvändningen är omkring 3 GWh, försörd av en total anslutning på 2,6 MW. Teoretiskt sett kan värmepumparna stängas av helt och ersättas av fjärrvärme, vilket innebär att den samoptimerbara värmeeffekten är 1 500 kW och cirka 500 kW el, givet att värmepumparnas genomsnittliga COP är runt 3.

Byggnaden i fallstudie 2 använder ett sofistikerat styrsystem som redan före projektets start var förberett för att hantera och använda timvisa elpriser som indata för styrning av värmepumpen. Genom att lägga till några PLC-moduler och några timmars konfiguration kunde styrsystemet även modifieras för att ta emot och hantera timvisa fjärrvärmepriser. Med detta på plats fick styrsystemet en styringsstrategi, liknande den algoritm som utvecklades för fallstudie 1, som angav att:

- När en prognos över elpriser och fjärrvärmepriser för de kommande 24 timmarna ges, välj vilken värmekälla som ska användas för att täcka värmebehovet givet:
 - Beräknad/uppskattad COP för värmepumparna under de kommande 24 timmarna
 - Antalet stopp och start ska hållas till ett minimum (olika metoder användes för att undvika stora flödesvariationer och slitage på kompressorerna)
 - Värmekostnaden ska minimeras under 24-timmarsperioden

Energibolaget, Mölndal Energi, behövde också viss teknisk utveckling. För det första är en automatiserad produktionsplanering absolut nödvändig för att generera marginalpriser på fjärrvärme. Energisystem och marknader som NordPool och handel mellan värmenätverk skapar komplexa relationer som inte kan hanteras med manuella produktionsoptimeringsmetoder.

¹ Co-funded by the European Union's Horizon Europe Framework Programme for Research and Innovation under Grant Agreement No 101096200

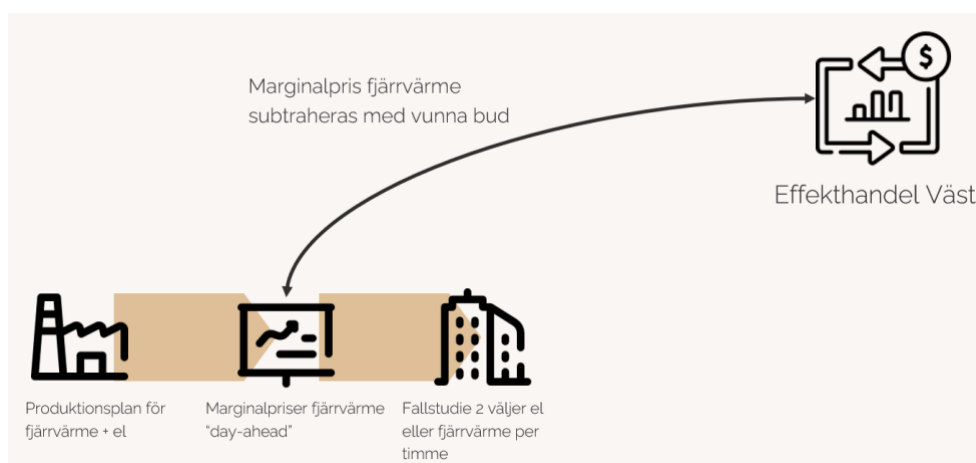
Lyckligtvis har Mölndal Energi ett sådant automatiserat produktionsplaneringsverktyg implementerat, som producerar timvisa produktionsplaner för alla värmeanläggningar. Från dessa planer kunde marginalkostnaden för fjärrvärme tas fram. En liten premie lades till denna kostnad för att ge ett marginalpris på fjärrvärme. Marginalpriset publicerades och gjordes dagligen tillgängligt för fastighetsägaren, som svarade med en driftsplan. Figur 8 visar principen för samoptimeringsupplägget.



Figur 12 Principen för samoptimering i fallstudie 2

Lokal effektmarknad

Förutom att vara en aktör på Nordpool-marknaderna som köpare och säljare av el, huvudsakligen i syfte att sälja el producerad från kraftvärme (KVV), är Mölndal Energi också en aktör på den lokala effektmarknaden i västra Sverige, Effekthandel Väst (Mölndal Energi AB, 2024). Mölndal Energi agerar som en aggregator (Flexibility Service Provider) och samlar flera ellaster, såsom pumpar, elpannor och i synnerhet värmepumparna i fallstudie 2, till elektriska belastningar som kan minskas eller ökas vid vissa tidpunkter för ett pris som bestäms på handelsplattformen Effekthandel Väst. Se Figur 13 och jämför med Figur 12.



Figur 13 Princip för att inkludera Effekthandel Väst i fallstudie 2

Affärsmodell fallstudie 2

I fallstudie 2 kom Mölndal Energi och fastighetsägaren överens om att använda en prismodell baserad på marginalpriser för fjärrvärme per timme, som även inkluderade de bud som skedde på handelsplattformen Effekthandel Väst. Mölndal Energi lade bud på Effekthandel Väst varje måndag och fredag, vilka var giltiga i en vecka. För att Mölndal Energi skulle kunna lägga ett bud skulle följande kriterier vara uppfyllda:

1. Budstorleken ska vara 470 kW. Detta motsvarar den maximala effekten för värmepumpen när utomhustemperaturen är 2 grader eller lägre.
2. Buden ska läggas för minst tre på varandra följande timmar.
3. Ersättningen från Effekthandel Väst ska vara minst 2 500 SEK/MWh.
4. Det genomsnittliga marginalpriset för fjärrvärme får inte överstiga ett specifikt pris (inte visat på grund av sekretess) när ersättningen för deltagande på elmarknaden inkluderas i priset.

När ett bud vunnits, kommunicerade Mölndal Energi detta till fastighetsägaren. Mölndal Energi inkluderade den timvisa ersättningen för deltagande i Effekthandel Väst i marginalpriserna för fjärrvärme och tog fram en lista över timvisa priser. Denna lista skickades till fastighetsägaren en dag innan uppvärmningsdagen. Det var sedan upp till fastighetsägaren att bestämma vilka timmar de ville använda fjärrvärme och vilka timmar de ville använda el. Deras beslut registrerades i samma fil och skickades tillbaka till energibolaget. Fastighetsägaren var därefter ansvarig för att uppfylla buden på Effekthandel Väst genom att säkerställa att värmepumpen och fjärrvärmens användes under de överenskomna timmarna.

För att följa upp elanvändningen skickade fastighetsägaren en lista över sin timvisa elförbrukning till Mölndal Energi. Mölndal Energi laddade upp denna information till Effekthandel Väst, vilket gjorde det möjligt att säkerställa att fastighetsägaren fullföljde de bud de hade kommit överens om. För att ett bud skulle anses vara uppfyllt, skulle den överenskomna effektminskningen ha uppfyllts till minst 80 %. Om fastighetsägaren inte kunde uppfylla budet som de accepterat under några timmar, skulle inga straffavgifter tas ut, men ersättningen för budet skulle dras in. Om de misslyckades med att uppfylla budet under flera timmar, skulle korrigerande åtgärder vidtas mot fastighetsägaren för att säkerställa att de kunde fortsätta delta på elmarknaden. Om det dock inträffade ett problem i byggnaden som gjorde det omöjligt för dem att uppfylla budet, skulle Effekthandel Väst informeras om att budet inte skulle genomföras.

Prismodell i fallstudie 2

Prismodellen som användes i fallstudie 2 bestod av följande komponenter:

1. **Energikomponent.** Marginalpriset för fjärrvärmeproduktionen under varje timme. Detta beräknas baserat på veckovisa uppdateringar av bränslepriser, driftskostnader för varje värmeproduktionsenhet, timvisa elpriser från NordPool och en tilläggsavgift för de timmar där

energiexporten från Mölndal Energis nät till Göteborgsnätet ökade/minskade på grund av förändringar i energiefterfrågan i Mölndal.

2. **Flödeskomponent.** En fast avgift för flödet som passerar genom fjärrvärmecentralen, SEK/m³, enligt standardprismodellen.
3. **Effektkomponent.** En fast månadsavgift baserad på den historiskt högsta effektspiken i byggnaden, enligt standardprismodellen. Om en ny högsta effektspik uppstår under värmelaststyrningen, bortses från denna effektspik. Denna logik tillämpas under testperioderna. Som en långsiktig lösning är hypotesen att en effektkomponent för värmelaststyrning bör utformas så att effektagiften för en byggnad som deltar i laststyrning sätts till 50 % av den behövda högsta effekten om endast fjärrvärme används för att värma byggnaden. Detta representerar en kompromiss mellan att energibolaget uppnår förutsägbara intäkter som kan täcka fasta kostnader och att fastighetsägaren får en ersättning för att delta i laststyrningen.
4. **Effekthandel Väst.** Ersättningar från deltagande och vunna bud på elmarknaden. Detta dras av från marginalpriset för fjärrvärmeproduktion och regleras på nästa månads faktura.

Om Mölndal Energi inte skickade en marginalprislista dagen innan, eller om fastighetsägaren inte accepterade marginalpriserna i tid, användes den vanliga prismodellen för fjärrvärme.

Fakturering i fallstudie 2

Energifaktureringsprocessen genomfördes av Mölndal Energi i slutet av varje månad. De beräknade skillnaden mellan energikomponenten i standardprismodellen och den prismodell som användes i fallstudie 2. Skillnaden för varje timme beräknades genom att multiplicera energianvändningen för motsvarande timme med den beräknade ekonomiska skillnaden, och den ekonomiska skillnaden lades sedan till som ett avdrag på nästa månads faktura.

5 Resultat

Både fallstudie 1 och 2 var tydligt överens om att det kan vara fördelaktigt att växla mellan värmepump och fjärrvärme/fjärrkyla när man försöker minimera uppvärmnings- och kylkostnaderna. Genom att göra detta kan man utnyttja låga kostnader i varje sektor av systemet, vilket är fördelaktigt både för fastighetsägaren som betalar för den inköpta energin och för hela systemet, eftersom dyrare och ofta mindre ren energi till viss del kan undvikas. I följande avsnitt kommer resultaten från fallstudierna att presenteras i mer detalj.

5.1 FALLSTUDIE 1

5.1.1 Energikostnader

Tabell 7 visar de totala energikostnaderna för fallstudie 1 i 9 olika scenarier, som representerar olika energipriser och drift av värmepumpen. Läsaren uppmanas att notera att de absoluta siffrorna i detta avsnitt är osäkra, och att det är *skillnaderna mellan scenarierna som är av störst betydelse*.

Tabell 7 Totala energikostnader för fallstudie 1 i olika scenarier för fjärrvärme, fjärrkyla och elpriser samt drift av värmepumpen

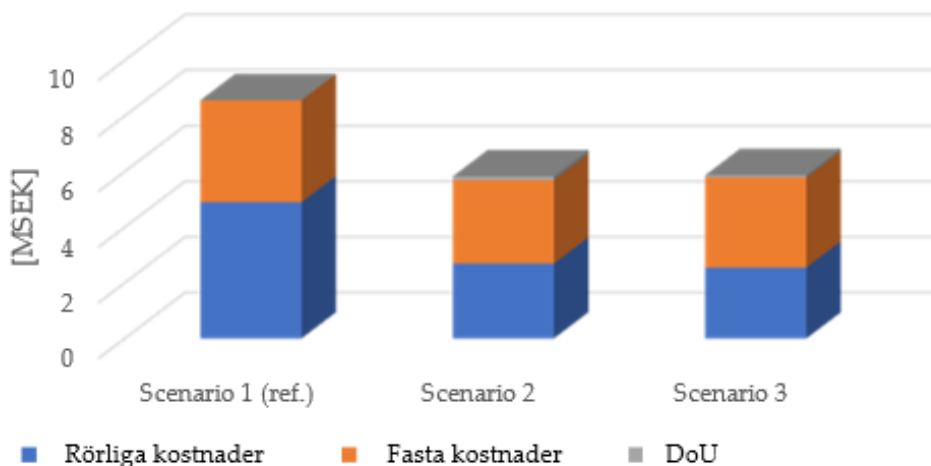
Beskrivning av scenarion				
	Priser FJV & FJK	Elpriser	Drift VP	Totalkostnad, fast och rörlig [MSEK/år]
Scenario 1 (ref.)	Dagens	2024 el	VP alltid av	8,564
Scenario 2	Dagens	2024 el	VP kör alltid	5,827
Scenario 3	Marginal	Spotpris	Optimal	5,871
Scenario 4	Dagens	Spotpris	VP kör alltid	6,327
Scenario 5	Dagens	2025 el	VP kör alltid	6,376
Scenario 6	Dagens	Hög fast el	VP kör alltid	9,013
Scenario 7	Marginal	2024 el	Optimal	5,691
Scenario 8	Marginal	2025 el	Optimal	6,089
Scenario 9	Marginal	Hög fast el	Optimal	7,460

Med nuvarande priser på både fjärrvärme och fjärrkyla samt el är det billigare att alltid köra värmepumpen än att inte använda den alls, jämför scenarierna 1 och 2. Detta är inte förvånande eftersom detta är det "business as usual"-fall som fastighetsägaren har utformat systemet för.

Scenario 4 representerar ett fall där fastighetsägaren har valt ett rörligt elpris, och energibolaget inte erbjuder några rörliga energipriser. Fastighetsägaren kör alltid värmepumpen, vilket är ett annat troligt "business as usual"-fall. Om man jämför detta scenario med scenario 3, där både energibolaget och fastighetsägaren har vidtagit åtgärder för att optimera för total systemeffektivitet, är skillnaden i totala kostnader mellan dessa två scenarier 450 kSEK/år, vilket kan ses som besparingspotentialen för fastighetsägaren när energibolaget erbjuder rörliga energipriser. Denna potential beror dock starkt på elpriserna. Detta kan ses genom att på liknande sätt jämföra scenario 2, 5 och 6 med scenario 3, där besparingspotentialen kan variera från -44 till 3142 kSEK/år.

Scenariot med lägst kostnad av alla är scenario 7, där värmepumpsdriften är optimerad, marginalpriser används för fjärrvärme och fjärrkyla, och de relativt låga fasta elpriserna för 2024 tillämpas.

Figur 14 visar resultaten för de första tre scenarierna i en graf där driftskostnader, fasta kostnader och underhållskostnader har separerats. Som figuren visar är underhållskostnaden för värmepumpen relativt låg jämfört med resten av kostnaderna och har liten påverkan på resultaten.

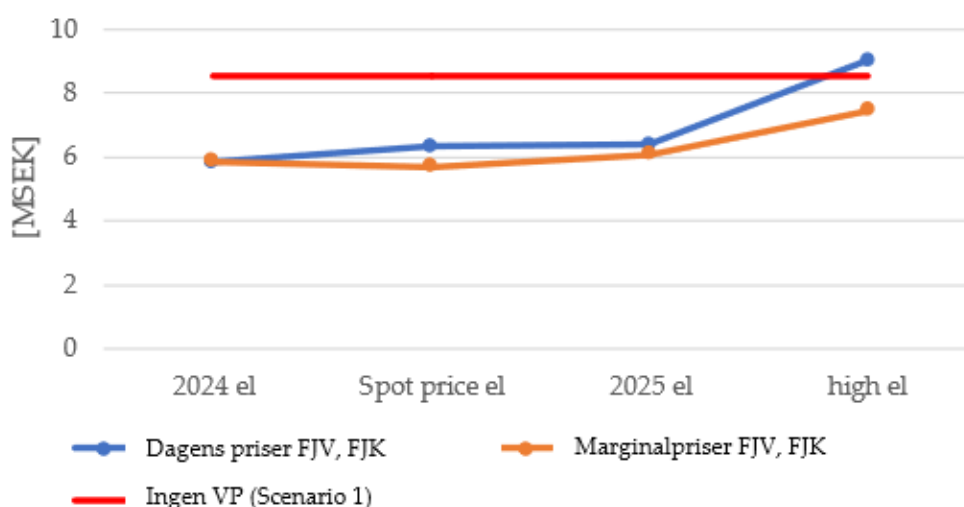


Figur 14 Totala årliga energikostnader för fallstudie 1 i tre scenarion

Tänk på att även om scenario 1 visar högre totala kostnader än de andra två scenarierna, har investeringskostnaden för värmepumpar och borrhål inte inkluderats, så det är inte möjligt att dra slutsatsen att det nödvändigtvis är billigare att investera i värmepumpar och minska mängden inköpt fjärrvärme och fjärrkyla. Skillnaden i årskostnad mellan scenario 1 och något av de andra två scenarierna skulle motsvara det belopp som kunde användas per år för att investera i en värmepump för att kostnaderna skulle gå jämnt upp. Om vi jämför scenario 1 och 2 kan vi se att den årliga kostnaden för värmepumpen behöver vara lägre än 2,69 MSEK för att investeringen ska anses vara lönsam. Om vi antar att

livslängden för värmepumpen är cirka 25 år, skulle den totala investeringskostnaden för värmepumpar och borrhål i detta fall kunna vara 67,15 MSEK.

Resultaten är dock starkt beroende av elpriser, vilket figur 15 visar. Den röda linjen är en referenslinje som visar resultaten för scenario 1, som representerar dagens situation där fjärrvärme och fjärrkyla täcker allt behov med dagens prismodell. Den blå linjen representerar alla de fyra scenarier där dagens prismodell användes för fjärrvärme och fjärrkyla med olika indata på elpriser. Den orange linjen visar hur resultaten skulle förändras för dessa fyra scenarier om dagens prismodeller för fjärrvärme och fjärrkyla skulle ändras till marginalpriser.

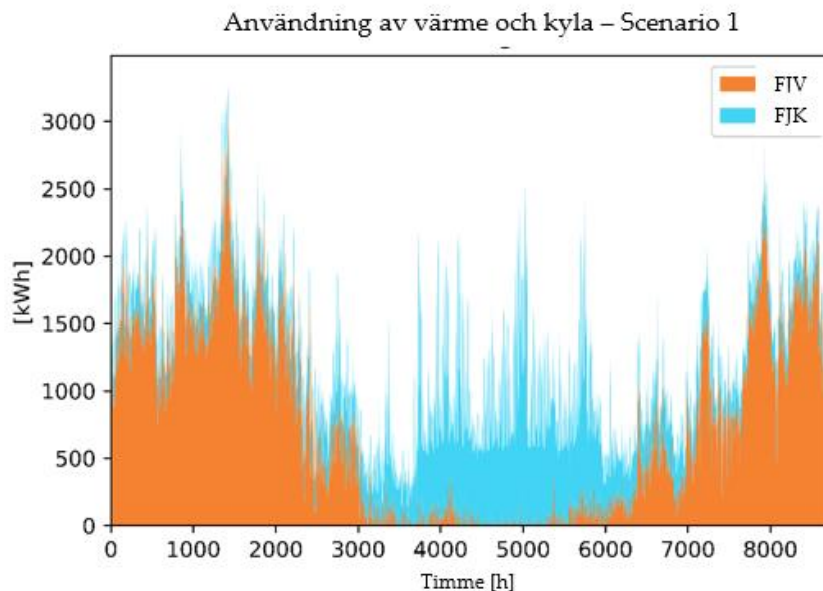


Figur 15 Totalkostnaden för alla scenarier som utfördes i studien, där elpriset har ändrats mellan scenarierna. Värmepump körs alla timmar med nuvarande priser och driften optimeras när vi har marginalkostnader. Den röda linjen representerar scenario 1 där ingen värmepump installerats.

Om vi hamnar i en situation med höga elpriser där byggnaden inte har ett lågt fast elavtal, ökar den årliga totala energikostnaden ganska snabbt. Om vi gör samma jämförelse som ovan men med scenariot där elpriserna är höga och vi har marginalkostnad på fjärrvärme och fjärrkyla, skulle den årliga investeringskostnaden för värmepumpen inte kunna överstiga 1,1 MSEK, vilket skulle motsvara en total investeringskostnad på 27,49 MSEK. Med nuvarande prismodeller för fjärrvärme och fjärrkyla och ett högt elprisavtal skulle det inte ens vara lönsamt att investera i en värmepump, eftersom den totala årliga energikostnaden skulle vara högre än att enbart köpa fjärrvärme och fjärrkyla.

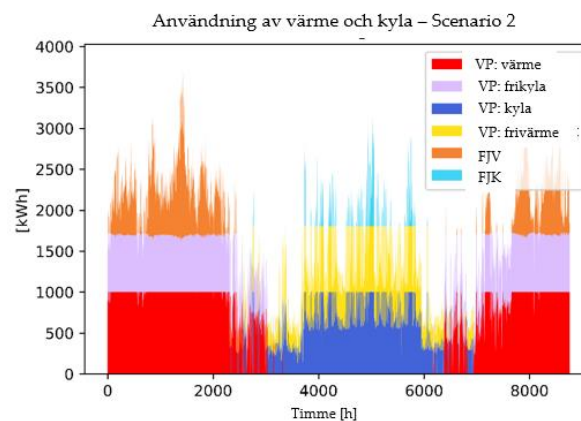
5.1.2 Användning av energi

Figur 16 visar hur uppvärmning och kylning skulle tillhandahållas byggnaden i scenario 1. Eftersom scenario 1 var när inga värmepumpar hade installerats, var de enda två alternativen här att köpa fjärrvärme och fjärrkyla för att täcka behoven.



Figur 16 Användning av värme och kyla i fallstudie 1, scenario 1 (ingen VP används)

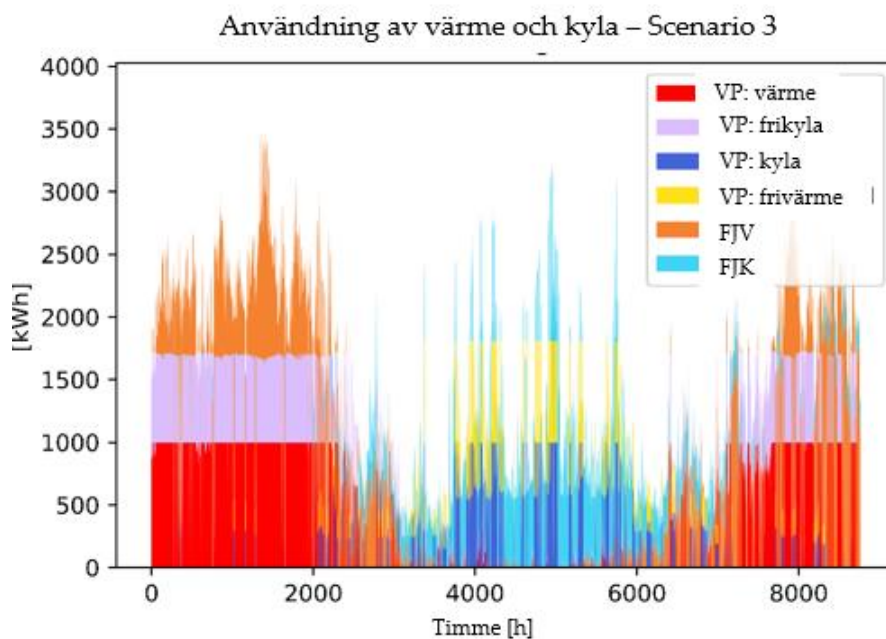
Figur 17 visar samma information men för scenario 2, där värmepumpar och borrhål hade installerats, men ingen insats gjordes för att optimera driften eller förändra prismodellerna. Figuren visar att värmepumparna generellt sett valde att arbeta i värmeläge under vintern och i kyläge under sommaren, trots att inga begränsningar inkluderades i algoritmen för att tvinga fram detta beteende. Under vintern täcktes det återstående värmebehovet med fjärrvärme, och under sommaren täcktes det återstående kylbehovet med fjärrkyla. Observera att figur 17 visar den genererade eller använda värmen eller kylan, oavsett efterfrågan. Under sommaren producerar kylmaskinen "gratis" värme som används för interna värmebehov och för att värma upp borrhålen (lagra värmen).



Figur 17 Användning av värme och kyla i fallstudie 1, scenario 2

Figur 18 visar hur uppvärmning och kylning tillhandahålls byggnaden i scenario 3, vilket var om värmepumparna skulle slås på och av varje timme beroende på om det var lönsamt eller inte jämfört med att bara köpa fjärrvärme/fjärrkyla utan några begränsningar för värmepumparna. Dessutom var alla priser dynamiska. I verkligheten, som nämnts i avsnitt 4.1.1, skulle värmepumparna behöva vara i samma tillstånd (på- eller avslagna) i minst 12 timmar för att förhindra obalanser i temperaturerna i byggnadens system, vilket gör detta optimala scenario något mer extremt än vad fallet skulle vara i praktiken. Detta innebär att den årliga totalkostnaden för att ha värmepumparna installerade troligen skulle öka i ett verkligt scenario. Den skulle dock aldrig kunna överstiga kostnaden för scenario 2, där värmepumparna är påslagna alla timmar på året.

På grund av perioder under året där värmepumpen är avstängd och fjärrvärme och fjärrkyla köps istället, kan det vara svårt att urskilja ett tydligt mönster i figur 18 om värmepumpen arbetar i värmeläge eller kyläge under sommar och vinter. Det finns också några få tillfällen då värmepumparna körs i kyläge under vintern och i värmeläge under sommaren, vilket kan förklaras av att priserna är dynamiska och därför varierar under året.



Figur 18 Användning av värme och kyla i fallstudie 1, scenario 3

5.1.3 Utsläpp

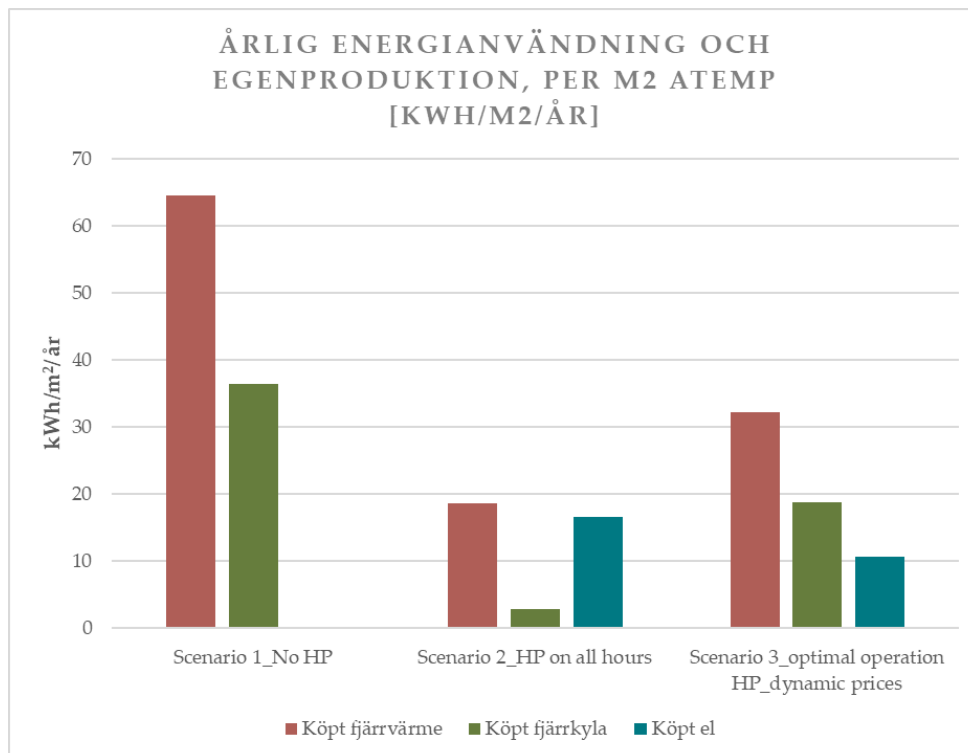
För att utvärdera effekten av samoptimering i fallstudie 1 användes Tidstegenmetoden och verktyget, se metodavsnittet 4.1.1 för en beskrivning av denna metod som är baserad på konsekvensanalys av livscykelbedömning. De faktorer som bidrar till utsläpp i fallstudie 1 är el, fjärrvärme och fjärrkyla. Därför beräknas och presenteras emissionsfaktorer för alla energityper i ett konsekvensperspektiv för analysperioden 2025–2050 här.

Energianvändning under ett typiskt framtida år i fallstudie 1

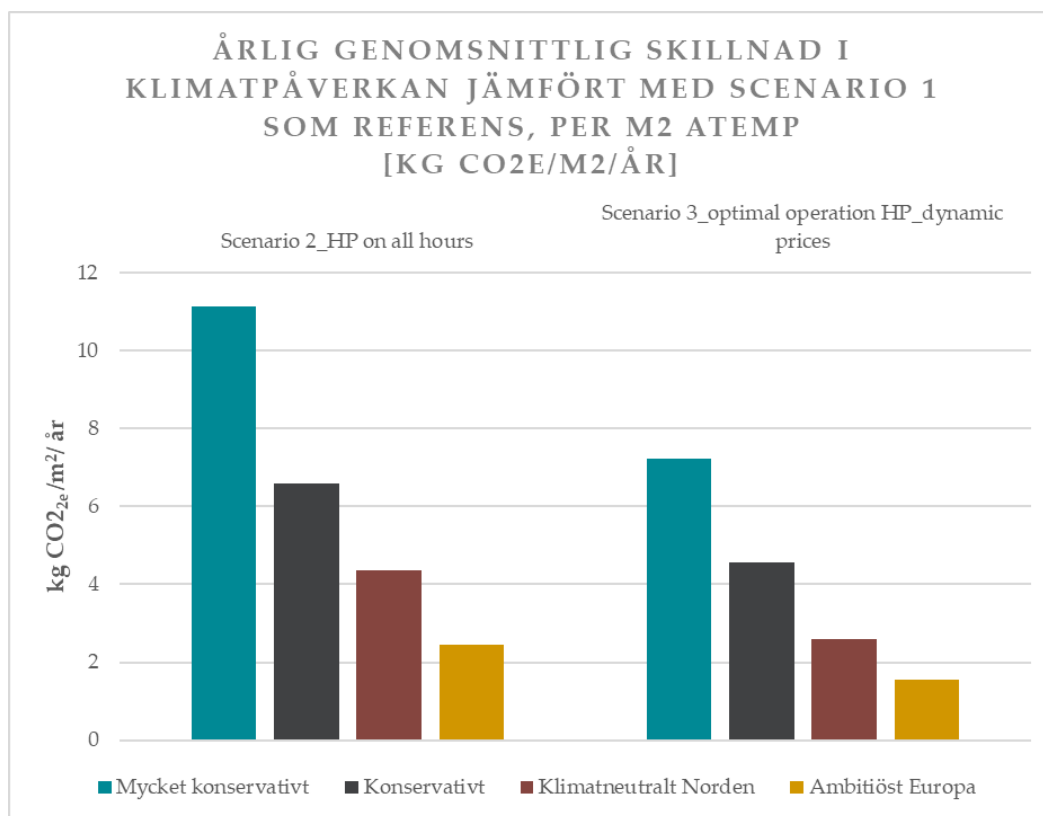
Förändrade utsläpp från tre driftlägena i fallstudie 1 beräknas och jämförs. De tre driftlägena är identiska med de som undersöktes i avsnitt 4.1.1, och för samma år (2018).

5.1.4 Resultat från Tidstegen

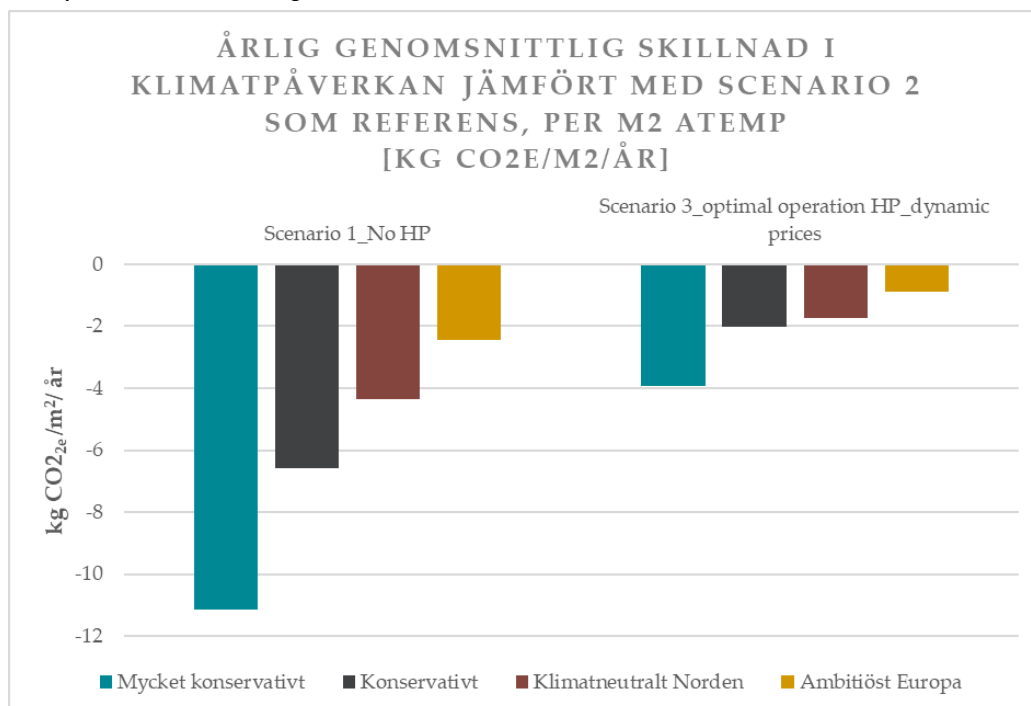
I Figur 19 visas energianvändningen i tre scenarion uttryckt som kWh/m²/år. I Figur 20 och Figur 21 visas resultaten från Tidsstegenanalysen för de tre olika driftlägena. Resultaten rapporteras som en förändring i miljöpåverkan jämfört med ett referensfall, och för alla fyra framtida elsituationer. I Figur 20 används scenario 1 som referens, medan i Figur 21 används scenario 2 som referens.



Figur 19 Energianvändning i de tre studerade scenarierna för utsläppsanalys. I scenario 1 installeras ingen värmepump alls. I scenario 2 installeras en värmepump som används så mycket som möjligt. I scenario 3 drivs värmepumpen optimalt med dynamiska priser för både el och fjärrenergi.



Figur 20 Diagram över förändrad klimatpåverkan under byggnadens driftfas med de olika energilösningarna. Scenario 1 används som referens i analysen. Staplarna avser den årliga genomsnittliga skillnaden i klimatpåverkan för de år som ingår.



Figur 21 Diagram avseende förändrad klimatpåverkan i byggnadens driftskede vid de olika energilösningarna. Scenario 2 används som referens i analysen. Staplarna avser årlig genomsnittlig skillnad i klimatpåverkan för de år som ingår i beräkningsperioden (2021 – 2050) och för de fyra scenarierna för elsystemet.

Resultatet från Tidstegen visar att fallet med endast fjärrvärme har den lägsta miljöpåverkan, vilket gäller för alla de olika elsituationerna. Detta beror på de lokala förhållandena i det analyserade fjärrvärmenätet. Den främsta anledningen till att fjärrvärme är så fördelaktig i en konsekvensanalys är att ökad användning av fjärrvärme innebär att mer el baserad på biomassa kan produceras i det lokala kraftvärmeverket (KVV). I verkligheten finns det ökad konkurrens om biomassa, och det är osäkert om de mängder som används i analysen är tillgängliga. Om värmepump och fjärrvärme drivs med ett dynamiskt prissättningsystem minskar miljöpåverkan avsevärt jämfört med att endast använda värmepump.

Andra aspekter av de olika fallen, såsom användning av olika resurser, kapaciteten i elnätet eller framtida utveckling av el- eller fjärrvärmesystemet, beaktas inte i denna analys. Dessa faktorer påverkar genomförbarheten att uppnå de besparingar som presenteras här, vilket kan ses som maximala, optimala scenarier.

5.2 FALLSTUDIE 2

I fallstudie 2 utfördes faktisk samoptimerad styrning i byggnaderna under uppvärmningssäsongen 2023–2024. Under den första testperioden beaktades marginalpriserna för fjärrvärme NordPools spotpriser för dagen före. Under testperiod 2 beaktade marginalpriserna för fjärrvärme även priser från den lokala kapacitetsmarknaden Effekthandel Väst.

5.2.1 Testperiod 1: endast spotpriser

Under testperiod 1, september 2023 till mitten av december 2023, genererades och skickades marginalpriser för fjärrvärme av Mölndal Energi till byggnaden i fallstudie 2. Värmepumparna i byggnaden stängdes av av fastighetsägaren om fjärrvärme var billigare än att använda värmepumparna.

Marginalpris på fjärrvärme

Den viktigaste faktorn för samoptimeringen i fallstudie 2 är naturligtvis marginalpriset för fjärrvärme, på vilket optimeringen mellan fjärrvärme och värmepump baseras. Figur 21 visar det resulterande marginalpriset för fjärrvärme i princip för en 24-timmarsperiod under testperiod 1, visat som den orange linjen i figuren. Figuren inkluderar även underliggande faktorer som påverkar marginalpriset för fjärrvärme. Dessa faktorer är elspotpriser från NordPool (blå linje), fjärrvärmeanvändningen i byggnaden i fallstudie 2 (blå staplar) och den uppskattade ytterligare elproduktionen från KVV på grund av den samoptimerade styrningen i fallstudie 2 (röda staplar). Observera att priserna medvetet utelämnats från figuren av sekretesskäl.

I princip, på grund av den stora andelen av den totala värmeproduktionen som täcks av KVV i Mölndal, har elpriserna en betydande inverkan på marginalpriserna för fjärrvärme under vissa omständigheter. Baserat på definitionen av marginalkostnader sätter KVV marginalpriset för fjärrvärme när en ökning eller minskning av värmebehovet leder till en förändring i KVV

drift. Detta inträffar vanligtvis i början och slutet av en uppvärmningssäsong, när det totala värmebehovet är relativt högt, men inte tillräckligt högt för att KVV ska behöva köras på full kapacitet oavsett förändringar i värmebehovet.

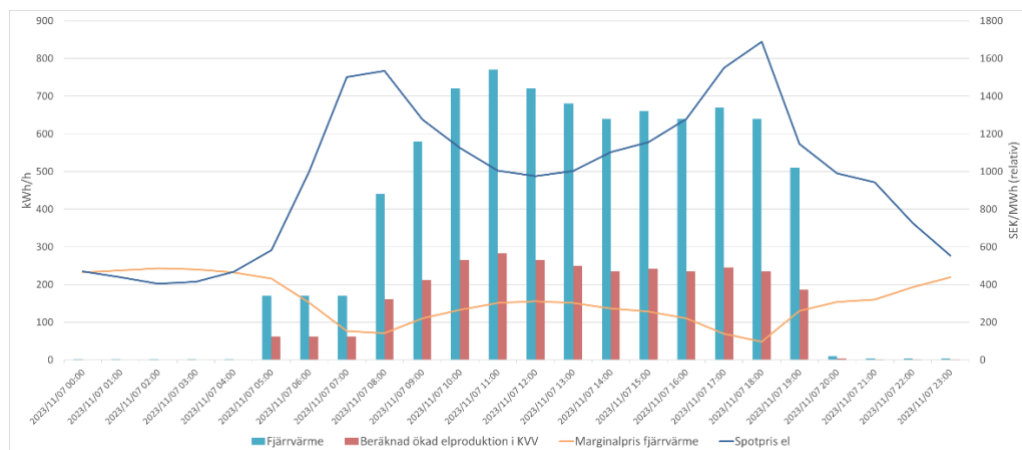
Figur 21 visar ett typiskt exempel på när KVV ligger på marginalen. Det finns ett värmebehov som är tillräckligt stort för att KVV måste vara i drift, men det finns fortfarande kapacitet kvar för att producera mer värme och el.

I det visade exemplet är elpriserna relativt låga under natten och tidig morgon den 7 november. Användningen av fjärrvärme i byggnaden är därför noll (eftersom värmepumpen används istället). Marginalpriset för fjärrvärme är relativt högt och konstant eftersom en värmepanna ligger på marginalen.

Runt kl. 5:00 börjar saker och ting förändras. Elpriset ökar drastiskt och är tre gånger högre kl. 8:00 jämfört med fyra timmar tidigare. De högre elpriserna förändrar driftkostnaderna för KVV och marginalpriset för fjärrvärme minskar med 30 % under samma period.

Denna minskning av fjärrvärmepriset är tillräcklig för att göra det billigare att använda fjärrvärme än den lokala värmepumpen i fallstudie 2, och värmeleveransen växlas från värmepumpen till fjärrvärme, vilket kan ses från de blå staplarna i figur 21.

På grund av den faktiska förändringen i fjärrvärmebehovet i fallstudie 2 kan driften av KVV förändras, och en ytterligare mängd el kan produceras och säljas på elmarknaden. Se de röda staplarna i figur 21. Vid middagstid sjunker elpriserna och så gör även fjärrvärmeanvändningen i fallstudie 2, för att sedan öka igen under kvällen när elpriserna stiger till ännu högre nivåer än tidigare.



Figur 22 Marginalpriser för fjärrvärme, elpriser, använd fjärrvärme i fallstudie 2 och uppskattad ytterligare elproduktion i Mölndal Energis KVV under en 24-timmarsperiod i testperiod 1. Observera att faktiska priser medvetet inte visas på grund av sekretess.

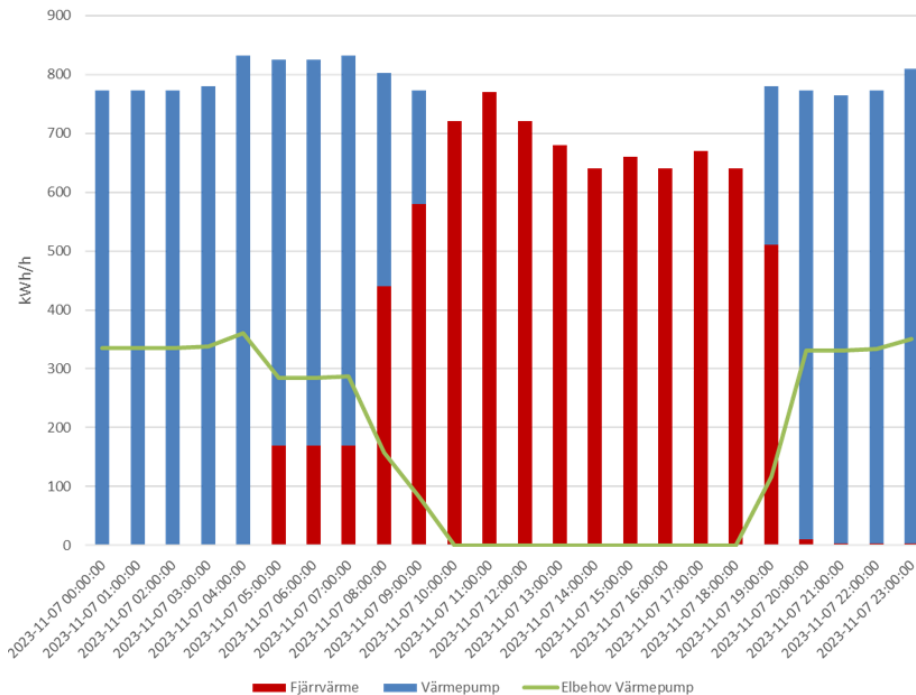
Det finns fler lager av komplexitet i detta, såsom rampningstider och olika verkningsgrader för KVV i olika driftslägen, vilket förklarar varför marginalpriset till exempel är något högre kl. 18:00 än kl. 08:00, trots att elpriset är högre vid den senare tidpunkten.

Vid kl. 20:00 den 7 november har elpriserna sjunkit så mycket att KVV inte längre är på marginalen och en värmepanna tar över för att sätta marginalpriset för fjärrvärme. Detta marginalpris är högre än tröskelvärdet för den lokala värmepumpen att köras, och därför minskar fjärrvärmeleveransen till byggnaden.

Formen på elprisets kurva och motsvarande marginalpris för fjärrvärme kan ses vid flera tillfällen under testperioden.

Värmepumpsdrift

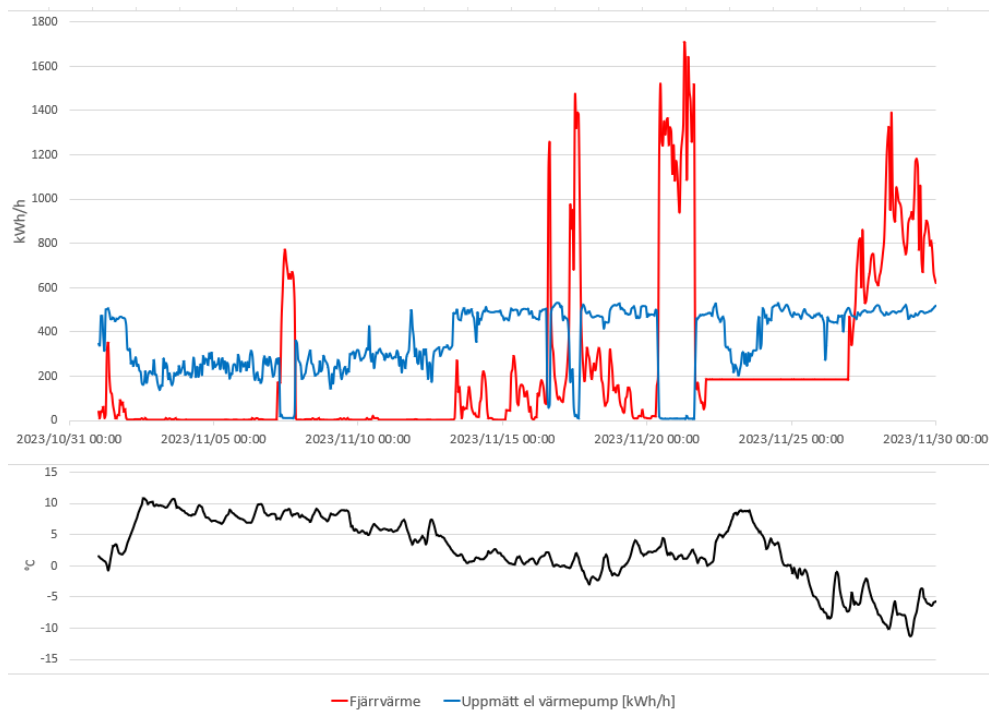
Figur 22 visar det totala värmebehovet i fallstudie 2 och hur detta uppfylls under samma 24-timmarsperiod i november 2023 som i figur 21. Vid 07:00 kan en märkbar övergång från värmepumpen till fjärrvärme ses. Vid 10:00 är värmepumpen helt avstängd och hela värmebehovet täcks av fjärrvärme fram till 20:00, då värmepumpen åter slås på.



Figur 23 Total värmeleverans/behov under 24 timmar i fallstudie 2

Figur 23 visar samma beteende som figur 22 men för hela november månad 2023. Figuren visar två viktiga saker:

- Användningen av värmepumpen minskades vid fem tillfällen: den 7e, 16e, 17e, 20e och 21e november och ersattes av fjärrvärme. Växlingarna mellan värmekällorna varade mellan 4 och 29 timmar, med ett genomsnitt på 13 timmar.
- Efter den 26 november börjar utomhustemperaturerna sjunka, och värmepumpens kapacitet räcker inte för att täcka hela värmebehovet i byggnaderna i fallstudie 2. Detta innebär att fjärrvärme måste användas oavsett elpris, och fjärrvärmeanvändningen under denna period ingår inte i samoptimeringen. Den konstanta användningen av fjärrvärme mellan den 21 och 26 november beror på ett mätfel och ska bortses från när man tittar på figur 23.



Figur 24 Energianvändning från fjärrvärme och värmepump samt utomhustemperatur under november 2023 i fallstudie 2.

Summerade resultat, fallstudie 2, testperiod 1

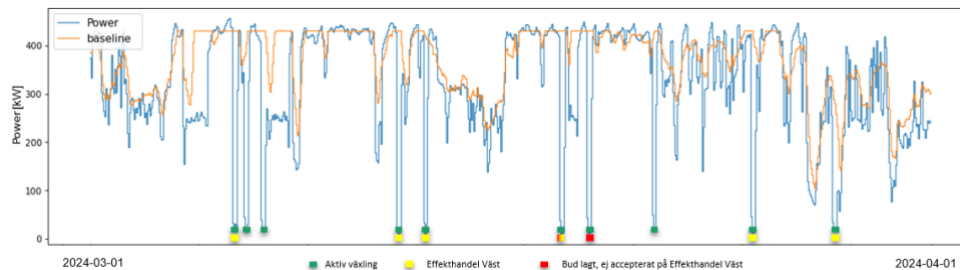
Testperiod 1 sammanfattas i tabell 8. Under totalt 5 tillfällen ökade fjärrvärmeanvändningen i byggnaderna med 67 MWh, vilket motsvarar ungefär 8 % av det totala värmebehovet under testperioden. Tack vare den använda prismodellen och ömsesidig överenskommelse kunde båda parter uppnå fördelar i form av minskade uppvärmningskostnader och ökade intäkter från fjärrvärmeleveranser i storleksordningen tiotusentals kronor.

Tabell 8 Sammanfattning av samoptimeringen av fallstudie 2 under testperiod 1, november 2023

Antal växlingar	5	Värme växlad från VP till FJV	67 MWh
Växlingens längd	4-29 timmar	Värme växlad från VP till FJV, andel av totalt värmebehov	8%
Totalt antal timmar med aktiv växling	58 timmar	Ökad intäkt för Mölndal Energi (ungefärlig)	10 kSEK
Medellängd växling	12 timmar	Minskad energikostnad för fallstudie 2 (ungefärlig), exklusive minskad elkostnad	10 kSEK

5.2.2 Testperiod 2: Effekthandel Väst

Under testperiod 2, februari till juni 2024, kompletterades styrstrategin och affärsmodellen från testperiod 1 med anslutningen till den lokala elkraftmarknaden, Effekthandel Väst. Dock var mycket lite styrning aktiv efter april 2024, så endast resultat från slutet av februari till början av april är inkluderade i resultaten.

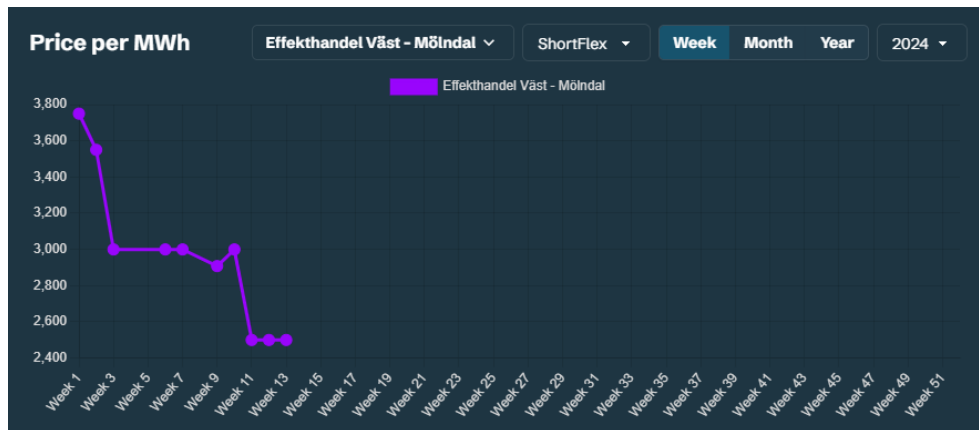


Figur 25 Styrning av värmepumpar i fallstudie 2 under en del av testperiod 2. Power (blå linje) avser den faktiska uppmätta elförbrukningen i värmepumpen. Baseline (orange) avser den prognostiserade elförbrukningen för värmepumpen om samoptimering inte är tillgänglig.

Figur 26 visar den uppmätta elförbrukningen för värmepumpen i fallstudie 2 under mars månad 2024 (blå linje). Varje gång den uppmätta elförbrukningen sjunker nära noll har värmepumpen stängts av till förmån för fjärrvärme, precis som under testperiod 1. Tillsammans med den faktiska uppmätta användningen visas en prognostiserad elförbrukning, gjord dagen innan, som en orange linje. Skillnaden mellan dessa två linjer är den potentiella effektminskning som Mölndal Energi har lagt bud på via Effekthandel Väst.

Gröna markeringar indikerar att värmepumpen har stängts av och ersatts med fjärrvärme, baserat enbart på fjärrvärmens marginalpris, precis som under testperiod 1. Gula markeringar visar att förutom att värmepumpen har stängts av, så har den minskade elförbrukningen också ingått i en handel på den lokala kraftmarknaden. Röda markeringar indikerar att ett bud har lagts på elmarknaden, men att det inte accepterades. Detta innebär att varje gång en grön och en gul markering visas tillsammans, har Mölndal Energi fått intäkter genom att inkludera värmepumpen på Effekthandel Väst, jämfört med att inte inkludera den. En ensam grön markering betyder att priserna på Effekthandel Väst var för låga för att påverka fjärrvärmens marginalpris och styrningen hade varit aktiv oavsett Effekthandel Väst. Effekthandel Väst stängde för handel den 31 mars, vilket är anledningen till att resultaten under testperiod 2 endast presenteras fram till det datumet här.

Figur 27 visar de genomsnittliga veckopriserna för aktiverade bud på Effekthandel Väst under 2024.



Figur 26 Genomsnittliga veckopriser på Effekthandel Väst under 2024. Fallstudie 2 deltog i handeln under vecka 9–13.

Testperiod 2 sammanfattas i tabell 9:

Tabell 9 Sammanfattning av samoptimering av fallstudie 2 under testperiod 2, mars 2024

Antal växlingar	10	Värme växlad från VP till FJV	49,3 MWh
Växlingens längd	3-4 timmar	Värme växlad från VP till FJV, andel av totalt värmebehov	~8%
Totalt antal timmar med aktiv växling	40, av vilka 27 på Effekthandel Väst	Ökad intäkt för Mölndal Energi (ungefärlig)	10 kSEK
Medellängd växling	4 timmar	Minskad energikostnad för fallstudie 2 (ungefärlig), exklusive minskad elkostnad	10 kSEK

Tabell 10 visar resultat som är specifika för handeln på Effekthandel Väst:

Tabell 10 Resultat från handeln på Effekthandel Väst under testperiod 2

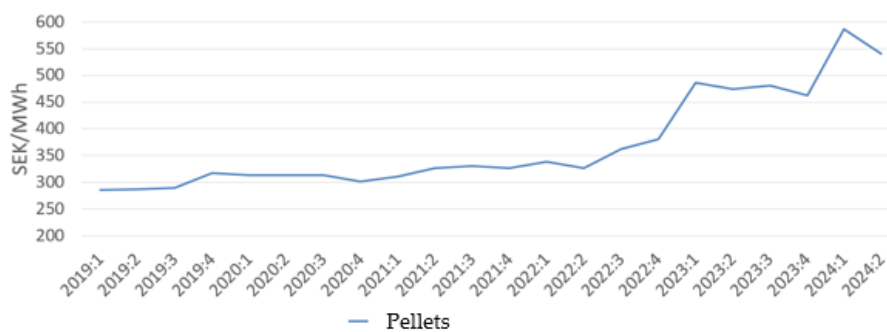
Antal accepterade bud	7
Antal timmar med aktiva bud	29
Mängd flexibel el, medel [MW]	0.47
Total mängd reglerad el (upp/ner) [MWh el]	10
Ökad leverans fjärrvärme [MWh värme]	46
Ungefärlig intäkt från accepterade bud	30 kSEK

6 Diskussion

Resultaten av detta projekt baseras på faktiska fallstudier som genomförts i ett enda fjärrvärmenät i Sverige. Varje läsare som drar slutsatser från projektet bör beakta de faktorer som presenteras i detta kapitel.

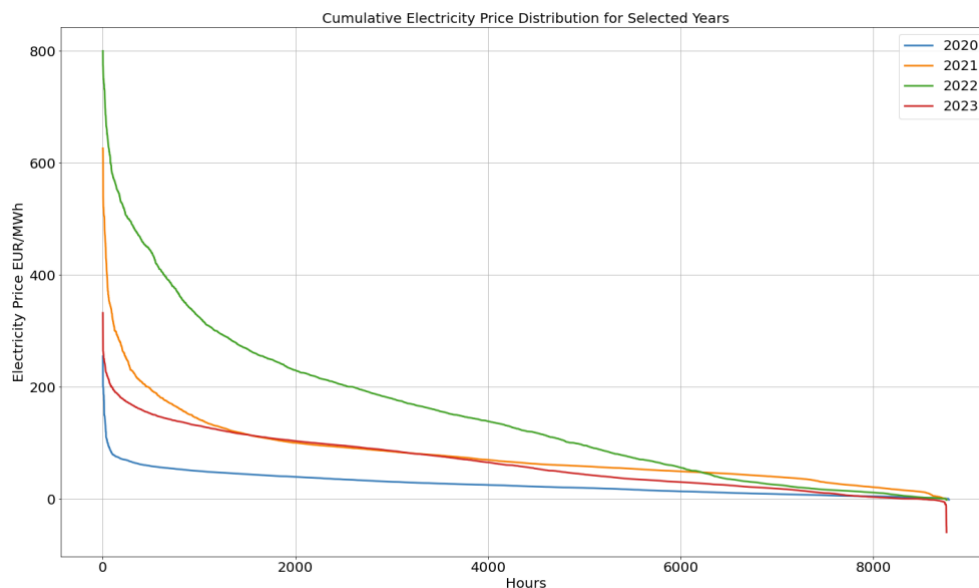
El- och Bränslepriser

När fallstudie 1 genomfördes, år 2022, var elpriserna historiskt höga och visade en volatilitet som inte har setts sedan dess. Samtidigt hade fjärrenergi (främst fjärrvärme) ännu inte upplevt de dramatiska ökningarna i bränslepriser, främst för biomassa, som blev verklighet under 2023. Som ett exempel ökade priset på förädlade biobränslen för fjärrvärmeproduktion med 28 % under ett enda kvartal, se figur 27.



Figur 27 Pris för träpellets i Sverige 2019-2024. Källa: (Energimyndigheten, 2024).

När denna rapport skrivs (2024) har elpriser stabiliserat sig på lägre nivåer, åtminstone jämfört med år 2021, se Figur 29.



Figur 28 Varaktighetsdiagram över elpriser i SE4 2020-2023

Under 2022 var narrativet kring samoptimering starkt fokuserat på att fjärrenergi kunde fungera som en säkring mot elprisrisker för fastighetsägare. Resultaten från fallstudie 1 bekräftar att detta verkligen var fallet, där besparingarna från samoptimering kan uppgå till över 450 kSEK/år för fastighetsägaren.

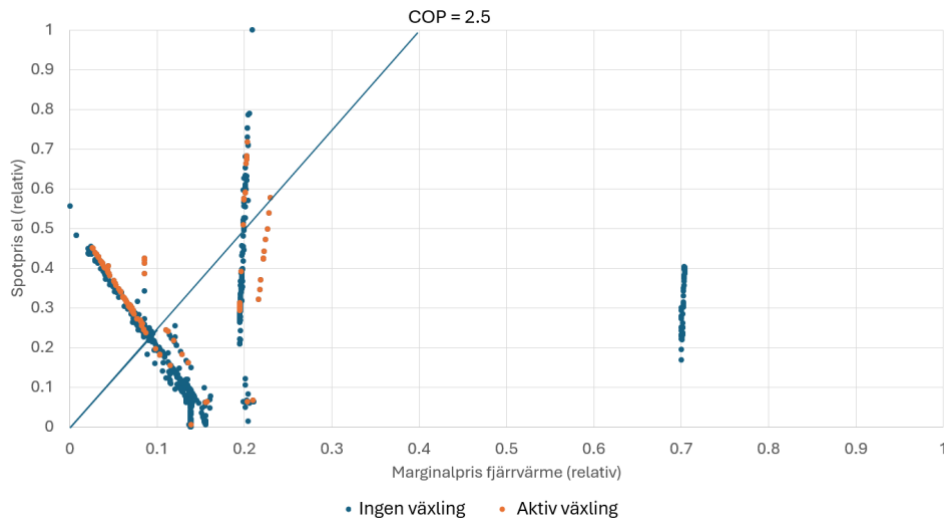
Med tanke på att bränslepriserna för fjärrenergi har ökat samtidigt som elpriserna har minskat, minskar värdet av risksäkringen. Lägg till detta att många storskaliga fastighetsägare kan föredra att förhandla fram längre elpriskontrakt, vilket ytterligare minskar potentialen för samoptimering. Eftersom fallstudie 2 genomfördes under 2023 och 2024 kan effekten av lägre elpriser och högre fjärrenergipriser analyseras:

Analys av elpriser kontra marginalpriser på fjärrvärme

I princip är optimeringen av driften av fjärrvärme/värmepump en relativt enkel uppgift. Om man bortser från realiteterna av att driva ett dynamiskt system, uppskatta marginalpriser och så vidare, kan huvudprincipen för driften sammanfattas som en if-sats:

"Om priset för att använda värmepumpen är högre än priset för att använda fjärrvärme, använd fjärrvärme."

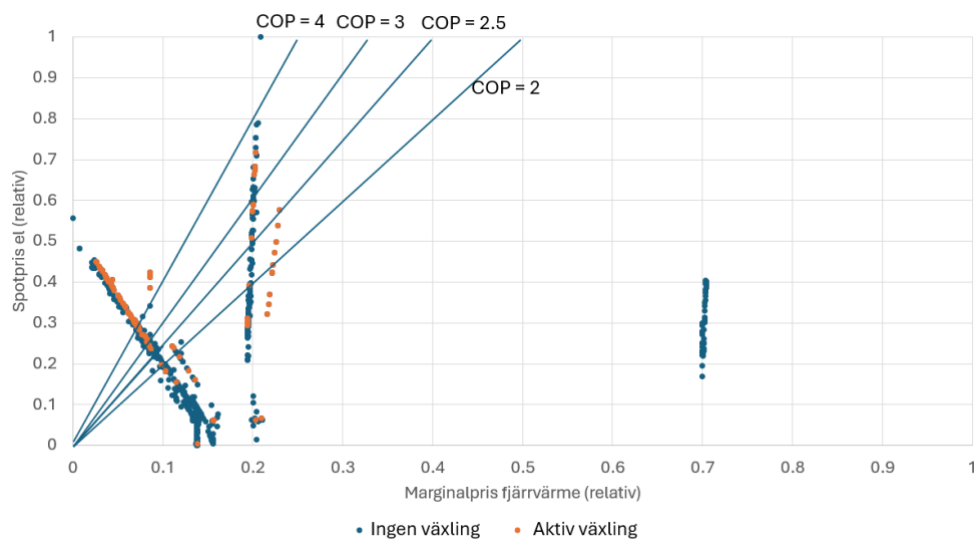
För att validera om detta påstående har hållit under testperiod 1, visar figur 24 elspotpriserna plottade mot marginalpriserna för fjärrvärme som gavs varje timme under testperioden. Figuren visar också om styrningen för växling mellan värmekällor var aktiv eller inaktiv under varje timme. El- och fjärrvärmeprierna är viktade i förhållande till det högsta elpriset som inträffade under testperioden, så att värdet 1 motsvarar det högsta elpriset.



Figur 29 Elspotpris vs marginalpris för fjärrvärme. Varje markör representerar en timme under testperiod 1. Blå markörer indikerar att ingen växling mellan värmekällor/styrning inträffade under den timmen. Orange markörer indikerar att växling mellan värmekällor var aktiv. Båda priserna är viktade baserat på det högsta elpriset under perioden, där 1 representerar det maximala elpriset.

Genom att dra en linje i diagrammet med start vid 0 och en lutning på 2,5 kan man se att en majoritet av de punkter där styrningen var aktiv ligger ovanför den linjen. Detta bekräftar den enkla if-satsen som ges ovan, eftersom linjen representerar en värmepump med ett COP på 2,5. För att fjärrvärme ska vara billigare än värme från en värmepump måste det vara billigare än elpriset dividerat med värmepumpens COP. Några aktiva styrpunkter ligger under linjen, vilket kan förklaras av driftkrav på värmepumpens körtider och att COP för värmepumpen varierar timvis i verkligheten.

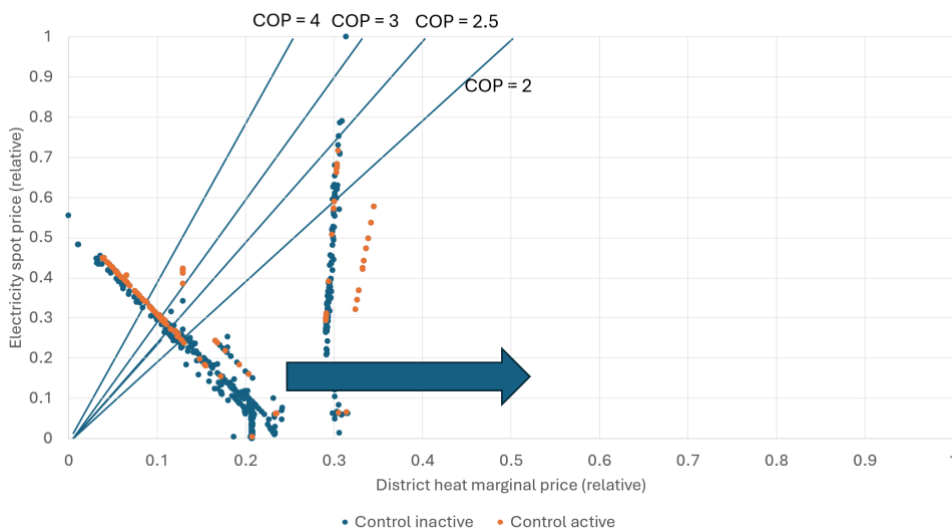
För ett fjärrvärmebolag som överväger marginalpriser för samoptimering kan diagrammet ovan vara ett användbart verktyg för att utvärdera om samoptimering kommer att vara effektiv eller inte i det lokala fjärrvärmenätet. Om man kan beräkna eller simulera marginalpriset för fjärrvärme under en längre period (åtminstone ett år), kan dessa timpriser plottas mot elpriser och flera COP-linjer kan ritas. Denna typ av analys kan ses i figur 25, där COP-värden på 2, 2,5, 3 och 4 har inkluderats.



Figur 30 Illustration av effektiviteten av samoptimering vid olika COP-värden för värmepumpen

Ju högre COP, desto brantare blir lutningen på "break even-linjen" och desto färre timmar kommer en värmepump att stängas av till förmån för fjärrvärme. Det motsatta gäller förstås vid lägre COP.

Om och när elpriserna minskar i förhållande till fjärrenergipriserna, skulle punkterna i grafen förskjutas åt höger. I figur 31 har fjärrvärmepriserna ökat med 20 % jämfört med figur 30. Notera exempelvis antalet aktiva punkter som ligger till vänster om COP = 4-linjen, jämfört med figur 30.



Figur 31 Illustrering av hur ofta samoptimering skulle vara aktiv om fjärrvärmepriser ökar med 20%.

Detta visar att det för ett visst COP uppenbart kommer att finnas en brytpunkt där samoptimering helt förlorar sitt värde och en värmepump alltid bör användas, varje timme. För testperiod 1 i fallstudie 2 inträffar denna brytpunkt när marginalpriset för fjärrvärme är cirka 7 gånger det högsta elpriset.

Dessutom spelar nya kortsiktiga eleffektmarknader, såsom Effekthandel Väst, en allt viktigare roll i energisystemet och förtjänar en egen diskussion:

Effektmarknader

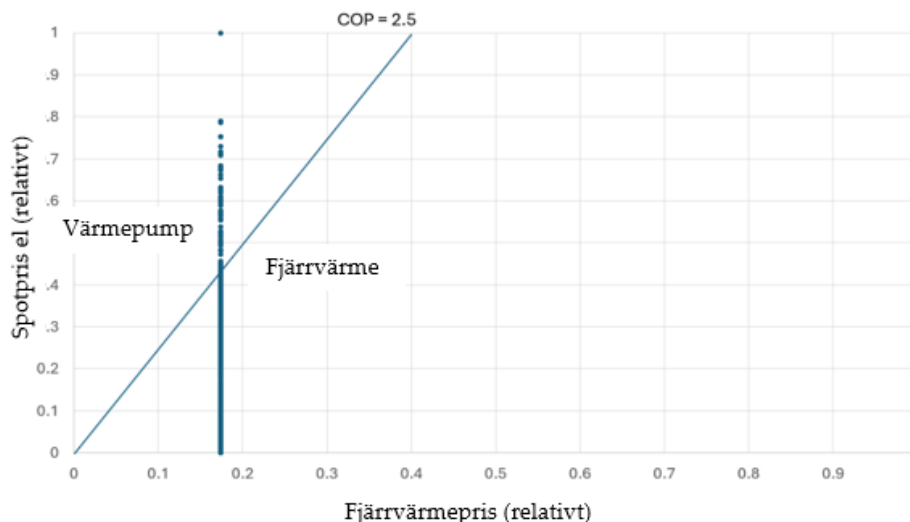
I fallstudie 2 agerade energibolaget som en aggregator på den lokala effektmarknaden och inkluderade bud och priser från denna marknad i samoptimeringen. Den extra inkomsten från denna marknad var kanske inte enorm, men inte heller obetydlig. Utvecklingen av lokala effektmarknader har varit betydande under de senaste åren. Som en jämförelse kan vi återbesöka det föregående Futureheat-projektet på ämnet samoptimering som genomfördes 2020 (Ottosson, et al., 2020). Där utvärderades tillägget av elmarknader i samoptimering i teoretiska fallstudier. Vid den tidpunkten var lokala effektmarknader inte lika etablerade, och istället inkluderades mFRR-marknaden i SE3. Priser från mFRR mellan 2015 och 2017 inkluderades i samoptimeringen, och i en fallstudie liknande fallstudie 1 i denna studie skulle värmepumpen ha nedreglerats (stängts av) under 440 timmar i ett kalenderår eftersom priserna på mFRR var tillräckligt höga för att det var bättre att stänga av värmepumpen och använda fjärrenergi istället. I detta projekt stängdes värmepumpen i fallstudie 2 av under 29 timmar på en månad, vilket extrapoleras till 348 timmar på ett kalenderår. Detta kan vara något överdrivet eftersom färre bud förväntas gå igenom under sommarmånaderna. Resultaten är ändå jämförbara, men en viktig skillnad är att mFRR har högre krav på budstorlek än lokala effektmarknader. Troligen har lokala effektmarknader varit ett viktigt verktyg för att möjliggöra faktiska förändringar i driften och bidrar mycket till att minska lokala effektbrister. Det är sannolikt att tillägget av kortsiktiga elmarknader i samoptimering kommer att generera större intäkter i framtiden.

Workshoppen och intervjun lyfter fram att fastighetsägare ser möjligheten att kunna bidra till att minska belastningen på det lokala elnätet vid höga effekttoppar som mycket intressant. Den allmänna debatten i branschen har fokuserat på denna fråga under en längre tid, vilket också framkommer i denna studie. Dock är det författarnas uppfattning att studien också har visat att lokala energibolag måste vara villiga och kapabla att stödja sina kunder, fastighetsägarna, i att bidra till att förbättra situationen på systemnivå. Konceptet med aggregatorer på lokala effektmarknader fungerar effektivt, vilket har bevisats av upplägget som användes i detta projekt. Med enkla medel har både fastighetsägaren, energibolaget och det lokala elsystemet skördat fördelar.

Hur stor roll spelar dynamiska priser?

Detta projekt har antagit att för att samoptimering ska vara konkurrenskraftigt måste fjärrenergipriser vara dynamiska, till skillnad från exempelvis månadsbaserade priser. Resultaten från fallstudie 1 visar att detta faktiskt stämmer för det fallet. Genom att jämföra scenarierna 6 och 9 i tabell 7 ger samoptimering en årlig kostnadsbesparing på cirka 1,5 MSEK när man går från nuvarande månadsbaserade fjärrenergipriser till marginalkostnadsbaserade priser.

Gäller detsamma för fallstudie 2 under faktiska driftförhållanden? Låt oss återvända till vår kostnadsspridningsgraf för att undersöka detta igen. Den här gången sätts priset på fjärrvärme till det genomsnittliga marginalpriset som användes tidigare för alla timmar, cirka 0,2 av de maximala elpriserna under perioden. Eftersom priset på fjärrvärme nu är fast för alla timmar ligger alla punkter i grafen på en vertikal linje. Återigen är en linje som motsvarar en värmepump med fast COP ritad, se figur 32.



Figur 32 Illustration av samoptimering i fallstudie 2 om månadspriser används för fjärrvärme vid COP = 2,5. Båda priserna är viktade baserat på det högsta elpriset under perioden, där 1 representerar det maximala elpriset. Varje markör representerar en timme under testperiod 1 i fallstudie 2.

En punkt under linjen representerar en timme då en värmepump används, medan fjärrvärme bör användas i alla punkter ovanför linjen. Av de 620 timmar som visas i graferna bör fjärrvärme ha använts under 70 timmar. Om marginalpriser används är det motsvarande antalet 208 timmar av 620 då fjärrvärme skulle användas istället för värmepumpen. Detta är en betydande skillnad, vilket gör det möjligt att dra slutsatsen att dynamiska fjärrenergipriser är en nödvändighet för samoptimering.

Dynamiska priser baserade på marginalkostnader ger korrekta incitament för fastighetsägare att använda energi vid rätt tidpunkt. Dessa måste dock kompletteras med ytterligare priskomponenter för att säkerställa att de stora fasta kostnader som krävs för att driva hela fjärrenerginätverket täcks. Traditionellt är dessa komponenter baserade på den uppvärmningskapacitet som en byggnad behöver under en viss tidsperiod, men i samoptimerade byggnader kan det vara svårt att bestämma den korrekta uppvärmningskapaciteten att debitera kunden

för. Eftersom värmeeffektbehovet inte bara beror på byggnadens uppvärmningsbehov, utan även andra faktorer, är det svårt att i förväg säga hur mycket intäkter en värmeeffektavgift kommer att ge energibolaget. Detta är problematiskt eftersom fasta kostnader kräver fasta intäkter. En möjlig lösning testades i fallstudie 2 i denna studie, där fastighetsägaren betalar en effektavgift baserad på 50 % av värmeeffektbehovet, om de inte skulle ha en värmepump installerad alls.

Riskhantering

Vad säger alla dessa faktorer sammantaget? I slutändan handlar samoptimering om hantering av risker. Affärsmodellerna för samoptimering måste möjliggöra en rättvis och effektiv fördelning av risker mellan fastighetsägare och energibolag. Den största risken för båda parter är exponeringen mot framtida bränslepriser (el och främst biomassa) som antingen fastighetsägaren eller energibolaget kommer att påverkas av beroende på vald affärsmodell.

Låt oss anta att en fastighetsägare redan har gjort en investering i både värmepump och fjärrvärme, som i båda fallstudierna. Energibolaget erbjuder dynamiska fjärrenergipriser, och fastighetsägaren köper el per timme. Låt oss också anta att fastighetsägaren betalar ett fast pris för fjärrenergi som är proportionellt mot storleken på fjärrenergianslutningen.

I detta fall ligger nästan all bränsleprisrisk hos fastighetsägaren eftersom energibolaget alltid bör få betalt den faktiska kostnaden för att producera värme under en timme plus ett påslag, och den fasta prisdelen säkerställer att de fasta kostnaderna för att leverera fjärrenergi till fastighetsägaren täcks.

Låt oss säga att elpriserna börjar stiga avsevärt i detta scenario. Beroende på fjärrenergins produktionsstruktur kommer elpriserna sannolikt att bli högre än fjärrenergipriserna. Samoptimering kommer i detta fall att fungera som en risksäkring för fastighetsägaren eftersom mer energi kan köpas från energibolaget.

Om bränslepriserna istället ökar, kommer fastighetsägaren att köpa mer el. Energibolaget kommer fortfarande att få betalt för de timmar då det levererar energi med ett påslag, men riskerar att inte täcka de fasta kapacitetskostnaderna. En fastighetsägare sammanfattade användningen av samoptimering som en säkring mot varierande elpriser: *"... El kommer att bli mycket dyrare på lång sikt, så det kommer att bli viktigt att kunna samoptimera för att minska kostnaderna. Man kan använda konceptet som en försäkring mot höga elpriser, eftersom det lönar sig när elpriserna är höga och fjärrvärmepreiserna samtidigt är låga."*

För ett energibolag som använder traditionella, månadsbaserade energipriser innebär detta en stor exponering för bränsleprisrisker. Priserna sätts långt i förväg och baseras på genomsnittliga bränslekostnader för en säsong. I en samoptimeringsmodell hindrar dessa priser inte bara potentialen för samoptimering, utan de ökar också risken för att energibolaget endast levererar energi under timmar där den faktiska kostnaden för att leverera energin är högre än intäkterna från de månadsbaserade priserna.

Sammanfattningsvis är samoptimering en effektiv säkring mot elprisrisker för fastighetsägare. Dynamiska fjärrenergipriser är ett sätt för energibolag att minska bränsleprisrisker, men de kan flytta en alltför stor del av risken till fastighetsägaren, vilket gör att andra faktorer i affärsmodellen måste kompensera för detta. Exempel på detta finns i affärs- och prismodellen i fallstudie 2 i detta projekt.

Ett ytterligare riskperspektiv är investeringsrisken som antingen fastighetsägaren eller energibolaget kommer att stå inför. Nybyggnation av samoptimerade byggnader ligger utanför ramen för denna studie (vi analyserar endast samoptimering av redan installerad utrustning), men det kommer ändå att utgöra utmaningar i hanteringen av risker. Ur energibolagets perspektiv innebär en ny samoptimeringsinstallation risken att de installerar en fjärrenergilösning som (i extrema fall) aldrig används. Om energibolaget tar initialkostnaderna i ett sådant fall skulle de aldrig återfå dem. Därför kan energibolag vilja flytta den risken till fastighetsägaren genom att öka installationskostnaden som fastighetsägaren står för. Detta skulle också ge fastighetsägaren incitament att utnyttja fjärrenergien.

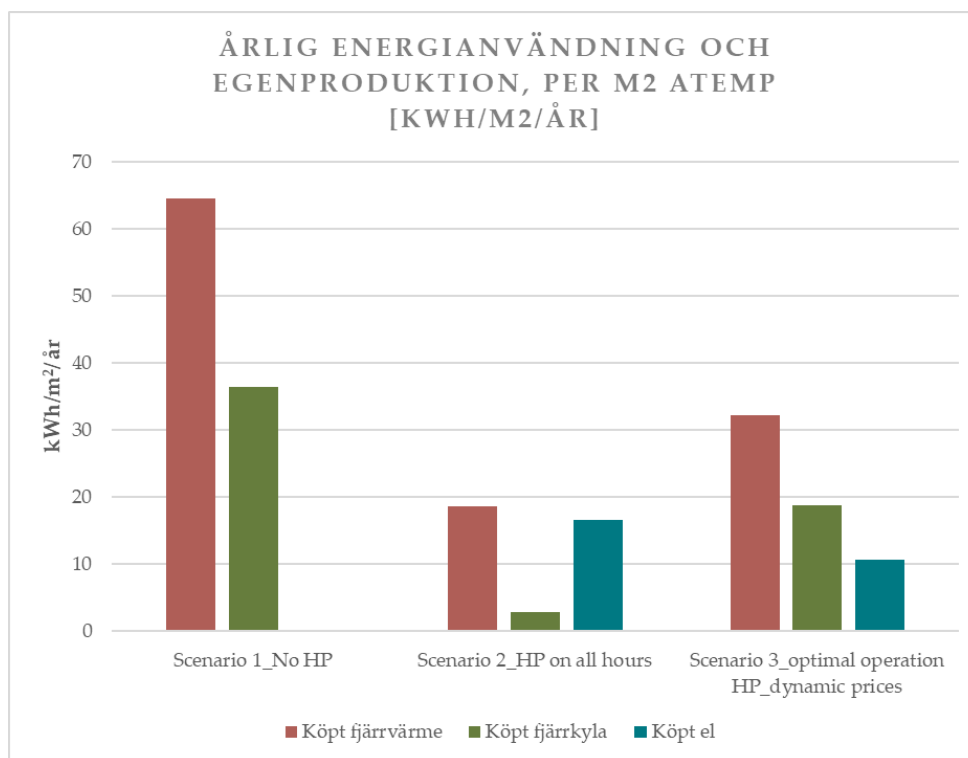
Å andra sidan kan en fastighetsägare se installationen som en risk på samma sätt. Varför skulle de betala för något som kanske bara används ibland? Fastighetsägare och energibolag måste göra ansträngningar för att mötas på mitten och skapa ramverk som ger ömsesidiga och systemmässiga fördelar med en acceptabel risknivå för båda parter.

Konsekvensanalys vs bokföringsanalys av utsläpp

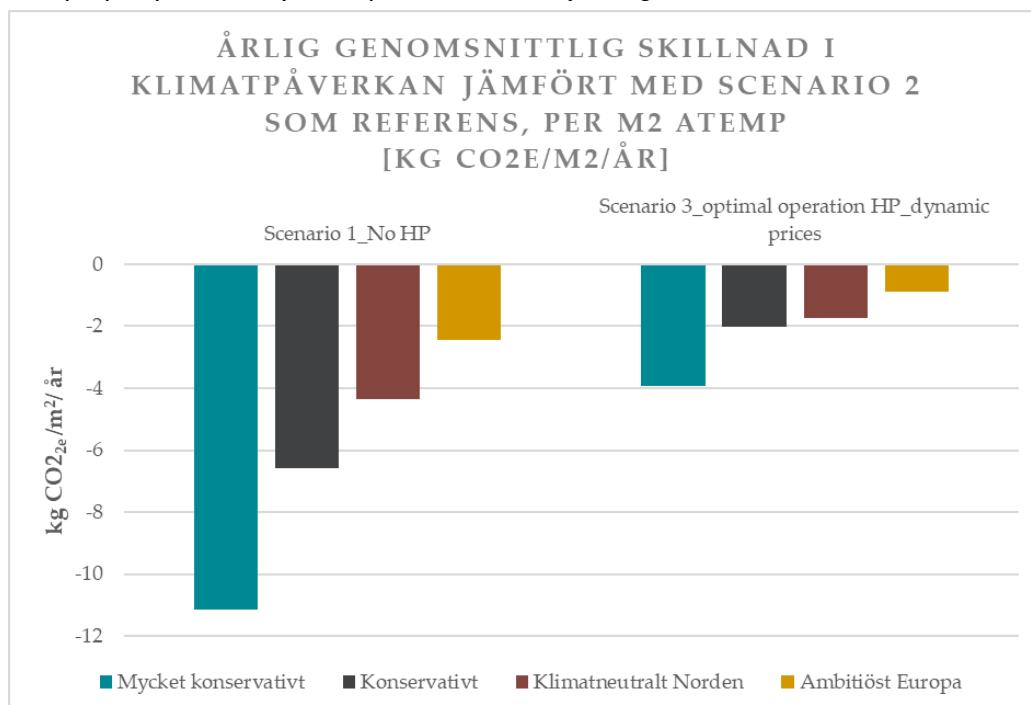
En konsekvensanalys används för att bedöma de potentiellt uppnåbara förändrade utsläppen från en av fallstudierna i denna rapport. En konsekvensanalys genomförs eftersom samoptimering bygger på det faktum att energipriser och utsläpp varierar timme för timme och att starta samoptimering innebär en förändring eller konsekvens. Resultaten från denna analys visar en betydande positiv effekt av samoptimering jämfört med alternativet att använda en värmepump så mycket som möjligt.

Dock skiljer sig konsekvensanalyser från hur fastighetsägare och energibolag rapporterar utsläpp enligt exempelvis Greenhouse Gas Protocols Corporate Standard och ISO 14064-1. Rapporteringen enligt dessa standarder, som exempelvis kan hittas i årsrapporter, är baserad på en bokföringsanalys. Bokföringsanalyser gör inte samoptimering rättvisa, främst eftersom genomsnittliga emissionsfaktorer för både använd el och fjärrenergi används. Detta demonstreras genom ett enkelt räkneexempel baserat på fallstudie 1:

Låt oss återigen titta på figur 19 och figur 21, som visar att samoptimering i fallstudie 2 skulle leda till minskade utsläpp jämfört med att köra en värmepump hela tiden.



Figur 19 Energianvändning i de tre studerade scenarierna för utsläppsanalys. I scenario 1 installeras ingen värmepump alls. I scenario 2 installeras en värmepump som används så mycket som möjligt. I scenario 3 drivs värmepumpen optimalt med dynamiska priser för både el och fjärrenergi.



Figur 21 Diagram avseende förändrad klimatpåverkan i byggnadens driftskede vid de olika energilösningarna. Scenario 2 används som referens i analysen. Staplarna avser årlig genomsnittlig skillnad i klimatpåverkan för de år som ingår i beräkningsperioden (2021 – 2050) och för de fyra scenarierna för elsystemet.

I vårt exempel kommer vi endast att överväga fallet "Mycket konservativt", det vill säga fallet där framtida utsläpp från elsektorn är som högst. Ur ett konsekvensperspektiv skulle det, att stänga av värmepumpen helt och endast använda fjärrenergi, leda till minskade utsläpp med 11 kg CO₂e per år.

Om man skulle göra samma analys med en attribuerande modell, skulle följande emissionsfaktorer kunna användas för de olika energityperna (notera att dessa emissionsfaktorer endast är antagna för att illustrera ett exempel):

Tabell 11 Utsläppsfaktorer ur bokföringsperspektiv

	Utsläppsfaktor 2023 [kg CO ₂ e/MWh levererad energi]	Källa
Fjärrvärme	20	Års- och hållbarhetsredovisning Mölndal Energi 2023 (Mölndal Energi, 2024)
Fjärrkyla	0	Antaget fjärrkyla från adsorptionskylmaskiner och/eller frikyla enbart (Göteborg Energi, 2024)
El	90	Nordisk elmix, antaget att all el som används är köpt el (SMED, 2021)

Tabell 12 Årliga utsläpp per scenario för fallstudie 1 ur bokföringsperspektiv

	Utsläpp, bokföringsperspektiv [kg CO ₂ e/m ² /år]			
	Fjärrvärme	Fjärrkyla	El	Total
Scenario 1 (No HP)	1.3	0	0	1.3
Scenario 2 (HP runs always)	0.38	0	1.62	2
Scenario 3 (HP runs optimally)	0.64	0	0.99	1.63

Med dessa emissionsfaktorer skulle de totala utsläppen i fallstudie 1 fortfarande öka om en värmepump används jämfört med att endast använda fjärrenergi. Genom att köra värmepumpen optimalt skulle utsläppen minska jämfört med att alltid köra värmepumpen. Detta ligger i linje med resultaten som uppnås vid användning av en konsekvensanalys, men den minskade mängden utsläpp är långt ifrån lika stor som med ett konsekvensperspektiv, vilket visas i figur 21.

Detta beror på att de genomsnittliga utsläppen från elanvändning är mycket låga på årsbasis och att det inte tas hänsyn till när el används. Detta belyser att för att samoptimering ska få erkännande i fastighetsägares årsrapporter måste den behandlas annorlunda än vad som görs idag. Denna fråga ligger dock utanför ramen och syftet med denna studie.

Kommunikation

Den kvalitativa analysen i denna rapport lyfte främst fram att en nyckelfaktor för att samoptimering verkligen ska fungera är kommunikationen mellan energibolaget och fastighetsägarna. Men hur uppnår man det?

Ett samarbete baserat på transparens syftar i första hand till att våga vara öppen om de ekonomiska aspekterna av samoptimering. Detta innebär att det är viktigt för både energi- och fastighetsbolag att våga visa de siffror som olika beräkningar och beslut baseras på. Ett exempel är att båda parter tidigt bör visa sina marginalpriser för varandra för att skapa en gemensam förståelse för hur kostnaderna bör och kan se ut för att alla ska lämna samarbetet nöjda. Detta kan vara något av en utmaning för status quo, där energibolag kanske tidigare har varit motvilliga att ge sina kunder sådana insikter. Detta har naturligtvis sina skäl, men det är sannolikt att fastighetsägare kommer att ställa allt högre krav på kostnadstransparens, särskilt i en värld med stigande energipriser.

Deltagarna uttryckte också att det är viktigt att vara transparent om hur de olika delarna av energi- och byggnadssystemen fungerar ur ett tekniskt perspektiv. Vilken typ av utrustning är installerad var, hur är systemet kopplat och hur styrs det? Om företag sätter sig ner i ett tidigt skede och diskuterar detta ökar sannolikheten för att samarbetet blir framgångsrikt.

Faktorer som påverkar resultaten

Läsaren bör uppmärksammas på att vissa begränsningar i denna studie kan påverka dess resultat. Ingen känslighetsanalys har gjorts, men de huvudsakliga faktorer som bör beaktas sammanfattas här:

Teknologisk uppsättning och byggnaders beredskap: I fallstudie 1 krävdes att byggnaderna var utrustade med tvåvägs värmepumpar (HPs) och borrhålssystem för att möjliggöra flexibilitet mellan uppvärmnings- och kylningslägen. Effektiviteten hos dessa teknologier, särskilt värmepumparnas COP hade stor inverkan på optimeringsresultaten. COP för värmepumpar kan vara svårt att modellera och utvärdera på ett generellt sätt, och för liknande projekt måste en mer detaljerad analys av byggnadens och värmepumpens drift göras. Fallstudie 2 visade vidare att byggnader behöver styrsystem som kan hantera timprisuppdateringar för att optimeringen ska vara fullt effektiv. Energibolag måste ha en tydlig förståelse för omständigheterna i varje enskilt fall, eftersom det är mycket svårt att generalisera byggnaders tekniska förutsättningar.

Avsaknad av investeringskostnader i simuleringarna: Simuleringarna tog inte hänsyn till investeringskostnader för installation av värmepumpar eller annan infrastruktur. Scenarierna fokuserade främst på driftkostnader och antog att investeringarna redan hade gjorts. Detta begränsar resultatens användbarhet till situationer där sådana kapitalinvesteringar är genomförbara eller redan på plats. För potentiella investerare bör beslutsprocessen inkludera den totala livscykelkostnaden, inklusive initiala kapitalkostnader.

Miljöpåverkan: Miljöbedömningen täckte endast teknologiernas driftfas. Utsläpp relaterade till tillverkning, installation och sluthantering inkluderades inte, vilket kan ge missvisande resultat vid en helhetsbedömning av energilösningarnas livscykel. Resultaten för fallstudie 1 är gynnsamma för fjärrenergi i Mölndal, men detta beror till stor del på att köpt el från nätet kompenseras av producerad el från ett biomass-KVV (kraftvärmeverk). Dessa förhållanden kanske inte gäller för andra svenska nät, och en fallbaserad analys rekommenderas starkt. En annan faktor som spelar in är att analysen av CO₂-utsläpp inte beaktar att biomassa exempelvis kan ha andra användningsområden än energiproduktion, vilket eventuellt kan ge en större positiv påverkan på globala utsläpp och miljö.

Förenklade antaganden om borrhålsprestanda: Användningen av förenklade antaganden om borrhålens prestanda, särskilt i fallstudie 1, är en ytterligare begränsning. Mer detaljerad modellering av borrhål och användningen av geotermisk energi skulle ge en mer noggrann bild av potentiella energibesparingar och miljöpåverkan. På samma sätt förenklade optimeringsmodellerna praktiska begränsningar kopplade till värmepumpens drift, såsom minimitid för drift och temperaturvariationer, vilket kan påverka resultaten något i verkliga förhållanden.

7 Slutsats

Denna studie drar slutsatsen att det finns fördelar för både fastighetsägare och energibolag att samoptimera värmepumpar och fjärrenergi.

För två fallstudier har detta projekt visat att samoptimering av värmepumpar/kylmaskiner och fjärrenergi kan leda till gemensamma kostnadsbesparingar för både fastighetsägare och energibolag. I en av fallstudierna, en grupp byggnader med en blandning av kontor och bostäder, kan de gemensamma kostnadsbesparingarna uppgå till cirka 100 kSEK per år eller 10 SEK per MWh av det totala värmebehovet. Att inkludera lokala elmarknader i samoptimeringen kan i detta fall ge ytterligare 10 SEK per MWh.

I den andra fallstudien, ett vårdkomplex med både värme- och kylbehov, kan besparingarna från samoptimering uppgå till 450 kSEK per år eller 40 SEK per MWh av energibehovet.

Studien har också visat att samoptimering välkomnas av fastighetsägare och att teknologin inte utgör en barriär. Däremot finns det utmaningar som energibolag kan ställas inför, och därför avslutar vi denna rapport med en guide för energibolag som vill lansera samoptimeringserbjudanden i framtiden.

7.1 STEG-FÖR-STEG FÖR SAMOPTIMERING

För energibolag som vill initiera och erbjuda samoptimering av värmepumpsteknik och fjärrenergi sammanfattas slutsatserna i denna rapport som en steg-för-steg-guide:

7.1.1 Dynamiska priser

Först och främst krävs dynamiska fjärrenergi priser för att samoptimering ska vara både ekonomiskt attraktivt och genomförbart för fastighetsägare och energibolag. I slutändan kommer samoptimeringen i princip att implementeras genom att jämföra en kostnad med en annan, och om värmepumpar använder timbaserade elpriser som varierar, måste fjärrenergi priserna göra detsamma.

För ett energibolag som vill implementera dynamiska priser bör följande steg vidtas:

1. **Använd ett produktionsoptimeringsverktyg eller -tjänst:** Detta gör det möjligt att beräkna marginalkostnaden för att producera fjärrvärme eller fjärrkyla på timbasis, med hänsyn till många faktorer. Se till att det verktyg du använder kan generera data som är lättillgänglig via t.ex. API, så att marginalkostnaderna kan justeras vidare för en offentlig dynamisk prislista som kan nås av samoptimeringstjänster. En extra fördel är att ett automatiserat produktionsoptimeringsverktyg också kan skapa andra värden inom din fjärrenergi produktion.

2. **Skapa scenarier:** När du känner dig säker på att du kan beräkna marginalkostnaden för fjärrenergi varje timme, fundera på vilka risker du utsätter dig för om du implementerar dynamisk prissättning för vissa eller alla dina kunder. Vad skulle hända om elpriserna ökade? Vad skulle hända om bränslepriserna ökade? Vad skulle hända under ett mycket varmt år? Detta kan vara komplext, men vissa leverantörer av produktionsoptimeringsverktyg kan använda den digitala tvillingen av produktionssystemet som används för produktionsoptimering för att besvara sådana frågor. För samoptimeringsfall i synnerhet bör du överväga hur dina dynamiska priser skulle stå sig mot elpriser vid olika COP-värden för värmepumpar.
3. **Kommunicera internt:** Fastighetsägare börjar vänja sig vid varierande energipriser från elmarknaden. Däremot kan fjärrenergibolag sakna erfarenhet inom detta område, eftersom fjärrenergipriser vanligtvis sätts månadsvis. Om du överväger samoptimering och dynamiska priser, se till att göra din hemläxa, analysera scenarierna i föregående punkt och kommunicera tydligt fördelar och risker med dynamiska priser.

7.1.2 Affärsmodeller och andra priskomponenter

Stödd av en affärsmodell som inkluderar relationer, andra prismodellkomponenter och mycket mer, måste ett energibolag som överväger samoptimering åtminstone tänka på följande punkter:

1. **Stödjande prismodeller:** Dynamiska fjärrenergipriser är grunden för samoptimering. Men de måste kompletteras med prismodellkomponenter som täcker de fasta kostnaderna för att leverera fjärrenergi. Detta projekt har implementerat en relativt enkel modell där fastighetsägaren betalar en avgift baserad på den installerade fjärrenergikapaciteten som behövs enbart för samoptimeringen (t.ex. är tappvarmvatten exkluderat).
2. **Överväg aggregatorrollen:** Energibolag har en unik position att agera som aggregatorer på olika effektmarknader tack vare sin storlek. Detta har testats framgångsrikt i detta projekt och visar potential. Det behöver inte heller vara särskilt komplicerat – börja i liten skala och expandera senare!
3. **Dela på riskerna:** När du utvecklar ditt samoptimeringserbjudande, se till att komma ihåg att du flyttar vissa risker från dig till fastighetsägaren. Var ödmjuk gentemot dina kunder och möt dem på mitten där det är möjligt. Överväg hur risköverföringen påverkar dina interna krav på intäkter och återbetalning från erbjudandet, med tanke på att du kan minska din egen risk genom att istället överföra den till fastighetsägaren.

7.1.3 Kommunikaton

Kommunikation kan mycket väl vara den enskilt viktigaste faktorn som avgör om ditt samoptimeringserbjudande lyckas eller misslyckas. Detta projekt har gång på gång visat att utan transparens och öppen kommunikation mellan energibolaget och fastighetsägaren kommer samoptimering att misslyckas. Frekvent och öppen kommunikation kan hjälpa dig att uppnå följande:

Samordning av mål: Kommunikation säkerställer att alla inblandade parter – energibolag och fastighetsägare – är överens om realistiska mål, vilket möjliggör en gemensam förståelse och samarbete för att minska kostnader och miljöpåverkan.

Transparens: Öppen dialog om kostnader, prismodeller och tekniska system skapar förtroende. Transparent delning av information, som marginalkostnader, hjälper till att utforma lösningar som är fördelaktiga för båda parter.

Tidiga och kontinuerliga dialoger: Att engagera sig i diskussioner tidigt i projektets livscykel och upprätthålla en kontinuerlig dialog gör det möjligt för intressenter att tillsammans identifiera och lösa problem, vilket förbättrar resultaten av samoptimering.

Kunskapsdelning: Energibolag har ett ansvar att utbilda fastighetsägare om systemets fördelar, utmaningar och samoptimeringsstrategier, särskilt med tanke på att teknisk kompetens kan variera väldigt bland fastighetsägare, beroende på deras storlek och ambitionsnivåer.

Överbrygga historiska hinder: Historisk misstro eller förutfattade meningar kan hindra samarbeten. Konstruktiv kommunikation hjälper till att bryta ner dessa barriärer, vilket uppmuntrar parterna att testa samoptimeringslösningar.

Sammanfattningsvis är kommunikation inte bara en stödjande faktor utan en grundläggande del i samoptimeringsprojekt. Den möjliggör gemensam förståelse, förtroende och innovation, vilket i slutändan säkerställer framgången för sådana här samarbeten.

Att säkerställa god kommunikation är definitivt lättare sagt än gjort, men energibolag bör åtminstone överväga följande aktiviteter när de skapar ett samoptimeringserbjudande:

1. **Skapa material och narrativ för att förklara kostnader och priser:** En framgångsfaktor för att ens genomföra fallstudierna i detta projekt har varit att energibolaget gjort stora ansträngningar för att visualisera och kommunicera varför fjärrenergipriserna ser ut som de gör. Det är också avgörande att fastighetsägare förstår vilken roll de spelar i energisystemet i stort och genom samoptimering i synnerhet.
2. **Sätt gemensamma mål och diskutera hur de uppnås regelbundet:** Skapa en anledning att kommunicera. Vid projektets eller erbjudandets start, sätt upp mål för exempelvis kostnadsbesparingar (de behöver inte nödvändigtvis vara kopplade till ekonomiska krav). På så sätt kommer ni automatiskt att behöva kommunicera regelbundet när ni följer upp dessa

mål. Själva processen att sätta målen tvingar er att prata med varandra och skapa en gemensam förståelse.

3. **Säkerställ effektiva uppföljningar och rapportering:** Samoptimering kommer alltid att jämföras med ett alternativ. Därför är det viktigt att det finns ett ramverk för att följa upp vilka besparingar och andra värden som uppstår genom att använda systemoptimala energilösningar. Detta gäller både fastighetsägaren och energibolaget. Båda parter måste tänka i termer av "tänk om?". Vad skulle ha hänt om vi inte haft möjlighet att samoptimera? Energibolag behöver definiera dessa "tänk om"-scenarion inom sin affärsmodell. Till exempel kan det handla om att beräkna hur mycket el en värmepump skulle använda om den inte hade möjlighet att stängas av. Så länge båda parter delar en gemensam förståelse och anser att "tänk om"-scenarierna är rimliga och rättvisa, lägger detta en stabil grund för framgångsrika samoptimeringslösningar.

7.1.4 Teknik

Teknik för att möjliggöra samoptimering är generellt sett lättillgänglig och kan implementeras till relativt låg kostnad. Det är åtminstone slutsatsen som kan dras från de två fallstudierna. För att uppnå maximal potential med samoptimering bör tekniken och infrastrukturen kunna hantera timvisa variationer i indata och drift. Om du vill komma igång är de främsta rekommendationerna från energibolaget i denna studie:

1. **Var inte rädd för att testa:** Samoptimeringsstyrning är relativt riskfritt på en teknisk nivå. Moderna styrsystem för byggnader har flera säkerhetsmekanismer som säkerställer att inomhusklimatet inte äventyras. Eftersom samoptimering i denna studie enbart innebär att styrsystemet har en andra prissignal att optimera mot, äventyras inte inomhuskomforten.
2. **Börja i liten skala:** Samoptimering kan uppnås med så enkla medel som en excelfil som skickas dagligen till fastighetsägare. Detta kan vara ett utmärkt sätt att börja testa konceptet i ditt nät och kommer att räcka för ett mindre antal byggnader. Över tid och med nya lärdomar, fortsatt att förbättra tjänsten efter behov, men låt dig inte avskräckas av att försöka bygga det perfekta systemet direkt. Kom dock ihåg att förenklingar och tillfälliga lösningar ofta tenderar att bli permanenta lösningar. Ha alltid den långsiktiga driften av din lösning i åtanke och planera för tid och budget att justera erbjudandet och tekniska implementeringen över tid.
3. **Känn din kund:** Detta projekt har endast behandlat fastigheter som är relativt tekniskt mogna. Den tekniska implementeringen var ganska enkel i dessa fall eftersom fastigheterna exempelvis redan kunde ta emot externa styrsignaler. Mindre fastigheter kanske inte är lika avancerade och kommer att kräva mer av din erbjudna lösning. Se till att börja diskussionen tidigt med potentiella fastighetsägare för att kartlägga behovet av eventuella ytterligare installationer. Ditt erbjudande kan behöva inkludera ett standardiserat paket som omfattar uppgradering

och/eller utbyte av utrustning för mindre kunder som möjliggör exempelvis tvåvägskommunikation.

4. **Förbered dig för att hantera mer timdata:** Dynamiska priser och timvis styrning av utrustning kommer att kräva att du fokuserar mer på hantering av timdata. Säkerställ att övrig infrastruktur du har, såsom faktureringsystem, är kapabelt att aggregera, summera och på andra sätt hantera timdata.

7.2 YTTERLIGARE SLUTSATSER

Andra huvudsakliga slutsatser från denna studie är att:

- **De tekno-ekonomiska förhållandena i Mölndal är gynnsamma för samoptimerade fjärrvärme-/värmepumplösningar:** Detta är dock inte alltid fallet, beroende på produktionsmixen i det lokala fjärrenergisystemet. Se till att göra din egen analys innan du lanserar ett samoptimeringserbjudande.
- **Samoptimerad styrning av fjärrvärme och värmepumpar ger ekonomiska fördelar för både energibolaget och fastighetsägaren:** Energebolaget får ökade intäkter genom en ökning av levererad värme och producerad el. Fastighetsägaren får minskade uppvärmningskostnader som ett resultat av mer kostnadsoptimerad drift.
- **Det finns ett mervärde i att inkludera fastighetsägarnas värmepumpar på lokala effektmarknader:** Ett effektivt sätt att göra detta har demonstrerats i denna studie, där det lokala energibolaget agerar som en aggregator och lägger bud å fastighetsägarens vägnar på effektmarknaden.
- **Det finns miljöfördelar ur ett konsekvensperspektiv med att samoptimera fjärrenergi och värmepumpar i Mölndal:** Detta sker främst genom att öka mängden biomassebaserad el i ett KVV (kraftvärmeverk). Det bör dock noteras att produktionsmixen av bränslen och teknologier i Mölndal ger mycket gynnsamma miljöfördelar vid övergång från el till fjärrenergi. Detta är nödvändigtvis inte fallet i alla nät.
- **Intervjuer och workshops visade också att fastighetsägare är villiga och ivriga att samarbeta med energibolag:** Detta för att hitta nya sätt att använda energi på ett mer effektivt sätt.

8 Framtida arbete

Författarna till denna rapport rekommenderar att vidare forskning inom ämnet fokuserar på följande områden:

- **Investeringskostnader:** Detta projekt har fokuserat på optimering av driften av redan befintlig och installerad utrustning. Vidare forskning bör:
 - Undersöka effekten av att inkludera investeringskostnader för utrustning i fallstudierna i detta projekt.
 - Undersöka och visa hur nybyggnadsprojekt som använder många energikällor bör drivas optimalt, med hänsyn till investeringskostnader och kapitalkostnader.
- **Effektavgifter:** I detta projekt optimerades driften baserat på energipriser och kostnader (SEK/kWh) enbart. Vidare forskning bör utöka denna optimering till att även inkludera andra energikostnadskomponenter såsom fjärrvärme och elnätavgifter, eftersom dessa kan påverka resultaten avsevärt.
- **Installationsprinciper:** Denna studie har inte gått in på detaljer om hur en värmepump och fjärrenergi installeras för samoptimering. Fallstudierna har använt parallella installationer av värmepump och fjärrenergi. Framtida forskning bör överväga andra alternativ och undersöka eventuella utmaningar och fördelar som sådana installationsprinciper kan medföra.
- **Delning av energi och prosumenter:** Detta projekt är begränsat till fall där en byggnad enbart köper energi. Framtida projekt bör även överväga fall där byggnaden kan vara en energikälla och leverera energi till ett nät. Detta kräver ännu mer sofistikerade styr- och affärsmodeller.
- **Påverkan av energirapportering:** Fastighetsägare i Sverige måste rapportera energianvändning baserat på köpt energi, till exempel för att uppnå energieffektivitetsklassificeringar och bli berättigade till grön finansiering. Effekten som samoptimering kan ha på sådan rapportering, och omvänt hur sådan rapportering påverkar hur samoptimering bedrivs, har inte behandlats i denna studie. Framtida forskning bör undersöka denna fråga vidare, inklusive perspektivet kring hur val görs under planeringsfasen för nybyggda fastigheter.

9 Referenslista

Boss, A. (2012). *Fjärrvärmecentral och frånluftsvärmepump i kombination. Fjärrsyn Rapport 2012:11*. Svensk Fjärrvärme.

Boverket. (2024, 08 05). *IMD – Individuell mätning och debitering*.

Retrieved from IMD Individuell mätning och debitering:

<https://www.boverket.se/sv/byggande/bygg-och-renovera-energieffektivt/IMD/>

Chua, K. J., Chou, S. K., & Yang, W. M. (2010). Advances in heat pump systems: A review. *Applied Energy*, 87(12), 3611–3624.

Danielski, I., Fröling, M., & Joelsson, A. (2012). Air source heat pumps and their role in the Swedish energy system. *Conference on the Greening of Industry Network, GIN 22-24 October 2012, Linköping, Sweden*. Retrieved from

<https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:miun:diva-18276>

De Lorenzi, N. (2024, 09 30). *Nästa Generations Fjärrvärme*. (J. Ottosson, Interviewer)

Deloitte. (2022, 05 17). *iGAAP in Focus – European sustainability reporting – EFRAG launches consultation on first set of European Sustainability Reporting Standards*. Retrieved from <https://www.iasplus.com/en/publications/global/igaap-in-focus/2022/esrs>

E.On. (2024, 05 17). *Medicon Village först ut med den nya tekniken*. Retrieved from

Medicon Village först ut med den nya tekniken:

<https://www.eon.se/artiklar/medicon-village-foerst-ut-med-den-nya-tekniken>

Energikontoren. (2023). *Energi & Klimatrådgivningen*. Retrieved from

<https://www.energiradgivningen.se/varmepumpar/>

Energimyndigheten. (2024, 11 12). *Trädbränsle-, torv- och avfallspriser*. Retrieved from

<https://www.energimyndigheten.se/statistik/officiell->

energistatistik/prisutveckling-inom-energiområdet/tradbransle--och-torvpriser/

European Union. (2012). *Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC*. Brussels:

European Union. Retrieved from <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2012/27/oj>

Frederiksen, S., & Werner, S. (2013). *District Heating and Cooling*. Professional Publishing Svc.

Gehlin, S., Andersson, O., Bjelm, L., Alm, P.-G., & Rosberg, J.-E. (2020). Country Update for Sweden 2020. *Proceedings of the World Geothermal Congress*.

Göteborg Energi. (2024). *Miljövärdet för fjärrkyla 2023*. Retrieved from <https://www.goteborgenergi.se/DxF-135446079/Miljovarden-for-Fjarrkyla-2023-Slutliga.pdf?TS=638563692461618691>

IVL Svenska Miljöinstitutet. (2022). *Klimatbedömning av el, fjärrvärme och fjärrkyla - Delrapport, Tidstegen 5*. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet.

J. Terés-Zubiaga, E. P.-I.-P. (2018). Effects of individual metering and charging of heating and domestic hot water on energy consumption of buildings in temperate climates. *Energy Conversion and Management*, 171, 491-506.

Kensby, J., Johansson, L., Jansson, S., & Carlsson, J. (2019). *Värderingsmodell för efterfrågeflexibilitet, Futureheat (2019:564)*. Energiforsk.

Kensby, J., Trüschel, A., & Dalenbäck, J. (2017). Heat source shifting in buildings supplied by district heating and exhaust air heat pump. *Energy Procedia*, 116, 470-480. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.094>

Kontu, K., Rinne, S., & Junnila, S. (2019). Introducing modern heat pumps to existing district heating systems – Global lessons from viable decarbonizing of district

- heating in Finland. *Energy*, 862-870. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.077>
- Kraftringen. (2024, 02 19). *Unik energilösning för hållbara bostäder i Råbylund*. Retrieved from Unik energilösning för hållbara bostäder i Råbylund: <https://www.kraftringen.se/pressnyheter/2024-q1/240219-unik-energilosning-for-hallbara-bostader-i-rabylund/>
- Linnéuniversitetet. (2023, 12 08). *Projekt: Klimatdriven effekthushållning i kvarteret Crossways*. Retrieved from Projekt: Klimatdriven effekthushållning i kvarteret Crossways: <https://lnu.se/forskning/forskningsprojekt/projekt-klimatdriven-effekthushallning-i-kvarteret-crossways/>
- Lun, Y., & Tung, S. (2020). *Heat Pumps for Sustainable Heating and Cooling*. Springer International Publishing. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/978-3-030-31387-6>
- Mölnadal Energi. (2024). *Års- och hållbarhetsredovisning 2023*. Retrieved from <https://info.molndalenergi.se/hubfs/Dokument/%C3%85rs-%20och%20h%C3%A5llbarhetsredovisning%202023%20M%C3%B6lnadal%20Energi.pdf>
- Mölnadal Energi AB. (2024, 08 15). *Effekthandel Väst*. Retrieved from <https://www.molndalenergi.se/foretag/elnat/effekthandel-vast>
- NIBE. (2023). *Hållbara värmepumpar för alla hem | När ska man byta värmepump?* Retrieved from <https://www.nibe.eu/sv-se/produkter/varmepumpar>
- Ottosson, J., Johansson, L., Kensby, J., Lygnerud, K., Nilsson, J., & Nilsson, A. (2020). *Affärsmodeller för fjärrvärme och värmepumpar i fastigheter*. Energiforsk.
- Sarbu, I., & Sebarchievici, C. (2014). General review of ground-source heat pump systems for heating and cooling of buildings. *Energy and Buildings*, 70, 441-454. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.11.068>

SMED. (2021). *Emissionsfaktor för nordisk elmix med hänsyn till import och export.*

Naturvårdsverket. Retrieved from Retrieved from

<https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:naturvardsverket:diva-8809>

Stockholm Exergi. (2024, 09 26). *Nästa generations fjärrvärme och fjärrkyla.* Retrieved from

Nästa generations fjärrvärme och fjärrkyla:

<https://www.stockholmexergi.se/nasta-generations-fjarrvarme-och-fjarrkyla/>

Swedish Energy Agency. (2021). *Energy in Sweden 2021 – An overview.* Retrieved from

<https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=198022>

Swedish Energy Agency. (2023). *Heat pump.* Retrieved from

<https://www.energimyndigheten.se/en/sustainability/households/heating-your-home/heat-pump/>

Wickström, J. (2024, 04 17). Han optimerar fjärrvärmerna med digitala lösningar.

Tidningen Energi. Retrieved from <https://www.energi.se/artiklar/2024/april-2024/han-optimerar-fjarrvarmen-med-digitala-losningar/>

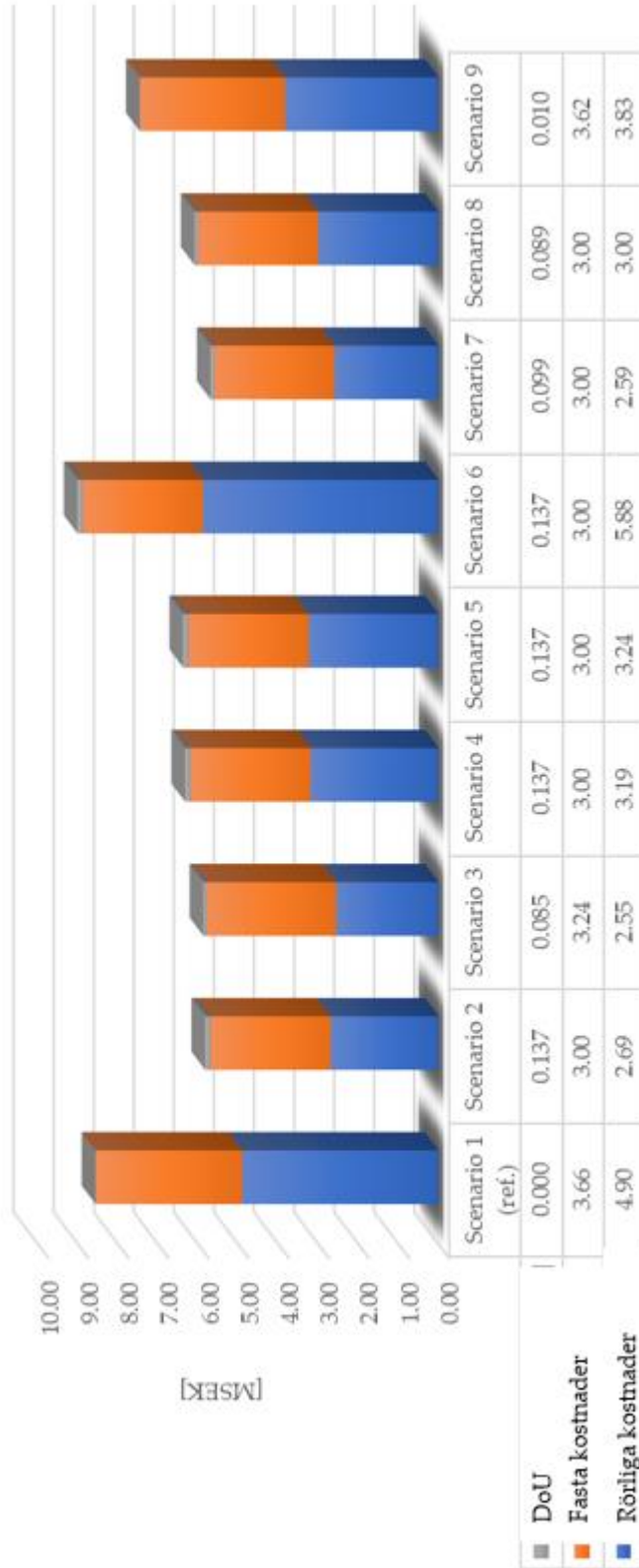
Bilaga A: Översikt av samtliga scenarion för fallstudie 1

Tabell 13 visar en översikt över alla scenarier som inkluderades i fallstudie 1, där de första tre är de som projektet fokuserade på och som presenterades i Tabell 1 i avsnitt 4.1.1.

Tabell 13 Översikt över alla inkluderade scenarier i fallstudie 1

	Drift VP	Priser FJV, FJK	Elpriser
Scenario 1	Ingen värmepump installerad	Dagens prismodell	Ej relevant
Scenario 2	Värmepump körs alla timmar	Dagens prismodell	Fast avtal 2024
Scenario 3	Värmepumpen optimeras	Marginalpriser	Spotpriser
Scenario 4	Värmepump körs alla timmar	Dagens prismodell	Spotpriser
Scenario 5	Värmepump körs alla timmar	Dagens prismodell	Fast avtal 2025
Scenario 6	Värmepump körs alla timmar	Dagens prismodell	Högt fast avtal
Scenario 7	Värmepumpen optimeras	Marginalpriser	Fast avtal 2024
Scenario 8	Värmepumpen optimeras	Marginalpriser	Fast avtal 2025
Scenario 9	Värmepumpen optimeras	Marginalpriser	Högt fast avtal

Total årlig energikostnad per scenario



PRAKTISKT GENOMFÖRANDE AV SAMOPTIMERING MED SYSTEMPERSPEKTIV

Hur kan befintliga värmepumpar och fjärrenergisystem samoptimeras för att uppnå systemeffektivitet och fördelar? Den här rapporten syftar till att besvara den frågan för energibolag och fastighetsägare genom att visa lösningar som fungerar i praktiken och genom att lyfta fram förutsättningar som är avgörande framgångsfaktorer.

Rapporten sammanfattar två fallstudier som genomfördes i Mölndal mellan 2022 och 2024, där potentialen för teknisk samoptimering i kombination med föreslagna affärsmodeller utvärderades, en i ett teoretiskt ramverk och den andra testad i en verklig miljö.

Resultaten bekräftar att win-win-samarbeten mellan energibolag och fastighetsägare inte bara är möjliga utan även fördelaktiga, förutsatt att vissa villkor uppfylls. Studien fann att dynamiska prissättningsmodeller och användningen av marginalkostnadsbaserade tariffer är avgörande för att låsa upp samoptimeringens fulla potential. Den realtidsanpassning som dessa system möjliggör gör det möjligt för fastighetsägare att utnyttja fjärrvärme under perioder med höga elpriser, vilket optimerar både driftkostnader och systemeffektivitet.

Ett nytt steg i energiforskningen

Forskningsföretaget Energiforsk initierar, samordnar och bedriver forskning och analys inom energiområdet samt sprider kunskap för att bidra till ett robust och hållbart energisystem. Energiforsk är ett politiskt neutralt och icke vinstutdelande aktiebolag som ägs av branschorganisationerna Energiföretagen Sverige och Energigas Sverige, det statliga affärsverket Svenska kraftnät, samt gas- och energiföretaget Nordion Energi. Läs mer på energiforsk.se.

