



Energimyndighetens titel på projektet – svenska Digital plattform för handel och styrning av energi Bilaga 4: Utvärdering av piloter	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska Digital platform for energy trade and consumer flexibility Appendix 4: Evaluation of Pilots	
Universitet/högskola/företag Lunds Universitet	Avdelning/institution Institutionen för energivetenskaper
Adress Box 188, 22100 Lund	
Namn på projektledare Axel Johansson	
Namn på ev övriga projektdeltagare Annika Erlandsson, David Edsbäcker, Jonas Ternström, David Nilsson, Philip Svensson, Mattias Fägersjö, Ali Moallemi.	
Nyckelord: 5-7 st Användarflexibilitet, optimering, digital plattform, systemnytta, handel, styrning.	

1 Sammanfattning

E-flexprojektet har utvecklat en digital plattform för att optimera ett antal testobjekt och nyttja flexibilitet med ett systemperspektiv. Projektet, som finansieras av Energimyndigheten och partners, syftar till att erbjuda flexibla lösningar för att minska energikostnader, primärenergianvändning och koldioxidutsläpp. Målet är att skapa ett flexiblere energisystem genom ökad samverkan mellan energibolag och fastighetsägare, vilket kan avlasta energisystemen vid hög efterfrågan och minska energikostnader och klimatpåverkan. I utvärderingen av piloten undersöks om målen uppnåtts och metoderna fungerat, med fokus på kostnadsbesparing och miljökonsekvenser.

Arbetspaketet har också utvecklat metoder för att prognostisera miljöpåverkan från Sveriges elmix och undersöker hur styrning på miljöparametrar kan minska utsläpp av koldioxidekvivalenter och primärenergianvändning. Priset på, samt miljöpåverkan ifrån fjärrvärme och fjärrkyla har beräknats per timme för att återspegla energisystemets tillstånd, vilket har varit komplext på grund av Kraftringens sammankopplade fjärrvärmenät (EVITA).

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.

Viktiga resultat från arbetspaket 5 inkluderar:

- Förmågan att prognostisera miljöpåverkan från fjärrvärme, fjärrkyla och el.
- Kombinationsoptimering som väger in kostnaden för miljöparametrar.
- Automatisk återkoppling av resultat.

2 Summary

The E-flex project has developed a digital platform to optimize a number of test objects and utilize flexibility from a system perspective. The project, funded by the Swedish Energy Agency and partners, aims to offer flexible solutions to reduce energy costs, primary energy use, and carbon dioxide emissions. The goal is to create a more flexible energy system through increased collaboration between energy companies and property owners, which can relieve energy systems during high demand and reduce energy costs and climate impact.

This work package examines whether the goals have been achieved and the methods have worked, focusing on cost savings and environmental impacts. The work package has also developed methods to forecast the environmental impact of Sweden's electricity mix and investigates how optimization based on environmental parameters can reduce emissions of carbon dioxide equivalents and primary energy use. The price and environmental impact of district heating and cooling have been calculated per hour to reflect the state of the energy system, which has been complex due to Kraftingen's interconnected district heating network (EVITA).

Test Object 1: Ability to reduce electrical power by 20 kW for four hours. Used sporadically during the pilot period without a real need for reduction. An important lesson was to establish the necessary lead time for power reduction.

Test Object 2: Ability to switch energy carriers for process cooling between locally produced cooling and district cooling, which means switching between approximately 30 kW of electricity and approximately 90 kW of district cooling. The results show the potential to reduce carbon dioxide equivalents and electricity use, but cost variations depending on the scenario.

Test Object 3: Cooling needs are met either with a combination of chillers and district cooling or entirely with district cooling. The results show the potential to reduce carbon dioxide equivalents and electricity use, but costs vary depending on the optimization strategy.

Test Object 4: Smart control of district heating load with room sensors and an energy-saving algorithm. The results show reduced energy use as well as a reduction in environmental impact and cost.

Test Object 5: Switching between district heating and heat pump. The results show reduced climate impact but limited potential to save money.

Key results from work package 5 include:

- The ability to forecast the environmental impact of district heating, district cooling, and electricity.
- Combination optimization that weighs the cost of environmental parameters.
- Automatic feedback of results.

3 Innehållsförteckning

1	Sammanfattning	3
2	Summary	4
3	Innehållsförteckning	5
4	Inledning	8
4.1	Om projektet	8
4.2	Partners	8
4.3	Arbetspaket 5: Utvärdering av pilot.....	8
4.4	Att styra och optimera på miljöfaktorer.....	9
4.4.1	Miljöpåverkan av el	9
4.4.2	Marginalproduktion	9
4.4.3	Elmix.....	10
4.4.4	Systemgränser	10
4.4.5	Miljöpåverkan ifrån fjärrvärme och fjärrkyla.....	10
4.4.6	Styrning på miljöparametrar	11
5	Metod	11
5.1	Energianalys, miljöanalys och finansiell analys	12
5.2	Automatisk uppföljning och återkoppling	12
6	Resultat	15
6.1	Testobjekt 1.....	15
6.2	Testobjekt 2.....	15
6.3	Testobjekt 3.....	15
6.4	Testobjekt 4.....	16
6.5	Testobjekt 5.....	16
6.6	Testobjekt 1.....	17
6.7	Testobjekt 2.....	17
6.8	Testobjekt 3.....	20
6.9	Testobjekt 4.....	24
6.10	Testobjekt 5.....	25
7	Diskussion.....	28
7.1	Energibesparingar, effektivisering och flexibilitet	28
7.2	Miljökonsekvenser.....	28
7.3	Ekonomiska fördelar.....	28
7.4	Utmaningar och framtida arbete	28
7.5	Samhälleliga effekter	29
7.6	Framtidsutblick	29
8	Referenser	31

Figur 1. Produktionsstatistik ifrån Svenska kraftnät visar att det finns en kategori ”ospecificerat” och ”värmekraft” som inte har specificerat ursprung.....	9
Figur 2. Elimport och export Sverige.	10
Figur 3. Översiktlig bild av Utvärderingsarbetet.	12
Figur 4. Exempel på uppföljningsmail till Region Skåne, för att säkerställa normal drift av testobjekten.	13
Figur 5. Automatiskt utskick, samtliga testobjekt i vissa fall inklusive prognoser och referensfall.	13
Figur 6. Exempel på automatisk uppföljning av miljöprognosen, koldioxidekvivalenter.	14
Figur 7. Exempel på automatisk uppföljning av miljöprognosen, primärenergi. ..	14
Figur 8. Ett, av många exempel, på uppföljning av testobjekten, i det här fallet primärenergianvändning per testobjekt och optimering.	15
Figur 9. Testobjekt 1.....	17
Figur 10. Testobjekt 2, optimering för att minska miljöpåverkan i form av koldioxidekvivalenter. Referensfallet använder inte fjärrkyla och därför går det inte att räkna fram en procentuell förändring, det finns dock en minskning av elanvändningen samt en ökad kostnad.	18
Figur 11. Testobjekt 2, en optimering som försöker minska miljöpåverkan samt ta hänsyn till kostnader.	18
Figur 12. Testobjekt 2, den finansiella optimering har positiva effekter även på miljöpåverkan.	19
Figur 13. Testobjekt 2, utfallet ligger ganska nära den finansiella optimeringen.	19
Figur 14. Testobjekt 2, optimering för att minska primärenergianvändningen, leder till ett motsatt fall i jämförelse med referensfallet.	20
Figur 15. Testobjekt 3, minskad elanvändning och ökad fjärrkylaanvändning leder till minskad miljöpåverkan men en ökad kostnad.	21
Figur 16. Testobjekt 3, både minskad miljöpåverkan samt kostnad.....	21
Figur 17. Testobjekt 3, den finansiella optimeringen leder även till minskad miljöpåverkan.	22
Figur 18. Testobjekt 3, utfallet påvisar en positiv effekt på miljöpåverkan, dock en ökad kostnad.	22
Figur 19. Testobjekt 3, minskandet av primärenergianvändning kommer med en ökad kostnad.	23
Figur 20. Referensfallet beräknas genom att bortse ifrån den styrsignal som skickas, en ökning eller minskning av framledningstemperatur på kundsiden.	24
Figur 21. Testobjekt 4, besparingar i energianvändningen leder till minskad miljöpåverkan.	24
Figur 22. Testobjekt 5, besparing av koldioxidekvivalenter ger en ökad kostnad under pilottiden.	25
Figur 23. Testobjekt 5, kombinations-optimeringen ger ett minskat utsläpp av koldioxidekvivalenter, men en ökad primärenergianvändning.....	25
Figur 24. Testobjekt 5, den finansiella optimeringen skiljer inte sig mycket ifrån referensfallet.	26
Figur 25. Testobjekt 5, den minskade elanvändningen ger en ökad kostnad under pilottiden.	26

Figur 26. Testobjekt 5, primärenergioptimeringen medför en besparing av primärenergianvändning till en högre kostnad.	27
Tabell 1. *Miljödata är hämtat ifrån miljöfaktaboken (Gode & Martinsson, 2011).	12
Tabell 2. Resultat ifrån de olika testobjekten i procentuell minskning i förhållande till respektive referensfall. Endast en optimering åt gången går att utföra. Optimeringarna är utförda under olika driftperioder.	16

4 Inledning

I e-flexprojektet har en digital plattform skapats för att möjliggöra en optimerad drift av fem testobjekt ur ett systemperspektiv. Projektet syftar till att adressera utmaningar inom energisystemet genom att erbjuda flexibla lösningar som kan bidra till minskad energikostnad, minskad primärenergianvändning och lägre koldioxidutsläpp. Projektet finansieras av Energimyndigheten och ingående partners och har pågått 2020–2024.

4.1 Om projektet

Målsättningen med projektet är att skapa ett flexiblere energisystem genom en ökad samverkan mellan energibolag och fastighetsägare. Många fastighetsägare sitter på en outnyttjad resurs i form av flexibilitet, som kan komma till nytta i det överliggande energisystemet. Likaså kan fastighetsägare bidra genom att vara flexibla i när de använder värme, el och kyla.

Vinsten för energibolaget är att energisystemen avlastas vid tidpunkter då efterfrågan är hög. Det ger ett mer klimatsmart och robust energisystem. Fastighetsägarna å sin sida får en ökad möjlighet att samoptimera sin värme-, kyla- och elanvändning och kan minska sina energikostnader. Automatisk styrning av energianläggningar innebär det att de kan minska sin klimatpåverkan och stärka sin gröna profil.

Under projektperioden utvecklas och testas plattformen på ett antal fastigheter på Lunds sjukhusområde, för att utveckla ett replikerbart digitalt verktyg för optimering av energianvändning som kan kommersialiseras och spridas.

4.2 Partners

Projektet har ett brett partnerskap med olika typer av organisationer; en region, ett kommunägt energibolag, ett universitet, ett forskningsinstitut, en teknikleverantör och en klusterorganisation.

4.3 Arbetspaket 5: Utvärdering av pilot

I utvärderingen av piloten kommer projektet att undersöka om målen uppnåtts och om de metoder som använts för genomförandet fungerat. Utvärderingen utgår ifrån 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 kommer att jämföras med de teoretiskt optimala optimeringarna och ett referensfall. Pilottiden är under ett år, med start våren 2023.

4.4 Att styra och optimera på miljöfaktorer.

En stor utmaning i projektet har varit att beräkna miljöpåverkan ifrån de olika energibärarna. För att kunna planera och styra efter dessa parametrar behövs en prognos tas fram, sedan behöver en optimering genomföras med hänsyn till hela energisystemet, för att sedan resultera i en strategi eller ”körplan” för respektive fastighet / testobjekt.

4.4.1 Miljöpåverkan av el

Elproduktion har en betydande miljöpåverkan som varierar beroende på energikällan. Fossila bränslen som kol och naturgas bidrar till höga utsläpp av växthusgaser och andra föroreningar. Förnybara energikällor som vind, sol och vattenkraft har lägre klimatpåverkan, men kan ändå påverka lokala ekosystem och kräver resurser för tillverkning och installation.

4.4.2 Marginalproduktion

Marginalproduktion av el avser den elproduktion som sätts in för att möta den sista enheten av efterfrågan. Denna produktion sker ofta med mindre effektiva och mer förorenande energikällor, vilket innebär att marginalet har en högre miljöpåverkan. Att förstå och styra sin förbrukning beroende av marginalproduktionen är viktigt för att minska de totala utsläppen från elproduktionen. Det finns dock svårigheter i att fastställa marginalproduktionstypen, särskilt på el-områdesnivå, då insamlandet av statistik är bristfällig, samt att det sker import och export av el.



Figur 1. Produktionsstatistik ifrån Svenska kraftnät visar att det finns en kategori ”ospecificerat” och ”värmekraft” som inte har specificerat ursprung.



Figur 2. Elimport och export Sverige.

4.4.3 Elmix

Elmixen beskriver sammansättningen av olika energikällor som används för att producera el i ett visst område. En elmix med hög andel förnybar energi minskar klimatpåverkan, medan en mix med stor andel fossila bränslen ökar den.

4.4.4 Systemgränser

Valet av systemgränser påverkar resultaten, att sätta rätt systemgränser är avgörande för att få en korrekt bild av miljöpåverkan. I vårt projekt har vi valt att utgå ifrån Sverigemixen på el då vi anser att det är den som är mest rättvisande, det är även den som vi lyckats med goda resultat prognostisera. Det kanske skulle vara önskvärt att använda marginalesproduktion i just SE4, men skulle den vara tillgänglig och möjlig att prognostisera? Det uppstår också frågor kring om den produktionen kanske är igång för att hålla frekvens eller hur ska hänsyn tas till import och export. Man bör överväga vilket mål man har med sin optimering, är det att lokalt påverka den lokala elmixen, eller som i detta fall få en indikation på när elen har en högre miljöpåverkan.

4.4.5 Miljöpåverkan ifrån fjärrvärme och fjärrkyla

Fjärrvärme och fjärrkyla är resurseffektiva energilösningar som kan bidra till att minska klimatpåverkan. Fjärrvärme använder tillexempel restvärme från industrier och kraftvärmeverk, vilket minskar behovet av fossila bränslen och därmed utsläppen av koldioxid. Dessutom har fjärrvärmeverk effektiv reningsteknik som minimerar utsläppen av föroreningar.

Fjärrkyla, som ofta produceras med hjälp av större värmepumpar som tillgodoser både värme- och kylbehov, eller absorptionskylmaskiner drivna av överskottsvärme, har en effektivare energianvändning jämfört med lokala kylsystem. Detta gör fjärrkyla till ett miljövänligt alternativ för kylning, med potential att minska både energiförbrukning och klimatpåverkan.

4.4.6 Styrning på miljöparametrar

Att styra på miljöparametrar innebär att man aktivt försöker påverka elproduktionen och konsumtionen för att uppnå specifika miljömål. Detta kan inkludera att minska utsläpp, öka andelen förnybar energi eller förbättra energieffektiviteten. Valet av styrmedel och mål beror på vad man vill uppnå, till exempel att påverka den framtida produktionssammansättningen för att minska klimatpåverkan på lång sikt, eller som i Region Skånes fall, minska primärenergianvändningen.

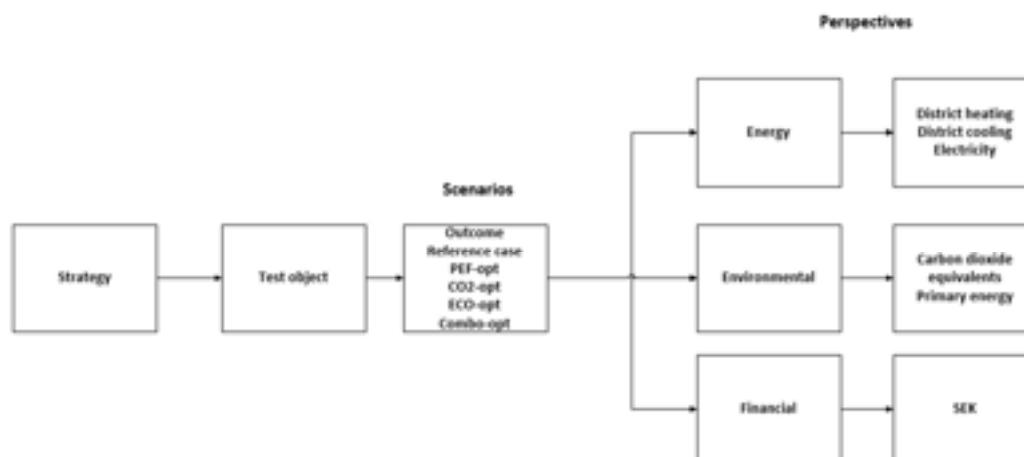
5 Metod

Utvärderingsarbetet har inneburit att inhämta och sammanställa stora mängder data. Vissa data har funnits hos kunden, Region Skåne, vissa data hos Energibolaget, Krafringen, viss data hos totaloptimeringsföretaget, Energy Opticon, och viss data externt ifrån t.ex. Svenska kraftnät eller Miljöfaktaboken. Datan har sedan behandlats och filtrerats för att bli av med brus och felaktiga värden. Det har även genererats miljöanalyser av fjärrvärme och fjärrkyla samt en timtaxa på dessa energibärare. Dessa har varit underlag för optimeringsarbetet.

Mätdatainsamling och filtrering kan vara utmanande på flera sätt. En av de största svårigheterna är att säkerställa datakvaliteten, vilket innebär att insamlad data måste vara korrekt, komplett och relevant. Dessutom kan tekniska problem uppstå, såsom felaktiga sensorer eller kommunikationsproblem, vilket kan leda till dataförluster eller felaktiga mätvärden. Filtrering av data för att eliminera brus och irrelevanta datapunkter kräver avancerade algoritmer och kan vara tidskrävande. I vårt fall har en statistisk metod använts för att utesluta "outliers" / extrema observationer.

Under projekttiden har det veckovis genomförts uppföljningsmöte med samtliga partners, för att säkerställa drift av testobjekt och datainsamling. På mötena har resultat, problem och lösningar diskuterats, dessa möten har varit avgörande för genomförandet av pilotstudien.

5.1 Energianalys, miljöanalys och finansiell analys



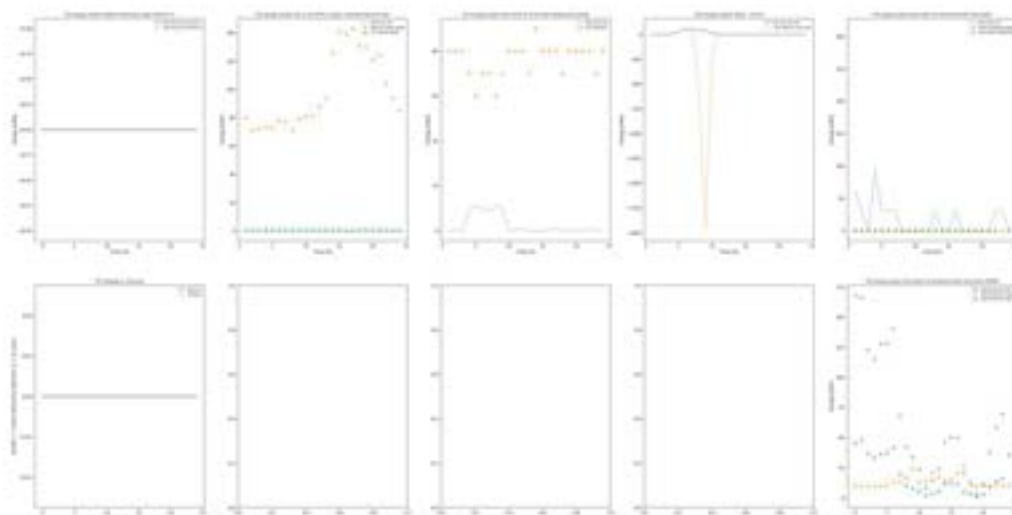
Figur 3. Översiktlig bild av Utvärderingsarbetet.

Tabell 1. *Miljödata är hämtat ifrån miljöfaktaboken (Code & Martinsson, 2011).

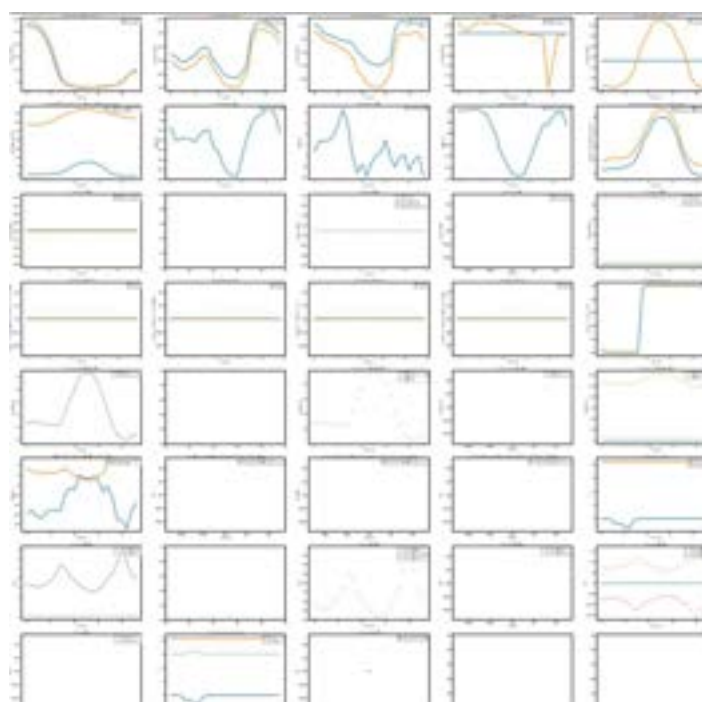
Scenario	
Outcome	Utfall, resultatet av de körplaner som skickats till testobjekten.
Reference case	Referensfall, framräknade referensfall för hur testobjekten hade körts utan e-flex.
PE-opt	Körplaner optimerade för minskad primärenergianvändning*.
CO2-opt	Körplaner optimerade för minskat utsläpp i form av koldioxidekvivalenter*.
ECO-opt	Körplaner optimerade för minskad kostnad för användare.
Combo-opt	En optimering som försöker minska både miljöpåverkan och energikostnaden.

5.2 Automatisk uppföljning och återkoppling

I projektet har deltagarna i arbetspaketet utvecklat ett mailbaserat system för återkoppling och resultatuppföljning av piloten.

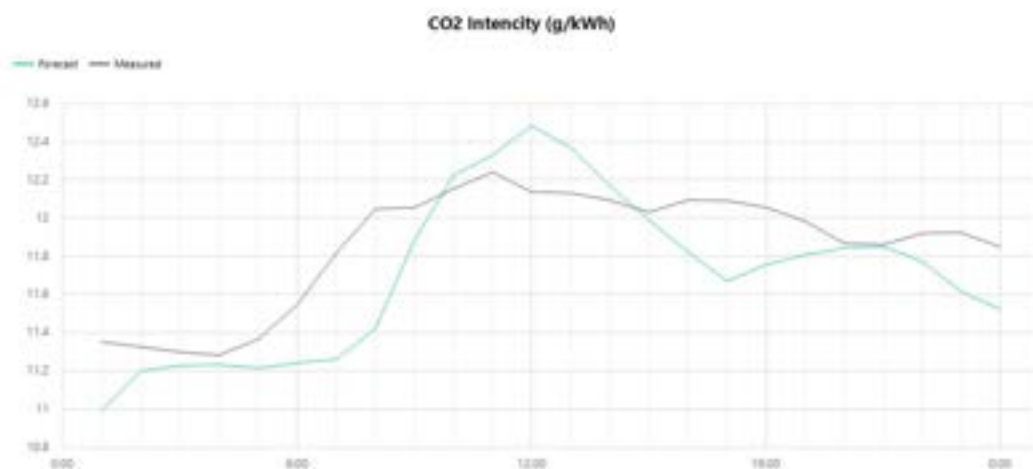


Figur 4. Exempel på uppföljningsmail till Region Skåne, för att säkerställa normal drift av testobjekten.



Figur 5. Automatiskt utskick, samtliga testobjekt i vissa fall inklusive prognoser och referensfall.

Follow-up environmental factors of el. over 08-10-2024



Figur 6. Exempel på automatisk uppföljning av miljöprognosen, koldioxidekvivalenter.



Figur 7. Exempel på automatisk uppföljning av miljöprognosen, primärenergi.



Figur 8. Ett, av många exempel, på uppföljning av testobjekten, i det här fallet primärenergianvändning per testobjekt och optimering.

Övriga genererade dagliga rapporter är energianalys, finansiell analys, miljöanalys (primärenergi och koldioxidekvivalenter), samt en jämförelse av utskickad körplan / strategi och utfall.

6 Resultat

6.1 Testobjekt 1

Testobjekt 1 innebär en möjlighet att styra ner el-effekt under ett antal timmar, totalt 20 kW under fyra timmar. Under pilottiden har detta testobjekt använts sporadiskt för att testa funktionaliteten, men det har inte funnits ett reellt behov av att reducera eleffekten. Detta beror på att Krafringens elnät inte har varit nära den abonnerade effekten på överliggande nät. En viktig lärdom var att fastställa vilken framförhållning som krävs för att ett önskemål om eleffektreduktion ska ingå i körplanen.

6.2 Testobjekt 2

Testobjekt 2 undersöker möjligheten att växla energibärare för processkyla, mellan lokalt producerad kyla med kylmaskiner och fjärrkyla. Detta innebär att växla mellan ca 30 kW el och ca 90 kW fjärrkyla. Resultaten visar goda möjligheter att minska koldioxidekvivalenter, men kostnadsvariationerna är stora beroende på scenario. Den finansiella optimeringen visar potential att minska kostnaderna, medan de miljöbaserade optimeringar kan leda till ökade kostnader.

6.3 Testobjekt 3

I detta testobjekt kan kylbehovet tillgodoses antingen av en kombination av värmepumpar och fjärrkyla, eller helt med fjärrkyla. Värmen återvinns vid lokal kyl-produktion och behövs ersättas med fjärrvärme vid användning av enbart fjärrkyla. Referensfallet är beräknat som en funktion av det totala kylbehovet och en COP-faktor. Resultaten visar potential att minska koldioxidekvivalenter, men kostnaderna kan variera beroende på optimeringsstrategi.

6.4 Testobjekt 4

Innebär en smart styrning av fjärrvärmelasten med rumsgivare och en energibesparande lärande algoritm. I testobjekt 4 används en beräkning av energianvändning baserat på en "off-set" signal för styrning av kundcentralen. Detta testobjekt är valt på grund av sin låga tappvarmvattenanvändning. Resultaten visar minskad energianvändning samt reduktion i miljöpåverkan och kostnad.

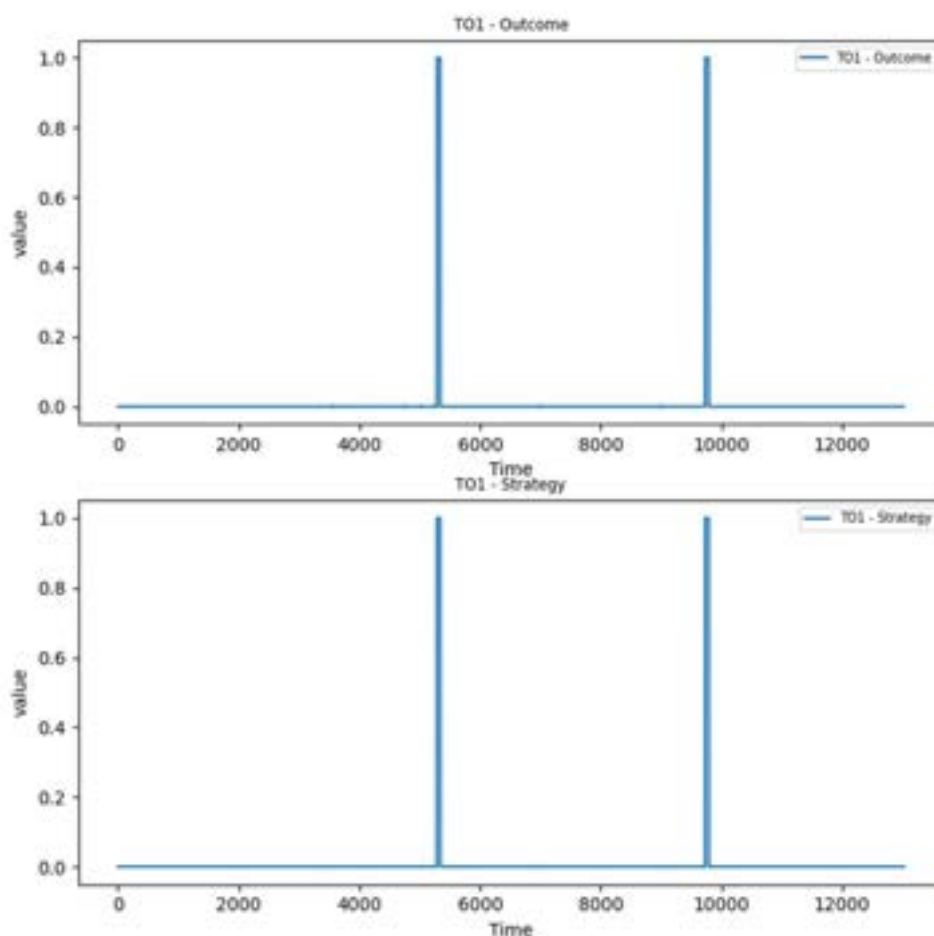
6.5 Testobjekt 5

Testobjekt 5 undersöker potentialen att växla fjärrvärmelast med en värmepump. Resultaten visar potential att minska klimatpåverkan i form av koldioxidekvivalenter och primärenergianvändning. Dock är potentialen att spara pengar begränsad i detta fall.

Tabell 2. Resultat ifrån de olika testobjekten i procentuell minskning i förhållande till respektive referensfall. Endast en optimering åt gången går att utföra. Optimeringarna är utförda under olika driftperioder.

	TO2	TO3	TO4	TO5	Medel
Finansiell optimering	-38	-9	-5	-1	-13
Koldioxidekvivalent-optimering	-52	-36	-5	-14	-27
Primärenergianvändnings-optimering	-70	-59	-5	-4	-35

6.6 Testobjekt 1



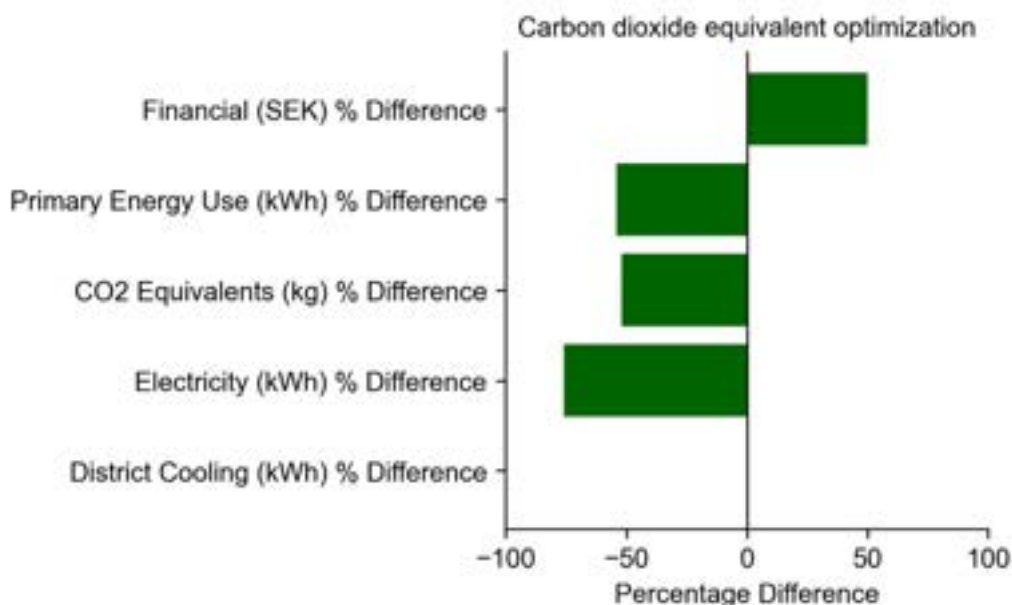
Figur 9. Testobjekt 1.

I testobjekt 1 har en eleffektreduktion genomförts en handfull gånger mest för att testa funktionaliteten. Testobjektet är en el-reduktion på ca 20 kW och eftersom att det inte under pilottiden varit något behov av att reducera eleffekten, (Krafttringens elnät har inte varit nära den abonnerade effekten på överliggande nät), har testobjektet inte använts. Detta då det tillfälligt innebär en något reducerad klimatkomfort då eleffektsreduktionen innebär en reducerad ventilation i utvalda lokaler. Viktigt var att fastställa vilken framförhållning som krävs för att ett önskemål om eleffektreduktion ska ingå i den körplan som skickas. Detta missades vid något tillfälle då genomfördes inte reduktionen. Ovan syns två tillfällen då en styrsignal skickades, "strategy" för att sedan hamna i styrsystemet: "outcome". Ingen ingående analys av resultatet har gjorts på testobjekt 1 eftersom det inte varit särskilt aktivt.

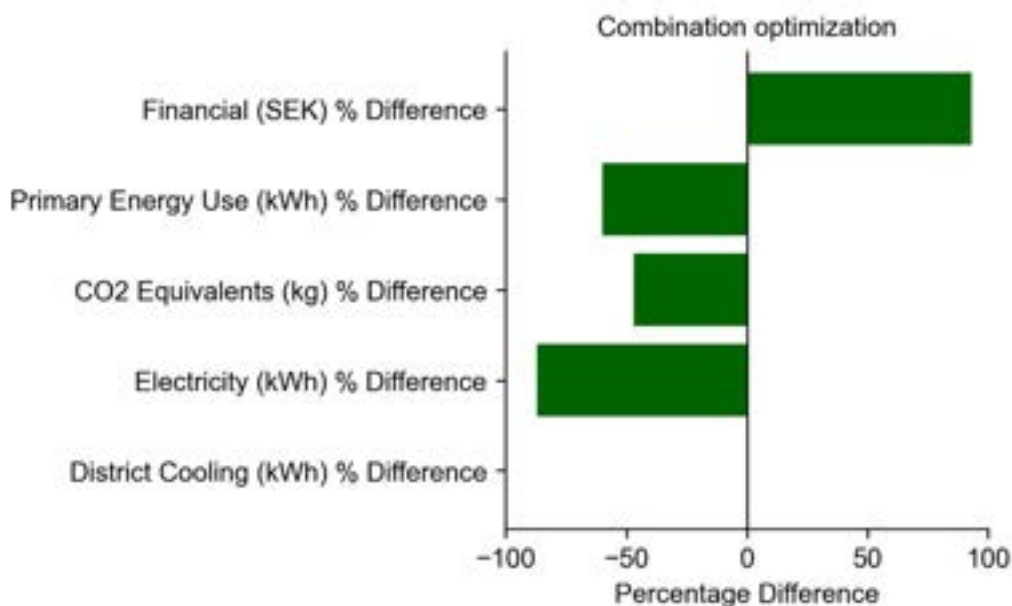
6.7 Testobjekt 2

I testobjekt 2 har ett energibärrarbyte undersökts kopplat till processkyla. Möjligheterna har varit att byta mellan att lokalt producerad kyla med

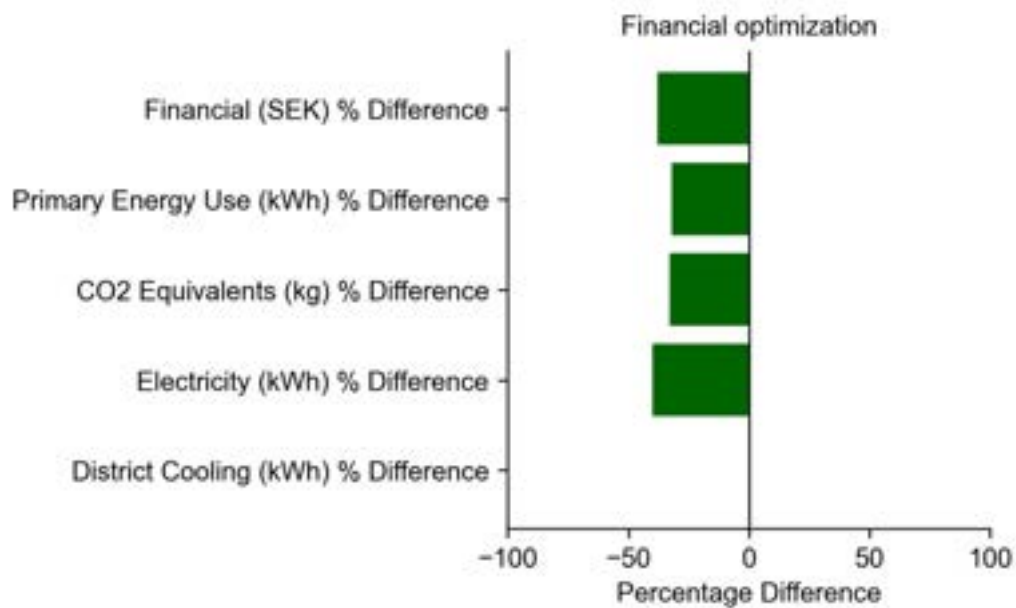
kylmaskiner eller att använda fjärrkyla. Det vill säga att växla mellan ca 30 kW el och ca 90 kW fjärrkyla.



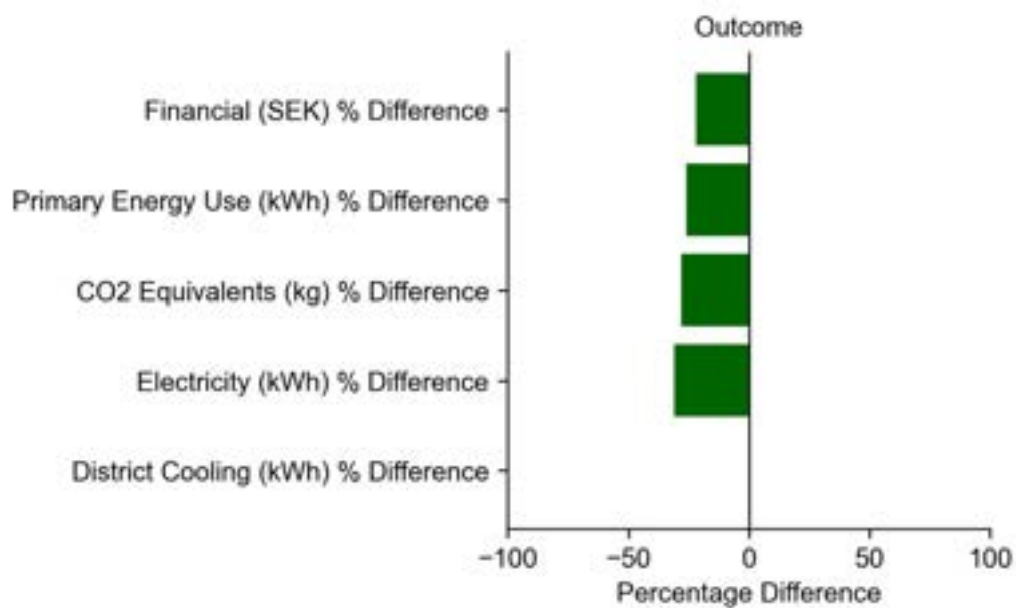
Figur 10. Testobjekt 2, optimering för att minska miljöpåverkan i form av koldioxidekvivalenter. Referensfallet använder inte fjärrkyla och därför går det inte att räkna fram en procentuell förändring, det finns dock en minskning av elanvändningen samt en ökad kostnad.



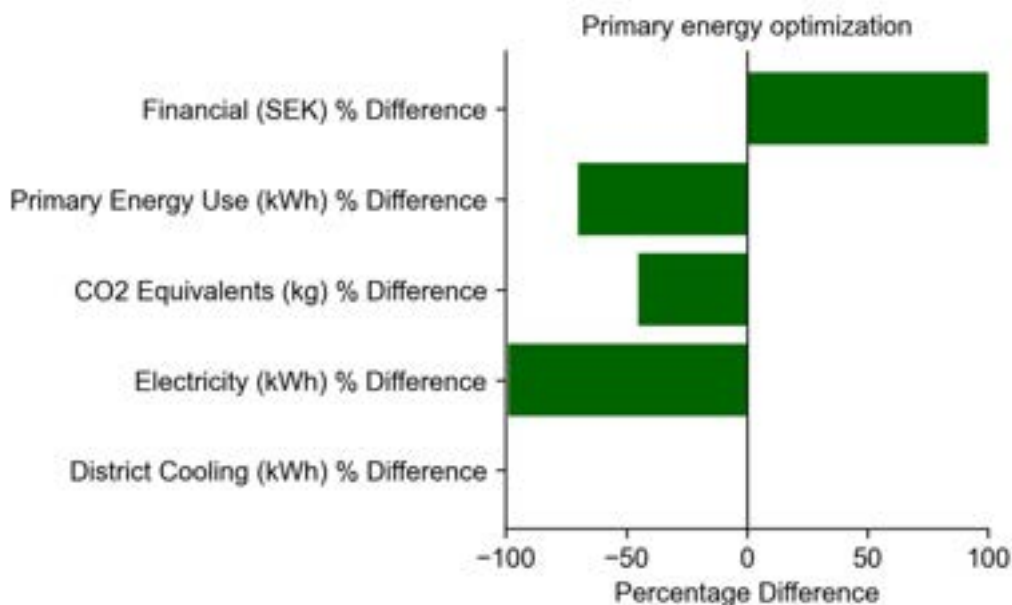
Figur 11. Testobjekt 2, en optimering som försöker minska miljöpåverkan samt ta hänsyn till kostnader.



Figur 12. Testobjekt 2, den finansiella optimering har positiva effekter även på miljöpåverkan.



Figur 13. Testobjekt 2, utfallet ligger ganska nära den finansiella optimeringen.

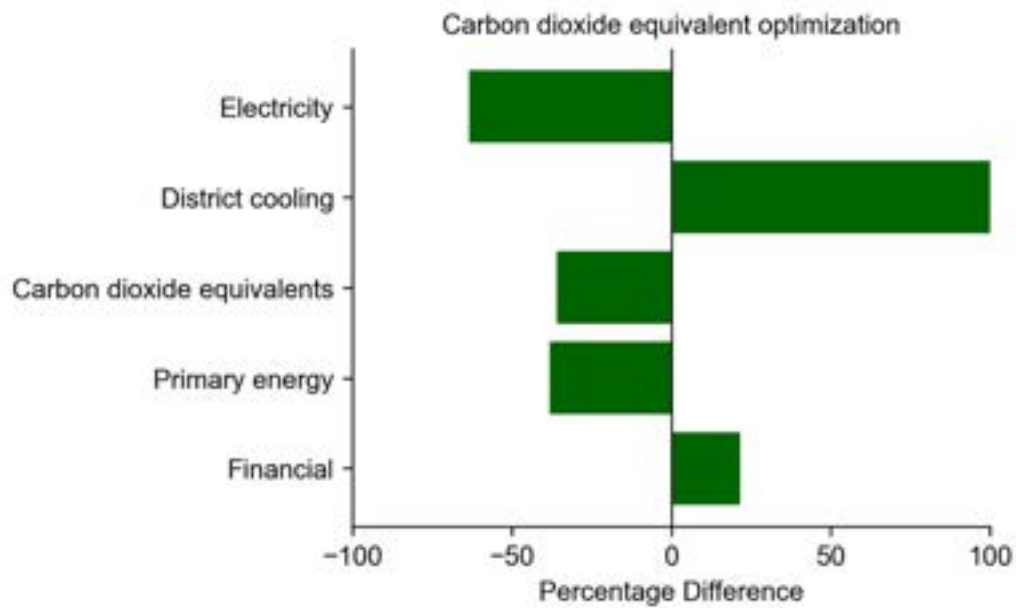


Figur 14. Testobjekt 2, optimering för att minska primärenergianvändningen, leder till ett motsatt fall i jämförelse med referensfallet.

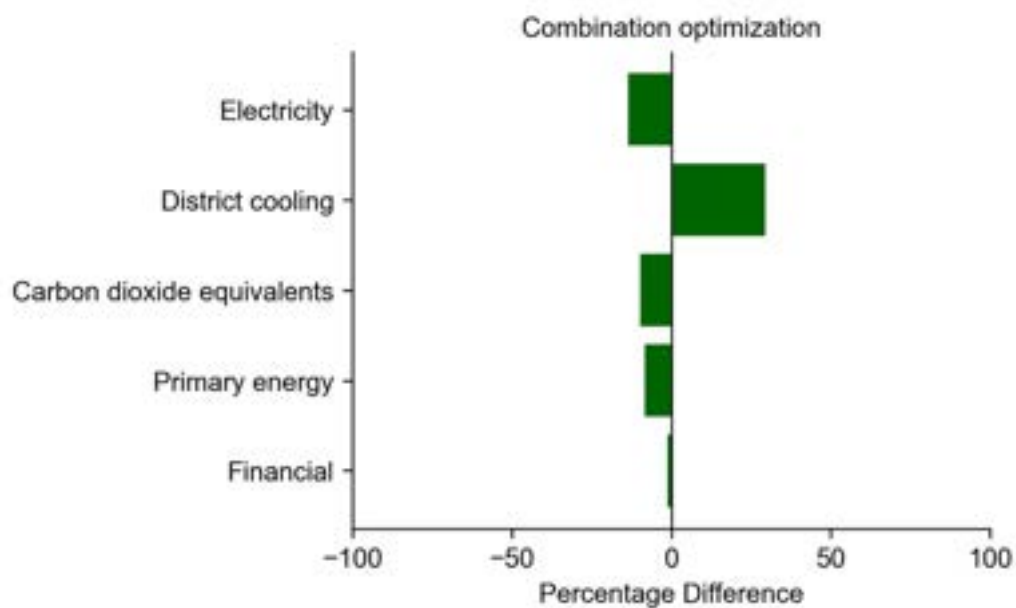
I resultatet ser vi mycket goda möjligheter att spara antalet koldioxidekvivalenter i jämförelse med referensfallet. I samtliga fall ser vi en minskad elanvändningen till förmån för fjärrkyla. I resultatet ser stora variationer i kostnad för de olika scenarierna. Den finansiella optimering och utfallet påvisar potential i att minska kostnaderna, medan de miljöbaserade optimeringarna samt kombinations-optimeringen påvisar en ökning. Primärenergianvändningen har goda potential att minskas i jämförelse med referensfallet.

6.8 Testobjekt 3

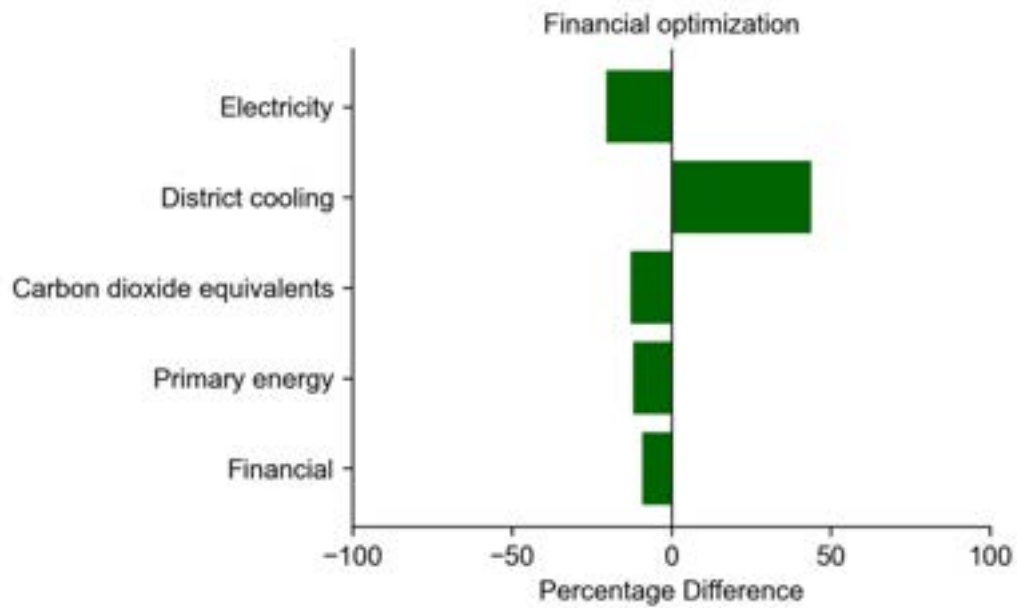
I detta testobjekt kan kylbehovet antingen tillgodoses av en kombination av värmepumpar och fjärrkyla, eller fullständigt med fjärrkyla. Referensfallet är framräknat som en funktion av det totala kylbehovet och en cop-faktor.



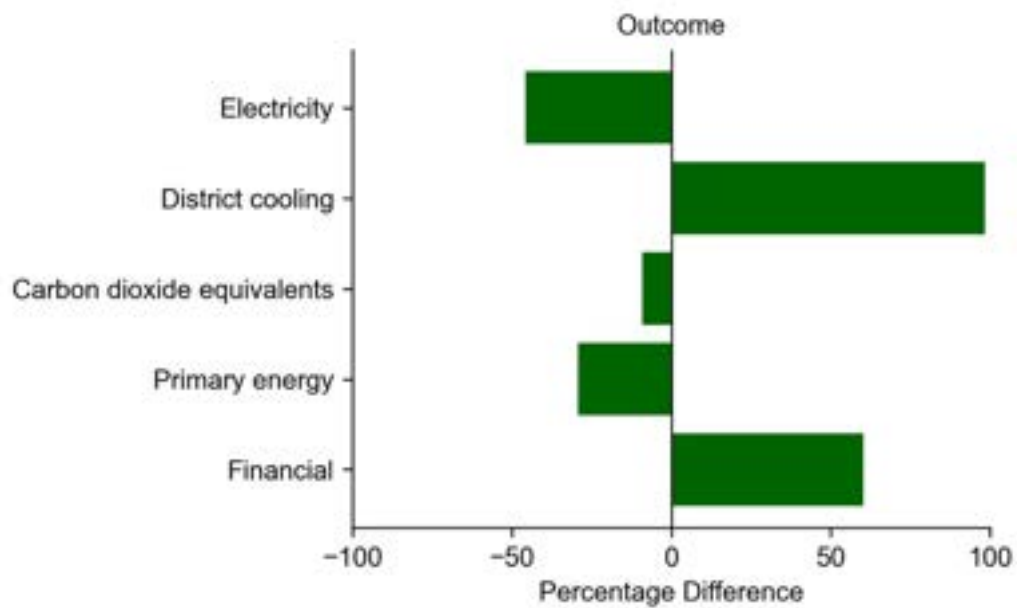
Figur 15. Testobjekt 3, minskad elanvändning och ökad fjärrkylaanvändning leder till minskad miljöpåverkan men en ökad kostnad.



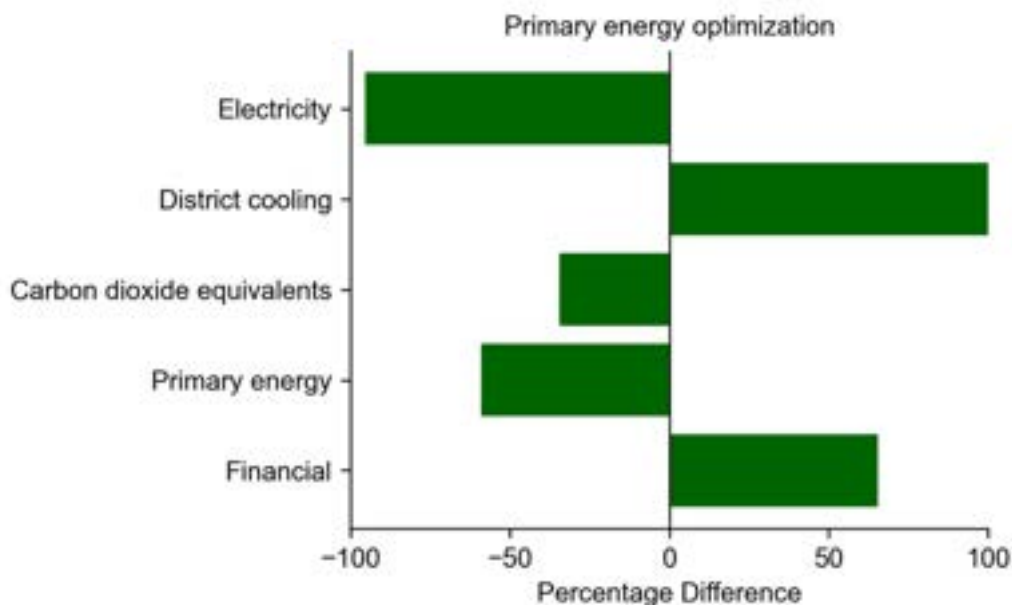
Figur 16. Testobjekt 3, både minskad miljöpåverkan samt kostnad.



Figur 17. Testobjekt 3, den finansiella optimeringen leder även till minskad miljöpåverkan.



Figur 18. Testobjekt 3, utfallet påvisar en positiv effekt på miljöpåverkan, dock en ökad kostnad.

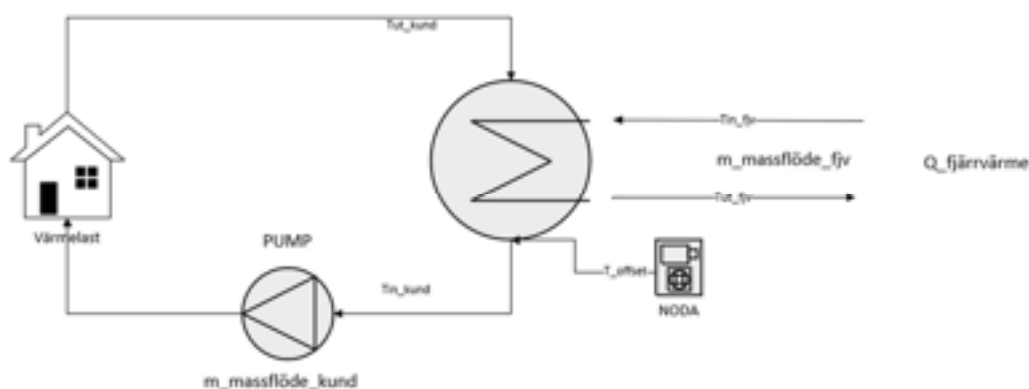


Figur 19. Testobjekt 3, minskandet av primärenergianvändning kommer med en ökad kostnad.

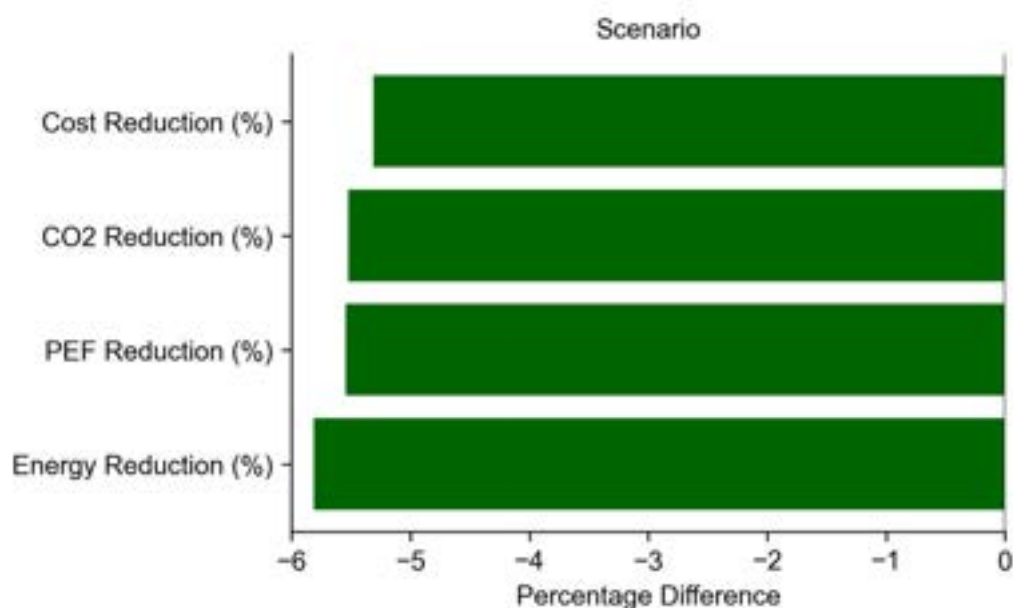
Det finns potential i att minska koldioxidekvivalenter samt primärenergianvändningen i samtliga scenario, detta genom en minskad elanvändning och ökad användning av fjärrkyla. Den finansiella analysen visar att utfallet, primärenergioptimeringen samt koldioxidoptimeringen resulterar i ökade kostnader. Den finansiella och kombinationsoptimeringen resulterar i minskade kostnader.

6.9 Testobjekt 4

I testobjekt 4 används en beräkning av energianvändning med den ”off-set” signal som genereras för styrning av kundcentralen. Denna beräkning tar inte hänsyn till att viss energi är för tappvarmvatten. Dock är detta testobjekt utvalt på grund av sin låga tappvarmvattenanvändning.



Figur 20. Referensfallet beräknas genom att bortse ifrån den styrsignal som skickas, en ökning eller minskning av framledningstemperatur på kundsidan.

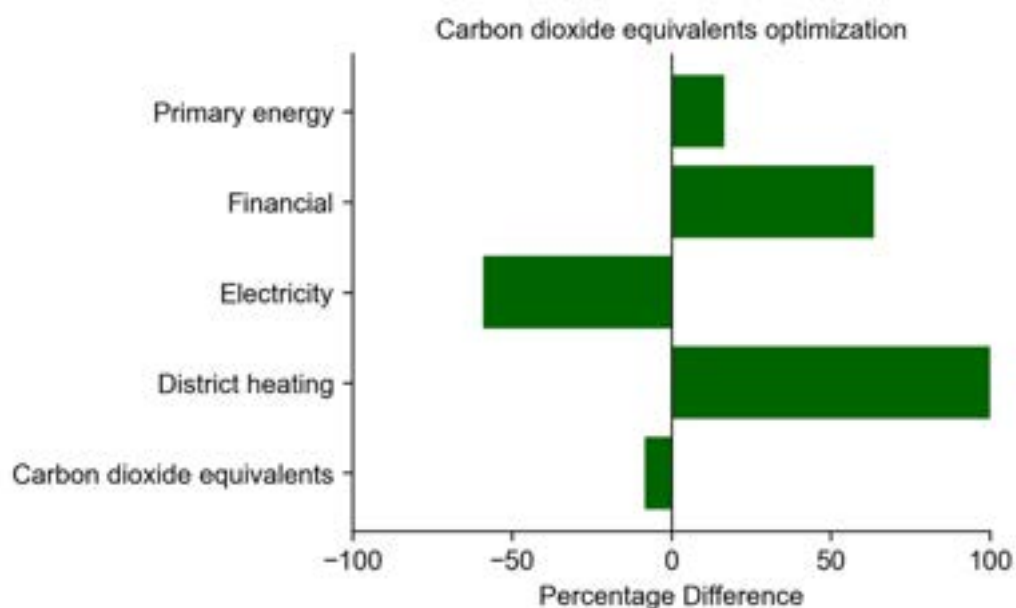


Figur 21. Testobjekt 4, besparingar i energianvändningen leder till minskad miljöpåverkan.

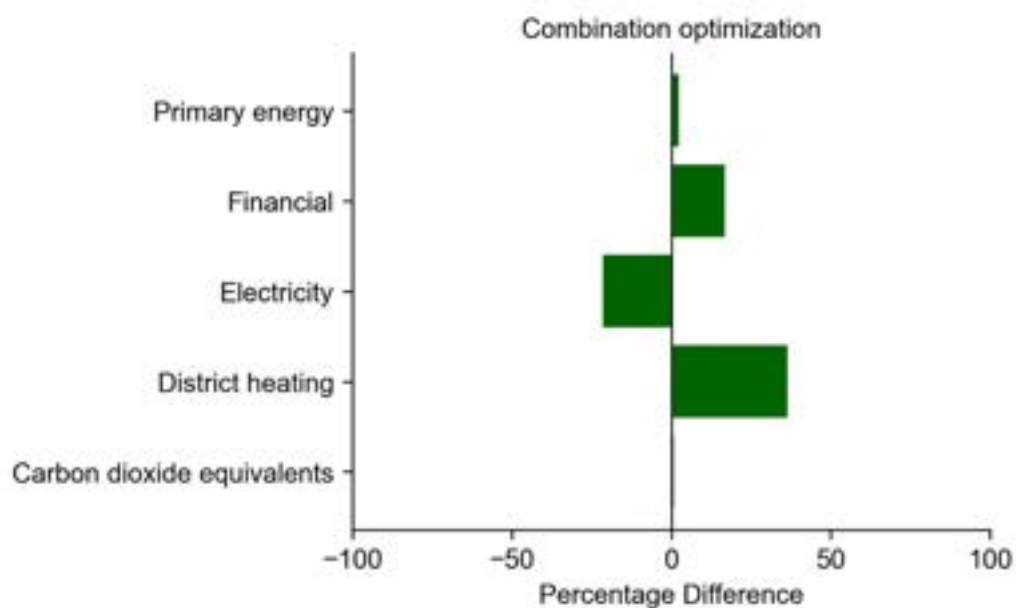
I testobjekt 4 visar resultatet på minskad energianvändning samt reduktion i miljöpåverkan och kostnad.

6.10 Testobjekt 5

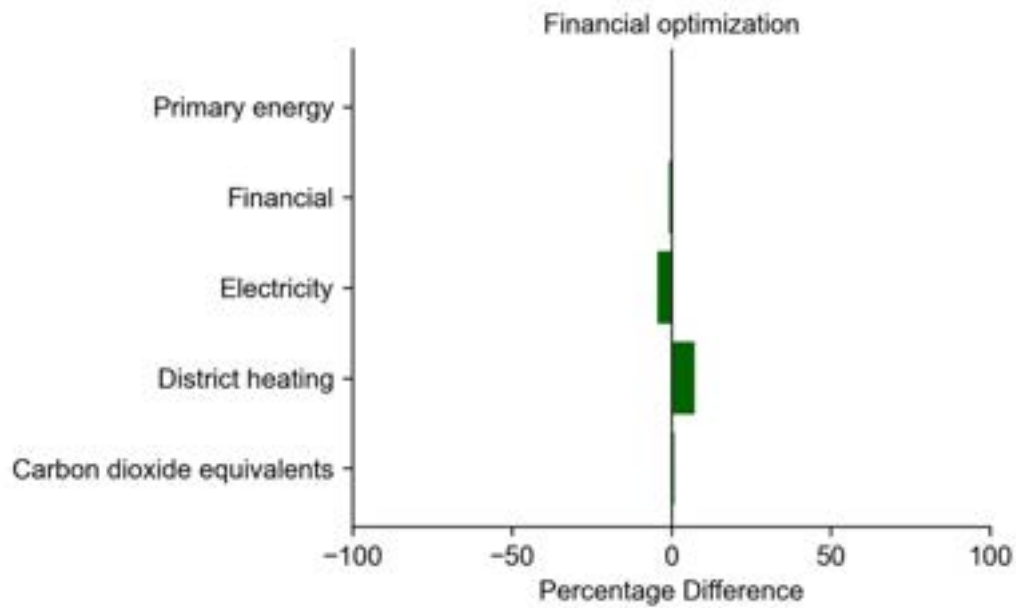
Under pilottiden var under en period värmepumpen inte fullt funktionsduglig, och för detta har korrigerats i referensfallet.



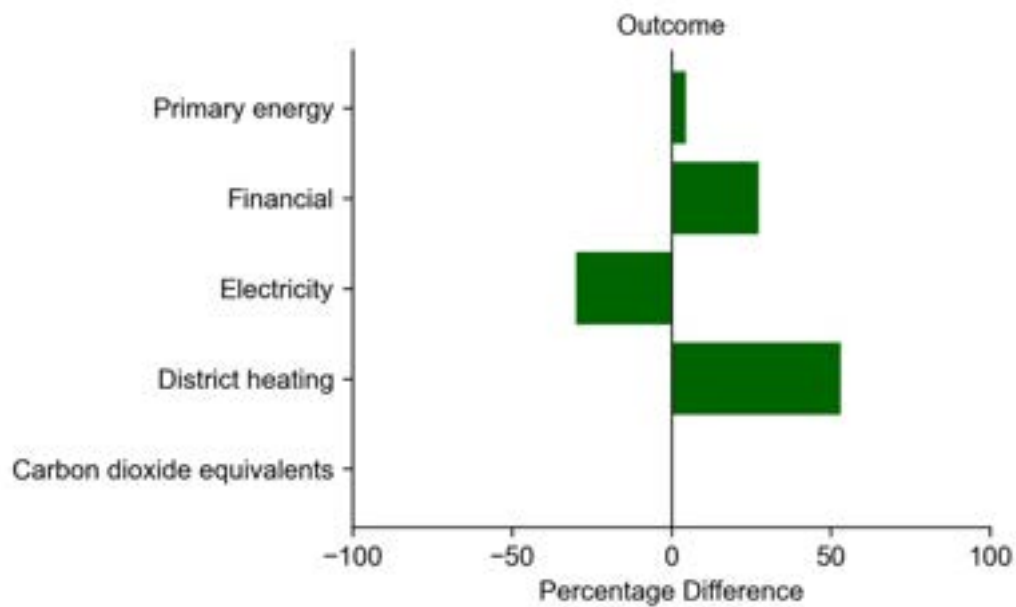
Figur 22. Testobjekt 5, besparing av koldioxidekvivalenter ger en ökad kostnad under pilottiden.



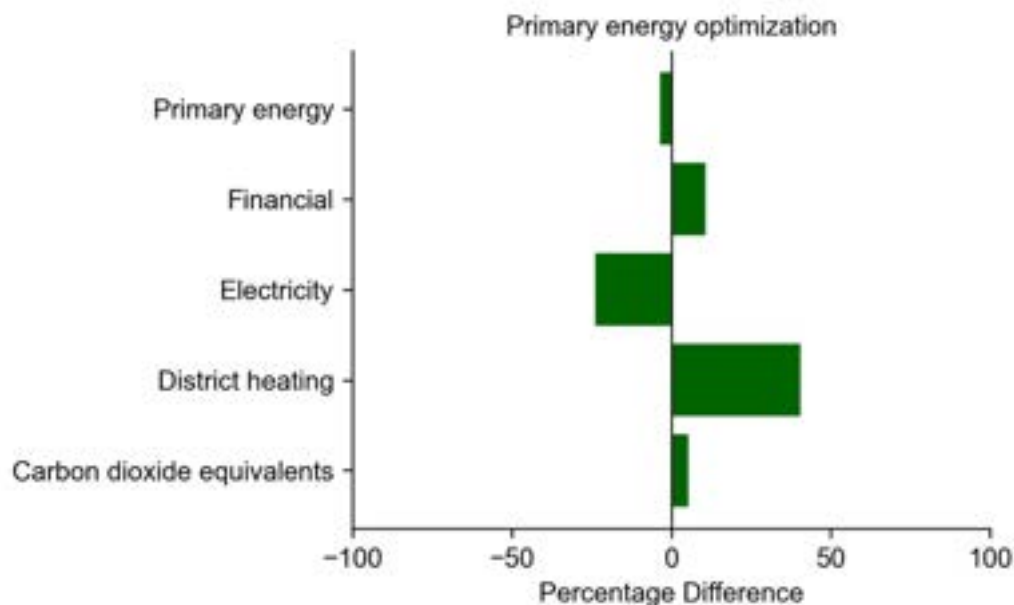
Figur 23. Testobjekt 5, kombinations-optimeringen ger ett minskat utsläpp av koldioxidekvivalenter, men en ökad primärenergianvändning.



Figur 24. Testobjekt 5, den finansiella optimeringen skiljer inte sig mycket ifrån referensfallet.



Figur 25. Testobjekt 5, den minskade elanvändningen ger en ökad kostnad under pilottiden.



Figur 26. Testobjekt 5, primärenergioptimeringen medför en besparing av primärenergianvändning till en högre kostnad.

I testobjekt 5 ser vi potential till att minska klimatpåverkan i form av koldioxidekvivalenter och primärenergianvändningen. En ökad användning av fjärrvärme samt minskad användning av el ledde inte under pilottiden till någon anmärkningsvärd förbättring av miljöparametrar. Användandet av primärenergi minskar enbart i primärenergioptimeringen. Inte samma potential att spara pengar i detta testobjekt.

7 Diskussion

Resultaten från e-flexprojektet visar på betydande möjligheter att förbättra energieffektiviteten och minska klimatpåverkan genom att använda en digital plattform för styrning av energi. Det ska understrykas att detta givetvis har med det rådande läget på energimarknaden och tillhörande energitillförsel att göra. En period med stora fluktuationer och hastigt förändrade produktionsmixar påverkar resultatet av användande av energiflexibilitet avsevärt. Nedan följer en analys av resultaten och deras potentiella effekter på energisystemet.

7.1 Energibesparingar, effektivisering och flexibilitet

Projektet har visat att det finns stor potential att nyttja flexibilitet för att minska kostnader och miljöpåverkan.

Genom att till exempel växla mellan lokalt producerad kyla och fjärrkyla kan miljöpåverkan i form av koldioxidekvivalenter reduceras avsevärt.

Automatiskt optimerad och styrd energiflexibilitet kan bidra till lägre energikostnader för fastighetsägare, och en minskad belastning på elnätet, fjärrvärmenätet och fjärrkylanätet under tidpunkter med hög belastning, vilket kan förbättra hela energisystemets robusthet.

Att använda värmepump i stället för fjärrvärme reducerar mängden köpt energi, men inte nödvändigtvis miljöpåverkan. I e-flexprojektet nyttjas inte bara möjligheterna att skifta energibärare utan även när i tiden som skiftet sker, detta möjliggör kraftigt ökad dynamik i användningsstrategi.

7.2 Miljökonsekvenser

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

7.3 Ekonomiska fördelar

De ekonomiska analyserna visar att det finns potential att minska energikostnaderna genom optimerad energianvändning. Fastighetsägare kan dra nytta av lägre energipriser genom att vara flexibla i sin energianvändning. Detta kan också bidra till att stärka deras gröna profil och öka deras konkurrenskraft på marknaden.

7.4 Utmaningar och framtida arbete

Trots de positiva resultaten finns det utmaningar som behöver adresseras. En av de största utmaningarna är att säkerställa att driften fungerar. Vid olika tillfällen fungerade inte vissa testobjekt (eller delar av), och ibland fungerade inte

datainsamlingen. Det är viktigt att förstå varför dessa avvikelser inträffade och hur de kan undvikas i framtiden. Olyckligtvis kunde det ibland röra sig om en enstaka mätare som inte fungerade, vilket gjorde att ett helt testobjekt ”låg nere”.

En annan utmaning är att säkerställa tillgången till tillförlitliga data och att utveckla robusta prognosmodeller. Detta är avgörande för att kunna skapa effektiva och pålitliga körplaner. Automatiska rapporter och uppföljningssystem kan också bidra till att förbättra övervakningen och styrningen av energianvändningen.

7.5 Samhälleliga effekter

På en bredare skala kan projektet bidra till att skapa ett mer hållbart och motståndskraftigt energisystem. Genom att smart styra energianvändningen kan projektet bidra till att uppnå nationella och internationella klimatmål. Dessutom kan det bidra till att skapa nya affärsmöjligheter och stärka samarbetet mellan energibolag och fastighetsägare.

7.6 Framtidsutblick

E-flexprojektet har belyst möjligheterna till att optimera flertalet testobjekt på distans med syfte att optimera hela energisystemet. Att enbart optimera kundens anläggningar av hänsyn till finansiella värden kan innebära en suboptimering ur energisystemperspektivet. Nytt är möjligheten att prognostisera miljöpåverkan från de olika energibärarna för att optimera på andra grunder.

Priset på fjärrvärme och fjärrkyla har varit framräknat per timme och ska återspegla energisystemets tillstånd. Det vill säga vilken sammansättning som produktionen består av. På grund av att Krafringens fjärrvärmenät sitter ihop med andras har denna beräkning varit mycket komplex.

Framgent kommer fler kunder att anslutas till den digitala plattformen vilket ökar kapaciteten i flexibiliteten. Kanske kan en större mängd anslutna kunder med möjlighet till eleffektreduktion leda till att Krafringen kan minska sin abonnerade effekt till överliggande nät på grund av denna funktion. Eller ha andra positiva effekter på fjärrvärme- och fjärrkylanätet.

När en viss kritisk massa blir anslutna på fjärrvärmenätet kan flexibiliteten börja användas, här följer några positiva effekter:

- Fjärrvärmenätet kan användas som en ackumulatortank.
- Efterfrågan kan kontrolleras för att reducera påverkan av flaskhalsar.
- Reducera antalet starter av spetsvärmeproduktion.
- Förskjuta kombinerad värme- och elproduktion till tidpunkter då den är mest lönsam.
- Erbjuder en ökad komfort till kunder.

- Erbjuder optimering av kunders anläggningar för en billigare och/eller miljövänligare produkt.
- En möjlighet till ökad linjetäthet, ökad anslutningsgrad på befintligt nät.
- Ökad leveranstrygghet, och möjlighet till tillfällig bortkoppling av förbrukning vid t.ex. läcka.
- Ett minskat behov av nyinvestering i produktion.
- Minskad framledningstemperatur och ”fiktiv transmission”, samt underlätta i övergång mot låg temperaturnät.

Dessa fördelar sprider sig till elnätet (och annan infrastruktur för energi) då avlastning kan ske för respektive infrastruktur då det behövs. Till skillnad ifrån elnätet finns det i fjärrvärmenätet en fysisk och termisk tröghet som kan nyttjas.

Rekommendationer vid framtida utökning av anslutna kunder till plattformen och flexibilitetsmarknaden är att undersöka framtida möjligheter för tillvaratagande av spillvärme, samt kombination andra energibärare eller lagringstekniker; vätgas, naturgas, batterier, biogas, tryckluft, kemisk lagring i till exempel salter eller vattenmagasin.

Att samla all information som krävs för den här typen av styrning på ett ställe är inte lämpligt, det är inte alltid säkerhetsmässigt görbart. Ett exempel är att optimeringen utförs centralt där körplaner skickas ut, för att genomföras i sina respektive styrsystem. En säker och robust IT-kommunikation är avgörande. Även mätdatainsamling är av största vikt, så också automation och styrsystem för anläggningarna. Transparent och snabb återkoppling uppföljning mellan samtliga parter har varit oundgänglig, detta för att åtgärda eventuella fel eller anläggningar som avviker i beteende.

Optimering bör ske centralt för att undvika suboptimering. Vid en tillräckligt stor ansluten kapacitet kan en suboptimering ske på grund av samtidig ned/uppreglering. Exempel är när ett stort antal kunder reagerar samtidigt på ett lågt/högt elpris. Detta bör kunna undvikas då optimeringen sker centralt och iterativt.

Troliga framtida kunder bör sökas i verksamheter som kräver redundant energitillförsel exempelvis: flygplatser, serverhallar, polis, militär, större produktionsbolag (undvika produktionsstopp), vattenreningsverk, kärnkraft, telekommunikation, äldreboende, kyl- och fryslager och matbutiker,

Viktiga resultat ifrån arbetspaket 5 är:

- Förmågan att prognostisera miljöpåverkan ifrån fjärrvärme, fjärrkyla samt el.
- Kombinationsoptimeringen, där kostnaden för att optimera på med miljöparametrar vägs in i en iterativ optimering.
- Automatisk återkoppling av resultat.

8 Referenser

Gode, J., & Martinsson, F. (2011). Miljöfaktaboken - Uppskattade emissionsfaktorer för bränsle, el, värme och transporter. *Värmeforsk rapport*, 1183.