

Energimyndighetens titel på projektet – svenska Digital plattform för handel och styrning av energi	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska Digital platform for energy trade and consumer flexibility	
Universitet/högskola/företag Kraftingen Energi AB	Avdelning/institution
Adress Box 25, 221 00 LUND	
Namn på projektledare Annika Erlandsson	
Namn på ev. övriga projektdeltagare David Edsbäcker, Jonas Ternström, Axel Johansson, Philip Svensson, Mattias Fägersjö, Ali Moallemi, Moa Dahlman Truesdale, Heidi Olsson, Jonas Dahl	
Nyckelord: 5–7 st Effektstyrning, Efterfrågefleksibilitet, Fjärrkyla, Fjärrvärme, Optimering, Timpriser, Värmepump	

e-Flex

Digital plattform för handel
och styrning av energi



Sammanfattning

Många fastigheter och fastighetsägare har en outnyttjad resurs i form av flexibilitet som kan användas i de övergripande energisystemen. Genom att vara flexibla med när och vilken energibärare de använder kan fastighetsägare bidra till systemets effektivitet.

Inom e-Flexprojektet har en digital säker plattform utvecklats för att möjliggöra optimerad drift av ett antal testobjekt ur ett systemperspektiv. Projektet adresserar utmaningar inom energisystemet genom att erbjuda flexibla lösningar i form av funktionaliteterna **Elflexibilitet**, **Värmeflexibilitet** och **Energiflexibilitet**, som kan bidra till minskade energikostnader, minskad primärenergianvändning och lägre koldioxidutsläpp.

Plattformen möjliggör gemensam optimering av hela energisystemet, istället för att varje part optimerar sitt eget system. På så sätt kan suboptimering av det övergripande energisystemet undvikas och ett bättre utnyttjande säkerställs. Både ur ett miljö- och ekonomiskt perspektiv. Plattformens funktionalitet och potential påvisades genom positiva resultat från ett antal piloter på testobjekt på sjukhusområdet i Lund samt replikerings-test på ett större bostadsområde i Eslöv. Utvärdering och test gjordes med både historiska data och data i hämtad i realtid.

För att frigöra den flexibilitet som finns på efterfrågesidan krävs affärsmodeller som skapar incitament för fastighetsägarna att agera på ett sätt som optimerar de övergripande energisystemen, oavsett om målet är ekonomisk, miljömässig eller en kombinerad optimering. Projektet diskuterar hur sådana affärsmodeller skulle kunna se ut, där energibolag och fastighetsägare delar på vinsten av ett mer optimerat energisystem som t.ex. undviker dyr spetslastproduktion. Utformningen av dessa affärsmodeller beror på vilken av de tre funktionaliteterna som avses men visar *win-win* i samtliga fall.

Implementering av plattformen och de optimeringslösningar som tagits fram i projektet kräver en del tekniska förutsättningar i form av möjligheter att mäta och automatiskt styra fastigheterna. Ska funktionaliteten Energiflexibilitet utnyttjas, där man växlar mellan energibärare, krävs också att fastigheten är dubbelansluten. Med en samhällstrend med ökande digitalisering och automatisering av fastighetsstyrning samt även ökat antal dubbelanslutna fastigheter ser potentialen gynnsam ut.

Resultaten från e-Flex kommer leda till ett utökat samarbete mellan energibolag och fastighetsägare och därmed också ett mer robust, miljövänligt och ekonomiskt optimerat energisystem.

Summary

Many properties and property owners have an untapped resource in the form of flexibility, which can be utilized in the overall energy systems. By being flexible with when and which energy carrier they use, property owners can contribute to the efficiency of the system.

Within the e-Flex project, a secure digital platform has been developed to enable optimized operation of several test objects from a system perspective. The project addresses challenges within the energy system by offering flexible solutions in the form of functionalities such as **electricity flexibility**, **heat flexibility**, and **energy flexibility**, which can contribute to reduced energy costs, lower primary energy consumption, and decreased carbon emissions.

The platform enables joint optimization of the entire energy system instead of each party optimizing its own system. In this way, sub-optimization of the overall energy system can be avoided, ensuring better utilization both from an environmental and economic perspective. The platform's functionality and potential were demonstrated through positive results from several pilot tests on test objects at the hospital area in Lund, as well as replication tests in a larger residential area in Eslöv. Evaluation and testing were conducted using both historical data and real-time data.

To unlock the flexibility available on the demand side, business models are required that create incentives for property owners to act in a way that optimizes the overall energy systems, whether the goal is economic, environmental, or a combination of both. The project discusses what such business models could look like, where energy companies and property owners share the benefits of a more optimized energy system, such as avoiding costly peak load production. The design of these business models depends on which of the three functionalities is being addressed, but all cases demonstrate a win-win scenario.

The implementation of the platform and the optimization solutions developed in the project requires certain technical conditions, such as the ability to measure and automatically control buildings. If the EnergyFlex functionality is to be utilized, where switching between energy carriers takes place, the building must also be dual-connected. With an increasing societal trend towards digitalization and automation of building control, as well as a growing number of dual-connected buildings, the potential looks promising.

The results from e-Flex will lead to increased collaboration between energy companies and property owners, thereby creating a more robust, environmentally friendly, and economically optimized energy system.

Innehållsförteckning

Sammanfattning	ii
Summary	iii
Figurförteckning.....	vi
Förklaring till begrepp i rapporten.....	vii
Förklaring till förkortningar i rapporten.....	viii
 Förord	 3
Bakgrund	4
 1 Potentialstudien	 9
1.1 Metod	9
1.2 Resultat	10
1.2.1 Energiflexibilitet	10
1.2.2 Värmeflexibilitet	11
1.2.3 Tillvaratagande av överskottsvärme	12
1.2.4 Elfexibilitet	12
1.3 Slutsatser	13
 2 Utveckling av digital plattform – funktionalitet och modell	 15
2.1 Metod	15
2.2 Resultat	18
2.3 Slutsatser och insikter	20
 3 Testobjekt på Region Skånes sjukhusområde	 22
3.1 Metod	22
3.2 Resultat och insikter	23
3.2.1 Testobjekt	24
3.2.2 Energibesparing och miljö	24
3.2.3 Utmaningar och utvecklingsmöjligheter	24
3.2.4 Framtidsutblick	25
 4 Utvärdering av pilot- och replikeringstest	 27
4.1 Metod	27
4.2 Resultat och slutsatser	29
4.2.1 Resultat från testobjekt på sjukhusområdet i Lund	29
4.2.2 Resultat av replikeringstest hos EBO	30
4.2.3 Jämförelse mellan tariff- och DSM-styrning för värmeflexibilitet	30

5	Affärsmodeller	32
5.1	Bakgrund	32
5.2	Metod.....	32
5.3	Resultat, slutsatser och insikter.....	34
6	Replikerbarhet	37
6.1	Metod.....	37
6.2	Resultat och slutsatser	38
7	Diskussion och slutsatser	43
7.1	Fördelar	43
7.1.1	Ekonomiska fördelar	43
7.1.2	Miljömässiga fördelar	43
7.1.3	Tekniska fördelar	43
7.2	Utmaningar och lösningar	44
7.3	Slutsatser	44
	Referenser och källor	45
	Bilagor	45

Figurförteckning

Figur 1 Beroendeförhållanden mellan arbetspaketen i projektet	6
Figur 2 Arbetsmetodik för potentialstudie.....	9
Figur 3 Resultat potentialstudie av Energiflexibilitet; VP, FJV, FJK.....	10
Figur 4 Värmeflexibilitet	11
Figur 5 Resultat potentialstudie av Värmeflexibilitet	12
Figur 6 Dataflöden i e-Flex-systemet.....	16
Figur 7 Funktionaliteter i e-Flex	17
Figur 8 e-Flex-systemet	19
Figur 9 Testobjekt på sjukhusområdet i Lund	23
Figur 10 Översiktlig bild av utvärderingsprocess	28
Figur 11 Effektreducering vid hög fjärrvärmelast	29
Figur 12 Funktionaliteter och framtagande av affärsmodeller.....	33

Förklaring till begrepp i rapporten

Akkumulatortank – En stor tank som lagrar energi i form av värme eller kyla.

BMS – *Building Management System*, ett fastighetsautomationssystem för övervakning och styrning av olika tekniska funktioner i en byggnad.

DSM-styrning – Demand Side Management, en strategi inom energihantering som syftar till att optimera energiförbrukningen på användarsida.

EBO – Eslövs Bostads AB, ett allmännyttigt bostadsbolag som äger och förvaltar cirka 2 300 hyresbostäder i Eslövs kommun.

Energiflexibilitet – Säkerställa att rätt energislag (el/fjärrvärme, el/fjärrkyla) används vid rätt tillfälle för att ge störst värde för slutförbrukare och förutsägbarhet för överliggande energisystem.

Elflexibilitet – Reducera effektuttag under de tillfällen då effektuttaget i nätet ligger på en kritisk nivå.

Fjärrkylaretur – En term inom fjärrkyla där retur syftar på vatten som återvänder till kylcentralen efter att ha absorberat värme från byggnader.

Koldioxidekvivalenter – Ett mått som används för att jämföra utsläpp av olika växthusgaser baserat på deras påverkan på växthuseffekten och den globala uppvärmningen.

LLE-nätet – Fjärrvärmenätet i Lund, Lomma och Eslöv.

NODA Intelligent Systems – Ett företag som utvecklar och marknadsför AI-baserade lösningar för termiska system som fjärrvärme och fjärrkyla.

Primärenergi – Energi i sin ursprungliga form i naturen innan den omvandlas eller används, t.ex. råolja, naturgas, vind och sol.

Tariff kontroll – Tariffkontroll, optimera energianvändningen baserat på olika pristariffer.

TDP - Transaktionsdataplattform

Värmeflexibilitet – Optimerar fjärrvärmesystemet genom att använda den termiska trögheten i fastigheter och styr när i tid fjärrvärme används.

YGGIO – En IoT-integrationsplattform utvecklad av Sensative för att hantera och integrera olika enheter och system.

Förklaring till förkortningar i rapporten

API – Application Programming Interface, en uppsättning regler och verktyg som gör att olika mjukvaror och system kan kommunicera med varandra.

DC – District Cooling, fjärrkyla

DH – District Heating, fjärrvärme

FJV – fjärrvärme

FJK – fjärrkyla

VP – värmepump



Förord

Projektet har genomförts av projektgruppen: David Edsbäcker, Philip Svensson och Annika Erlandsson från Krafringen Energi AB, Mattias Fägersjö och Jonas Ternström från Region Skåne, Ali Moallemi från Energy Opticon AB, Axel Johansson från Lunds universitet, Jonas Dahl från RISE och Heidi Olsson från Sustainable Business Hub.

Projektet har finansierats av Energimyndigheten inom programmet *Digitalisering möjliggör energi- och klimatomställningen* samt av Region Skåne, Krafringen Energi, Energy Opticon och Sustainable Business Hub.

Kopplat till projektet har det funnits en styrgrupp med följande deltagare: Tony Carlin och David Nilsson från Region Skåne, Karin Waldén, Fredrik Fackler och Malin Friis från Krafringen Energi, Moa Dahlman Truesdale från Energy Opticon, Marcus Thern från Lunds universitet och Håkan Rosqvist från Sustainable Business Hub.

Projektgruppen har även haft ett stort stöd från referensgruppen med deltagare från Akademiska Hus, BRF Tingvallen, Eslövs Bostads AB, Genova, LKF, Lunda-fastigheter, Tetra Pak, Alfa Laval och Wihlborgs.

Vi vill även rikta ett stort tack till Jonatan Kuuse, Jens Kongstad, Björn Kjeang Funkqvist och Christina Andersson. Håkan Skarrie och Petter Duvander från Krafringen, Pia Malmström och Victor Vannerberg från Energy Opticon samt Christian Johansson, Martin Borgqvist och Nilla Carlsson från NODA Intelligent Systems för ert kunskapsbidrag till projektet.

Bakgrund

Syftet med projektet har varit att utveckla framtidens flexibla energisystem. Det svenska energisystemet står inför stora utmaningar, såsom ökad väderberoende elkraftsproduktion, stigande elbehov och begränsad överföringskapacitet mellan geografiska områden för elanvändning och produktion. Dessa faktorer leder till en volatil prisbild och kapacitetsproblem.

Med den digitala utvecklingen, såsom insamling av mätdata och förbrukning i realtid, styrning och optimering samt billigare sensorer och smart teknik, finns nu möjligheten att flytta förbrukning i tid. Dessutom kan externa parametrar användas för att prognostisera både förbrukning och framtida miljöpåverkan från olika val, exempelvis energilagring, byte av energibärare, lastförflyttning i tid och effektreducering.

Målet med projektet har varit att skapa ett flexiblare energisystem genom ökad samverkan mellan energibolag och fastighetsägare. Genom att optimera energisystemet tillsammans, i stället för att varje part optimerar sitt eget system, kan suboptimering av det övergripande energisystemet undvikas.

Många fastighetsägare har en outnyttjad resurs i form av flexibilitet, som kan användas i de övergripande energisystemen. Genom att vara flexibla med när och vilken energibärare de använder, kan fastighetsägare bidra till systemets effektivitet.

För att frigöra den flexibilitet som finns på efterfrågesidan krävs affärsmodeller som skapar incitament för fastighetsägarna att agera på ett sätt som optimerar de övergripande energisystemen, oavsett om målet är ekonomisk eller miljömässig optimering.

Inom e-Flex har en digital plattform utvecklats för att möjliggöra en optimerad drift av ett antal testobjekt ur ett systemperspektiv. Projektet syftar till att adressera utmaningar inom energisystemet genom att erbjuda flexibla lösningar som kan bidra till minskade energikostnader, minskad primärenergianvändning och lägre koldioxidutsläpp.

För energibolagen innebär detta att energisystemen avlastas vid hög efterfrågan, vilket ger ett mer klimatsmart och robust energisystem. Fastighetsägarna får ökad möjlighet att samoptimera sin värme-, kyla- och elanvändning, vilket kan minska deras energikostnader. Styrning av energianläggningar innebär också minskad klimatpåverkan och stärkt hållbarhetsprofil.

Under projektperioden har plattformen utvecklats och testats på ett antal fastigheter på Lunds sjukhusområde, med målet att skapa ett replikerbart digitalt verktyg för

handel med energi som kan kommersialiseras och spridas. En fysisk replikerbarhetsstudie har också genomförts hos Eslövs Bostads AB (EBO).

Projektet har pågått under fyra år, 2020-2024, och varit indelat i sju arbetspaket:

1. Potentialstudie för energisystemnytta
2. Pilot - Testobjekt på Region Skånes Sjukhusområde
3. Utveckling av digital plattform
4. Utvärdering av pilot
5. Affärsmodell för ökad flexibilitet
6. Replikerbarhet
7. Kommunikation och spridning

Figur 1 visar beroendeförhållandet mellan arbetspaketen i projektet. Projektet inleddes med en förstudie för att identifiera potentiella testobjekt på Region Skånes sjukhusområde i Lund, som kunde möjliggöra energidelning, styrning, flyttning och lagring av energi. En potentialstudie genomfördes för att bestämma vilka objekt som skulle ingå i testpiloten baserat på dess lönsamhetspotential och teknisk genomförbarhet. En digital plattform utvecklades utifrån funktionaliteterna El-, Värme- och Energiflexibilitet. Testobjekten som skulle ingå i piloten förbereddes bland annat genom teknisk förstudie, intern säkerhetsgenomgång och vid behov ombyggnader av befintliga installationer.

När förberedelserna av testobjekten var klara och den digitala plattformen utvecklad kunde piloten testas under ett år och utvärderas med avseende på kostnadsbesparingar och miljökonsekvenser. Slutligen genomfördes en replikerbarhetsstudie och en uppskalning av funktionaliteterna. Parallellt med testkörningen av piloten utvecklades affärsmodeller som skapade incitament för fastighetsägare och energibolag att gemensamt optimera energisystemnyttan. Under hela projektet pågick kommunikativa aktiviteter för att sprida information om projektet.

I kommande kapitel beskrivs metod, resultat slutsatser och insikter för respektive arbetspaket. Mer detaljerade arbetspaketrapporter finns som bilagor till rapporten.



Figur 1 Beroendeförhållanden mellan arbetspaketen i projektet

Deltagande organisationer

Projektkonsortiet var sammansatt enligt trippelhelix-modellen och bestod av:

Energy Opticon AB (EO) – ett svenskt företag som tillhandahåller mjukvaran *Energy Optima 3*, service och konsulttjänster för produktionsoptimering, last-prognostisering, elhandel, fjärrvärmenätsoptimering och användarflexibilitet för energiproducerande företag. I Energy Opticons erbjudande finns även strategiskt stöd vid förändringsprocesser, långtidssimuleringsverktyg för nya investeringar, energiomställning och dimensionering av nya enheter, verktyg för ekonomisk uppföljning och business intelligence.

Kraftringen – ett kommunalägt energibolag med ambitionen att leda utvecklingen av framtidens energi. Verksamheten omfattar produktion, distribution och försäljning av el, gas, värme och kyla, samt energirelaterade tjänster.

Lunds universitet/Lunds tekniska högskola (LTH) – Från Lunds universitet forskningsgruppen för fjärrvärme och energisystem på LTH.

Region Skåne – representerat av Regionfastigheter som är Region Skånes fastighetsorganisation och bland annat ansvarar för fastigheter på samtliga sjukhusområden i Skåne.

RISE Research Institutes of Sweden – ett statligt ägt forskningsinstitut som har som uppgift att bidra till utvecklingen av det svenska näringslivet och samhället genom tillämpad forskning och innovation.

Sustainable Business Hub – en klusterorganisation som sammanför företag, akademi och offentliga organisationer med syfte att stimulera grön utveckling och gröna affärer. De arbetar främst inom områdena hållbar energi, klimatanpassning och cirkulär resurshantering.





*Att kunna styra resurser
flexibelt kommer att bli
allt viktigare i takt med
att energipriserna blir
mer volatila.*

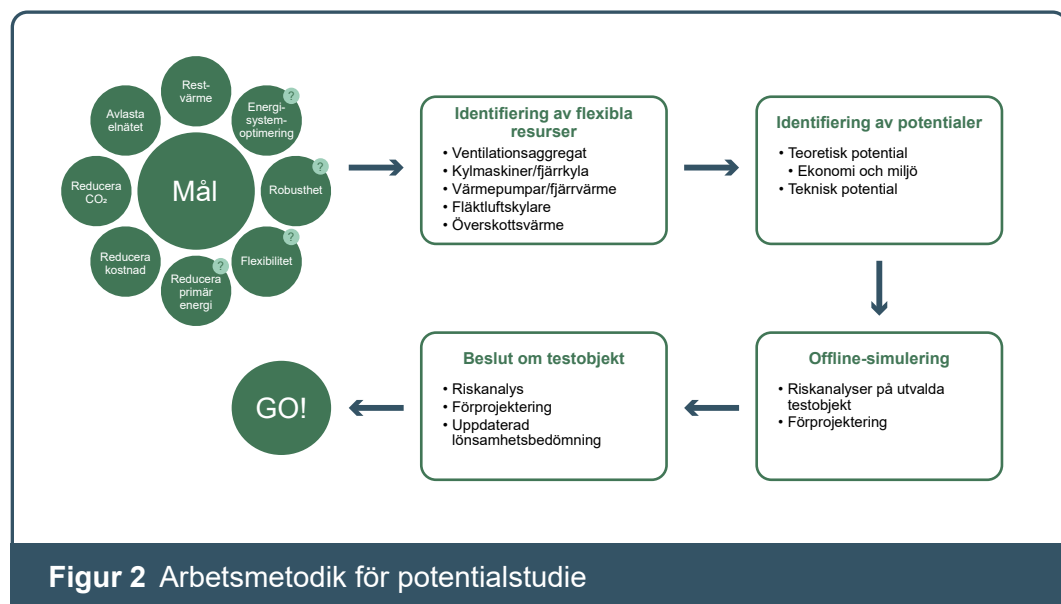
Potentialstudien

Potentialstudien syftade till att analysera potentialen hos utvalda testobjekt för laststyrning och energiutbyten mellan Region Skåne och Krafteringen. Målet var att utvärdera vilka testobjekt som var mest lämpade för den efterföljande pilottestningen. Arbetet leddes av David Edsbäcker, Krafteringen Energi.

Kommande kapitel utgör en sammanfattning av det arbete som utförts under potentialstudien, uppnådda resultat och slutsatser. För en mer omfattande beskrivning hänvisas till delrapporten *Potentialstudie*, **bilaga 1**.

1.1 Metod

Arbetsmetodiken för potentialstudien presenteras i **Figur 2**. Ett flertal testobjekt identifierades och utvärderades som möjliga källor till el-effektreduktion, värmeåtervinning, byte av energibärare och stomlagring.



Först identifierades lämpliga testobjekt, för vilka detaljerade potentialstudier genomfördes. Syftet var att fastställa lönsamhetspotentialen och bedöma den tekniska genomförbarheten för att vara flexibel med resurserna. För de testobjekt som visade sig lönsamma, utvecklades en offline-modell som matades med historiska data för att validera resultaten från potentialstudien.

Efter valideringen genomfördes förprojekteringar och investeringsbedömningar, vilket ledde till beslut om vilka testobjekt som skulle vidareutvecklas. Därefter påbörjades utvecklingsarbetet.

1.2 Resultat

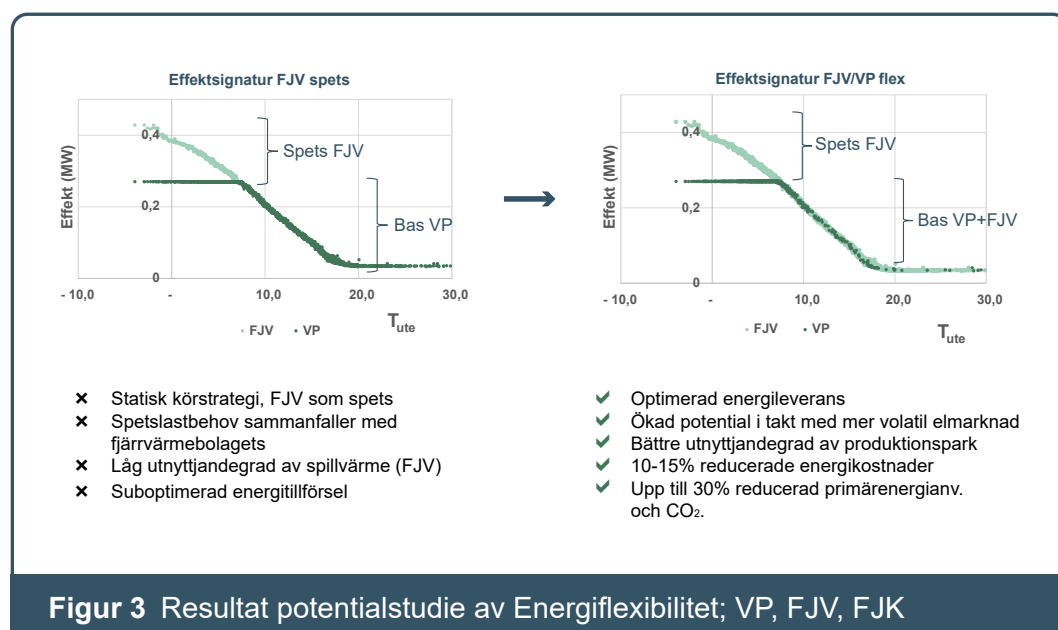
En av de flexibla resurser som identifierades tidigt i studien var dubbelanslutna fastigheter, d.v.s. värme- och/eller kylsystemet i fastigheten kan drivas med lokal värmepump/kylmaskin eller fjärrvärme/fjärrkyla. Fastigheter med värmepump och fjärrvärme drivs vanligtvis mycket statiskt, där värmepump täcker basbehovet och fjärrvärme spetslastbehovet under kalla vinterdagar. För fjärrvärmebolaget innebär detta en låg utnyttjandegrad av produktionsparken, då fjärrvärmen endast används som spetslast, vilket leder till en suboptimerad energitillförsel.

För att förbättra energisystemets effektivitet skulle det vara fördelaktigt att vara flexibel och alternera mellan energislagen beroende på tillgängligheten i det överliggande energisystemet.

1.2.1 Energiflexibilitet

Potentialstudien, baserad på data från 2020 och 2021, visade att det fanns en god lönsamhetspotential för att flexa mellan el, fjärrvärme och fjärrkyla.

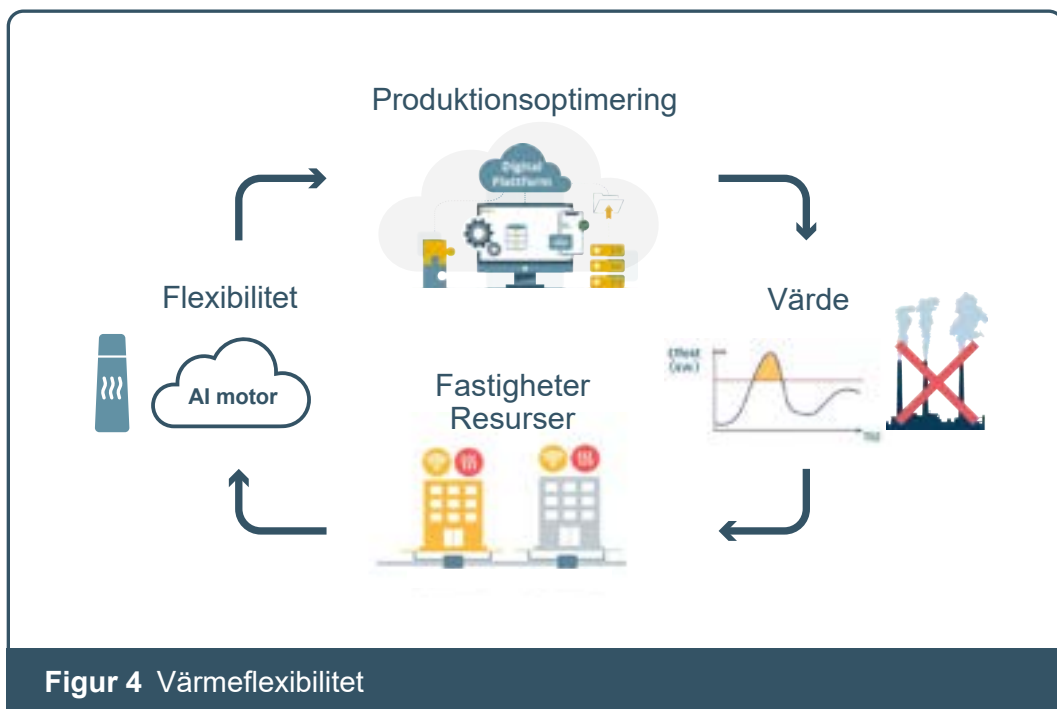
I **Figur 3** visas resultaten från potentialstudien, vilket tydligt illustrerar de ekonomiska och miljömässiga fördelarna. Energikostnaderna reducerades med 10-15%, samt vid en optimering baserat på miljösignaler var det möjligt att reducera primärenergianvändningen och CO₂-utsläppen med upp till 30%.



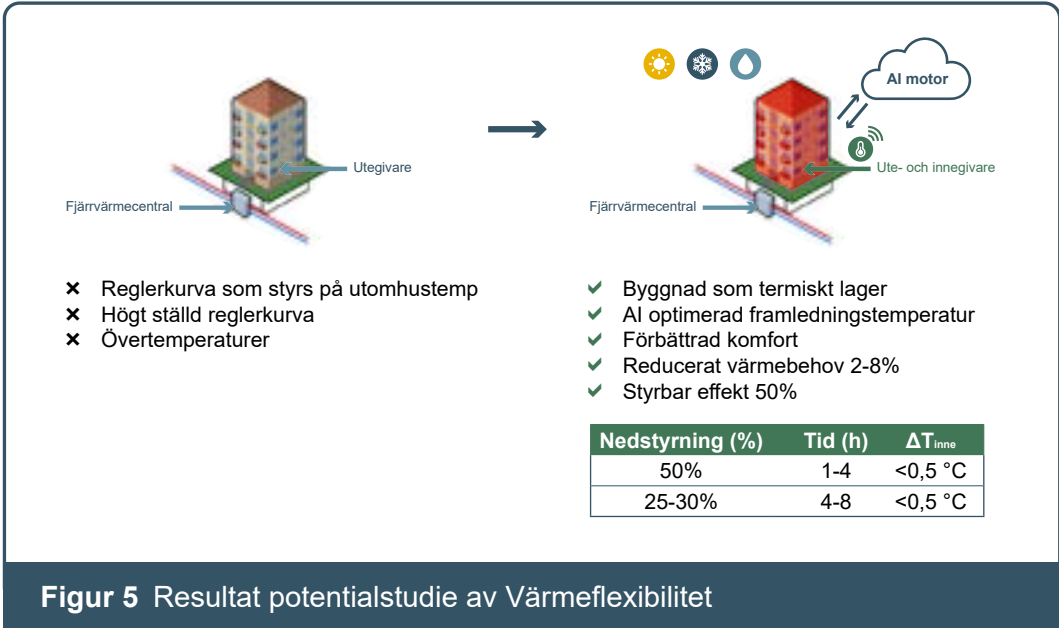
Baserat på dessa resultat togs det beslut om att gå vidare med denna typ av flexibla resurs, benämnd **Energiflexibilitet**.

1.2.2 Värmeflexibilitet

Arbetsmetodiken för värmeflexibilitet bygger på att utnyttja byggnaders termiska tröghet, vilket kan likställas med tusentals små ackumulatortankar utspridda i fjärrvärmenäten. Många fastigheter styrs idag ineffektivt, där värmeförsörjningen helt baseras på utomhustemperaturen. Genom att ta hänsyn till fastigheternas termiska tröghet, d.v.s. tiden det tar för fastigheten att reagera på en förändrad värmeförsörjning, hade det varit möjligt att anpassa värmeförsörjningen inför ett kommande väderomslag. Ett jämnare inomhusklimat hade uppstått eftersom övertemperaturer hade kunnat undvikas.



Genom att installera smart AI-styrning som reglerar värmeförsörjningen baserat på väderprognoser, inomhussensorer och byggnadens termiska tröghet, kan en jämnare komfort och lägre energikostnader uppnås (**Figur 4**). Energibesparingar på mellan 2-15% kan uppnås med denna metod. Krafringen har länge erbjudit denna typ av tjänst i samarbete med NODA, men vid projektets start hade kopplingen mellan NODA och Krafringens produktion ännu inte utvecklats. Först när denna koppling var på plats kunde byggnaderna nyttjas som ackumulatortankar och resurser i produktionsoptimeringen (EO3).



Potentialberäkningarna visade att upp till 50% av värmetillförseln kan styras bort under 4 timmar utan att inomhustemperaturen påverkas mer än 0,5°C. För längre perioder, upp till 8 timmar, kan 20-30% styras bort med samma resultat. En halv grads sänkning av inomhustemperaturen upplevs inte av brukarna, vilket illustrerar den enorma outnyttjade flex-potentialen i fjärrvärmenäten, se **Figur 5**.

Detta utvecklingsområde identifierades tidigt som en prioritet i projektet och benämns **Värmeflexibilitet**.

1.2.3 Tillvaratagande av överskottsvärme

En annan resurs som utvärderades var möjligheten att öka tillvaratagandet av överskottsvärme via fjärrkylareturen. Det fanns en möjlighet att öka tillvaratagandet vid utomhustemperaturer på 11-18°C, där värmen idag fläktas bort. Tanken var att ersättning skulle utbetalas motsvarande alternativkostnaden för att producera motsvarande mängd värme i en av Krafringens anläggningar.

Det konstaterades dock snabbt att lönsamheten inte var tillräcklig. Vid dessa utomhustemperaturer är tillgängligheten av överskottsvärme i fjärrvärmenäten redan god, vilket skulle resultera i obefintliga eller mycket låga ersättningsnivåer. Detta gjorde att lönsamheten inte motiverade investeringar som krävdes och därför beslutades att inte gå vidare med det tilltänkta testobjektet.

1.2.4 Elfleksibilitet

Då Sveriges energisystem, och kanske framför allt elsystemet, genomgår en omställning där andelen väderberoende produktion ökar samtidigt som elbehovet i

samhället stiger, blir utsattheten för tillfälliga effekttoppar och prisfluktuationer större. Minskningen av förutsägbar elproduktion innebär att det blir allt viktigare att skapa incitament för nedstyrning av eleffekt under kritiska timmar i elnätet för att avlasta och framtidssäkra elnätet. Även om det endast rörde sig om ett fåtal timmar under 2020-2021, bedömdes denna typ av lösning som allt viktigare, för totalt bättre utnyttjande av nätet i framtiden. Oavsett kritiska situationer i nätet är det inte hållbart med en oflexibel elanvändning och därför är det nödvändigt att utveckla lösningar för att hantera dessa utmaningar. Valet att gå vidare med denna typ av flexibilitet gjordes trots att det rörde sig om få timmar som skulle styrts ner under det analyserade perioden 2020-2021. Potentialstudien visade låg besparingspotential men god teknisk genomförbarhet.

1.3 Slutsatser

Potentialstudien påvisade att det fanns en god ekonomisk potential och teknisk genomförbarhet att gå vidare med flertalet av de flexibla resurserna som identifierades som testobjekt i efterföljande pilottest.

Att kunna styra resurser flexibelt kommer att bli allt viktigare i takt med att energipriserna blir mer volatila. Studien träffade här helt rätt i det som skulle utvecklas, vilket är lätt att glömma nu (2024), då potentialstudien genomfördes före energiprisökningarna 2022.

Sedan dess har omständigheterna förändrats: idag är både möjligheterna och viljan hos Kraftringens kunder, samt andra energibolag, mycket större. Det finns en stark önskan att i större omfattning bidra till energisystemet.

Sammanfattningsvis kan följande punkter lyftas fram:

- Stor flexibilitetspotential stora delar av året för dubbelanslutna fastigheter.
- Stigande potential i takt med mer volatila energipriser.
- Ökad flexibilitet leder till både sänkta energikostnader och klimatpåverkan.
- Brist på lönsamhet för ökat tillvaratagande av överskottsvärme sommartid.



Projektet visade att det var möjligt att utveckla en digital plattform som skapar win-win för både energibolag och fastighetsägare.

Utveckling av digital plattform – funktionalitet och modell

Nästa steg i projektet efter potentialstudien var att utveckla ett verktyg, en digital plattform, för att möjliggöra att fastighetsägaren och energibolaget kan samoptimera det övergripande energisystemet. Fokus har varit att utveckla en cybersäker digital plattform som genererar automatiska körplaner för testobjekten (slutanvändarna), med målet att uppnå ett ekonomiskt och/eller miljömässigt optimerat övergripande energisystem. Arbetet leddes av Ali Moallemi, Energy Opticon.

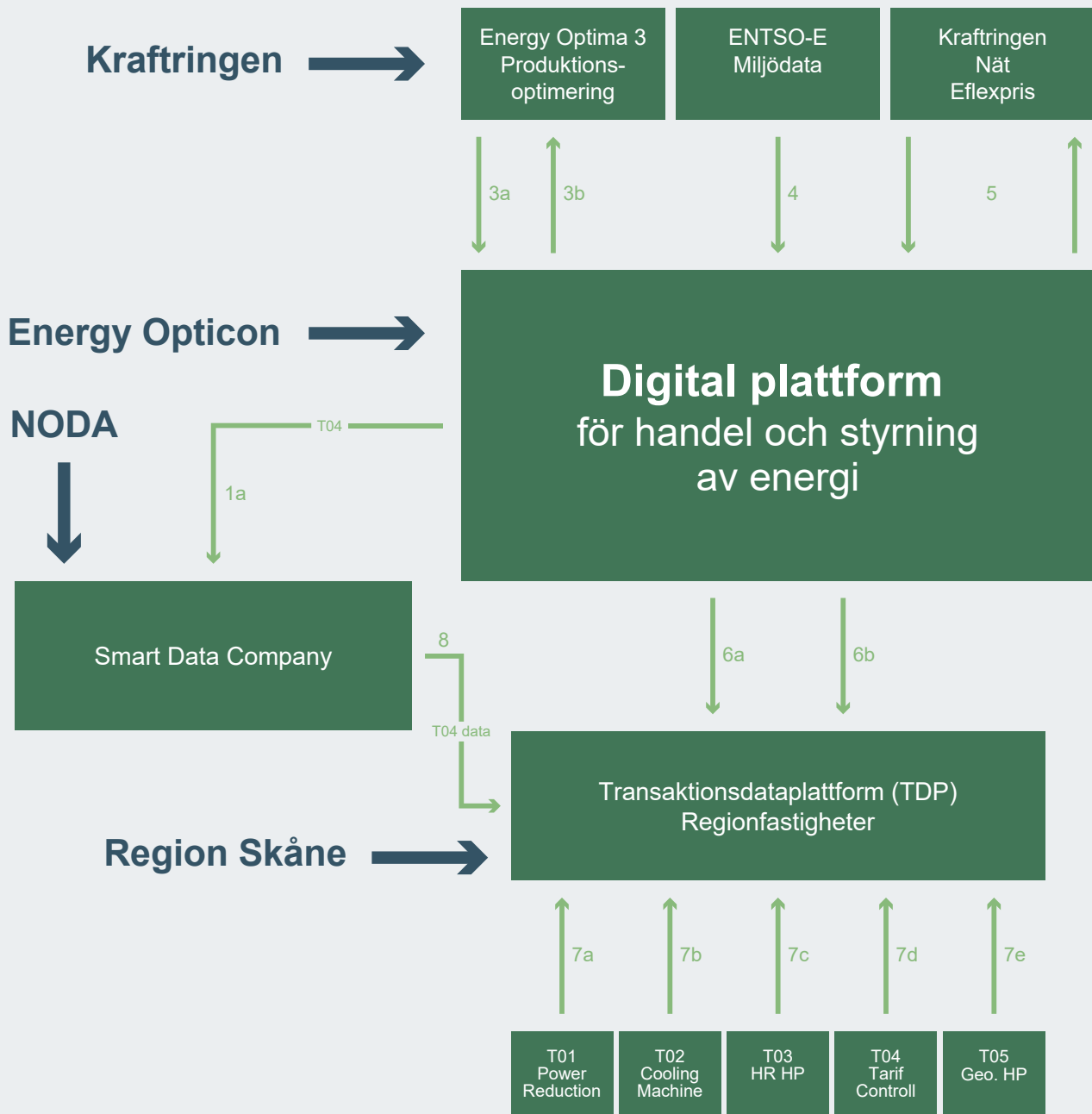
Kommande kapitel utgör en sammanfattning av det arbete som utförts under utvecklingen av den digitala plattformen samt, uppnådda resultat, slutsatser och insikter. För en mer omfattande beskrivning hänvisas till delrapporten *Utveckling av digital plattform*, bilaga 2.

2.1 Metod

Syftet med följande kapitel är att beskriva arbetet med utvecklingen av den digitala plattformen i e-Flex. Först beskrivs uppbyggnaden av plattformen och därefter funktionaliteterna.

Inom projektet har en modul utvecklats, den digitala plattformen för handel och styrning av energi, en kopia av befintligt mjukvaruprogram för produktionsoptimering, Energy Optima 3 med gränssnittskopplingar mot olika intressenter, se **Figur 6**. Kärnan i plattformen är sammankopplingen mellan Krafringens produktionsoptimering och regionens egna system för fastighetsautomation och styrning. Från Krafringens Energy Optima 3 erhålls information som produktionsoptimeringsplan, produktionsenheternas data, marginalkostnader och miljöfaktorer för fjärrvärme och fjärrkyla med timupplösning. Det har även skapats en koppling mellan Dataplattformen och Krafringen Nät för kommunikation om nedstyrning av eleffekt under kritiska timmar i elnätet. Ett annat gränssnitt är mot ENTSO-E, där miljödata om elproduktion i Sverige hämtas för att möjliggöra beräkningar av miljöfaktorer för el.

Ett annat gränssnitt som har arbetats fram är mellan den digitala plattformen och regionens transaktionsdigitala plattform (TDP). Via TDP erhålls information om testobjekten, såsom uppmätta mätvärden och tillgänglighet. Dessutom skickas körplanen för testobjekten för nästkommande dag via detta gränssnitt och återkoppling från regionen om körplan har genomförts.



Figur 6 Dataflöden i e-Flex-systemet

För värmeflexibilitetsfunktionen överförs en del data mellan den digitala plattformen och TDP, via NODAS automationssystem för inomhusklimatkontroll och reglering av värmeflexibilitet.

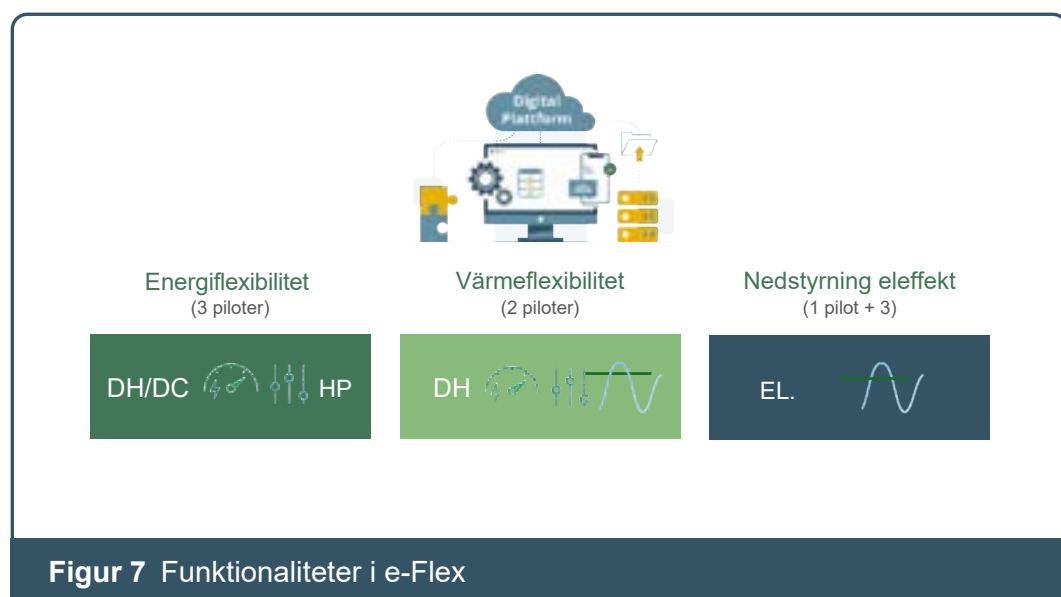
Avsikten med utvecklingen av den digitala plattform var för ekonomisk och miljömässig optimering av det övergripande energisystemet utifrån de tre funktionaliteterna Energiflexibilitet, Värmeflexibilitet och Elflexibilitet, som definierades i potentialstudien, se **Figur 7**.

Optimeringen sker inte enbart mot ekonomi eller miljö, utan en plattform skapades som kunde generera operativa planer baserat på en kombination av både miljömässiga och ekonomiska vinster, det vill säga en så kallad *sweet spot*-optimering.

Beroende på vad man vill optimera erhålls olika resultat. På grund av detta kan plattformen använda fyra olika optimeringsscenarier:

1. Ekonomisk optimering för att optimera kostnader och öka besparingar.
2. CO₂-optimering för att minimera CO₂-utsläpp.
3. PE-optimering för att maximera besparingar i primärenergi.
4. Kombination av alla ovanstående optimeringar.

Utvecklingen av plattformen följde en strukturerad arbetsgång där en offline-modell först togs fram. När denna var färdigställd testades den i verkligheten genom att koppla samman alla delar inom e-Flex-systemet och utvärdera algoritmerna. Modellerna testades tillsammans med anslutningar och datagränssnitt och



efter att ha klarat testfaserna prövades de i live-läge. Under hela processen förankrades och diskuterades modellen med produktionspersonalen hos energibolaget samt med fastighetsägarna.

Nedan beskrivs utvalda delar av utvecklingsarbetet med plattformen:

- En prismodell utvecklades för att kunna beräkna variabla timpriser för el och fjärrvärme/kyla.
- Lastprognosmodeller utvecklades, ett verktyg som används för att förutsäga framtida energibehov baserat på historiska data och andra relevanta faktorer. Denna modell tar hänsyn till olika variabler som väderförhållanden, tid på dygnet, veckodag, och elpriser för att skapa en noggrann prognos över energiförbrukningen.
- Modeller och algoritmer för fastighetsägarens testobjekt konstruerades, samt nya beräkningsmetoder för den totala optimeringsmodellen.
- En miljöoptimeringsmodell utvecklades för att kunna prognostisera miljöpåverkan från fjärrvärme, fjärrkylan och el.
- Nya sätt att skicka och ta emot data genom säkrade och validerade API:er utvecklades.
- Presentationsmetoder för tydlighet och transparens utvecklades genom dagliga rapporteringssystem med SQL Server Reporting Services för att visa dagliga planer och resultat samt funktionaliteten i den digitala plattformen.
- Uppföljnings- och utvärderingsmetoder för resultaten utvecklades genom att visa jämförande grafer och tillhandahålla data för utvärderingsfasen.
- Dataplattformen utvärderades och analyserades ur ett säkerhetsperspektiv.
- En säkerhetsarkitektur utvecklades och rekommenderades.

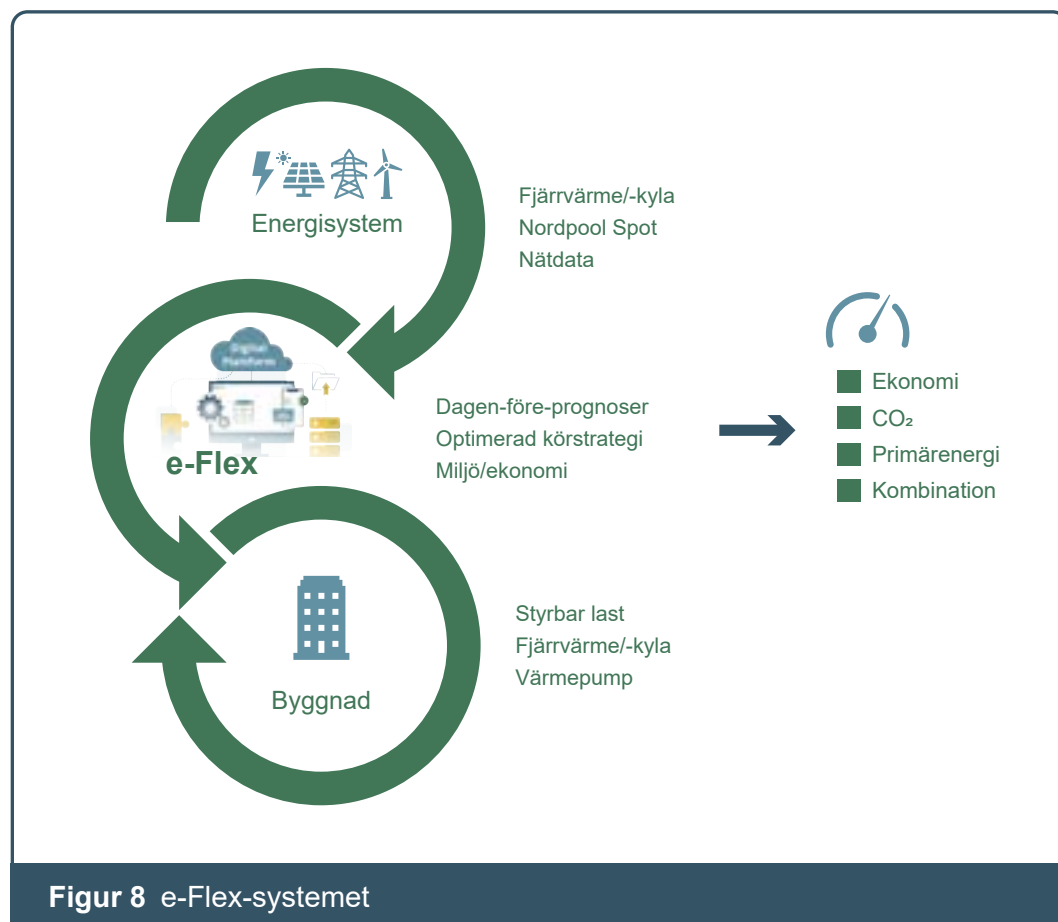
2.2 Resultat

Utvecklingsarbetet resulterade i en digital plattform som kunde samla in data för att optimera det övergripande energisystemet både miljömässigt och ekonomiskt. Plattformen genererade en operativ plan baserat på både det övergripande energisystemet och fastighetsägarens valda scenario (Ekonomisk/CO₂/PE/Kombination), se **Figur 8**. Den operativa planen är en dagen-före-körplan för fastighetsägarnas energisystem.

Gränssnitt utvecklades mellan plattformen och olika intressenter, t.ex. mellan energibolagets produktionsoptimeringsprogram och fastighetsägarens automation och styrprogram.

En cybersäker dataplattform skapades med resiliens och säkerhet inom flera nyckelområden:

- **Minskade felkonfigurationer:** Automatiseringen av säkerhetskontroller minimerade risken för mänskliga fel som ledde till sårbarheter i systemet.
- **Förbättrad identitetshantering och autentisering:** Tvåfaktorsautentisering och förbättrade lösenordspolicyer ökade säkerheten för användarkonton, vilket drastiskt minskade risken för kontokapning.
- **Snabbare upptäckt och respons på hot:** Genom SIEM-system och införandet av kontinuerlig övervakning och realtidsvarningar kunde säkerhetsteamet reagera snabbt på potentiella säkerhetsincidenter, vilket ledde till färre intrång och minskade konsekvenser vid hot.
- **Säkrare API-anrop:** Med förbättrade autentiseringskrav och krypterad kommunikation för API-anrop förbättrades säkerheten för systemintegrationer, vilket skyddade mot obehörig åtkomst och dataexponering.



2.3 Slutsatser och insikter

e-Flex visade att det var möjligt att modellera och koppla samman energibolaget med fastighetsägaren via en digital plattform för att skapa en *win-win*-situation där fastighetsägaren ändrade sitt beteende och därmed erhöll minskade kostnader och minskat CO₂- och primärenergiavtryck. Detta ledde till ett ekonomiskt och miljömässigt optimerat överordnat energisystem. Dessutom var det möjligt att göra detta i en cybersäker IT-miljö.

Automatiseringen av säkerhetskontroller minskade risken för mänskliga fel och säkerställde att säkerhetspolicyer kontinuerligt följdes utan behov av manuell inspektion. Felkonfigurationer som kunde leda till dataintrång eller exponerade resurser upptäcktes och korrigerades omedelbart i realtid. Dessa förbättringar gav stärkt skydd av konton, vilket resulterade i säkrare och kontrollerad åtkomst till känsliga data och tjänster. Dessutom var API-säkerheten stark, vilket gav förbättrat skydd och säkerställde att endast auktoriserade aktörer hade åtkomst, vilket bidrog till en säker och effektiv användning av API:er.

Dagligen genererade uppföljnings- och utvärderingsrapporter hjälpte de involverade aktörerna att förstå systemet bättre, reagera i tid och fatta beslut samt finansiella och miljömässiga strategier på lång sikt. Detta var mycket användbart för att övervaka projektet och följa upp resultaten.

*Det unika med e-Flex
är att fastighetsägaren
hjälper hela energisystemet,
med vinster för både miljö
och ekonomi.*

Testobjekt på Region Skånes sjukhusområde

Parallellt med utvecklingen av den digitala plattformen förbereddes testobjekten som under potentialstudien bestämts ingå i piloten. Syftet med testobjekten på Region Skåne var att etablera en testbädd för en skarp pilot på sjukhusområdet i Lund, för att validera funktionaliteterna Energiflexibilitet, Värmeflexibilitet och Elfexibilitet. Piloten kördes skarpt under ett år.

Arbetet leddes av Mattias Fägersjö, Region Skåne, och Jonas Ternström, inhyrd konsult från ECiS.

Kommande kapitel utgör en sammanfattning av det arbete som utförts vid förberedelser av piloten samt uppnådda resultat, slutsatser och insikter. För en mer omfattande beskrivning hänvisas till delrapporten *Testobjekt på Region Skånes sjukhusområde*, bilaga 3.

3.1 Metod

Region Skåne har ett eget nät och på Lunds sjukhusområde finns interna mikronät för både värme, kyla och el. Alla installationer inom området är uppkopplade mot ett överordnat fastighetsautomationssystem, vilket möjliggör övervakning och styrning på olika sätt. Detta var en förutsättning för att kunna genomföra de fem testobjekten som beskrivs nedan (se också illustration i **Figur 9**).

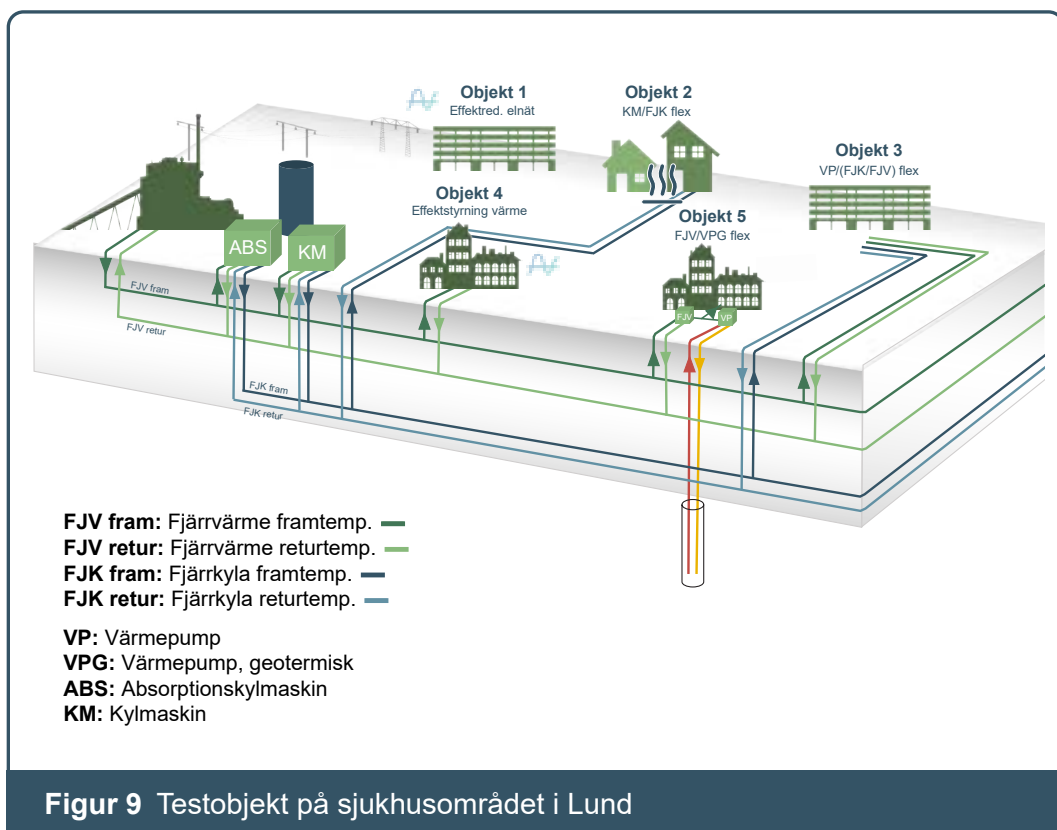
Utvecklingen av testobjekten följde en arbetsgång som inkluderade brainstorming, potentialstudie, teknisk förstudie, intern säkerhetsgenomgång och vid behov viss ombyggnad av befintliga installationer.

Funktionalitet och beskrivning av de fem utvalda testobjekten som ingick i piloten:

1. **Elfexibilitet:** Nedstyrning av eleffekt under kritiska timmar i elnätet för att avlasta och framtidssäkra elnätet. Möjlighet att styra ner el-effekt med 20 kW under fyra timmar per dygn.
2. **Energiflexibilitet:** Rätt energislag vid rätt tillfälle. Möjlighet att byta energibärare för processkyla mellan lokalt producerad kyla och fjärrkyla, vilket innebär att växla mellan ca 30 kW el och ca 90 kW fjärrkyla.
3. **Energiflexibilitet:** Rätt energislag vid rätt tillfälle. Kylbehov tillgodoses antingen med en kombination av kylmaskiner och fjärrkyla eller helt med fjärrkyla.

4. **Värmeflexibilitet:** Syftar till att optimera fjärrvärmesystemet genom att använda den termiska trögheten som finns i fastigheter och styrning sker på när i tid fastigheter använder fjärrvärme. Smart styrning av fjärrvärmelasten med rumsgivare och en energibesparande algoritm.
5. **Energiflexibilitet:** Rätt energislag vid rätt tillfälle. Växla mellan fjärrvärme och värmepump.

Driftfasen av piloten började med testkörning, trimning och manuell utvärdering, för att sedan övergå till en automatisk, skarp pilot som var i drift från maj 2023 till maj 2024. Regelbundna möten med projektpartners hölls för att följa upp drift, data och lösa eventuella problem som uppstod, inklusive säkra datatransferer.



3.2 Resultat och insikter

Resultaten från testobjekten visar på betydande möjligheter att förbättra energi-effektiviteten och minska klimatpåverkan genom att använda en digital plattform för optimering. Från fastighetsägarens perspektiv finns det flera viktiga punkter att lyfta fram.

3.2.1 Testobjekt

Projektet har visat att det finns stor potential att nyttja flexibilitet för att minska kostnader och miljöpåverkan. Detta görs ofta idag på lokal nivå, där fastighetsägaren optimerar utifrån sin egen rådighet i energisystemet, ofta styrt av ekonomi. Det intressanta i detta projekt är att körplanerna kan bidra i ett större system än det egna nätet/systemet. För testobjekt 3 och 5 fanns funktionen redan lokalt i styrsystemet, men genom att automatisera inläsningen av körplanen från e-Flex-plattformen bidrar man utifrån ett större perspektiv och undviker suboptimering av energibesparingen, vilket lätt kan ske om styrningen sker utifrån fastighetsägarens lokala perspektiv.

3.2.2 Energibesparing och miljö

I samtliga testobjekt har energibesparingar uppnåtts. Dessa besparingar har gjorts utifrån automatiserade körplaner där fastighetsägaren har varit passiva energibesparare i ett större system. För att få med fler fastighetsägare behöver informationen om utfallet av respektive körplan förbättras. Detta har gjorts i projektet men bör utvecklas ytterligare för att bli tydligare och mer intressant för fastighetsägaren.

Fastighetsägare kan få lägre energipriser genom att vara flexibla i sin energianvändning utan att tumma på komfort och inneklimat. Detta kan också bidra till att stärka ägarnas gröna profil och öka konkurrenskraften på marknaden. Projektet har även tittat på att införa körplaner utifrån ett primärenergiperspektiv, vilket matchar Region Skånes energistrategi där primärenergifaktorn är en del som ska beaktas vid drift av fastigheterna.

Beroende på fastighetsägarens önskemål är det även möjligt att optimera utifrån en *sweet spot* där hänsyn tas till ekonomi, koldioxidekvivalenter och primärenergi för att hitta den bästa körplanen utifrån alla parametrar.

3.2.3 Utmaningar och utvecklingsmöjligheter

Trots de positiva resultaten finns det utmaningar som behöver adresseras. En av de största utmaningarna är att säkerställa att driften fungerar utan avbrott. Vid olika tillfällen fungerade inte vissa testobjekt eller delar av dem, och ibland fungerade inte datainsamlingen. Det är viktigt att förstå varför dessa avvikelser inträffade och hur de kan undvikas i framtiden. Ibland kunde det röra sig om en enstaka mätare som inte fungerade, vilket gjorde att ett helt testobjekt låg nere.

En fungerande drift är avgörande för att kunna skapa effektiva och pålitliga körplaner. Det är även avgörande att datatrafiken flödar och detta bör följas upp med automatiska larm när data saknas. Automatiska rapporter och uppföljningssystem kan också bidra till att förbättra övervakningen och styrningen av energianvändningen.

3.2.4 Framtidsutblick

e-Flex har visat på möjligheterna att optimera flera testobjekt på distans med syfte att optimera hela energisystemet. Många fastighetsägare har BMS-system idag och jobbar lokalt med optimering, vilket ofta leder till suboptimering ur ett energisystemperspektiv. Det unika med e-Flex är att fastighetsägaren hjälper hela energisystemet, vilket skapar en *win-win*-situation för både miljö och ekonomi i ett större perspektiv än den lokala fastigheten.



*Genom att tillämpa
effektstyrning var det
möjligt att reducera
topplasteffektbehovet.*

Utvärdering av pilot- och replikeringsstest

Efter ett års testkörning utvärderades piloten på sjukhusområdet i Lund. Följande avsnitt beskriver resultat, slutsatser samt metodik bakom utvärderingen av piloten.

Parallellt med piloten startades en större testpilot av värmeflexibilitet på Eslövs Bostads AB (EBO). I testpiloten ingick DSM-styrning av 40 byggnader med ett totalt årligt energibehov på 10 GWh. Detta kan jämföras med den betydligt mindre piloten på sjukhusområdet, där tariffstyrning utvärderades, med ett totalt värmebehov på 0,4 GWh per år.

Utvärderingsarbetet av piloten på sjukhusområdet i Lund leddes av Axel Johansson, LTH. Utvärdering av testpiloten på EBO leddes av David Edsbäcker, Kraftringen Energi. För en mer omfattande beskrivning hänvisas till delrapporten *Utvärdering pilot*, bilaga 4, respektive *Replikerbarhet*, bilaga 6.

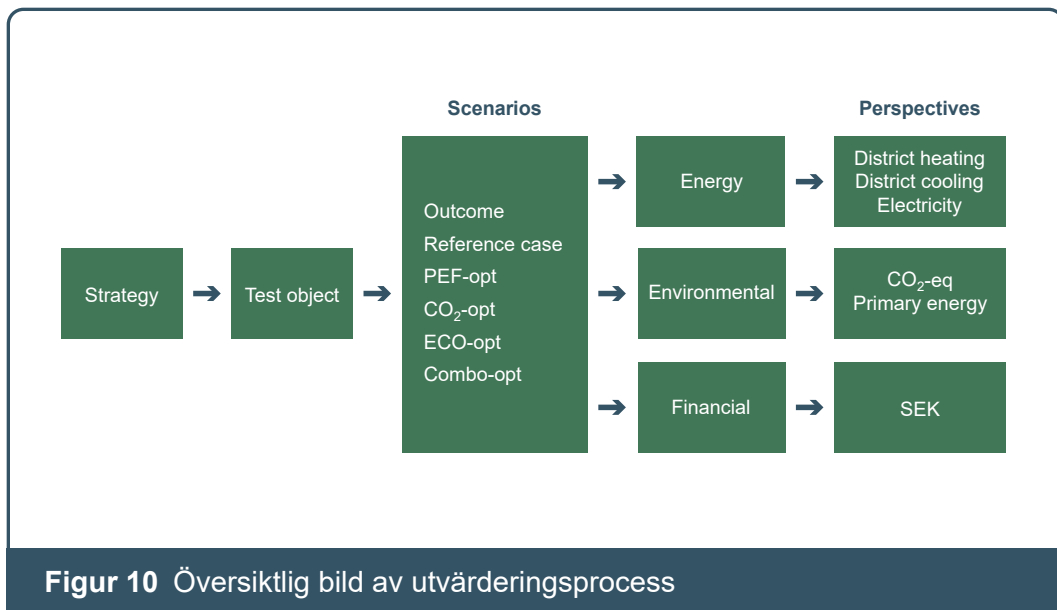
4.1 Metod

I utvärderingen av pilotkörningarna undersöktes om målen uppnåts och om de metoder som användes för genomförandet fungerade, se **Figur 10**. Utvärderingen utgår från el-, värme- och kylflexibilitet med fokus på följande punkter:

- Uppnådd kostnadsbesparing (%)
- Miljökonsekvenser i form av CO₂-ekvivalenter
- Miljökonsekvenser i form av primärenergi (%)

De faktiska resultaten (*outcome*) jämförs med de teoretiskt optimala optimeringarna och ett referensfall (*reference case*) som beräknas för hur testobjektet hade kört utan e-Flex. Pilottiden varade under ett år.

En stor del av arbetet i detta arbetspaket fokuserade på att utveckla metoder för att prognostisera miljöpåverkan från Sveriges elmix och undersöka hur styrning på miljöparametrar kan minska utsläpp av koldioxidekvivalenter och primärenergianvändning. Fokus låg på marginalproduktionen av elmixen, då denna del oftast är fossilbaserad och därmed har en högre miljöpåverkan. Det finns dock svårigheter i att fastställa marginalproduktionstypen, särskilt på elområdesnivå, då insamlandet av statistik är bristfälligt, samt att det sker import och export av el. Metoden landade därför i en medelutsläppsmodell.



Priset på, samt miljöpåverkan från fjärrvärme och fjärrkyla beräknades per timme för att återspegla energisystemets tillstånd, vilket har varit komplext på grund av Krafringens sammankopplade fjärrvärmenät (EVITA).

Den intresserade läsaren finner detaljer om dessa beräkningar i bilaga 1 och 6.

Då modellen baseras på prognostiserad framtid (dagen före) är en viktig framgångsfaktor att det som prognostiseras och de effekter som optimeras och strategier som utformas verkligen sker. Därav utvecklades även en automatisk uppföljning och återkoppling genom integrerad generering av dagliga rapporter med jämförelse av prognos och uppmätta värden. Dessa innehåller energianalys, finansiell analys, miljöanalys (primärenergi och koldioxidekvivalenter), samt en jämförelse av utskickad körplan/strategi och utfall.

Som kund kan man ha olika mål med optimering av sin energianvändning. Ofta är fokus på finansiell optimering men kan också vara mål att minimera miljöpåverkan (koldioxidekvivalenter eller primärenergianvändning). Dessa kan, men behöver inte alltid, vara motstridiga effekter vid optimering, se bilaga 4. Därför utvecklades även en kombinationsoptimering med en *sweet spot* som väger in kostnaden för miljöparametrarna och optimerar på den bästa kombinationen.

För att specifikt utvärdera funktionaliteten Värmeflexibilitet genomfördes både teoretiska analyser och praktiska pilottester.

De teoretiska analyserna, som simulerade effekten av att koppla upp 20% av värmeleveransen i Eslöv och Lund till tjänsten, visade att topplasteffektuttaget kan redu-

ceras, vilket minskade behovet av dyr spetslastproduktion. Pilottest genomfördes på en fastighet på sjukhusområdet i Lund, och 40 byggnader i Eslövs Bostads AB:s (EBO) bestånd.

4.2 Resultat och slutsatser

4.2.1 Resultat från testobjekt på sjukhusområdet i Lund

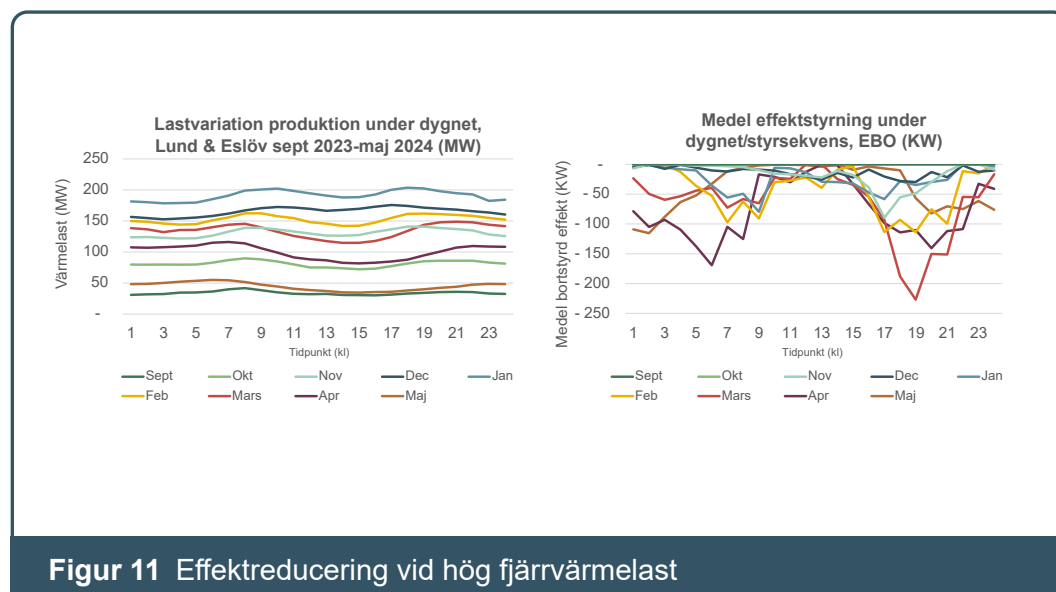
Testobjekt 1: Möjlighet att styra ner el-effekt med 20 kW under fyra timmar. Använts sporadiskt under pilottiden utan reellt behov av reduktion. Viktig lärdom var att fastställa nödvändig framförhållning för eleffektreduktion.

Testobjekt 2: Möjlighet att byta energibärare för processkyla mellan lokalt producerad kyla och fjärrkyla, vilket innebär att växla mellan ca 30 kW el och ca 90 kW fjärrkyla. Resultaten visar möjlighet till minskade koldioxidekvivalenter och elanvändning, men kostnadsvariationer beroende på scenario.

Testobjekt 3: Kylbehov tillgodoses antingen med en kombination av kylmaskiner och fjärrkyla eller helt med fjärrkyla. Resultaten visar möjlighet till minskade koldioxidekvivalenter och elanvändning, men kostnaderna varierar beroende på optimeringsstrategi.

Testobjekt 4: Smart styrning av fjärrvärmelasten med rumsgivare och en energibesparande algoritm. Resultaten visar minskad energianvändning samt reduktion i miljöpåverkan och kostnad.

Testobjekt 5: Växla mellan fjärrvärme och värmepump. Resultaten visar minskad klimatpåverkan, men begränsad potential att spara pengar.



Figur 11 Effektreducering vid hög fjärrvärmelast

4.2.2 Resultat av replikeringstest hos EBO

Resultatet ledde till jämnare och bättre inneklimat, minskade energikostnader för fastighetsägaren och möjliggjorde en reduktion av effektuttaget i fjärrvärmenätet vid strategiskt valda tidpunkter. I **Figur 11**, visas att effektuttaget tillfälligt ökade under morgon- och kvällstimmar för utvärderingsperioden september 2023 till maj 2024. Genom att tillämpa effektstyrning under dessa tillfällen är det således möjligt att reducera topplasteffektbehovet.

4.2.3 Jämförelse mellan tariff- och DSM-styrning för värmeflexibilitet

Piloten på sjukhusområdet i Lund utvärderade ett styrkoncept där värmeflexibilitet till fastigheten anpassades utifrån ett framtaget timbaserat fjärrvärmepris, så kallad tariffstyrning. I EBO tillämpades däremot en mer traditionell metodik för effektstyrning (DSM). Resultaten visade att styrkonceptet som användes i EBO, d.v.s. DSM-styrning bäst uppfyllde de övergripande målen för styrningen, totaloptimering hela vägen från produktion till radiatorer i bostäderna.



*Samtliga affärsmodeller
har teoretiskt levererat
kostnadsbesparingar för
både fastighetsägare
och energibolag.*

Affärsmodeller

En målsättning med projektet har varit att skapa ett flexiblere energisystem genom en ökad samverkan mellan energibolag och fastighetsägare. En av utmaningarna med detta är att skapa förutsättningar för samarbeten som båda parter ser värde av. Följande avsnitt beskriver därför hur e-Flex arbetade med denna utmaning genom att fokusera på utveckling av affärsmodeller.

Arbetet leddes av Philip Svensson, Krafringen.

5.1 Bakgrund

Historiskt har relation och affärsmodell mellan energibolag och kund varit tämligen enkelriktade och avsett ett förhållande där energibolaget levererar en nytta i form av energi och kunden betalar för denna leverans enligt ett avtalat upplägg. Energibolaget levererar ett värde och kunden betalar en rimlig och avtalad ersättning för detta värde.

För att realisera den potentiella nyttan som, ur ett systemperspektiv, finns på kundsidan i form av flexibilitet, behöver vi skapa affärsmodeller som ger incitament för kunderna att ändra sitt beteende, så att största möjliga nytta uppstår också för det överliggande energisystemet.

Affärsmodellerna behöver dessutom säkerställa att den ekonomiska nyttan som uppstår, på ett rättvist, transparent och proportionerligt sätt, fördelas mellan parterna. Det här innebär att monetära strömningar i vissa fall behöver gå i motsatt riktning jämfört med vad vi är vana vid.

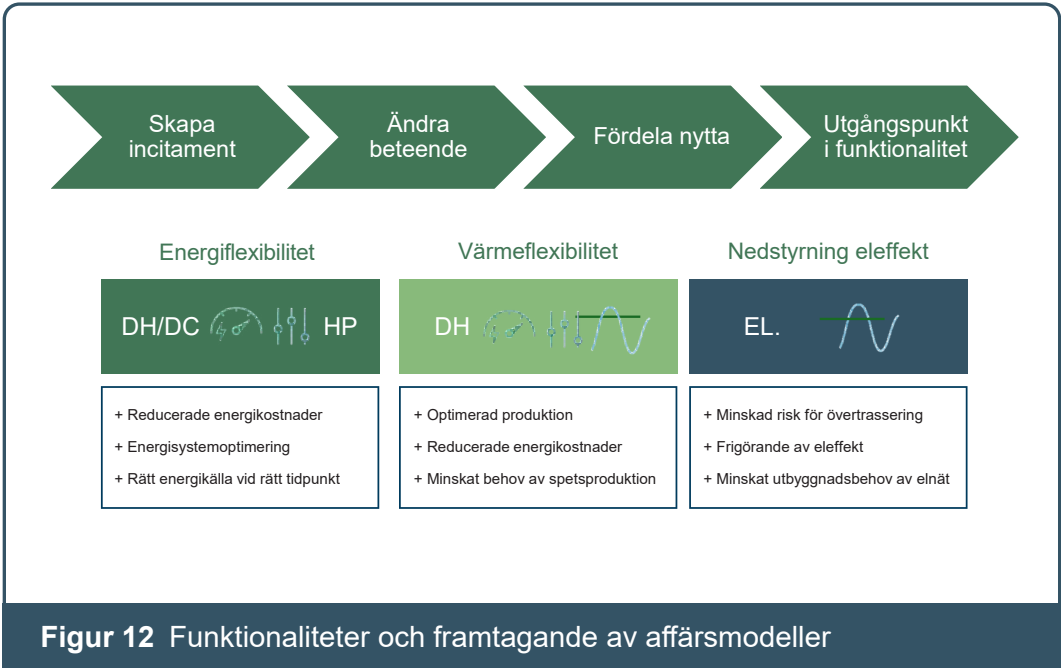
I projektet har den utvecklade plattformen och dess funktionalitet testats, i en pilot, på fem olika testobjekt som alla har olika förutsättningar och skapar nytta på olika sätt. En övergripande affärsmodell, för hela systemet, har inte kunnat skapas, utan olika affärsmodeller, beroende på hur och var värde skapas har testats.

5.2 Metod

Arbetet med utveckling av affärsmodeller har genomförts i samarbete mellan samtliga projektmedlemmar. Dessutom har, under arbetets gång, resultat presenterats och synpunkter inhämtats, från både referensgrupp bestående av Krafringens största kunder samt en fokusgrupp bestående av andra energibolag.

Tidigt under arbetet användes det välkända verktyget *Business Model Canvas* och det blev genast uppenbart att en övergripande affärsmodell för hela systemet inte var möjlig. Det gick helt enkelt inte att formulera ett universellt värdeerbjudande

som täckte dels de olika förutsättningarna som finns hos olika typer av fastighetsägare, dels de olika möjligheter som plattformen skapar. Värde skapas helt enkelt på helt olika sätt beroende på vilken funktionalitet i plattformen som nyttjas. Istället blev målet att ta fram affärsmodeller baserat på de huvudsakliga funktionaliteter (Värme-, El- och Energiflexibilitet) som plattformen levererar och de värden dessa funktionaliteter genererar. Se **Figur 12** som illustrerar de olika funktionaliteterna och framtagande av affärsmodeller.



Funktionaliteten **Värmeflexibilitet** syftar till att optimera fjärrvärmesystemet genom att använda den termiska trögheten som finns i fastigheter och styrning sker på när i tid fastigheter använder fjärrvärme. Utgångspunkten för affärsmodellen är att vinst/besparing uppstår i det överliggande energisystemet och att denna vinst/besparing ska delas mellan energibolag och fastighetsägare som ställer upp med flexibilitet.

För funktionaliteten **Energiflexibilitet** är affärsmodellens syfte att säkerställa att rätt energislag används vid rätt tillfälle. Det har gjorts genom att dynamiska priser på timnivå, baserade på marginalproduktionskostnaden för respektive energislag, har tagits fram och legat till grund för styrningen.

Affärsmodellen för funktionaliteten **Elflexibilitet** ska ge elnätstkunder incitament att reducera sitt effektuttag under de tillfällen då effektuttaget i nätet ligger på en kritisk nivå.

5.3 Resultat, slutsatser och insikter

Samtliga affärsmodeller har teoretiskt levererat önskat resultat i form av kostnadsbesparingar för både fastighetsägare och energibolag. Det vill säga en *win-win* för båda har kunnat påvisas i samtliga testade fall och piloter.

Utgångspunkten för affärsmodellen kopplat till Värmeflexibilitet är att den ekonomiska vinsten/besparingen uppstår i det överliggande energisystemet och det är kundsidan som ställer upp med resursen. Därför behöver denna vinst/besparing delas mellan energibolag och kund/fastighetsägare.

Affärsmodellen som projektet landat i kopplat till Värmeflexibilitet är en, i förväg och gemensamt, avtalad rabatt på effektaavgiften. Det går inte nog att understryka vikten av att potentialberäkningarna som avtalet grundar sig på sker gemensamt. Transparens och förtroende är fundamentala förutsättningar för den här typen av samarbeten mellan utbuds- och efterfrågesidan.

Likaså konkluderas det att affärsmodellen måste utformas så att det är enkelt och riskfritt att ställa upp med flexibla resurser för att skapa mer robusta energisystem.

En grundförutsättning för Energiflexibilitet är att fastigheten är dubbelsanluten och kan flexa mellan olika energibärare.

Det finns tjänster på marknaden idag som, ur ett rent kostnadsperspektiv för fastighetsägarna, styr vilken energibärare som ska användas. De tar dock ingen som helst hänsyn till systemperspektivet och det är helt naturligt; De har ju ingen signal som ger information om rådande läge i överliggande energisystem. Ska äkta systemnytta skapas med hjälp av de sektorskopplingar som finns i vissa fastigheter måste alltså rörliga prismodeller som återspeglar situationerna i respektive system lanseras.

Målet är att ha en affärsmodell som både återspeglar tillgängligheten i överliggande energisystem och samtidigt är tydlig och transparent med vad kostnaden för fjärrvärmedrift är vid varje givet tillfälle. Precis som det är för värmepumpsdrift.

Oavsett vilken funktionalitet vi pratar om behöver en del förutsättningar vara på plats för att styrning och optimering ska kunna fungera. En del av dessa förutsättningar kräver viss investering. Det kan till exempel handla om installation av sensorer och givare, anpassningar av befintliga BMS-system, uppsättning av API:er och så vidare. Hur man väljer att fördela dessa kostnader mellan energibolag och fastighetsägare blir en förhandlingsfråga i varje relation och situation.

Man skulle, i teorin, kunna paketera detta i någon form av helhetslösning där energibolaget erbjuder sitt samlade kundkollektiv samma sak. Viss paketering, eller någon form av modulerbjudande, skulle säkert vara möjligt även i praktiken, men insikterna från projektet och input från fastighetsägarna i referensgruppen

säger att förutsättningarna många gånger är så vitt skilda att en och samma lösning är svår att erbjuda.

I stället behöver det sannolikt bli dels kundanpassade potentialstudier, dels kundanpassade lösningar. När man har en gemensam bild av kostnadssidan, både vad gäller initial investering, samt löpande kostnader, samtidigt som man har en gemensam bild av den ekonomiska potentialen är det inte svårt att sätta sig ner och genom avtal fördela dessa kostnader och potentiella vinster mellan sig. Givetvis kräver det ett ömsesidigt förtroende och ömsesidiga ambitioner, men den typen av relationer och samarbete är fundamentala förutsättningar för att kund- och leverantörssidan tillsammans ska kunna skapa mer robusta och hållbart drivna energisystem framgent.



Systemlösningen har stor potential att replikeras i såväl Krafringens och Region Skånes geografiska område som nationellt.

Replikerbarhet

I samband med utvecklingen av e-Flex så har en av grundförutsättningarna varit att det skall vara enkelt att skala upp och ansluta fler fastigheter, d.v.s. replikera. Detta eftersom det krävs en anseelig mängd fastigheter för att det skall vara möjligt att effektstyra ett större fjärrvärmenät och verkligen skapa nytta för systemet.

I följande avsnitt analyseras och diskuteras vilka förutsättningar som behövs och till viss del även vilken potential det finns för att replikera det som gjorts inom projektet till andra objekt och platser.

Fokus är på Värmeflexibilitet och Energiflexibilitet då dessa är kopplade till fjärrvärme och kräver något mer platsspecifika förutsättningar än Elflexibilitet.

Arbetet leddes av David Edsbäcker, Krafringen. Se bilaga 6 för utförligare beskrivningar och resultat.

6.1 Metod

Vid utformningen av den digitala plattformen har en av drivkrafterna varit att den skall vara replikerbar för att möjliggöra en storskalig implementering inom såväl Krafringens geografiska verksamhetsområde som Regionfastigheters hela fastighetsbestånd (en del av Region Skåne). För att identifiera replikerbarhetsmöjligheterna gjordes därför studien utifrån tre nivåer:

1. Krafringens geografiska verksamhetsområde
2. Regionfastigheters verksamhetsområde
3. Sverige

Separata replikerbarhetsstudier genomfördes för de två huvudfunktionaliteterna Värmeflexibilitet och Energiflexibilitet. För att identifiera replikerbarhetsmöjligheterna gjordes en ingående analys av de grundförutsättningar som måste vara på plats både hos slutanvändaren och energibolaget för att kunna tillämpa styrning med e-Flex. Detta inkluderade identifiering av grundförutsättningar för replikering hos både slutanvändare och energibolag, samt en kartläggning av nuvarande system och tekniska förutsättningar för replikering.

Frågor så som hur många dubbelanslutningar (fjärrvärme/värmepump, fjärrkyla/kylmaskin) som finns i Krafringens och Regionfastigheter geografiska område samt Sverige i stort besvarades. Vidare genomfördes ett flertal potentialstudier

och simuleringar för storskalig implementering, både för hela kundkollektivet och för ett urval av specifika kunder, för att bättre förstå de förutsättningar som krävs för en framgångsrik replikering. För funktionaliteten Värmeflexibilitet gjordes även fysiska tester på 40 av Eslövs kommunala fastighetsbolags (EBO) byggnader. Syftet var att säkerställa skalbarheten i e-Flex samt möjliggöra en utvärdering av den potentiella energisystemnytta som uppstår vid storskalig laststyrning. Slutligen togs en standardiserad metod fram för implementering av lösningarna.

6.2 Resultat och slutsatser

Systemlösningen som utvecklats inom e-Flex har stor potential att replikeras både inom Krafringens verksamhetsområde och nationellt. Även Region Skåne ser möjligheter till att replikera de piloter som gjorts på sjukhusområdet i Lund till andra fastigheter med liknande konfiguration.

Replikerbarheten för funktionaliteten Värmeflexibilitet bedöms som mycket lovande, både inom Krafringens verksamhetsområde och i andra svenska fjärrvärmenät.

Vissa förutsättningar för replikering är dock att motsvarande systemlösningar finns eller implementeras hos nya anslutningar för att säkerställa att uppkopplade fastigheter kan användas som en resurs i den dagliga produktionsoptimeringen.

Även andra grundförutsättningar bör vara på plats för en effektiv replikering. **Tabell 1** och **tabell 2** summerar några av dessa dels ur energibolagets, dels ur fastighetsägarens perspektiv.

Tabell 1 Grundförutsättningar som behöver uppfyllas av energibolag för replikering av Värmeflexibilitet

FÖRUTSÄTTNING	BESKRIVNING	KOMMENTAR
Produktions- optimeringssystem	Optimeringssystem som tar hänsyn till när flexibiliteten skall nyttjas.	
Styrsystem hos slutanvändare som beräknar byggnadens termiska tröghet	Styrsystem som skapar flexibilitetsprognoser på styrbar last som skickar/tar emot signaler till optimeringssystem.	Signaler behöver gå mellan e-Flex och optimeringssystem (EO3) samt mellan e-Flex och styrsystem (NODA).
Avtal om Flexstyrning	Ett avtal mellan energibolag och kund om flexstyrning samt villkoren för denna behöver upprättas.	Ju större flexibilitet hos kund desto större värde för energibolaget.
Referensfall	För att utvärdera den energibesparing som uppstår till följd av styrningen.	Rumsgivare bör varit i drift innan styrningen aktiveras för att analysera styrningens påverkan på inomhustemperatur.

Tabell 2 Grundförutsättningar som behöver uppfyllas av fastighetsbolag för replikering av Värmeflexibilitet

FÖRUTSÄTTNING	BESKRIVNING	KOMMENTAR
FJV-anslutning	Byggnaden skall vara fjärrvärmeansluten.	Ju längre ut i nätet desto större värde för energibolaget.
Storlek	>300 MWh/år/styrpunkt.	
Flexibilitet i inomhus-temperatur	Kunden måste ha en vilja att vara flexibel i inomhustemperaturen	>=0,5 grader, men ju större flexibilitet desto större potential.
Injusterad fastighet	En injusterad fastighet med jämn temperatur inom fastigheten är att föredra.	Om ej injusterad görs en injustering.
Styrsystem/fastighets-automationssystem	Behöver vara internetanslutet för att kunna skicka och ta emot information.	Ett öppet kommunikationssystem förenklar anpassningar och kopplingar till andra system.
Modbus/Mbus	Kommunikationsstandard.	Installeras om saknas.
Rumsgivare	Minst 5 st/styrpunkt.	Installeras om saknas.
1st styrventil per styrpunkt		

Syftet med funktionaliteten Energiflexibilitet är att dra nytta av det faktum att det finns fastigheter som har möjlighet att vara flexibla mellan olika energibärare för att tillgodose sina värme- och/eller kylbehov. Det vill säga att fastigheter behöver i någon form vara dubbelslutsna för att kunna nyttja denna möjlighet. Analyser av svenska energideklARATIONER visar på att antalet och andelen dubbelanslutna fastigheter ökar.

Dessutom erfordras att energibolaget kan ta fram dynamiska energipriser på fjärrvärme och eller fjärrkyla för att det skall gå att utröna när det är lönsamt att växla mellan de olika energislagen.

För att koppla upp och styra dessa anläggningar behöver det finnas fastighets-automatiseringssystem (BMS-system) som kan ta emot signaler från plattformen. Dessa signaler kan gå antingen direkt till BMS-systemet, via API, eller till ett fysiskt relä som installeras i värmeanläggningen i fastigheten.

Identifierade grundförutsättningar för replikering av Energiflexibilitet hos energibolag och fastighetsägare (slutanvändare) är sammanfattade i **tabell 3** och **4**.

Tabell 3 Förutsättningar för replikering hos energibolag

FÖRUTSÄTTNING	BESKRIVNING	KOMMENTAR
Dynamiska energipriser	På timnivå dynamiska priser för FJV och FJK baserade på marginalproduktionskostnad.	Behövs för att skapa incitament att agera på ett sätt som inte skapar suboptimering i överliggande energisystem.
Kommunikationsmöjlighet till fastighetsstyrsystemet	Optimerade körplaner behöver kommuniceras via API till kunds styrsystem.	Kan antingen göras med API direkt mellan energibolaget och fastigheten eller via en integrationsplattform såsom YGGIO.
Kundspecifika randvillkor	Nuvarande körstrategi. Avtalsinfo (nät och handelsavtal el). Villkor drifttid VP. Energisignatur. COP.	En nödvändighet för att skapa värme- och kyla prognoser för nästkommande dygn samt fastighetsspecifika optimerade körplaner.
Prognos värmebehov kommande dygn	Baseras på temperaturprognos från SMHI samt energisignatur.	Information behöver gå till både fjärrvärme- och elhandelsbalansansvarig.
Återkoppling/uppföljning till kund	Bör vara lättillgänglig och enkel att förstå. Ska visa förhållande mellan referensfall och utfall.	Viktigt att fastighetsägaren på ett enkelt sätt kan ta del av den kostnadsbesparing som uppstår till följd av styrningen.

Tabell 4 Förutsättningar för replikering hos slutanvändare

FÖRUTSÄTTNING	BESKRIVNING	KOMMENTAR
Dubbel anslutning	VP och FJV/FJK.	Anslutningarna måste tillgodose samma rumsliga värme-/kylabehov. VP får ej vara Luft/Luft.
Styrsystem som kan ta emot styrsignal från e-Flex	För att kunna agera på körplaner.	Styrsystem bör vara öppet och ej för komplext, jmf. Siemens och RF.
Kundens storlek och körstrategi	Kundunik potentialstudie sätter gränser.	Måste finnas ekonomisk vinning motsvarande minst investeringsbehov.

Projektets resultat visar på stora möjligheter för replikering av funktionaliteterna Värmeflexibilitet och Energiflexibilitet. Med ett alltmer väderberoende energisystem ökar behovet av en holistisk optimering som integrerar fastigheter som en del av det övergripande energisystemet, snarare än att optimera dem isolerat för att undvika suboptimering.

De tekniska hinder som krävs för att installera system likt e-Flex bedöms som små: De flesta fastigheter har redan uppkopplade styrsystem som kan ta emot externa styrsignaler, och kostnaden för styrutrustning och sensorer har minskat avsevärt. Den största utmaningen ligger i stället hos energibolagen och deras affärsmodeller, som i dagsläget ger begränsade incitament till flexibla körstrategier. Detta gäller

både dubbelanslutna fastigheter som kan växla mellan energikällor baserat på kostnadseffektivitet och miljöpåverkan samt för traditionell effektstyrning inom fjärrvärmenätet.

För att möjliggöra snabb replikering och främja systemövergripande optimering krävs nya affärsmodeller som skapar incitament för fastighetsägare att anamma flexibla körstrategier.

Analyserna i projektet indikerar att om detta finns på plats kan det leda till god lönsamhet för både fastighetsägare och energibolag. Förhoppningen är att e-Flex kan fungera som en föregångare och inspirera fler energibolag att utveckla affärsmodeller som tar hänsyn till hela energisystemets nytta.

Tillämpad arbetsmetodik inom e-Flex har varit en av nyckelfaktorerna till framgång. Genom att först göra detaljerade potentialstudier som undersöker den ekonomiska lönsamhetspotentialen säkerställs det att rätt investeringsbeslut tas. Utan en ekonomisk eller miljömässig lönsamhet riskerar utvecklingen endast att bli en pappersprodukt, som inte kommer nyttjas skarpt efter projektavslut.

Samma metodik bör tillämpas vid anslutning av nya kunder till e-Flex. Genom att först identifiera den ekonomiska lönsamhetspotentialen för den aktuella fastigheten underlättas fastighetsägarens beslutsprocess. Även omfattningen av eventuella investeringar, såsom programmering av befintliga styrsystem, kan då bedömas utifrån rimlighet. Så länge investeringskostnaderna understiger de ekonomiska besparingar som e-Flex kan generera finns det tydliga incitament för fastighetsägaren att gå vidare med en fysisk installation.



*Värme- och energiflex
kan förbättra energi-
systemets effektivitet
och hållbarhet.*

Diskussion och slutsatser

Resultaten från e-Flex visar att både värme- och energiflexibilitet har stor potential att förbättra energisystemets effektivitet och hållbarhet.

7.1 Fördelar

7.1.1 Ekonomiska fördelar

Resultat från projektets pilottest visade att genom optimerad energianvändning kan både fastighetsägare och energibolag minska sina kostnader. Detta innebär att energibolag kan producera energi mer kostnadseffektivt, vilket i sin tur kan leda till lägre energipriser för konsumenterna. Implementeringen av flexibla energisystem kan vara ekonomiskt lönsam för alla inblandade parter. Fastighetsägare kan dra nytta av lägre energikostnader genom att optimera sin energianvändning och undvika suboptimering av energisystemet. Energebolag kan också dra nytta av att kunna balansera efterfrågan och produktion mer effektivt, vilket minskar behovet av dyr spetslast.

7.1.2 Miljömässiga fördelar

Ett av de mest betydande resultaten är minskningen av koldioxidekvivalenter genom optimerad flexibilitetsanvändning. Genom att växla mellan fjärrkyla och eldriven kyla, och/eller fjärrvärme och värmepumpar kan utsläppen av växthusgaser minskas. Detta är ett viktigt steg mot att uppnå klimatmålen och bidra till en mer hållbar framtid.

7.1.3 Tekniska fördelar

Användningen av smarta styrsystem och programvara för energihantering möjliggör en smidig integration och effektiv styrning av värmeflöden. Dessa system kan automatiskt justera värmeleveransen baserat på realtidsdata och prognoser, vilket optimerar energianvändningen.

Genom att växla mellan olika energikällor beroende på tillgänglighet och kostnad kan systemets, och även enskilda fastigheters, robusthet öka. Detta minskar beroendet av enskilda energikällor och ökar systemets motståndskraft mot störningar. Ett robust energisystem är mindre sårbart för störningar och kan bättre hantera variationer i energiproduktionen.

7.2 Utmaningar och lösningar

Nuvarande affärsmodeller ger begränsade incitament till flexibla körstrategier. För att uppnå full potential krävs nya affärsmodeller som främjar flexibilitet och samarbete mellan olika aktörer som skapar vinst för alla parter (*win-win*). Incitamentsprogram och dynamisk prissättning kan vara effektiva lösningar. Dessa modeller kan skapa ekonomiska incitament för fastighetsägare och energibolag att investera i och använda flexibla energisystem. Men det är också av yttersta vikt att bygga ett förtroende mellan energibolag och fastighetsägare för att modellen skall fungera.

Många tekniska hinder övervanns i projektet men småtekniska hinder kvarstår, såsom behovet av vidareutveckling av smarta styrsystem och integration i produktionsoptimeringssystemet. Investeringar i teknik och utbildning är nödvändiga för att övervinna dessa hinder. Det är också viktigt att säkerställa att systemen är kompatibla och kan kommunicera effektivt med varandra för att maximera effektiviteten.

För att påverka det övergripande energisystemet krävs att en viss volym av anslutna fastigheter som är kapabla till energi- eller värmeflexibilitet. Trenden är att det blir fler fastigheter som är dubbelanslutna och en ökad digitalisering i styrningen gör att andelen fastigheter som relativt enkelt skulle kunna dra nytta av e-Flex och samtidigt bidra till energisystemet är stigande.

7.3 Slutsatser

Rapporten betonar vikten av att integrera fastigheter i det övergripande energisystemet för att uppnå en holistisk optimering i stället för suboptimering och därmed minska hela systemets produktionskostnader. Genom att implementera flexibla energisystem kan vi skapa ett mer hållbart och kostnadseffektivt energisystem som gynnar både fastighetsägare och energibolag, samtidigt som vi minskar vår miljöpåverkan och bidrar till att uppnå klimatmålen.

Det är tydligt att det finns stora möjligheter för att använda fastigheters värmetröghet och energiflexibilitet som resurser för att optimera energisystemet, (undvika suboptimering), men att det krävs både tekniska lösningar och nya affärsmodeller för att realisera dessa möjligheter fullt ut. Genom att övervinna de tekniska och affärsmässiga utmaningarna kan vi skapa ett energisystem som är både ekonomiskt och miljömässigt hållbart. Avgörande är dock att energibolag och fastighetsägare samarbetar och bygger en relation präglad av förtroende och tillit för att skapa gemensamt optimerat energisystem.

Referenser och källor

Alla referenser till externa publikationer återfinns i de detaljerade rapporterna i bilagorna 1-6.

Bilagor

Bilaga 1 – Delrapport *Potentialstudie*

Bilaga 2 – Delrapport *Utveckling av digital plattform*

Bilaga 3 – Delrapport *Piloter på Region Skånes fastigheter*

Bilaga 4 – Delrapport *Utvärdering av piloter*

Bilaga 5 – Delrapport *Affärsmodeller*

Bilaga 6 – Delrapport *Replikerbarhet*