

SLUTRAPPORT BILAGA 6Datum
2025-02-25

Dnr

Projektnr
P2020-90012

Energimyndighetens titel på projektet – svenska	
Digital plattform för handel och styrning av energi Bilaga 6: Delrapport Replikerbarhet	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska	
Digital platform for energy trade and consumer flexibility Appendix 6: Interim Report Replicability	
Universitet/högskola/företag	Avdelning/institution
Krafttringen Energi AB (publ)	
Adress	
Box 25, 221 00 LUND	
Namn på projektledare	
David Edsbäcker	
Namn på ev övriga projektdeltagare	
Jonas Dahl, Annika Erlandsson, David Edsbäcker, Jonas Ternström, David Nilsson, Axel Johansson, Mattias Fägersjö, Ali Moallemi.	
Nyckelord: 5-7 st	
Användarflexibilitet, optimering, digital plattform, systemnytta, handel, styrning, sektorskoppling.	

Förord

Det här projektet har genomförts av projektgruppen: David Edsbäcker, Philip Svensson och Annika Erlandsson från Krafttringen 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, Krafttringen 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 Krafttringen Energi, Moa Dahlman Truesdale från Energy Opticon, Marcus Thern från Lunds universitet och Håkan Rosqvist från Sustainable Business Hub.



Sammanfattning

Projektet *e-Flex* har utvecklat en digital plattform för handel och styrning av energi med målet att skapa ett flexiblere energisystem genom ökad samverkan mellan energibolag och fastighetsägare. Projektet har finansierats av Energimyndigheten i samarbete med partners. Plattformen omfattar tre huvudfunktioner:

1. **Värmeflex:** Optimerar fjärrvärmesystemet genom att utnyttja fastigheters termiska tröghet för att möjliggöra en mer effektiv och ekonomisk fjärrvärmeproduktion.
2. **Energiflex:** Säkerställer att dubbelanslutna fastigheter (anslutna till både värmepump och fjärrvärme/fjärrkyla) använder den energikälla som ger lägst kostnad eller miljöpåverkan.
3. **Elflex:** En integrerad del av Energiflex som skapar ekonomiska incitament för fastighetsägare att minska eleffektuttaget under kritiska timmar i elnätet.

Rapporten fokuserar på replikerbarhetsmöjligheterna för styrkoncepten Värmeflex och Energiflex inom Krafringens geografiska verksamhetsområde samt i Sverige i stort.

För att utvärdera Värmeflex har både teoretiska analyser och praktiska pilottester genomförts. De teoretiska analyserna, som simulerade effekten av att koppla upp 20 % av värmeleveransen i Eslöv och Lund till tjänsten, visade att topplasteffektuttaget kan reduceras, vilket minskar behovet av dyr spetslastproduktion. Pilottester genomfördes på en av Regionfastigheters byggnader och på 40 av Eslövs Bostads ABs (EBOs) byggnader. Piloten hos Regionfastigheter utvärderade ett styrkoncept där värmetillförseln till fastigheten anpassades utifrån ett timbaserat fjärrvärmepris. I EBO tillämpades däremot en mer traditionell metodik för effektstyrning. Resultaten visade att styrkonceptet som användes i EBO bäst uppfyllde de övergripande målen för styrningen: totaloptimering hela vägen från produktion till radiatorer i bostäderna. Detta ledde till jämnare och bättre inneklimat, minskade energikostnader för fastighetsägaren och möjliggjorde en reduktion av effektuttaget i fjärrvärmenätet vid strategiskt valda tidpunkter.

Replikerbarheten för Värmeflex bedöms som mycket lovande, både inom Krafringens verksamhetsområde och i andra svenska fjärrvärmenät. En förutsättning för replikering är dock att motsvarande systemlösning implementeras för att säkerställa att uppkopplade fastigheter kan användas som en resurs i den dagliga produktionsoptimeringen.

För Energiflex genomfördes en teoretisk bedömning av replikerbarheten baserat på energideklarationer från 2014 och 2024. Antalet dubbelanslutna fastigheter har mer än fördubblats under de senaste tio åren, vilket indikerar goda möjligheter för replikering. Genom att ta hänsyn till rådande tillgänglighet i överliggande energisystem, likt *e-Flex*, är det möjligt att undvika att suboptimeringar uppstår. Avsättningen av överskottsvärme kan öka samtidigt som elnätet kan avlastas under rätt valda tillfällen med minskad avsättning av överskottsvärme och ökad belastning på elsystemet som följd.

Slutsats: Systemlösningen som utvecklats inom *e-Flex* har stor potential att replikeras både inom Krafringens verksamhetsområde och nationellt. Plattformen bidrar till ett mer optimerat energisystem med lägre miljöpåverkan och minskade kostnader för både energibolag och fastighetsägare.

Summary

The e-Flex project has developed a digital platform for energy trading and control with the aim of creating a more flexible energy system through enhanced collaboration between energy companies and property owners. The project was funded by the Swedish Energy Agency together with the project partners.

The platform includes three core functionalities:

1. **HeatFlex:** Optimizes district heating systems by utilizing the thermal inertia of buildings to enable more efficient and cost-effective district heating production.
2. **EnergyFlex:** Ensures that dual-connected buildings (connected to both heat pumps and district heating/cooling systems) utilize the energy source with the lowest cost or environmental impact.
3. **PowerFlex:** An integrated component of EnergyFlex that provides economic incentives for property owners to reduce electricity demand during critical hours in the grid.

This report focuses on the replicability potential of the HeatFlex and EnergyFlex control concepts within Krafringen's geographical service area and across Sweden.

To evaluate HeatFlex, theoretical analyses and practical pilot tests were conducted. The theoretical analyses simulated the impact of connecting 20% of the district heating supply in Eslöv and Lund to the service, demonstrating the potential to reduce peak demand and thereby lower the need for expensive peak load production. Pilot tests were carried out in one building within Regionfastigheter's portfolio and 40 buildings managed by EBO. The Regionfastigheter pilot assessed a control concept where heat supply was adjusted based on hourly district heating prices, whereas EBO employed a more traditional demand-side management approach. Results showed that the concept used in EBO best fulfilled the overarching control objectives: holistic optimization from production to radiators in the apartments. This resulted in improved indoor climate, reduced energy costs for property owners and enabled strategic reductions in district heating network peak demand.

The replicability of HeatFlex is considered highly promising, both within Krafringen's service area and other district heating networks in Sweden. However, successful replication requires implementing a similar system solution to ensure that connected properties can function as a resource in daily production optimization.

For EnergyFlex, a theoretical assessment of replicability was performed using energy declarations from 2014 and 2024. The number of dual-connected properties has more than doubled over the past decade, indicating strong replication potential. Without e-Flex control, there is a risk of suboptimal performance in the overarching energy system, leading to reduced utilization of surplus heat and increased stress on the electricity grid.

Conclusion: The system solution developed within the e-Flex project has significant potential for replication, both within Krafringen's service area and across Sweden. The platform contributes to a more optimized energy system, reducing environmental impact and costs for both energy companies and property owners.

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	3
SUMMARY	4
1 INLEDNING	7
1.1 OM PROJEKTET	7
1.2 ARBETSPAKET 6 (AP6): REPLIKERBARHET	7
1.3 TESTOBJEKTEN	7
1.4 KRAFTRINGEN IDAG	8
1.4.1 <i>Energimix</i>	8
1.4.2 <i>Optimeringssystem</i>	9
2 GENOMFÖRANDE ARBETSPAKET 6: REPLIKERBARHET	10
2.1 BAKGRUND	10
2.1.1 <i>Värmeflexibilitet</i>	10
2.1.2 <i>Energiflexibilitet</i>	10
2.2 METOD	11
2.2.1 <i>Replikerbarhet, Nivå 1; Kraftringens verksamhetsområde</i>	12
2.2.2 <i>Replikerbarhet, Nivå 2; Regionfastigheters verksamhetsområde</i>	13
2.2.3 <i>Replikerbarhet, Nivå 3; Sverige</i>	13
3 RESULTAT REPLIKERBARHET VÄRMEFLEX	15
3.1 GRUNDLÄGGANDE FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR REPLIKERING	16
3.1.1 <i>Förutsättningar för energibolaget</i>	16
3.1.2 <i>Förutsättningar för fastighetsägare</i>	17
3.2 REPLIKERBARHETSNIVÅ 1 VÄRMEFLEX: REPLIKERBARHETSMÖJLIGHETER INOM KRAFTRINGENS VERKSAMHETSOMRÅDE	19
3.2.1 <i>Teoretisk styrbar last</i>	19
3.2.2 <i>Teoretisk styrlängd</i>	20
3.2.3 <i>Teoretisk bedömning av nyttan med effektstyrning för Kraftringen</i>	22
3.2.4 <i>Utvärdering av fysisk effektstyrningspilot, EBO</i>	24
3.2.4.1 <i>Teoretisk effektstyrningspotential, EBO</i>	25
3.2.4.2 <i>Verkligt utfall effektstyrning, EBO</i>	26
3.2.4.3 <i>Utvärdering av energibesparing med NODA, EBO</i>	33
3.3 REPLIKERBARHETSNIVÅ 2 VÄRMEFLEX. REPLIKERBARHETSMÖJLIGHETER INOM REGION SKÅNES VERKSAMHETSOMRÅDE.	35
3.3.1 <i>Resultat effektstyrning Testobjekt 4, Regionfastigheter</i>	35
3.3.1.1 <i>Styrbar last, Regionfastigheter</i>	36
3.3.1.2 <i>Tariff Controlstyrningens variation under dygnet</i>	37
3.3.1.3 <i>Styrningens koppling till marginalproduktionskostnad</i>	38
3.3.2 <i>Sammanfattande slutsatser avseende de två styrmotodikerna DSM och Tariff Control</i>	39
3.3.3 <i>Replikerbarhetsmöjligheter för Regionfastigheter i Skåne baserat på DSM</i>	39
3.4 REPLIKERBARHETSNIVÅ 3 VÄRMEFLEX. REPLIKERBARHETSMÖJLIGHET I SVERIGE	41
4 RESULTAT REPLIKERBARHET ENERGIFLEXIBILITET	43
4.1 GRUNDLÄGGANDE FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR REPLIKERING	43
4.1.1 <i>Förutsättningar för energibolaget</i>	43
4.1.2 <i>Förutsättningar för fastighetsägare</i>	44
4.2 REPLIKERBARHETSNIVÅ 1 ENERGIFLEX. REPLIKERBARHETSMÖJLIGHETER INOM KRAFTRINGENS VERKSAMHETSOMRÅDE	46
4.2.1 <i>Teoretisk lönsamhetspotential flerbostadshus</i>	47
4.2.2 <i>Lönsamhetspotential kommersiell fastighetsaktör</i>	51
4.3 REPLIKERBARHETSNIVÅ 2 ENERGIFLEX. REPLIKERBARHETSMÖJLIGHETER PÅ OBJEKT INOM REGION SKÅNES FASTIGHETER.	53
4.4 REPLIKERBARHETSNIVÅ 3 ENERGIFLEX. REPLIKERBARHETSMÖJLIGHETER I SVERIGE.	55
5 UTBLICK JÄMFÖRT MED ANDRA INITIATIV	57

5.1	ELFLEX	57
5.2	VÄRMEFLEX	57
5.3	ENERGIFLEX	58
6	TILLVÄGAGÅNGSÄTT FÖR REPLIKERING	60
7	DISKUSSION OCH SLUTSATSER	61
7.1	VÄRMEFLEXIBILITET	61
7.1.1	<i>Replikerbarhetsmöjligheter</i>	63
7.2	ENERGIFLEXIBILITET	63
7.2.1	<i>Replikerbarhetsmöjligheter</i>	64
7.3	ARBETSMETODIK	64
8	KONKLUSIONER	65
9	BILAGA	66
	BILAGA 1. EFFEKTBEHOV FÖR STORKUNDER (>300 MWh/ÅR) FÖRDELAT PER UTMOMHUSTEMPERATUR	66
	BILAGA 2. ENERGIBESPARING FASTIGHET 1-22 MED NODA STYRNING FÖR EBO	66
	BILAGA 3. EFFEKTBEHOV REGIONFASTIGHET TO4 MED OCH UTAN NODA STYRNING	67

1 Inledning

I e-Flexprojektet har en digital plattform skapats 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 minskad energikostnad, minskad primärenergianvändning och lägre koldioxidutsläpp. Projektet finansieras av Energimyndigheten och ingående partners och har pågått 2020–2024.

1.1 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 de överliggande energisystemen genom att fastighetsägare kan vara flexibla med *när* de använder sin energi, samt i vissa fall *vilken* energibärare de använder.

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. Styrning av slutanvändarnas värme och kylanläggningar innebär också att de kan minska sin klimatpåverkan och stärka sin hållbarhetsprofil.

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

En fysisk replikerbarhetsstudie har också genomförts hos Eslövs Bostads AB.

1.2 Arbetspaket 6 (AP6): 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. Detta eftersom det krävs en ansenlig mängd fastigheter för att det skall vara möjligt att effektstyra ett större fjärrvärmenät.

Denna delrapport analyserar och diskuterar 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 i denna rapport är på Värmeflex och Energiflex då dessa är kopplade till fjärrvärme och kräver något mer sitespecifika förutsättningar än Elfex (nedreglering av ellast).

1.3 Testobjekten

Tidigt i projektet identifierades fem testobjekt som har använts för att testa och utreda olika sätt att utnyttja flexibilitet i energisystemen. Testobjekten omfattar:

Testobjekt 1: Möjlighet att styra ner el-effekt med 20 kW under fyra timmar. Reellt behov av reduktion har sällan eller aldrig funnits under piloten, men teoretiskt uppstår nyttan hos elnätsbolaget vid effektbrist i elnätet.

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. Nyttan uppstår för fastighetsägaren genom kostnads- eller miljöoptimering. På energisystemnivå uppstår nytta genom att rätt energibärare används vid rätt tillfälle. Även potentiell nytta hos elnätsbolag vid effektbrist i elnätet.

Testobjekt 3: Möjlighet att byta energibärare genom att växla mellan intern värmepump eller att använda fjärrkyla och -värme. Nyttan uppstår för fastighetsägaren genom kostnads- eller miljöoptimering. På energisystemnivå uppstår nytta genom att rätt energibärare används vid rätt tillfälle. Även potentiell nytta hos elnätsbolag vid effektbrist i elnätet.

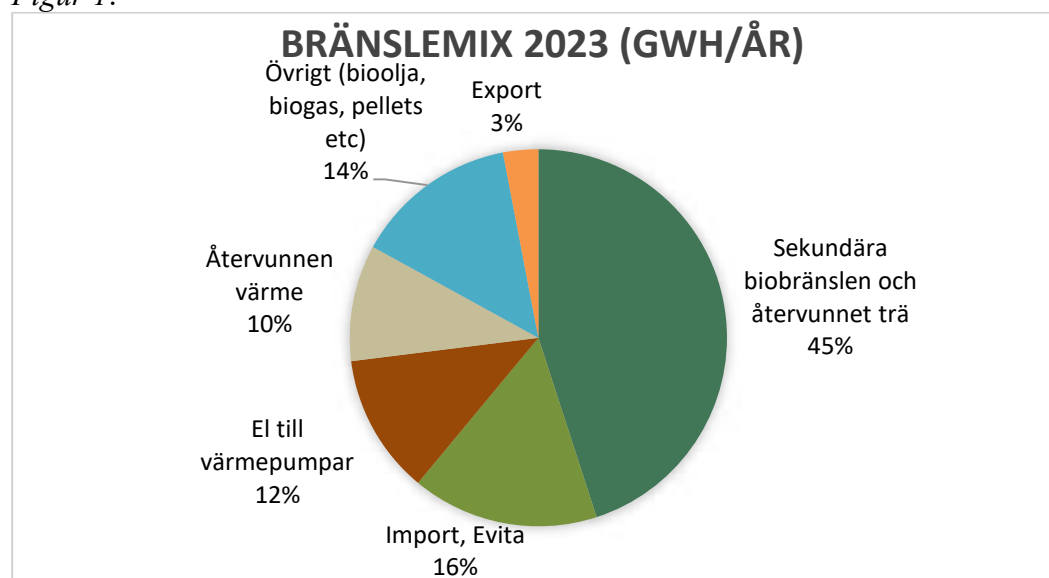
Testobjekt 4: Möjlighet att genom att använda sig av fastighetens termiska tröghet vara flexibel i tid med uttag av fjärrvärmelast. Nyttan uppstår i överliggande energisystem genom produktionsoptimering.

Testobjekt 5: Möjlighet att byta energibärare genom att växla mellan intern värmepump eller att använda fjärrvärme. Nyttan uppstår för fastighetsägaren genom kostnads- eller miljöoptimering. På energisystemnivå uppstår nytta genom att rätt energibärare används vid rätt tillfälle. Även potentiell nytta hos elnätsbolag vid effektbrist i elnätet.

1.4 Krafringen idag

1.4.1 Energimix

Krafringen distribuerar fjärrvärme till fyra kommuner i södra Sverige, inklusive Lund. Den totala längden på rörsystemet är 1 050 km, varav 500 km i Lund. För att täcka värmebehovet i regionen genererar 11 produktionsanläggningar cirka 1 000 GWh värme per år. Utöver detta importeras viss värme från det angränsande fjärrvärmenätet "Öresundskraft/Landskrona Energi". Sedan Krafringen började leverera värme 1969 har produktionen övergått från att huvudsakligen vara fossilt bränslebaserad till att idag vara i stort sett 100% fossilbränslefri, *Figur 1.*



Figur 1. Krafringens bränslemix fjärrvärmeleverans 2023.

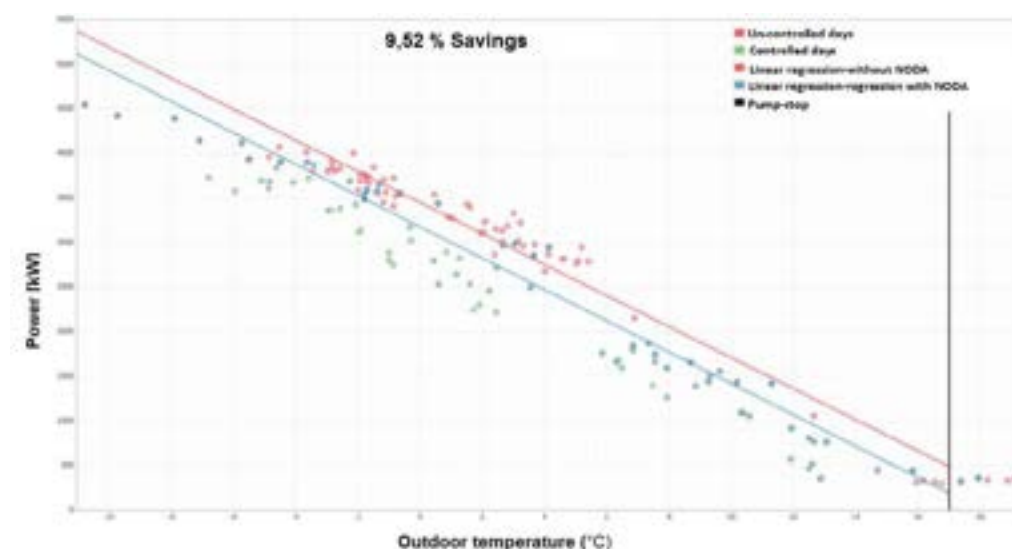
1.4.2 Optimeringssystem

Energy Opticon

Energy Opticon är ett svenskt företag som specialiserar sig på energioptimering för att främja hållbar och kostnadseffektiv energiproduktion. Kraftringen har nyttjat deras produktionsoptimeringssystem sedan år 2002. Deras programvara, Energy Optima 3 (EO3), är en avancerad plattform som möjliggör optimering av energiproduktion, distribution och användning i realtid. EO3 hjälper energibolag och industrier att förbättra driftekonomi och minska miljöpåverkan genom att balansera energiflöden och integrera förnybara energikällor.

NODA

NODA är ett system för smart värmeoptimering som används för att effektivisera uppvärmning och energianvändning i byggnader. Systemet använder matematiska modeller i kombination med artificiell intelligens för att skapa en självlärande modell som regelbundet beräknar byggnadens energibalanser. Styrsystemet sparar energi genom passiv lagring av energi, vilket innebär att det utnyttjar byggnadens termiska tröghet vid små variationer av inomhustemperaturen. Genom detta kan framledningstemperaturen sänkas och övertemperaturer undvikas, vilket leder till små variationer ($<0,5^{\circ}\text{C}$) i inomhustemperaturen. Summan av de små variationerna över tid resulterar i ett minskat värmebehov, normalt 2–15% beroende på byggnadens skick. Detta visas i *Figur 2*, som visar värmeeffektens signatur för en byggnad med respektive utan NODA. Energibesparingen i denna specifika byggnad motsvarade 9,5 %.



Figur 2. Effektsignatur för byggnad med NODA styrning (blå linje) och utan NODA styrning (röd linje).

2 Genomförande Arbetspaket 6: 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, dvs replikera.

Syftet med denna rapport, som avser arbetspaket 6 (AP6), är att analysera 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.

2.1 Bakgrund

Sveriges energisystem, och kanske framförallt elsystem, genomgår för närvarande en omställning. Dels sker en allmän elektrifiering av samhället, men dessutom ökar andelen väderberoende produktion från exempelvis sol och vind. Detta leder till att utsattheten för tillfälliga effekttoppar och prisfluktuationer ökar. Denna utsatthet kan dock reduceras genom att utnyttja de flexibla resurser som finns på efterfrågesidan i energisystemen.

De flexibla resurser som utnyttjats och testats i projektet kan huvudsakligen delas upp i två kategorier:

1. Resurser som, inom ett och samma energislag, kan vara flexibla i tid med sin last (funktionaliteterna Värmeflex och Elfex).
2. Resurser som har möjlighet att vara flexibla mellan olika energislag (funktionaliteten Energiflex).

2.1.1 Värmeflexibilitet

Syftet med funktionaliteten Värmeflex är att kunder ska flytta sitt effektuttag av fjärrvärme i tid samtidigt som styrningen skall resultera i sänkta uppvärmningskostnader och jämnare inomhusklimat. Genom att göra det kan det överliggande energisystemet optimeras ur ett kostnads- eller resurseffektivitetsperspektiv. Detta åstadkoms genom att jämna ut efterfrågan för att i högre grad använda baslastenheter, vilket minskar behovet av att starta dyrare spetslastenheter och minskar belastningen på fjärrvärmenätet. Eftersom spetslastenheter ofta drivs av bioolja/biogas eller i vissa fall fossila bränslen, leder detta även till lägre kostnader, då baslastenheter har lägre marginalkostnader. För Krafteringen handlar det om att reducera förnybar spetslastproduktion, då en utfasning har gjorts av fossila bränslen.

Genom att justera efterfrågan i syfte att optimera produktionen blir systemet mer kostnadseffektivt. Optimeringen görs över en viss optimeringshorisont, typiskt inför kommande dygn, därefter förfinas optimeringsprognosen kontinuerligt ju närmare drifttimmen man kommer. För att det skall vara möjligt att beakta fastigheternas flexibilitet i den dagliga produktionsoptimeringen behöver prognoser på lastbehov och tillgänglig flexibilitet tillgängliggöras via den digitala plattformen.

2.1.2 Energiflexibilitet

Syftet med funktionaliteten Energiflex 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. I projektet har vi testobjekt där möjlighet finns att skifta mellan eldrift i

form av lokal värme- och/eller kylproduktion via värmepumpar och fjärrvärme- och/eller fjärrkyladrift.

För att koppla upp och styra dessa anläggningar behöver det finnas fastighetsautomatiseringssystem (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.

Fastigheter med dessa förutsättningar har historiskt inte haft särskilt flexibla, eller smarta, körstrategier. Referensbeteende för både testobjekt och andra kända dubbelanslutna fastigheter i Krafringens nät är att i stort sett alltid köra lokal produktion med värmepumpar och endast använda fjärrvärme/kyla som spets eller redundans. Undantag i projektet är TO5 där fastighetsägaren stänger av värmepumpar och enbart använder fjärrvärme under perioden juni till augusti.

Ur ett energibolagsperspektiv är dagens ”spetsanläggningar” en utmaning. Systemen måste dimensioneras med hänsyn till dessa då de belastar på marginalen när systemet typiskt är som mest ansträngt, dvs situationerna då fastigheternas egen, lokala produktionskapacitet inte räcker till för att täcka behovet sammanfaller med när fjärrvärmesystemet i stort är som mest ansträngt. Dessutom genererar dessa anläggningar inga intäkter under stora delar av ett år och då de faktiskt gör det är kostnaden för att producera energi ofta högre än intäkten, vilket gör att de på marginalen är rena förluster för energibolaget.

Ett smartare sätt att använda dessa anläggningar, både ur ett fastighetsägarperspektiv och ur ett systemperspektiv, är att helt enkelt använda det energislag som vid varje given tidpunkt är bäst. Antingen ur ett kostnadsperspektiv eller ur ett miljöperspektiv.

2.2 Metod

Vid utformningen av den digitala plattformen har en av drivkrafterna varit att den skall vara replikerbar för att möjliggöra en storskalig implementering inom Krafringens geografiska verksamhetsområde, Regionfastigheters fastighetsbestånd samt till Energy Opticons kunder. För att identifiera replikerbarhetsmöjligheterna har en studie gjorts utifrån tre nivåer.

- **Nivå 1)** Replikerbarhetsmöjligheterna inom Krafringens geografiska verksamhetsområde
- **Nivå 2)** Replikerbarhetsmöjligheterna inom regionfastigheters verksamhetsområde
- **Nivå 3)** Replikerbarhetsmöjligheterna i Sverige

Separata replikerbarhetsstudier har genomförts 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 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.



Figur 3. Arbetsmetodik för replikering av de två huvudfunktionaliteterna Värmeflex och Energiflex.

2.2.1 Replikerbarhet, Nivå 1; Krafringens verksamhetsområde

Den första nivån syftar till att identifiera potentialen då e-Flex lanseras till ett brett urval av kunder inom merparten av Krafringens geografiska verksamhetsområde utgörandes av Lund, Lomma och Eslöv kommun (LLE). Två separata studier har genomförts; en för värmeflexibilitet och en för energiflexibilitet.

Värmeflexibilitet

Syftet med värmeflexibilitet är att utnyttja den termiska trögheten i uppkopplade byggnader som en resurs i den dagliga produktionsoptimeringen. Uppkopplade fastigheter kan därmed likställas med flera ackumulatortankar som är spridda i fjärrvärmenätet. Genom att optimalt utnyttja byggnadernas flexibilitet kan det bli möjligt att minska förekomsten av dyrare produktionsperioder till förmån för billigare produktion. För att denna potential ska kunna realiseras krävs dock en betydande skala av replikering. Det krävs uppskattningsvis åtminstone en styrbar last på 10 MW vid dimensionerande utomhustemperatur -13 °C (DVUT).

Den storskaliga potentialen har identifierats genom simuleringar av laststyrningspotentialen baserat på att 20 % av den samlade värmeleveransen till Lund, Lomma och Eslöv ansluts till Värmeflex. I grova drag motsvarar detta det samlade värmebehovet för samtliga kommunförvaldade fastigheter inom utvalda kommuner. För dessa byggnader bedöms det vara möjligt att snabbt genomföra en replikering.

För att validera den teoretiska laststyrningspotentialen genomfördes även teoretiska simuleringar på Eslövs kommuns fastighetsbolag (EBO) i kombination med en större fysisk pilot. Piloten ägde rum från september 2023 till maj 2024 och omfattade totalt laststyrning av 40 byggnader. Under denna period jämfördes den teoretiskt beräknade laststyrningspotentialen med de faktiska resultaten från pilotstudien. En annan fördel med detta tillvägagångssätt var att det även var möjligt att utvärdera själva arbetsprocessen för storskalig implementering och tillika replikering.

Energiflexibilitet

För att identifiera de storskaliga replikerbarhetsmöjligheterna i LLE har antalet dubbelanslutna flerbostadshus kartlagts baserat på uppgifter från energideklARATIONER genomförda under perioden 2010–2014 samt 2020–2024. Dessa uppgifter har sedan använts som underlag för potentialstudier som syftade till att identifiera lönsamhetspotentialen både för slutkund och energibolag. Separata analyser genomfördes för olika typer av värmepumpar, inklusive frånluftsvärmepump, markvärmepump och luftvattenvärmepump.

Eftersom analyserna begränsades till flerbostadshus, genomfördes även en separat potentialstudie för ett kluster av kommersiella fastigheter åt en specifik fastighetsaktör i Lund. Dessa fastigheter har nyligen blivit dubbelanslutna, där värmekällorna består av en akvifärvärmepump i kombination med fjärrvärme.

2.2.2 Replikerbarhet, Nivå 2; Regionfastigheters verksamhetsområde

Den andra nivån för replikerbarhet syftar till att identifiera möjligheterna för storskalig replikering av värmeflexibilitet och energiflexibilitet inom Regionfastigheters fastighetsbestånd. Resultaten från testobjekt 4 och EBO har använts och skalats upp för att bedöma lönsamhetspotentialen vid en storskalig implementering inom Regionfastigheters bestånd. För energiflexibilitet har resultaten från testobjekt 2, 3 och 5 legat till grund för bedömningen av lönsamheten vid storskalig implementering inom beståndet.

Värmeflexibilitet

För att bedöma replikerbarhetsmöjligheterna av värmeflexibilitet för Regionfastigheter har en kartläggning genomförts av lämpliga byggnader för vidare replikering i Lund samt för övriga fastigheter utanför Krafringens geografiska verksamhetsområde. En grov bedömning av laststyrningsförmågan har även utförts, där potentialen för laststyrning identifierades och analyserades.

Energiflexibilitet

Replikerbarhetsmöjligheterna för energiflexibilitet för Regionfastigheter utvärderades med samma metodik som för värmeflexibilitet. Först identifierades lämpliga byggnader inom Regionfastigheters bestånd för vidare replikering. Därefter genomfördes en grov bedömning av lönsamhetspotentialen, baserat på resultaten från de tre piloterna inom e-Flex (testobjekt 2, 3 och 5).

2.2.3 Replikerbarhet, Nivå 3; Sverige

Den tredje nivån av replikerbarhet syftar till att identifiera replikerbarhetsmöjligheterna av e-Flex på nationell nivå. Analyser har gjorts på såväl uppgifter från energideklARATIONER samt energistatistik från bland annat Energiföretagen Sverige. Bedömning av e-Flex har gjorts genom att analysera antal dubbelanslutna (fjärrvärme + värmepump) flerbostadshus i samtliga Sveriges kommuner, samt energimängder som används för uppvärmning i dessa fastigheter. Flerbostadshus ingår i kategorin som enligt lag är skyldiga att ha en giltig energideklARATION med en giltighetstid på 10 år, varefter en ny deklARATION måste upprättas. Byggnader som är undantagna från detta krav är bland annat industrianläggningar vilket annars är en annan kategori med potential för e-Flex.

Genom att analysera energideklARATIONER från två olika tidsperioder, 2010–2014 och 2020–2024, kan inte bara energianvändning och typ av värmepump identifieras, utan även trender i

andelen dubbelanslutna fastigheter undersökas på kommunnivå i Sverige. En ökad andel dubbelanslutna fastigheter förväntas öka replikerbarhetspotentialen för systemlösningar likt e-Flex.

En potential för e-Flex för hela Sverige beräknas utifrån en summering av energi till värmepumpar i dubbelanslutna flerbostadshus enligt energideklARATIONER samt genom att applicera förutsättningar som råder i Krafringens nät. Detta då de verkliga förutsättningarna beror på regionala förhållanden som klimat samt prissättning och sammansättning av fjärrvärmeproduktion.

3 Resultat Replikerbarhet Värmeflex

Denna delrapport analyserar och diskuterar vilka förutsättningar som behövs och vilken potential det finns för att replikera framtagna systemlösningar av värmeflexibilitet till ett större fastighetsbestånd inom såväl Krafringens och Regionfastigheters geografiska verksamhetsområde som i Sverige i stort.

För att bedöma möjligheterna till replikerbarhet inom Krafringens verksamhetsområde har två fysiska pilotstudier genomförts: en inom Eslövs Bostäders fastighetsbestånd på totalt 40 byggnader och en på ett av testobjekten på sjukhusområdet i Lund. Att testa styrningen på två olika slutanvändare med olika fastighetsautomationssystem och tekniska förutsättningar har varit en viktig del i att bedöma replikerbarhetsmöjligheterna. Därtill har det även tillåtit att utvärdera två olika typer av styrkoncept; traditionell effektstyrningsmetodik och Tariff-styrning. Syftet är att avgöra vilket av koncepten som lämpar sig bäst för fortsatt replikering.

I Eslövs Bostäder fastighetsbestånd har en traditionell effektstyrningsmetodik använts, så kallad *Demand Side Management (DSM)*. Genom direktkommunikation mellan NODA, fastighetsautomationssystemet och Krafringens optimeringssystem används fastigheter som ett termiskt lager i den dagliga optimeringen. Vid behov skickas en signal till NODA som tillfälligt styr över den befintliga NODA Smart Heat Building-styrningen för att frigöra önskad effekt till produktionen. Styrningen möjliggör även att byggnader kan förladdas inför kommande effektoppar eller spetslastbehov. All styrning sker under kontrollerade former där det som standard har tillåtits en maximal inomhustemperaturavvikelse från angiven måltemperatur på högst 0,5 °C. Ju större temperaturavvikelse som tillåts desto större besparingsmöjligheter uppstår i produktion, men måste då avtalas med slutanvändaren. Efter styrinsatsen återgår fastigheten till normalläget, där Smart Heat Building åter aktiveras för att bibehålla en jämn komfortnivå och minska värmebehovet. Ju större temperaturavvikelse

Styrkonceptet för Regionfastigheter är baserat på ett annat styrkoncept, *Tariff Controll*. Styrningen innebär att den uppkopplade fastighetens energiuttag anpassas beroende på rörliga timbaserade fjärrvärmeprisprognoser. Prisprognoserna återspeglar Krafringens produktionskostnader och skickas till NODA en gång per dygn. Målsättningen med styrningen är att den skall resultera i ett reducerat energiuttag under dyra produktionstimmar. Lösningen är enkel att replikera och skulle kunna implementeras genom att fjärrvärmeprisprognoser görs tillgängliga för kunder, som kan agera automatiskt med hjälp av system som NODA eller manuellt. Nackdelen med detta koncept är dock att det är mer statiskt och inte bidrar som en resurs i den dagliga produktionsoptimeringen för energibolaget.

Inför varje pilotstudie har en ingående teoretisk analys genomförts för att uppskatta den teoretiska laststyrningspotentialen. Denna analys har därefter jämförts med resultatet från de fysiska piloterna för att bedöma hur väl det verkliga utfallet överensstämmer med teorin. Detta är av stor betydelse för att fastställa om den fulla laststyrningspotentialen har utnyttjats.

Ingående analyser har genomförts på resultaten från respektive pilot för att utvärdera:

1. Laststyrningens koppling till topplasteffektuttag i fjärrvärmenätet och därmed minskat spetslastbehov.
2. Laststyrningens koppling till marginalproduktionskostnad.
3. Laststyrningens koppling till utomhustemperatur.

Utifrån resultaten från de två pilotstudierna har slutsatser dragits om vilket av de två styrkoncepten som är mest lämpligt för fortsatt replikering. Därefter har en bedömning gjorts av

replikerbarhetspotentialen både inom Krafteringens (*Kapitel 3.2*) samt Regionfastigheters (*Kapitel 3.3*) geografiska verksamhetsområde och i Sverige som helhet (*Kapitel 3.4*).

3.1 Grundläggande förutsättningar för replikering

I detta avsnitt diskuteras de grundläggande förutsättningarna som behöver vara på plats för att kunna replikera funktionaliteten värmeflexibilitet till andra fastighetsägare och geografiska områden i Sverige. Eftersom e-Flex är ett samspel mellan energibolag och slutanvändare ställs olika krav och förutsättningar på dessa parter för att det ska fungera effektivt. Nedan följer en lista över de förutsättningar som bör uppfyllas för att en replikering skall vara möjlig.

3.1.1 Förutsättningar för energibolaget

I *Tabell 1* anges de grundförutsättningar som behöver vara uppfyllda för att det skall vara möjligt för andra energibolag att replikera framtagna Värmeflex lösning.

För att skapa ekonomisk eller miljömässig lönsamhet av att flytta energiuttaget i tiden bör energibolaget i fråga i första hand ha en produktionsmix med stora variationer av produktionskostnader. I andra hand är värmeflex av värde om energibolaget har kapacitetsutmaningar, antingen inom överföring eller produktion i fjärrvärmenätet, där laststyrning kan användas som en resurs för att mildra dessa problem.

Energibolaget bör ha ett produktionsoptimeringssystem som analyserar och beslutar när det är mest lönsamt att nyttja effektstyrningen. Systemet måste ha kapacitet att ta hänsyn till både ekonomiska och tekniska parametrar för att optimera produktionen och distribuera belastningen.

Vid anslutning av en ny fastighet är det nödvändigt att installera utrustning som kan integreras med fastighetens befintliga fastighetsautomations- / styrsystem.

(DUCar eller överordnat system). Detta inkluderar möjlighet att påverka styrningen samt att avläsa temperaturer på framledning och retur på kundens sekundärsida, vanligtvis radiatorsystem. Dessutom måste systemet kunna skapa prognoser över tillgänglig flexibilitet och kommunicera dessa data till produktionsoptimeringssystemet via en tillförlitlig kommunikationslösning.

Tabell 1. Grundförutsättningar som behöver uppfyllas av energibolag för replikering av Värmeflex.

Förutsättning	Beskrivning	Kommentar
Produktions- optimeringssystem	Optimeringssystem som tar hänsyn till när flexibiliteten skall nyttjas	
Styrssystem hos slutanvändare som beräknar byggnadens termiska tröghet	Styrssystem 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 styrssystem (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

3.1.2 Förutsättningar för fastighetsägare

De förutsättningar som behöver vara på plats hos fastighetsägaren för att möjliggöra en installation av Värmeflex listas i *Tabell 2*.

Storleken på den styrbara lasten beror i hög grad på vilken typ av fastighet som ansluts. En stor värmetrög byggnad med bjälklag av betong har generellt större styrkapacitet än en mindre fastighet med bjälklag av trä. Även värmesystemets utformning spelar en avgörande roll; luftburna värmesystem är generellt svårare att effektstyra än system med radiatorkretsar, främst på grund av problem med upplevt kallras. Med detta som utgångspunkt har grundkravet för uppkoppling satts till att byggnaden ska vara utrustad med radiatorkretsar och ha ett årligt värmebehov på minst 300 MWh för att anses lämplig för laststyrning. Därtill behöver fastighetsägaren vara villig att acceptera en viss flexibilitet i inomhustemperaturen, vilket gör det möjligt att optimera energianvändningen baserat på förutsättningarna i fjärrvärmenätet. Om större flexibilitet av inomhustemperaturen accepteras av kunden, kan även fastigheter med lägre värmebehov än 300 MWh komma i fråga.

En fungerande internetanslutning och ett kompatibelt styrssystem är nödvändiga för att kunna koppla upp fastigheten till styrningssystemet. Dessutom krävs sensorer och kommunikationsutrustning för att samla in och överföra data om energianvändning, rumstemperatur och systemstatus. Slutligen är det en fördel om fastighetsägaren har viss teknisk kompetens, alternativt att energibolaget kan erbjuda stöd för att hantera de tekniska kraven.

Tabell 2. Grundförutsättningar som behöver uppfyllas av fastighetsbolaget för replikering av Värmeflex

Förutsättning	Beskrivning	Kommentar
FJV-anslutning	Fastigheten skall vara fjärrvärmeansluten	Ju längre ut i nätet desto större värde för energibolaget
Storlek	>300 MWh/år/styrpunkt	
Flexibilitet i inomhustemperatur	Kunden måste ha en vilja att vara något flexibel gällande inomhustemperaturen	$\geq 0,5$ grader, men ju större flexibilitet desto större potential
Injusterad fastighet	En bra värmeinjusterad fastighet med jämn temperatur inom fastigheten är att föredra.	Om ej injusterad görs en injustering
Styrsystem/ fastighetsautomationssystem	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 5st/styrpunkt	Installeras om saknas
1st styrventil per styrpunkt		

3.2 Replikerbarhetsnivå 1 Värmeflex: Replikerbarhetsmöjligheter inom Krafteringens verksamhetsområde

Den potentiella nyttan av storskalig laststyrning i Lund och Eslöv har bedömts genom teoretiska analyser på den totala värmeleveransen till kommunerna. I tidigare avsnitt framgick det att en av grundförutsättningarna för fastighetsägare att medverka i laststyrning är att deras årliga värmeenergianvändning skall överstiga 300 MWh. Dessa fastigheter utgör tillsammans cirka 30 % av den totala värmeleveransen till de båda kommunerna. Eftersom det sannolikt inte är möjligt att inkludera samtliga av dessa fastigheter till laststyrningstjänsten, har ett antagande gjorts att cirka 20 % av Lunds och Eslövs totala värmebehov ansluts.

År 2022 var den totala värmeleveransen till Lund och Eslöv 800 GWh. En anslutning av 20% av denna volym hade således motsvarat ett årligt värmebehov på 160 GWh. Det samlade effektbehovet skulle vara något högre än för hela LKF, Lundafastigheter, Eslövs Kommun, EBO samt befintliga kunder med NODA Building (Se *Bilaga 1 för ingående data*).

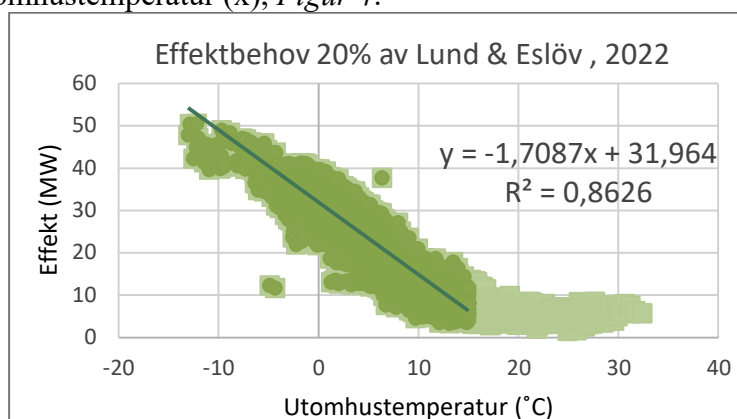
3.2.1 Teoretiskt styrbar last

Schablonmässigt räknar NODA med att 50% av värmelasten kan styras under 4 timmar utan att påverka inomhuskomforten mer än 0,5 °C, *Tabell 3*. Att helt stänga av värmetillförseln under en styresekvens rekommenderas inte, eftersom kalla radiatorer kan ge hyresgäster intrycket att rummet är kallt, även om inomhustemperaturen ligger inom det tillåtna spannet. Dessutom måste värmebehovet för tappvarmvatten beaktas, eftersom detta inte kan styras.

Tabell 3. Schablonmässig styrförmåga av total värmeleverans för en typfastighet.

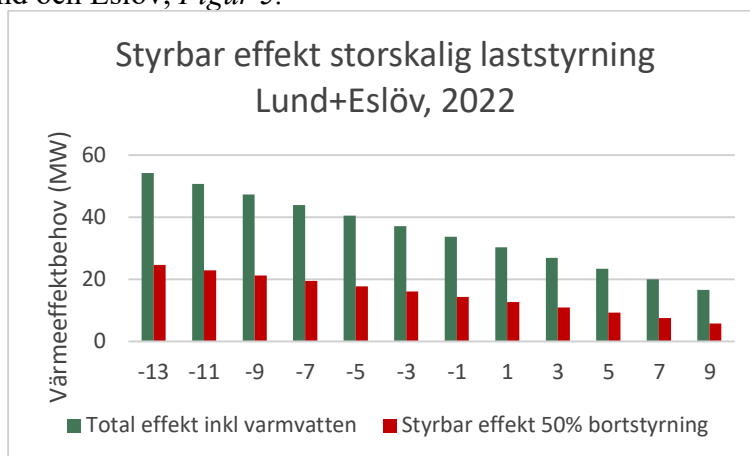
Styrförmåga (%)	Tid (h)
50%	1-4
25-30%	4-8
6-8% (Energibesparing med Noda Building)	8+

För att uppskatta den styrbara lasten vid en storskalig implementering i Lund och Eslöv har det antagits att 20 % av den totala värmelasten ansluts till e-Flex. Genom att linjärisera effektsignaturen vid utomhustemperaturer under 15 °C kan uppvärmningsbehovet (y) beräknas för en specifik utomhustemperatur (x), *Figur 4*.



Figur 4. Effektsignatur för 20% av den samlade fjärrvärmeleveransen till Lund och Eslöv.

Genom att dividera effektbehovet (y) med två fås den styrbara lasten vid en given utomhustemperatur. Vid en utomhustemperatur på -13 °C hade sålunda den styrbara lasten varit 25 MW under maximalt fyra timmar, då storskalig effektstyrning appliceras på 20% av värmelasten i Lund och Eslöv, *Figur 5*.



Figur 5. Styrbar effekt vid storskalig effektstyrning baserat på 20% av fjärrvärmeleveransen i Lund och Eslöv

3.2.2 Teoretisk styrlängd

Tidigare antagande om att det är möjligt att styra 50% av fastighetens effektbehov under fyra timmar utan att få en negativ inverkan på inomhuskomforten är baserat på en förenkling. Det finns givetvis en rad olika faktorer som avgör styrlängden så som aktuella väderförhållanden samt byggnadens värmetröghet.

Då styrlängden är av avgörande betydelse för vilken nytta laststyrningen kan bidra med för energisystemet och tillika energibolaget har beräkningar genomförts för att skapa en mer detaljerad bild av hur länge en styrsekvens kan upprätthållas vid olika utomhustemperaturer (se *Ekvation 1*):

$$t = \frac{T_{diff}}{T_{inne} - T_{ute}} * (1 - e^{-1}) * tidskonstant \quad Ekv. 1$$

Där

t =tiden i timmar som systemet kan bibehålla styrningen vid fullständigt avbrott

T_{diff} =Accepterat temperaturfall inomhus vid påbörjad effektstyrning [C]

T_{ute} =utomhustemperatur vid styrtillfället

$Tidskonstant$ =Tidskonstant för den genomsnittliga fastigheten där styrning tillämpas

$Tidskonstant$ lättbyggnad: 80 h

$Halvlätt$ byggnad: 150h (lätt konstruktion, betongplatta på mark)

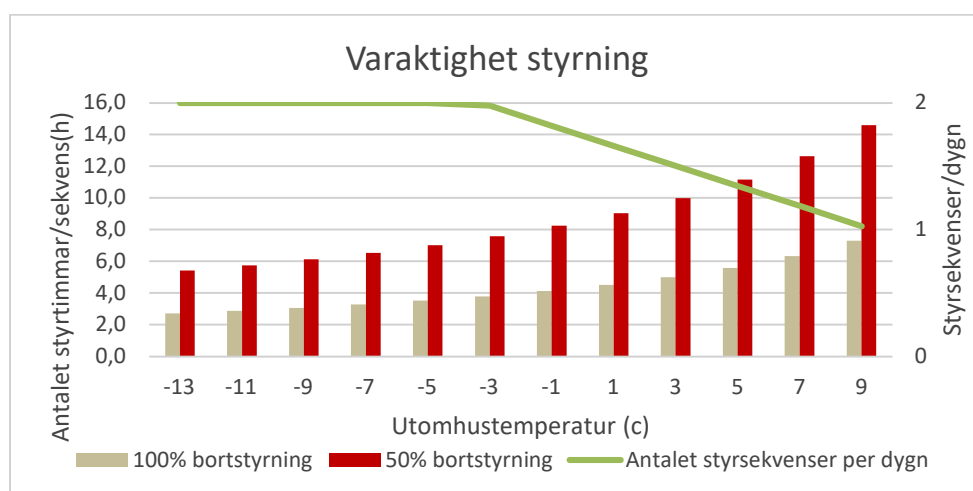
$Halvtung$ byggnad: 300 h (tung konstruktion, betongplatta/bjälklag av betong)

En tillfällig sänkning av inomhustemperaturen med 0,5 °C uppfattas inte av användaren, vilket således har antagits vara den maximalt tillåtna temperaturavvikelsen (T_{diff}).

Byggnadens börvärde för inomhustemperaturen har antagits vara 22 °C (Tinne) och tidskonstanten 300 timmar. Det är viktigt att notera att den angivna formeln gäller för ett fullständigt avbrott i värmeleveransen. Eftersom ett fullständigt avbrott kan få brukarna att uppleva lägenheten som kallare än den faktiskt är, har det istället antagits att värmeförlusten reduceras med 50 % samtidigt som styrlängden fördubblas.

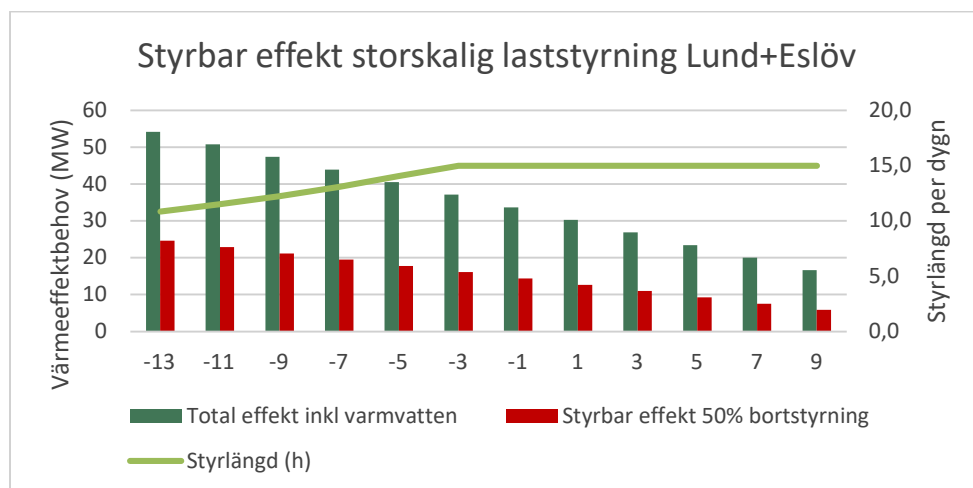
Genom att tillämpa dessa variabler i ekvationen erhålls nedanstående resultat (se *Figur 6*). Vid en utomhustemperatur på -13 °C skulle värmeförlusten kunna reduceras med 50 % i drygt fem timmar. Efter varje styrsekvens måste byggnaden återgå till normalläge genom en gradvis återladdning av värmeförlusten innan en ny styrsekvens kan påbörjas.

Vid utomhustemperaturer mellan -13 °C och -3 °C bör det vara möjligt att genomföra åtminstone två styrsekvenser per dygn. Exempelvis skulle två styrfrekvenser per dygn vid -13 °C medföra att byggnaden har totalt 13 timmar till att återladdas och återgå till måltemperaturen. En långsam återladdning minskar risken för eventuella effektoppar efter en urladdningssekvens. Vid stigande utomhustemperaturer minskar tiden för återladdning, eftersom värmeförlusterna via klimatskalet avtar. Det har emellertid antagits att byggnaden åtminstone erfordrar en återladdningstid på 9 timmar, vid utomhustemperaturer över -3 °C.



Figur 6. Styrlängd vid 100% och 50% bortstyrning samt antalet styrsekvenser per dygn.

Då resultaten av styrbar last kombineras med information om hur länge styrningen kan pågå erhålls *Figur 7*. Figuren visar att med en storskalig effekstyrning i Lund och Eslöv bör det vara möjligt att styra en effekt om 25 MW under 11 timmar per dygn, fördelat över två styrsekvenser, vid en utomhustemperatur på -13 °C.



Figur 7. Styrbar effekt samt styrlängd vid storskalig effektstyrning i Lund och Eslöv.

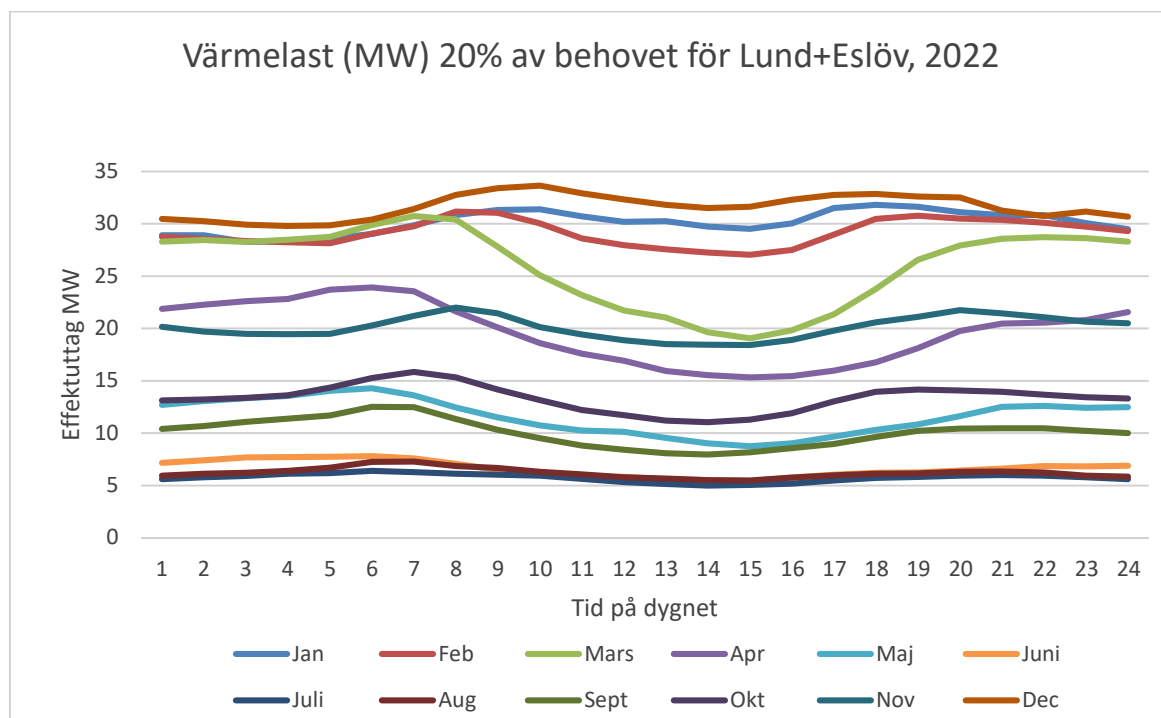
3.2.3 Teoretisk bedömning av nyttan med effektstyrning för Kraftringen

Det finns flera olika fördelar för energibolaget med att tillämpa storskalig effektstyrning.

Dessa inkluderar

- Minskat toppeffektbehov
- Minskat behov av att bygga ut spetslastkapacitet
- Minskad utnyttjandegrad av befintliga spetslastenheter
- Möjligheten att använda effektstyrningen som resurs i den dagliga produktionsoptimeringen
- Effektivare sektionering av fjärrvärmenätet
- Förbättrad möjlighet till optimering av framledningstemperaturen i fjärrvärmenätet genom effektstyrning i kritiska punkter.
- Ökad redundans och möjlighet till kontrollerad bortstyrning vid underhållsarbeten och störningar i produktion eller distribution.
- Solidarisk effektbegränsning vid nödsituationer

För att identifiera de tidpunkter under dygnet då behovet av effektstyrning framförallt uppstår inom Kraftringens fjärrvärmenät har lastprofilen för tillförd produktionskapacitet analyserats. *Figur 8* visar lastprofilen för 20 % av den totala fjärrvärmeleveransen i Lund och Eslöv. Det framgår tydligt att fjärrvärmebehovet varierar under dygnet. Vanligtvis uppstår toppar under morgon- och kvällstimmarna, vilket beror på ökad användning av tappvarmvatten. För att jämna ut lastprofilen och minska behovet av spetslast är det därför troligt att effektstyrningen främst kommer att aktiveras under dessa tidpunkter. Det är också viktigt att poängtera att Kraftringen har en stor ackumulatortank med en kapacitet på 1000 MWh. Utan denna skulle behovet av att starta spetslastpannor för att hantera dygnsvariationerna varit större.



Figur 8. Lastprofilen för 20% av den totala värmelvereansen i Lund och Eslöv

Krafringen har sju spetslastanläggningar i Lund och Eslöv som använder både biogas och bioolja, *Tabell 4*. Dessa anläggningar har varierande utnyttjandegrad, där spetslastanläggningarna i Eslöv används mer sällan.

Tabell 4. Spetslastbehov Lund och Eslöv år 2022

Panna	P4P5 Betan (Eslöv)	Lapp- land (Eslöv)	Åker- mans (Eslöv)	GBV P1 (Lund)	GBV P2 (Lund)	GBV P3 (Lund)	GBV P4 (Lund)
<i>Bränsle</i>	<i>Biogas</i>	<i>Bioolja</i>	<i>Biogas</i>	<i>Bioolja</i>	<i>Bioolja</i>	<i>Bioolja</i>	<i>Biogas</i>
<i>Min/maxlast (MW)</i>	<i>1/6</i>	<i>3/10</i>	<i>1/6</i>	<i>12/55</i>	<i>12/55</i>	<i>12/65</i>	<i>12/65</i>
Totalt antal drift h, 2022	2	83	117	317	293	1 043	233
Total levererad energi (MWh)	3	266	588	10 281	7 849	36 727	5 173
Antalet start, 2022	1	2	4	5	7	23	5
Medeleffekt (MW), 2022	1,3	3,2	5,0	32,4	26,8	35,2	22,2
Medel drifttimmar per start, 2022	2	21	29	63	42	45	47

Den storskaliga effektstyrningen inverkan på Krafringens spetslastbehov har studerats genom att identifiera produktionsenheternas medeleffektbehov i förhållande till den tillgängliga effektstyrningsförmågan vid olika utomhustemperaturintervaller.

Resultatet angivet i *Tabell 5* visar på att start av panna P4P5 Betan förmodligen helt hade kunnat undvikas genom en tillämpning av storskalig effektstyrning. De två resterande pannorna i Eslöv har en relativt lång drifttid per starttillfälle vilket medför att pannstarter inte helt kan undvikas. Det bör emellertid vara möjligt att reducera spetslastbehovet med runt 30-50% om styrningen görs vid rätt valda tillfällen.

De fyra spetslastpannorna i Lund (P1-P4) är av en betydligt större karaktär, med en lägsta produktionskapacitet på 12 MW och en genomsnittlig effekt på ca 30 MW vid drift. En tillämpning av effektstyrning hade sålunda endast kunnat minska topplastuttaget, men att eliminera behovet helt hade inte varit möjligt. Därtill körs pannorna typiskt under längre perioder vilket även försvårar möjligheterna att helt eliminera driften av dessa. Det skall dock tilläggas att varje MWh reducerad spetslastproduktion har en direkt ekonomisk nytta, varvid nyttan av effektstyrning inte skall underskattas. Genom att tillämpa en storskalig effektstyrning hade volymbehovet minskat med mellan 6–11% för respektive panna, med ett total reducerat spetslastbehov på ca 5 GWh/år.

Tabell 5. Storskalig effektstyrningspåverkan på spetslastbehovet i Lund och Eslöv

Effektstyrnings- potential	P4P5 Betan (Eslöv)	Lappla nd (Eslöv)	Åkerm ans (Eslöv)	GBV P1 (Lund)	GBV P2 (Lund)	GBV P3 (Lund)	GBV P4 (Lund)
<i>Utomhustemp</i>	1,6	-6,4	- 2,3	2,4	-2,4	0,3	0,5
Teoretisk tillgänglig bortstyrningspotential enligt Kap. 4.2.2 (MW)	12	19	15	12	15	13	13
Teoretiskt nyttjad bortstyrning (MW)	1,3	3,2	5	12	15	13	13
<i>% av maxkapacitet styr</i>	11%	17%	33%	100%	100%	100%	100%
Max tillgängliga styrtimmar per sekvens, 50% bortstyrning (h)	10	7	8	10	8	9	9
Max tillgängliga styrtimmar per sekvens, 25% bortstyrning (h)	19	13	16	19	16	17	17
Nyttjade styrtimmar totalt (h)	2	27	63	48	55	198	43
Bortstyrd volym (MWh)	2,6	86	316	570	830	2571	559
<i>Andel av tot. volym (MWh)</i>	100%	32%	54%	6%	11%	7%	11%

3.2.4 Utvärdering av fysisk effektstyrningspilot, EBO

Skalbarheten hos den framtagna effektstyrningslösningen har utvärderats genom en storskalig installation av NODA i kombination med styrsignaler från e-Flex-plattformen för att reglera önskad effektstyrning. Totalt kopplades 40 av Eslövs Bostäders (EBO) byggnader upp till systemet.

Eslövs fjärrvärmenät är särskilt väl lämpat för pilottester av effektstyrning, eftersom det sitter ihop med Lunds fjärrvärmenät och kan ses som en isolerad del av det större fjärrvärmenätet. Detta möjliggör en enklare utvärdering av den nytta som uppstår vid effektstyrning. Om samtliga av EBO:s 50 byggnader skulle anslutas, hade det motsvarat ungefär 15 % av värmeeffektbehovet i hela Eslöv. De nuvarande utvalda byggnaderna motsvarar cirka 10 % av

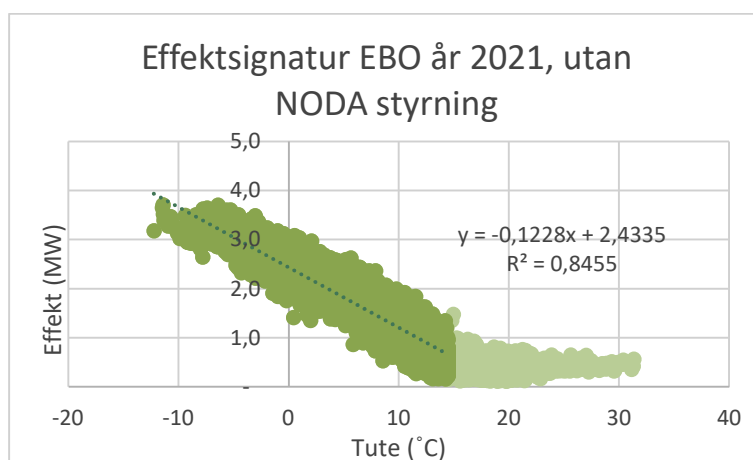
det totala värmeeffektbehovet, vilket bedöms vara tillräckligt för att utvärdera systemnyttan vid storskalig effektstyrning.

En ytterligare fördel med att genomföra testerna i Eslöv är att fjärrvärmenätet har ett befintligt behov av lokal spetslast, vilket kan reduceras vid en storskalig implementering av effektstyrning.

Installationen genomfördes under 2022, och två separata utvärderingar genomfördes: en för hur styrningen påverkade fjärrvärmenätet och en energiutvärdering på fastighetsnivå. Effektstyrningen utvärderades under perioden september 2023 till maj 2024, medan energiutvärderingen genomfördes för hela året 2023. Att inte samma utvärderingsperioder valdes berodde på att effektstyrningstjänsten inte var fullt utvecklad förrän i september 2023. Som referensår valdes helåret 2021, då NODA-tjänsten ännu inte var i bruk. Den normalårskorrigerade värmeanvändningen under referensåret uppgick till 8,7 GWh.

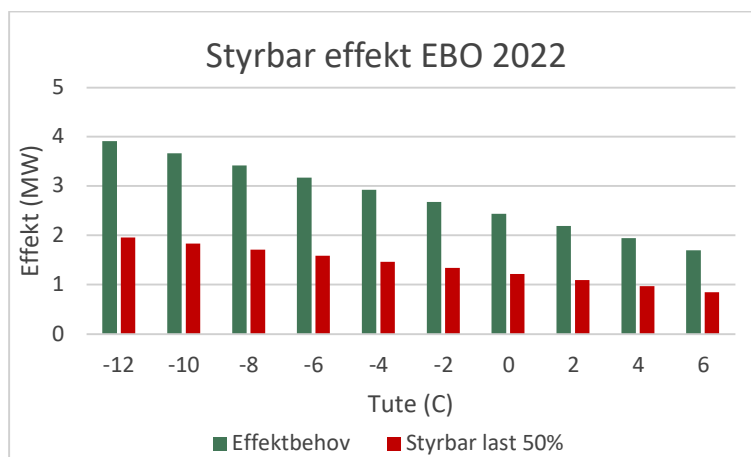
3.2.4.1 Teoretisk effektstyrningspotential, EBO

Innan effektstyrningen aktiverades för de 40 byggnaderna gjordes en teoretisk bedömning av möjlig styrbar effekt, enligt motsvarande tillvägagångssätt som *Kapitel 3.2.1*. Baserat på den aggregerade effektsignaturen för referensåret 2021 samt antagandet att 50% av värmetillförseln är styrbar var det möjligt att identifiera den styrbara effekten vid en given utomhustemperatur, *Figur 9*.



Figur 9. Effektsignatur EBO utan NODA styrning år 2021.

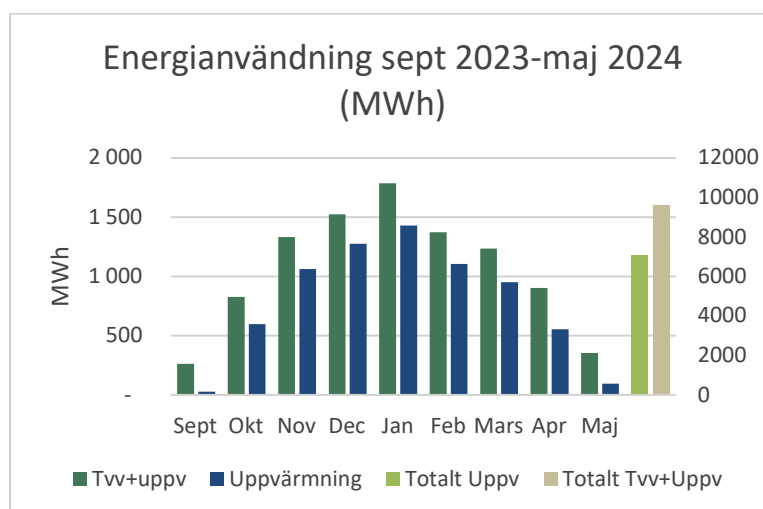
Vid en 50% bortstyrning av totalt värmeeffektbehov bör det vara möjligt att styra bort ca 1–2 MW vid en utomhustemperatur mellan +6 och -12 °C, *Figur 10*. Den styrbara lasten bör vara tillräcklig för att undvika start av biogaspanna P4P5 (enligt *Tabell 4*) baserat på produktionsdaten för verksamhetsåret 2022, då utnyttjandegraden av pannan är låg. I enlighet med analysen i *Kapitel 3.2.3* krävs en större styrbar effekt, åtminstone cirka 5 MW, för att helt undvika start av de två resterande pannorna.



Figur 10. Teoretisk styrbar last vid given utomhustemperatur.

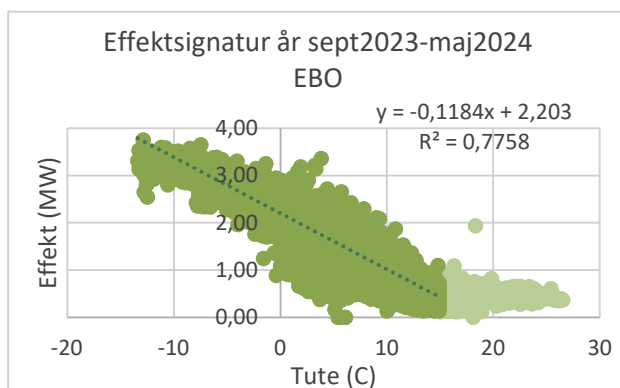
3.2.4.2 Verkligt utfall effektstyrning, EBO

Enligt *Figur 11* var uppvärmningsbehovet under utvärderingsperioden av effektstyrningstjänsten, det vill säga september 2023 till maj 2024, för de 40 byggnaderna ca 8,7 GWh (ej normalårskorrigerat).

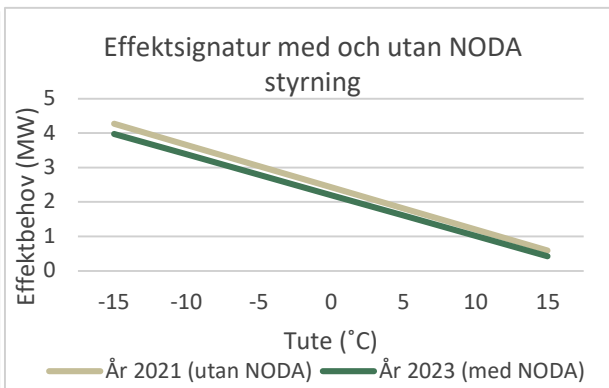


Figur 11. Energianvändning under utvärderingsperioden september 2023 till maj 2024

Effektsignaturen beräknades genom att plotta effektbehovet vid en given utomhustemperatur, *Figur 12*. Vid en jämförelse av effektsignaturen med referensåret 2021, innan NODA installerades, går det att notera en viss diskrepans (*Figur 13*). Effektbehovet tycks ha sjunkit, det vill säga att linjens ekvation har antagit en lägre lutningskoefficient. Det går emellertid inte att dra några slutsatser av det då det finns en rad felfaktorer i analyserad mätdata. Exempelvis baseras effektsignaturen för referensåret på ett helt års mätdata, medan utvärderingsperioden endast avser september-maj. En mer detaljerad analys av uppmätt energibesparing återfinns i *Kapitel 3.2.4.3*



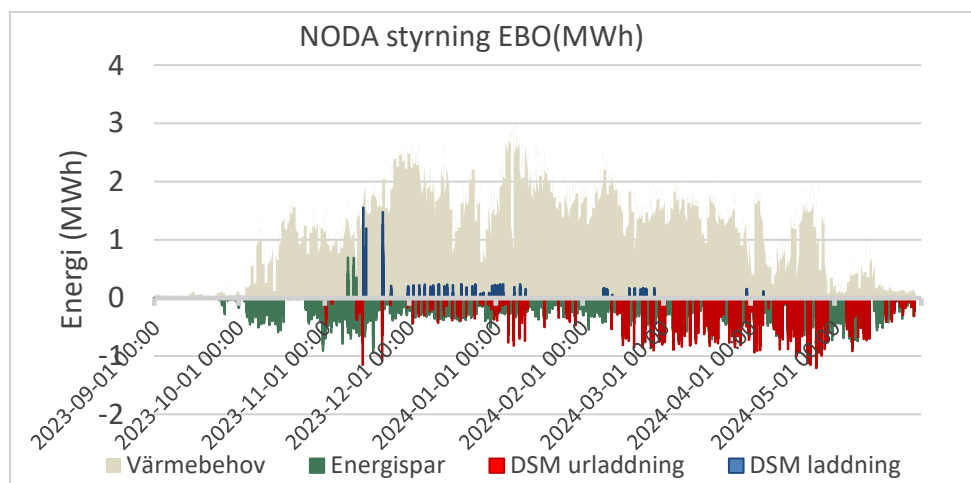
Figur 12. Effektsignatur med NODA styrning.



Figur 13. Jämförelse av effektsignatur med och utan NODA

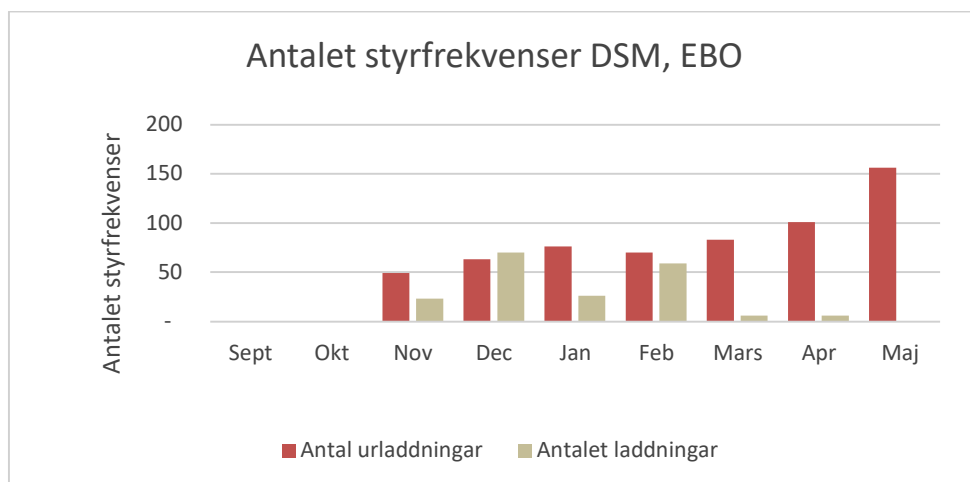
Under hela utvärderingsperioden har NODA kontinuerligt optimerat styrningen för de anslutna byggnaderna. Detta illustreras tydligt i *Figur 14*, där den gröna linjen representerar NODAs standardiserade energistyrning. DSM-styrningen, som visas med röda staplar i samma figur, aktiverades i slutet av september, och den första styrsekvensen genomfördes i november. Därefter ökade antalet styrsekvenser gradvis, från en mycket försiktig effektstyrning till en mer omfattande styrning i slutet av perioden. Som mest uppgick den bortstyrda effekten till ca 1,2 MW och inträffade i april 2024.

Inledningsvis fanns ett energibalanskriterium inlagt i optimeringssystemet, vilket innebar att lika mycket energi som laddades ur måste återföras (illustreras med blå staplar). Detta kriterium avaktiverades i slutet av mars, vilket framgår i *Figur 14* genom ett markant minskat antal laddningssekvenser.



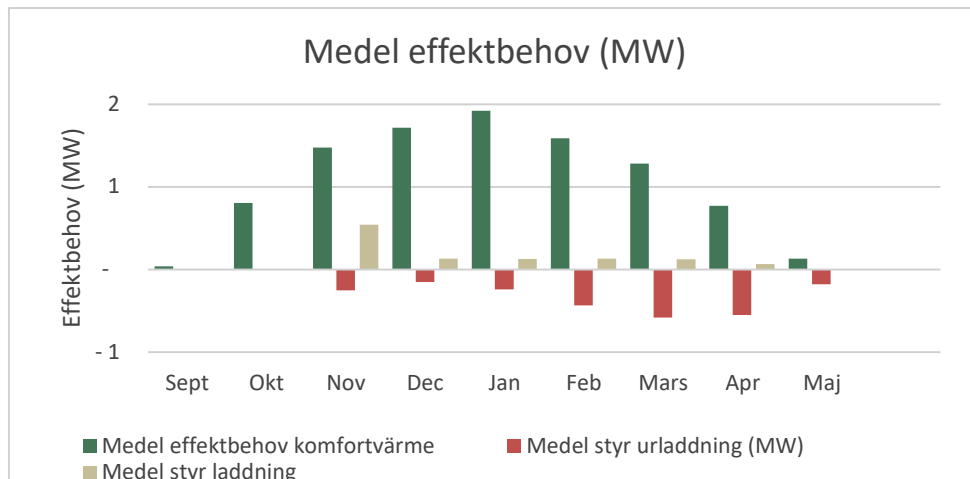
Figur 14. Utfall NODA styrning under utvärderingsperiod

Under utvärderingsperioden var DSM-tjänsten aktiv under cirka 10 % av tiden, motsvarande totalt 598 timmar (*Figur 15*). Mot slutet av perioden ökade antalet styrsekvenser markant, då nästan hälften av styrtillfällena inträffade i april och maj. Den ökade frekvensen kan främst förklaras av att modellen har finjusterats, vilket möjliggör en mer aktiv styrning.



Figur 15. Antalet styrsekvenser med effektstyrning under utvärderingsperioden.

Den genomsnittliga bortstyrda effekten per urladdningstillfälle uppgick till cirka 0,3 MW, medan den genomsnittliga effekten per laddningstillfälle var cirka 0,2 MW (*Figur 16*). Enligt den teoretiska potentialen som presenteras i *Kapitel 3.2.4.1* finns goda möjligheter att öka den styrbara effekten avsevärt under perioden november till februari. Detta baseras på antagandet att 50 % av effektbehovet till komfortvärme kan styras under kortare perioder utan att inomhustemperaturen påverkas med mer än 0,5 °C. Under perioden mars till maj noterades en tydlig ökning, där den genomsnittliga effekten per styrtillfälle tycks närma sig den teoretiska potentialen om 50% bortstyrning av effektbehovet.



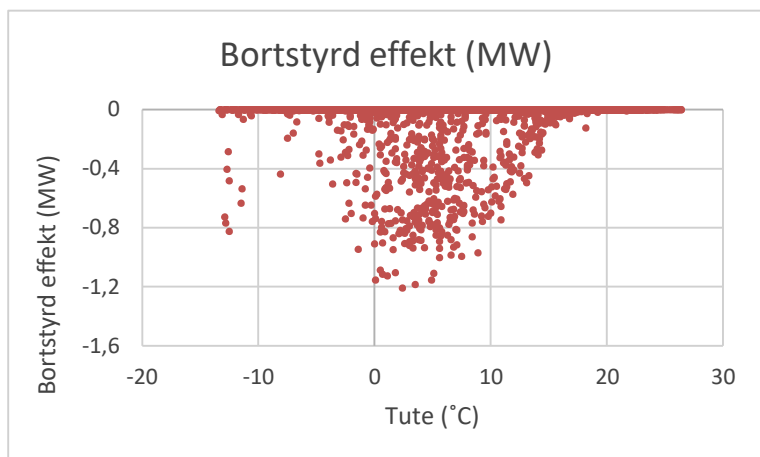
Figur 16. Genomsnittlig styrning (MW) per styrtillfälle.

Styrningens utomhustemperaturberoende

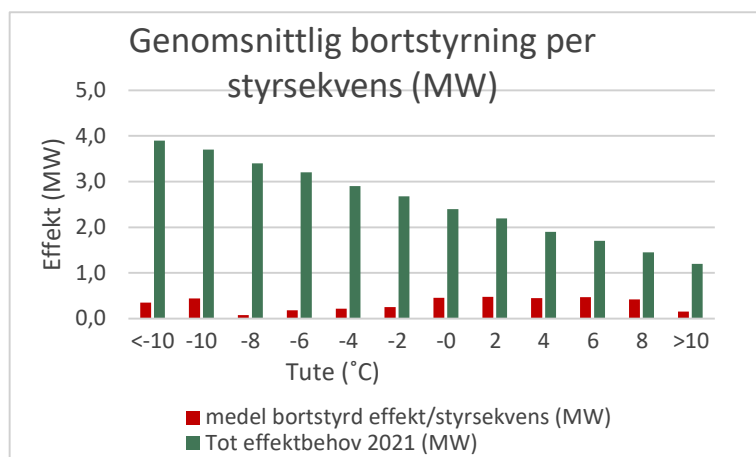
Den totala bortstyrda volymen under perioden uppgick till 200 MWh fördelat över cirka 600 styrtimmar. De teoretiska beräkningarna visade på att den styrbara effekten, i absoluta tal, ökar i takt med sjunkande utomhustemperatur, vilket är en följd av det ökade värmeeffektbehovet. Resultaten från utvärderingsperioden visar dock ingen tydlig trend som bekräftar detta, *Figur 17 och 18*. Majoriteten av bortstyrningarna tycks ha skett vid utomhustemperaturer mellan 0 och 10 °C. En trolig förklaring är att intrimningen av modellen, som ledde till en ökad styrbar effekt, genomfördes i slutet av

uppvärmningssäsongen. Detta medförde att det intrimmade systemet endast hann tillämpas vid ett begränsat antal styrtillfällen under kalla väderförhållanden.

Under utvärderingsperioden uppgick den genomsnittliga styrningen per styrsekvens till 13 % av det totala värmeeffektbehovet, vilket är avsevärt lägre än den teoretiskt maximala styrförmågan på 50 %. De mest omfattande styrningarna inträffade vid utomhustemperaturer mellan 0 och 10 °C, där styrningen i genomsnitt motsvarade 25 % av det totala värmeeffektbehovet. För mer detaljerad information och data, se *Bilaga 3*.



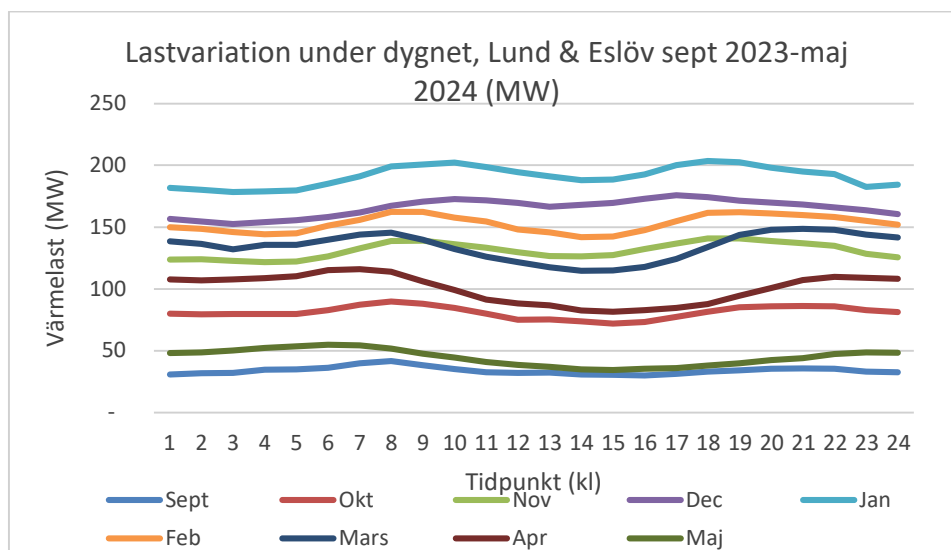
Figur 18. Styrtillfällen som funktion av utomhustemperatur



Figur 17. Genomsnittlig styrning (MW) vid given utomhustemperatur

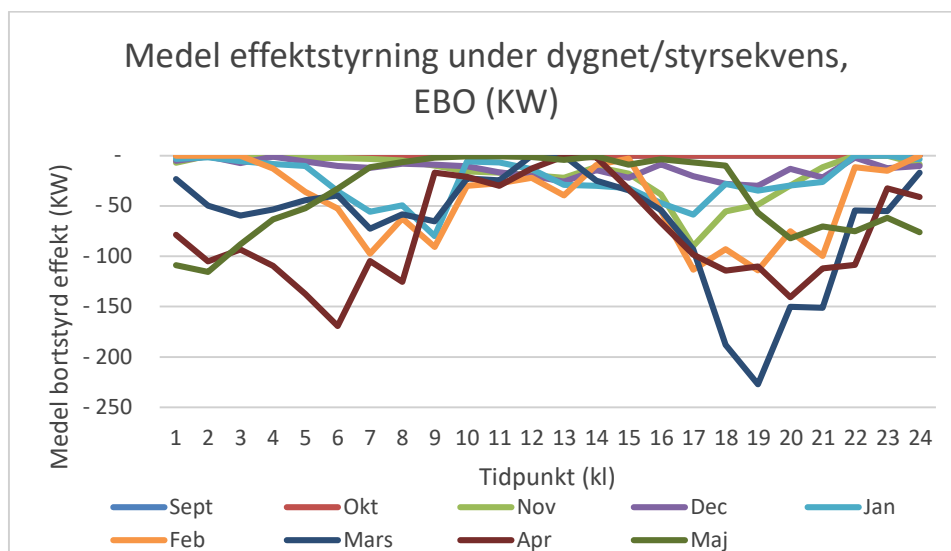
Lastvariationer i produktion samt nyttjad effektstyrning under dygnet

En av vinningarna med att tillämpa storskalig effektstyrning för energibolaget är att reducera topplastbehovet och tillika användandet av dyr spetslast. I *Kapitel 3.2.3* framgick det att effektuttaget tillfälligt ökade under morgon- och kvällstimmar för verksamhetsår 2022. Enligt *Figur 19* framgår det att motsvarande även gäller för utvärderingsperioden september 2023 till maj 2024: Ökad produktion under morgontimmarna samt kvällstimmarna. Genom att tillämpa effektstyrning under dessa tillfällen är det således möjligt att reducera topplasteffektbehovet.



Figur 19. Lastvariation för totala fjärrvärmel leveranser för Lund och Eslöv under utvärderingsperioden

Om den genomsnittliga bortstyrda effekten per styrtillfälle sorteras baserat på tidpunkt på dygnet framgår det tydligt enligt *Figur 20* att störst effekt styrs bort under morgon och kvällstimmarna, dvs vid de tillfällen då fjärrvärmelasten är som högst.



Figur 20. Genomsnittlig effektstyrning per styrtillfälle fördelat över tidpunkt och månad.

Styrningens påverkan på spetslastbehovet

En jämförelse av behovet av spetslastproduktion har gjorts mellan verksamhetsåret 2022, då effektstyrningstjänsten inte var aktiv, och utvärderingsperioden då tjänsten var i drift. Resultaten i *Tabell 6* visar att det inte går att dra några entydiga slutsatser om eventuell påverkan. Den styrbara lasten verkar vara för liten för att ha en direkt inverkan på spetslastbehovet, ty spetslastbehovet tycks vara oförändrat sedan 2022. Det bör även noteras att full effektstyrningskapacitet inte uppnåddes förrän i slutet av utvärderingsperioden, våren 2024, då utomhustemperaturen var mild och behovet av spetslast var lågt. Vidare kan

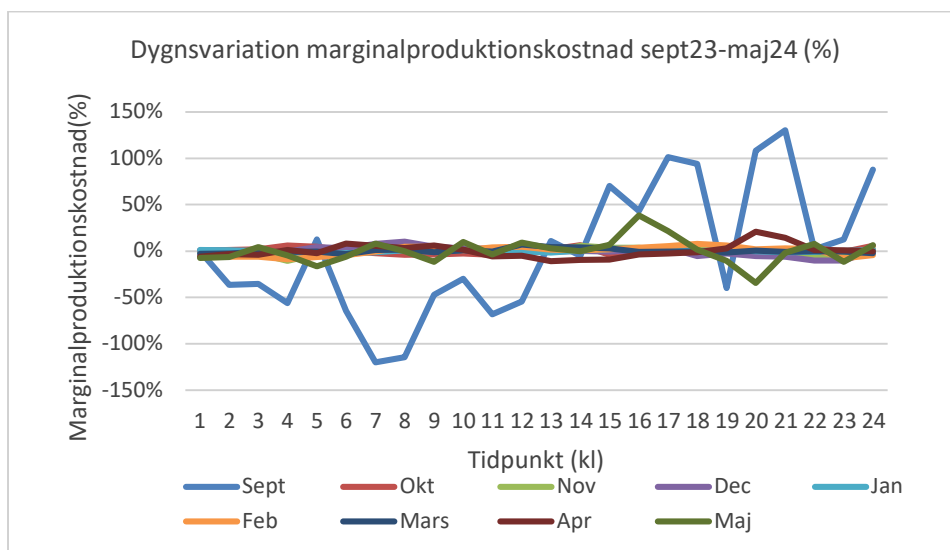
jämförelser av produktionsdata mellan olika år vara problematiska, eftersom flera faktorer påverkar utfallet, exempelvis tillgängligheten av produktionsanläggningar, värmeeffektbehovet och väderförhållanden.

Tabell 6. Spetslastbehov med (Sept 2023-maj 2024) och utan (år 2022) effektstyrning.

Panna	P4P5 Betan (Eslöv)	Lapp- land (Eslöv)	Åker- mans (Eslöv)	GBV P1 (Lund)	GBV P2 (Lund)	GBV P3 (Lund)	GBV P4 (Lund)
<i>Bränsle</i>	<i>Biogas</i>	<i>Bioolja</i>	<i>Biogas</i>	<i>Bioolja</i>	<i>Bioolja</i>	<i>Bioolja</i>	<i>Biogas</i>
<i>Min/maxlast (MW)</i>	<i>1/6</i>	<i>3/10</i>	<i>1/6</i>	<i>12/55</i>	<i>12/55</i>	<i>12/65</i>	<i>12/65</i>
Antal drift h Sept23-maj24 (År 2022)	8 (2)	164 (80)	97 (120)	340 (320)	450 (290)	114 (1 040)	558 (230)
Volym (MWh) Sept23-maj24 (År 2022)	9 (3)	865 (270)	515 (590)	7 530 (10 280)	12 910 (7 850)	2 860 (36 730)	19 840 (5 170)
Antalet start Sept23-maj24, (År 2022)	1 (1)	4 (2)	4 (4)	10 (5)	13 (7)	5 (23)	12 (5)
Medeleffekt (MW) Sept23-maj24 (År 2022)	1,1 (1,3)	5,3 (3,2)	5,3 (5,0)	22,1 (32,4)	28,7 (26,8)	25,0 (35,2)	35,6 (22,2)
Medel drifttimmar/start Sept23-maj24 (År 2022)	8 (2,0)	41 (21)	24 (29)	34 (63)	35 (42)	23 (45)	47 (47)

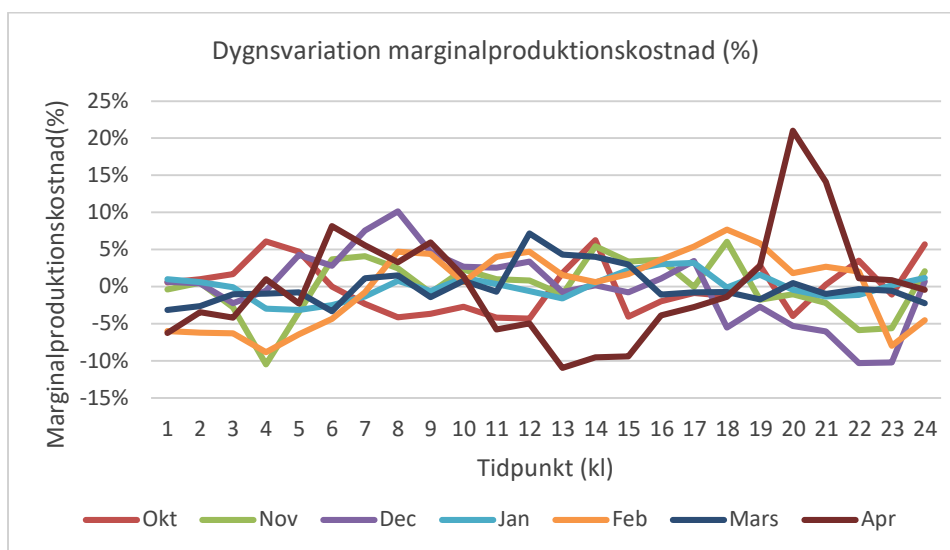
Styrningens koppling till marginalproduktionskostnad

Marginalproduktionskostnadens dygnsvariation respektive månad under året har analyserats för att identifiera huruvida det finns något samband mellan när styrsekvenserna ägt rum och marginalproduktionspriset, *Figur 21*. Månaderna september och maj avviker genom att uppvisa betydligt större variationer i dygnsmonster. I absoluta termer (SEK/MWh) är dock dessa variationer relativt små jämfört med övriga månader. Genom att exkludera dessa månader kan mer tillförlitliga slutsatser dras om marginalproduktionskostnadens dygnsvariationer under året.



Figur 21. Dygnsvariation av marginalproduktionskostnad fördelat per månad under utvärderingsperiod.

Vid en närmare analys, där september och maj exkluderas, framträder en svag koppling som indikerar något högre marginalproduktionskostnader under morgon- och kvällstimmar (*Figur 22*). Den relativt svaga korrelationen kan sannolikt förklaras av att Krafringens ackumulatortank bidrar till att jämna ut produktionskostnaderna.



Figur 22. Dygnsvariation av marginalproduktionskostnad fördelat per månad under utvärderingsperioden exklusive september och maj.

För att identifiera huruvida det finns ett samband mellan tillämpad effektstyrning och marginalproduktionskostnad har den genomsnittliga marginalproduktionskostnaden beräknats, både för perioder utan effektstyrning och för perioder med effektstyrning, vilket redovisas i *Tabell 7*. I genomsnitt var den kostnadsviktade marginalproduktionskostnaden 15 % högre vid urladdningssekvenser jämfört med perioder utan effektstyrning. Resultaten indikerar visserligen ett visst samband mellan marginalproduktionskostnad och effektstyrning, men styrtillfällena tycks ha en starkare koppling till fjärrvärmenätets topplasteffektbehov.

Ur ett optimeringsperspektiv framstår detta vara rimligt: Den termiska trögheten i fjärrvärmenätet medför att behovet av spetslast vanligtvis inträffar några timmar före topplastbehovet, oftast under morgon- och kvällstimmar. Genom att minska topplasteffektuttaget under höglaststimmar minskar således risken för att spetslastenheter behöver startas. Följaktligen kommer marginalproduktionskostnaderna att minska.

Tabell 7. Procentuell skillnad av marginalproduktionskostnad med respektive utan effektstyrning.

	Skillnad marginalproduktionskostnad med uraddning vs utan	Bortstyrd volym (MWh)
Sept	n/a	0
Okt	n/a	0
Nov	4%	-12
Dec	2%	-10
Jan	49%	-18
Feb	5%	-31
Mars	-2%	-48
Apr	12%	-56
Maj	63%	-28
Totalt	15%	-204

3.2.4.3 Utvärdering av energibesparing med NODA, EBO

För att genomföra en representativ energiutvärdering av NODA-tjänsten behöver flera faktorer beaktas, så som styrningens påverkan på inomhuskomforten. Med detta i åtanke har endast en energiutvärdering gjorts på de byggnader som hade tillgång till rumstemperaturdata innan det att tjänsten aktiverades. Totalt omfattar det 22 av de totalt 40 byggnaderna som anslutits till Värmeflex.

Energianvändningen jämfördes mellan helår 2021, då NODA-tjänsten inte var aktiv, och år 2023, då tjänsten var i drift. Energi för varmvatten eller varmvattenmängd fanns ej att tillgå så energianvändningen till tappvarmvatten har istället beräknats baserat på energidata från sommarmånaderna då inget komfortvärmebehov råder. Normalårskorrigerig har gjorts med SMHI:s Energiindex. Förändringar av total energianvändning mellan de två verksamhetsåren har sedan utvärderats.

För samtliga 22 byggnader uppmättes en förändring av energianvändningen på -0,5 % eller -40 MWh av den totala energianvändningen. Spridningen i förändring varierade mellan -42 % och +87 %, se *Bilaga 2* för ingående data. Denna energibesparing kan tyckas försumbar, men en rad felkällor bör beaktas. Exempelvis har en fastighet tillkommit under utvärderingsperioden, och inomhustemperaturen har höjts i flera fall. Dessa felkällor har varit särskilt påtagliga för 13 av de 22 byggnaderna och omfattar bland annat:

- Tjänsten var inte i drift vid inledningen av 2023
- Avbrott i NODA-tjänsten av olika anledningar, t.ex. byte av inomhustemperaturgivare.

- Byggnaden hade inte haft tillräckligt hög måltemperatur (21°C) och värmekurvan har behövts höjas. Då tjänsten NODA inte kan öka kurvan utan endast sänka går det inte att utvärdera NODA-tjänsten med energianvändning före NODA.
- Ett hus var ej färdigbyggt och inflyttning har skett succesivt under perioden.
- Mätdata har saknats och orimliga värden varit med i statistiken.
- Byggnader som har haft större förändringar på mer än +-20% har rensats bort, då det inte helt kunde härledas till varför så stora förändringar skett.

I de återstående nio byggnaderna var förändringen av energianvändningen -7,6%, 317 MWh av total energianvändning med en spridning på mellan 0,5–17% (*Tabell 8*). Om fastigheten med en minskning av energianvändningen på 17 % exkluderas erhålles ett resultat på -5,8 % och 200 MWh med en spridning mellan byggnader på -0,5 % till -9%.

En jämnare inomhustemperatur har observerats efter installationen av energistyrningstjänsten NODA-Building i de byggnader där mätdata för inomhustemperaturer fanns tillgänglig innan tjänsten aktiverades. Detta har även bekräftats vid tillfälliga avbrott i tjänsten, då betydligt större variationer i inomhustemperaturen har noterats.

Tabell 8. Energianvändning under utvärderingsperioden (2023) med NODA samt referensåret (2021) utan NODA.

Fastighet	Total energianvändning NY NÅK 2021	Total energianvändning NY NÅK 2023	Förändring 2023 jmf 2021 NY NÅK total %
Fastighet 2	426	424	-0,5%
Fastighet 3	590	535	-9%
Fastighet 5	368	347	-6%
Fastighet 6	542	507	-7%
Fastighet 7	662	549	-17%
Fastighet 8	99	97	-2%
Fastighet 14	267	252	-6%
Fastighet 20	663	604	-9%
Fastighet 22	537	523	-3%
Summa	4 155	3 838	
Besparing	-317	-8%	

3.3 Replikerbarhetsnivå 2 Värmeflex. Replikerbarhetsmöjligheter inom Region Skånes verksamhetsområde.

3.3.1 Resultat effektstyrning Testobjekt 4, Regionfastigheter

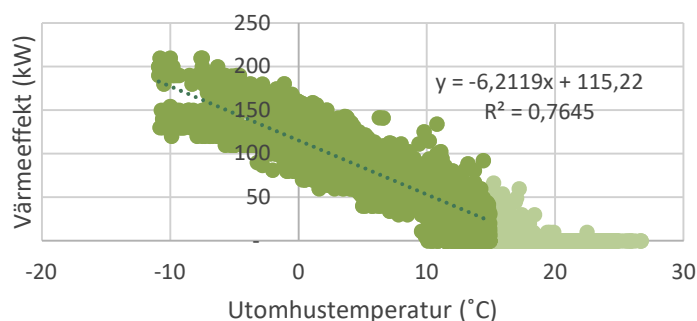
Precis som för de 40 byggnaderna i EBO:s fastighetsbestånd har NODA:s system installerats i testobjekt 4, som tillhör Regionfastigheters (RF) bestånd. Här har dock ett annat styrkoncept implementerats, kallat Tariff Control. Detta koncept innebär att energianvändningen optimeras utifrån dynamiska fjärrvärmepriser, istället för en kontinuerlig optimering mellan uppkopplade byggnader och Kraftringens produktion, som används hos EBO. En gång per dygn skickas en prognos över det timbaserade fjärrvärmepriset till NODA, vilket möjliggör anpassning av uppvärmningen till de perioder då energikostnaderna är som lägst. Detta leder till minskade uppvärmningskostnader för Regionfastigheter och samtidigt reducerade produktionskostnader, då energianvändningen styrs till perioder med lägre produktionskostnader.

Likt styrkonceptet som applicerades i EBOs fastighetsbestånd, bidrar även Tariff control styrningen till en ökad energieffektivitet. Detta eftersom samma typer av AI-algoritmer nyttjas som tar hänsyn till byggnadens termiska egenskaper och brukarrelaterade mönster och optimerar sekundärsidans framledningstemperatur. Som följd erhålls en jämnare inomhustemperatur med reducerad värmeanvändning som följd.

Under perioden september 2023 till maj 2024, uppskattades uppvärmningsbehovet till 450 MWh utan NODA:s styrning. Den faktiska uppmätta värmeanvändningen, med NODA styrning, uppgick till 420 MWh, vilket motsvarar en energibesparing på cirka 7 %. En djupare analys av denna besparing har genomförts inom ramen för *Arbetspaket 5, "Utvärdering"*.

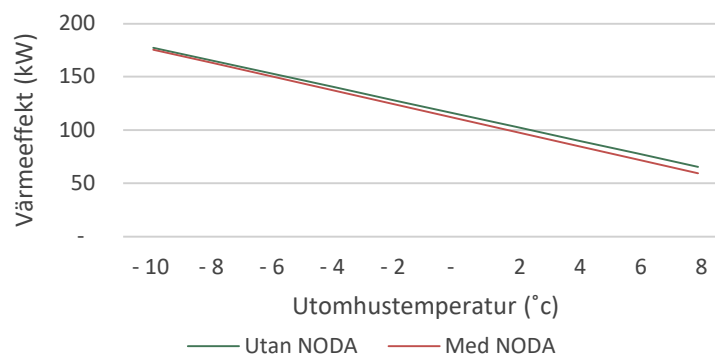
Figur 23 visar den beräknade effektsignaturen under utvärderingsperioden men då NODA inte skulle ha tillämpats. Vid en utomhustemperatur på -10 °C uppgick effektbehovet till 180 kW. Vid en jämförelse av effektbehovet med och utan NODA:s styrning framgår det att den största avvikelsen inträffar vid mildare utomhustemperaturer, *Figur 24*.

Effektsignatur utan NODA sept23-maj24, RF



Figur 23. Beräknat effektbehov under utvärderingsperioden i fall då NODA styrning inte skulle tillämpats.

Effektbehov med/utan NODA (kW)



Figur 24. Effektbehov med och utan NODA styrning.

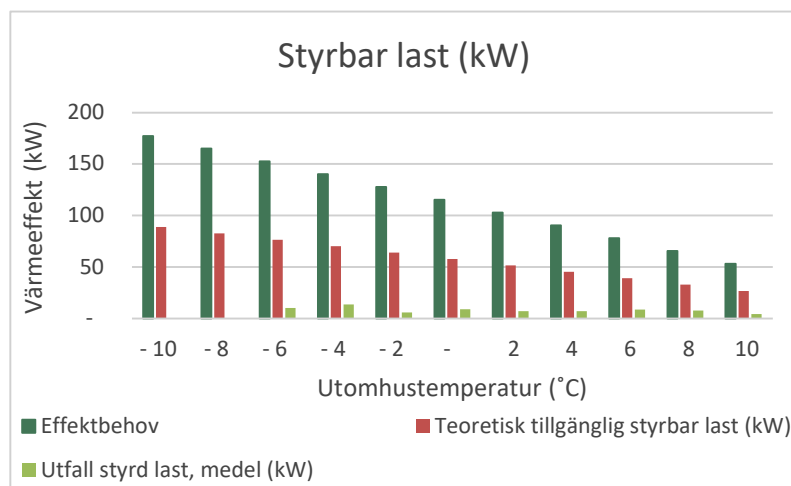
3.3.1.1 Styrbar last, Regionfastigheter

NODA Building-tjänsten aktiverades i augusti 2023, medan Tariff Control-styrningen inte startades förrän den 23 januari 2024. Analyserna av genomförda styrningar i denna rapport baseras därmed på perioden 23 januari till 31 maj 2024.

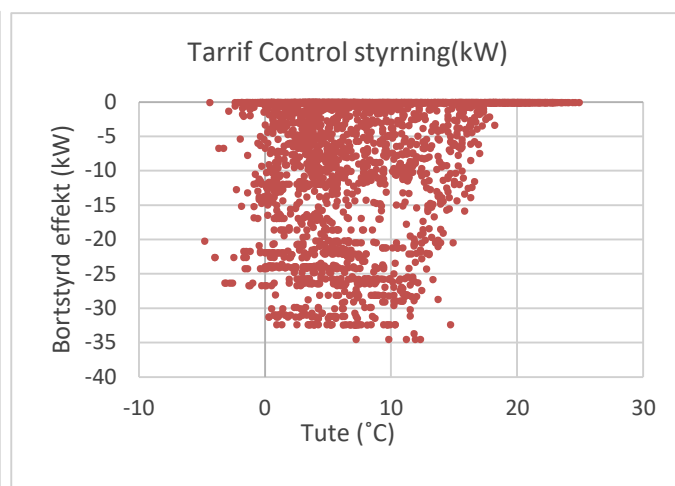
I tidigare avsnitt av denna rapport framgick det att cirka 50 % av effektuttaget kan styras bort under 10–15 timmar per dygn, fördelat över två styrsekvenser, utan att påverka inomhustemperaturen mer än 0,5 °C. Vid en utomhustemperatur på -6 °C och ett effektbehov på 150 kW skulle det således teoretiskt sett vara möjligt att reducera effektuttaget med 75 kW. Vid analys av faktisk bortstyrning framgår dock att den genomsnittliga bortstyrningen per styrtillfälle endast uppgick till 14 kW, *Figur 25*.

Den begränsade bortstyrningen kan sannolikt förklaras av hur Tariff Control-tjänsten är konfigurerad. Tjänsten är primärt utformad för att optimera slutanvändarens anläggning snarare än att anpassa effektuttaget efter energibolagets behov. Även om optimeringen delvis grundas på dynamiska prissignaler, har sannolikt små variationer i priset mellan dygnets timmar resulterat i en begränsad ekonomisk motivation att flytta energiuttaget mellan dyrare höglast- och billigare låglasttimmar.

Merparten av styrtillfällena inträffade vid utomhustemperaturer mellan 0 °C och 10 °C, vilket är förväntat eftersom nästan 70 % av timmarna under utvärderingsperioden låg inom detta temperaturintervall. Under perioden kunde som mest cirka 35 kW styras bort. Det finns dock ingen tydlig koppling mellan den bortstyrda effektens storlek och utomhustemperaturen.



Figur 25. Teoretisk styrbar last (kW) och faktiskt utfall (kW) per styrtillfälle



Figur 26. Genomförda styrningar som funktion av utomhustemperatur

Den genomsnittliga bortstyrda effekten per styrsekvens under perioden var 8 kW, med en totalt bortstyrd volym motsvarande cirka 20 MWh, *Tabell 9*. Styrningen var aktiv under 50 % av timmarna inom perioden (*Tabell 10*) vilket kan jämföras med effektstyrningen som tillämpades för EBO som endast var aktiv 10% av utvärderingsperioden. Detta kan förklaras med konfigurationen av de olika styrmetodikerna, där styrningen i Regionfastigheter framförallt har varit aktiv på grund av komfortrelaterad optimering snarare än prisrelaterad optimering.

Tabell 9. Medel effektbehov utan NODA samt medeleffekt per styrtillfälle inom givet utomhustemperaturintervall.

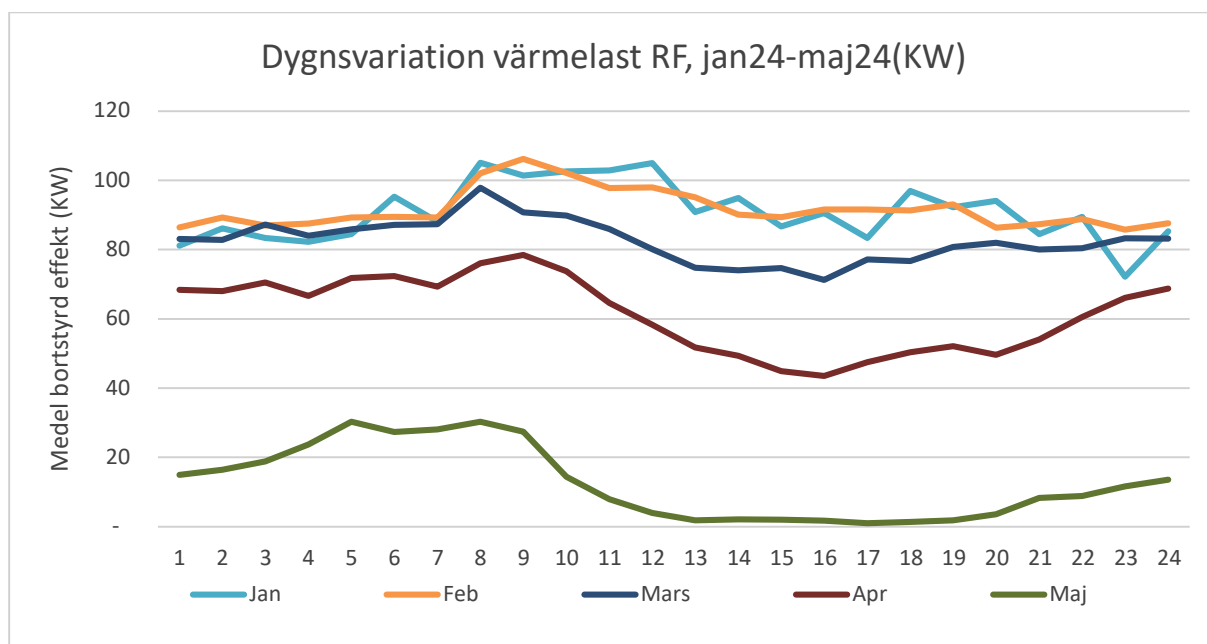
Utomhus Temperaturi ntervall (°C)	Medel Effektbehov utan NODA (kW)	Medeleffektstyr per sekvens (kW)	Andel av total värmeeffektbehov (%)	Total bortstyrd volym (kWh)
-4≤-6	100	10	10%	20
-2≤4	111	13	12%	200
0≤-2	101	6	6%	700
0≤2	101	9	9%	3 000
2≤4	91	7	8%	3 700
4≤6	82	7	8%	3 800
6≤8	73	8	11%	2 900
8≤10	58	8	13%	2 000
>10	17	4	23%	3 800
Totalt	82	8	10%	20 100

Tabell 10. Antalet styrtimmar per definierat utomhustemperaturintervall

Utomhus Temperaturintervall (°C)	Totalt antal timmar	Varav antalet styrtimmar	Andel styrtimmar av total
-4≤-6	2	1	50%
-2≤4	15	12	80%
0≤-2	114	49	43%
0≤2	347	219	63%
2≤4	525	279	53%
4≤6	551	295	54%
6≤8	354	191	54%
8≤10	260	157	60%
>10	928	337	36%
Totalt	3096	1540	50%

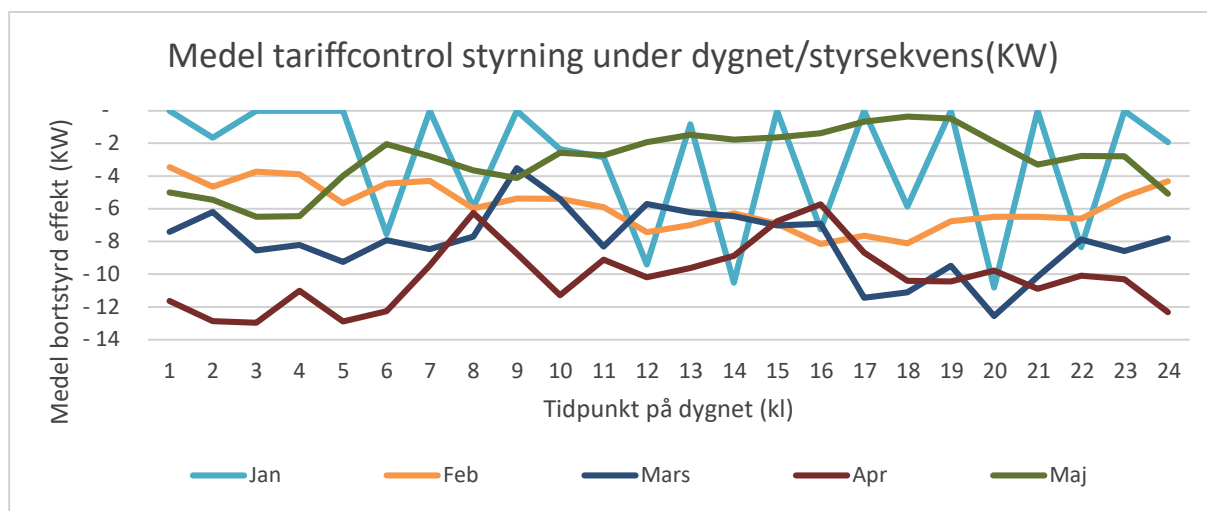
3.3.1.2 Tariff Controlstyrningens variation under dygnet

När effektbehovet för testobjektet plottas som en funktion av tidpunkt på dygnet framträder en tydlig korrelation mellan tidpunkt och effektbehov, *Figur 27*. Effektbehovet är som högst under morgontimmarna och avtar därefter. Den troliga orsaken är inställda drifttider för ventilationsaggregat utrustade med värmebatteri. För randmånaderna mars till maj kan en svagt uppåtgående trend observeras under kvällstimmarna. Detta kan sannolikt förklaras av mildare dagstemperaturer följt av kyligare nätter, som ökar uppvärmningsbehovet kvällstid.



Figur 27. Testobjektets värmeeffektbehov fördelat över dygnet för respektive månad under utvärderingsperioden.

Till skillnad från resultatet av styrningen på EBO tycks det inte finnas någon tydlig koppling mellan tidpunkt på dygnet och när styrtillfällen med Tariff Control äger rum, *Figur 28*. Det går därmed att konstatera att Tariff Control inte aktivt arbetar för att hålla nere Regionfastigheters topplasteffektuttag eller för den delen fjärrvärmenätet i stort.



Figur 28. Genomförd styrning med Tariffcontrol fördelat över dygnet för respektive månad under utvärderingsperioden.

3.3.1.3 Styrningens koppling till marginalproduktionskostnad

Genom att analysera den genomsnittliga marginalproduktionskostnaden vid tillfällen med respektive utan styrning, kan man få en uppfattning av marginalproduktionskostnadens påverkan på styrtillfällena, *Tabell 11*. Till exempel var den genomsnittliga marginalproduktionskostnaden i februari 40 % högre vid tillfällen då Tariff Control var aktiv, jämfört med tillfällen då den inte var aktiv. Detta indikerar att styrningen bidragit till att

minska effektuttaget under perioder med högre marginalproduktionskostnad. Då tjänsten endast var aktiv fåtal dagar i januari är resultatet under denna månad inte representativt.

Tabell 11. Procentuell skillnad i marginalproduktionskostnad då tariffcontrollstyrningen är aktiverad kontra då den inte är aktiverad.

	Skillnad i marginalproduktionskostnad med respektive utan styrning	Bortstyrd volym (MWh)
Jan	-1%	-1
Feb	40%	-4
Mars	2%	-6
Apr	17%	-7
Maj	16%	-2
Totalt	12,5%	-20
Utan jan	18%	

3.3.2 Sammanfattande slutsatser avseende de två styrmetodikerna DSM och Tariff Control

Baserat på resultaten från pilotstudierna på EBO och Regionfastigheter kan följande slutsatser dras:

- DSM-styrningen bidrar aktivt till att minska topplasteffektuttaget i fjärrvärmenätet.
- Uppkopplade fastigheter används som en resurs i den dagliga optimeringen med DSM-styrning.
- DSM-styrningen kräver en något mer komplex uppsättning. Erfarenheterna från DSM styrningen av EBO:s 40 byggnader visar dock på att den utvecklade systemlösningen är skalbar, vilket möjliggör snabb replikering.
- I Tariff Control är NODA Building en integrerad del, medan för DSM sker en aktiv samverkan med tjänsten.
- Båda piloterna visade liknande energibesparingar.
- Kopplingen mellan högre marginalproduktionskostnad och styrtillfällen är något starkare i Tariff Control, men ingen tydlig skillnad mellan de två styrmetodikerna kunde påvisas.

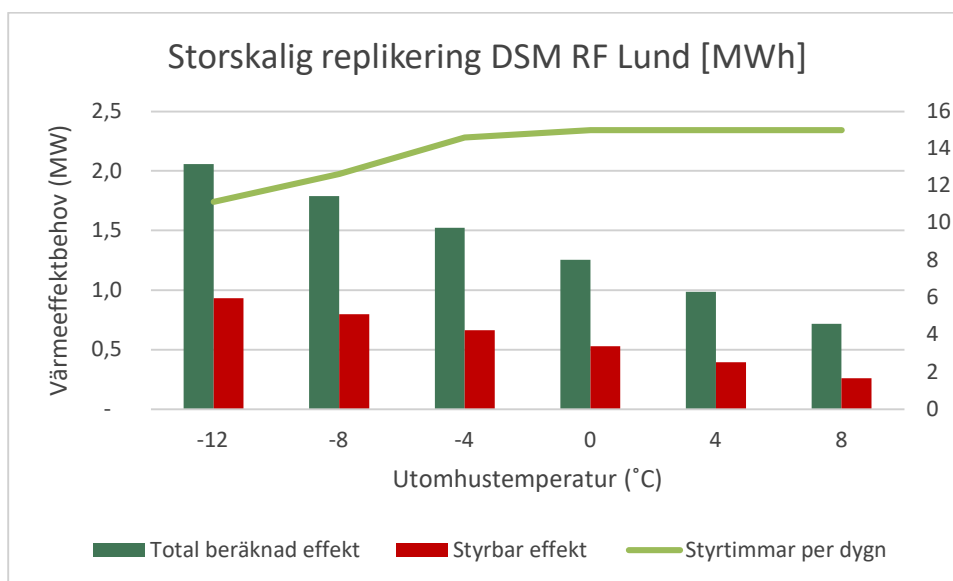
Med tanke på de fördelar DSM-styrningen ger i fjärrvärmeproduktionen och att båda tjänsterna ger liknande energibesparingar för slutanvändaren, anses DSM-styrningen vara mer lämplig för vidare replikering och uppskalning. Därför baseras resterande analyser i rapporten på antagandet att DSM-konceptet replikeras inom Regionfastigheters bestånd.

3.3.3 Replikerbarhetsmöjligheter för Regionfastigheter i Skåne baserat på DSM

Regionfastigheters totala fjärrvärmebehov för Lund uppgick år 2023 till ca 40 GWh. I ett första skede bedöms en replikering vara möjlig på ett tiotal byggnader med ett totalt årligt uppvärmningsbehov på ca 6 GWh. Baserat på resultatet från genomförd pilotstudie bör värmebesparingspotentialen uppgå till mellan 5-7% motsvarande 300-420 MWh/år.

Med antagandet att uppkopplade byggnader har samma andel styrbar last i förhållande till totalt årligt värmebehov som den potentialstudie som genomfördes i avsnitt 6.2.1 bör den

styrbara lasten vid -13 °C uppgå till ca 1 MW, *Figur 29*. Det bör vara möjligt att styra byggnaderna under cirka 11 timmar fördelat över två styrsekvenser utan att påverka inomhustemperaturen mer än 0,5 °C.



Figur 29. Teoretisk styrförmåga vid storskalig replikering inom Regionfastigheters bestånd i Lund då DSM styrning tillämpas.

Det bör även vara möjligt att implementera en liknande lösning på andra sjukhusområden inom Regionfastigheters bestånd, med en potentiell uppkopplingsbar energivolym på minst 2–3 GWh per år och sjukhusområde. Möjligheten att tillämpa den framtagna systemlösningen på andra områden beror i hög grad på vilka av de grundförutsättningar som beskrevs i *Kapitel 3.1* blivit uppfyllda.

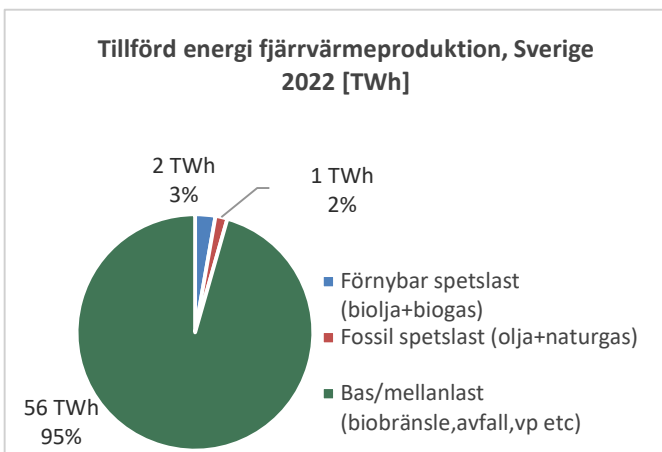
Till exempel bör det vara möjligt att få till en snabbare replikering i Helsingborg än i Trelleborg, eftersom det Helsingborgsbaserade energibolaget Öresundskraft använder samma produktionsoptimeringssystem, Energy Opticon, som Kraftringen. Om det saknas ett produktionsoptimeringssystem eller om ett annat system används, bör en djupare analys genomföras för att utvärdera möjligheterna till replikering.

3.4 Replikerbarhetsnivå 3 Värmeflex. Replikerbarhetsmöjlighet i Sverige

Nästan 90 % av Sveriges flerbostadshus är anslutna till fjärrvärme, fördelade på totalt 440 olika fjärrvärmenät. Detta skapar goda möjligheter att identifiera nät med liknande förutsättningar och där en ekonomisk eller miljömässig vinst kan realiseras. De incitament som motiverar ett enskilt fjärrvärmebolag att tillämpa framtagna systemlösningar beror i hög grad på fjärrvärmemixen i det specifika fjärrvärmenätet. Den största potentialen finns i nät med flera produktionsenheter med betydande variation i driftkostnader.

I fjärrvärmenät som använder fossila bränslen för spetslastproduktion kan stora miljö och ekonomiska vinster uppnås genom att flytta värmeuttaget till tider då produktionen sker med källor som har lägre kostnad och/eller koldioxidutsläpp. Om spetslasten i stället baseras på förnybara resurser, såsom bioolja eller biogas, ligger incitamenten framför allt i minskade produktionskostnader och ett bättre resursutnyttjande. Detta sker genom att skifta värmeuttaget från dyra höglasttimmar, där behovet av spetslast är som störst, till billigare mellan- eller baslastproduktion som inte sällan utgörs av fasta biobränslen, avfall eller spillvärme.

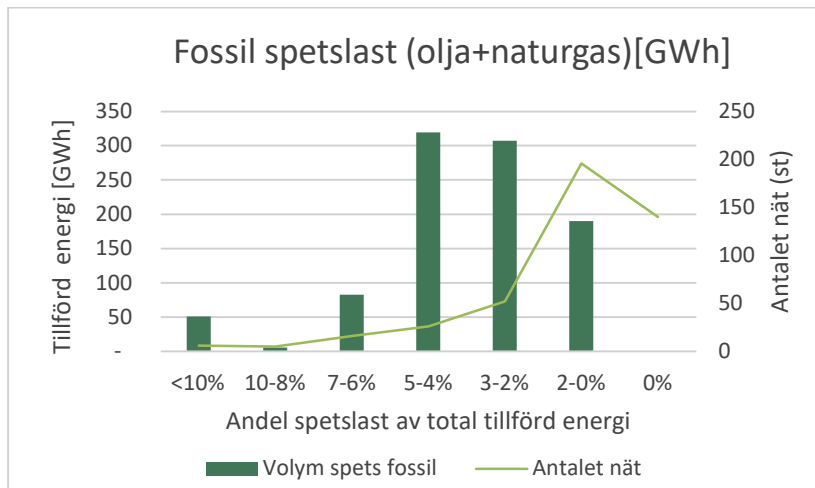
En bedömning av replikerbarhetsmöjligheterna har gjorts för Sveriges samtliga 440 fjärrvärmenät, baserat på energistatistik hämtad från Energiföretagens hemsida. För verksamhetsåret 2022 utgjorde fossila bränslen 2 % och biobränslen 47 % av den tillförda energin (*Figur 31*). För att bedöma det fossila och biogena spetslastbehovet har en mer ingående analys gjorts på bränslemixen för respektive fjärrvärmenät. Av denna framgår det att merparten av de fossila bränslena består av eldningsolja och naturgas, vilka vanligtvis används för spetslastproduktion. Det biogena spetslastbehovet, som består av biooljor, HVO/RME och biogas, utgör cirka 3 % av den totala tillförda energin.



Figur 31. Fjärrvärmemix för Sveriges 440 fjärrvärmenät **Figur 30.** Spetslastbehov för Sveriges 440 fjärrvärmenät

Genom att använda effektstyrning bör det vara möjligt för de fjärrvärmebolag som fortfarande har ett fossilt spetslastbehov att reducera denna andel. Möjligheterna bör vara störst för de nät som idag endast har en liten andel fossilt inslag i förhållande till den totala tillförda energin. Av de 440 fjärrvärmenäten har 196 nät ett fossilt spetslastbehov som understiger 2 % av den totala tillförda energin, *Figur 32*. Genom att tillämpa storskalig effektstyrning i dessa nät bör det vara möjligt att reducera det fossila spetslastbehovet med upp till 190 GWh. 26 fjärrvärmenät har ett spetslastbehov på mellan 4–5 %, och även för dessa nät bör det teoretiskt

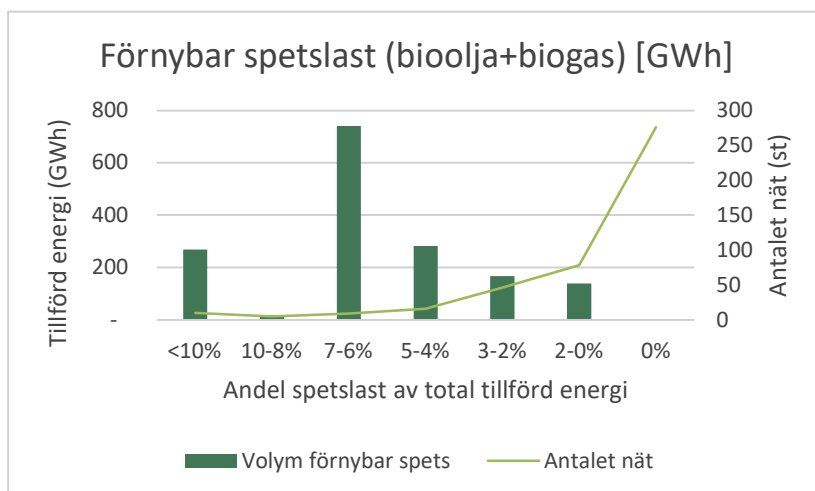
vara möjligt att styra bort merparten av det fossila energibehovet, som uppgår till 320 GWh. Sex nät har ett fossilt bränslebehov som överstiger 10 % av den totala tillförda volymen, varav tre av dessa nät har en fossil andel som överstiger 15 %. Detta indikerar att dessa nät har en fossilbaserad mellanlastproduktion vilket hade varit svårt att ersätta med effektstyrning då styrlängden per styrfrekvens är för kort.



Figur 32. Volym och antalet fjärrvärmenät med fossil spetslast fördelat över andel av total tillförd energi.

Om det hade varit möjligt att flytta 20% av de fossila spetslasttillfällena, med hjälp av effektstyrning, till timmar med mellan eller baslastproduktion baserad på biobränslen eller avfall hade det varit möjligt att reducera koldioxidutsläppen med motsvarande 40 000 ton CO₂/år. Detta baserat på ett uppskattat genomsnittligt utsläpp för fossil spetslast på ca 250 kg/MWh och mellan/baslast som motsvarar svenskt genomsnittligt fjärrvärmeutsläpp på 56 kg/MWh. För att sätta detta i perspektiv motsvarar det ett årligt utsläpp för 21 000 dieselbilar med en genomsnittlig körsträcka på 1500 mil/år.

För fjärrvärmebolag som huvudsakligen har förnybar spetslast utgörandes av biogas eller förnybara oljor så som bioolja, RME, HVO etc. har cirka 80 nät ett behov som understiger 2% av den totala tillförda energin (Figur 33). Detta indikerar att effektsyrning hade kunnat vara en möjlig lösning för att flytta dessa tillfällen till billigare mellanlastproduktion istället.



Figur 33. Volym och antalet fjärrvärmenät med förnybar spetslast fördelat över andel av total tillförd energi.

4 Resultat replikerbarhet energiflexibilitet

Denna delrapport har som mål att kartlägga replikerbarhetsmöjligheterna kopplade till funktionaliteten Energiflexibilitet, utvecklad inom e-Flex. Konceptet riktar sig till de fastigheter som är dubbelanslutna, dvs fastigheter utrustade med både fjärrvärme och värmepumpsanslutning eller fjärrkyla och lokal kylmaskin. Genom optimerade körplaner baserade på dynamiska styrsignaler på fjärrvärme och fjärrkyla i kombination med timupplöst elpris säkerställs att den energikälla som är billigast för stunden och/eller har lägst miljöpåverkan alltid nyttjas.

Likt replikerbarhetsstudien för funktionaliteten Värmeflexibilitet har replikerbarhetsmöjligheterna för Energiflexibilitet analyserats utifrån tre nivåer: inom Krafringens geografiska område, inom Region Skånes fastighetsbestånd och Sverige i stort.

Som ett första steg för att bedöma replikerbarhetsmöjligheterna inom Krafringens verksamhetsområde identifierades antalet dubbelanslutna flerfamiljshus baserat på uppgifter från energideklarationer. Därefter genomfördes teoretiska lönsamhetsanalyser med syftet att utvärdera incitamenten för replikering utifrån fastighetsägarens perspektiv. En kompletterande lönsamhetsanalys genomfördes för en kommersiell fastighetsägare, med verksamhetsområde i Lund och omnejd, för att skapa en mer heltäckande bild av replikerbarhetspotentialen inom olika typer av fastighetsbestånd.

För att bedöma replikerbarhetsmöjligheterna inom Regionfastigheters fastighetsbestånd identifierades ett urval av dubbelanslutna fastigheter som bedömdes vara särskilt lämpliga för replikering. Den flexibla energivolymen och den potentiella lönsamheten uppskattades baserat på erfarenheter från tidigare analyser inom Krafringens verksamhetsområde. Det är dock viktigt att understryka att dessa resultat enbart ger en preliminär indikation på potentialen. För mer precisa bedömningar krävs detaljerade analyser som tar hänsyn till respektive energibolags produktionsdata och prismodeller.

På nationell nivå samlades data från energideklarationer in för att identifiera dubbelanslutna flerfamiljsfastigheter i Sverige. Baserat på resultat från potentialstudier inom Krafringens område uppskattades den flexibla värmelasten för olika värmepumpstyper. Även dessa resultat ger endast en fingervisning, eftersom replikerbarheten och lönsamheten varierar beroende på energibolagens produktionsmix och möjligheten att införa dynamiska prismodeller.

4.1 Grundläggande förutsättningar för replikering

Detta avsnitt behandlar de grundläggande förutsättningar som krävs för att möjliggöra en replikering av e-Flex till andra geografiska områden i Sverige. Eftersom e-Flex bygger på ett samspel mellan energibolag och slutanvändare, ställs specifika krav och förutsättningar på båda parter för att systemet ska fungera effektivt. Nedan presenteras bruttolistor med kortfattade kommentarer som belyser de nyckelförutsättningar som bör uppfyllas för att en framgångsrik implementering av e-Flex ska kunna genomföras i andra områden.

4.1.1 Förutsättningar för energibolaget

För att kunna replikera framtagen systemlösning behöver en rad grundförutsättningar vara uppfyllda för energibolaget, *Tabell 12*.

För att skapa incitament till fastighetsägaren att alternera energislag erfordras styrsignaler som återspeglar förutsättningarna i överliggande energisystem. Inom e-Flex utgörs dessa av dynamiska energipriser på fjärrvärme och/eller fjärrkyla som återspeglar energibolagets produktionskostnader.

Optimerade körplaner behöver kommuniceras till fastighetsstyrsystem, vilket kan ske via en direkt API koppling mellan styrsystemet och e-Flex alternativt via en integrationsplattform. Kundenspecifika villkor, såsom nuvarande körstrategi, drifttider för värmepumpar, avtalsinformation, effektsignaturer och COP, är nödvändiga för att skapa värmeprognoser och optimera körplaner.

Prognoser för kommande dygns värmeeffektbehov, baserat på SMHI:s temperaturdata och effektsignaturer, behöver kunna kommuniceras till fjärrvärmeproduktionsbolaget och balansansvarig för elhandel. Återkoppling till kunden bör vara tydlig och lättillgänglig och visa på den ekonomiska eller miljömässiga besparingen i förhållande till referensfallet.

Tabell 12. Förutsättningar för replikering - 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
Kommunikations-möjlighet 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 så som Yggio
Kundspecifika randvillkor	Nuvarande körstrategi Avtalsinfo (nät och handelsavtal el) Villkor drifttid VP Effektsignatur COP	En nödvändighet för att skapa värmeprognoser för nästkommande dygn samt fastighetsspecifika optimerade körplaner
Prognos värmeeffektbehov kommande dygn	Baseras på temperaturprognos från SMHI samt effektsignatur	Information behöver gå till både fjärrvärmeproduktionsbolaget och elhandels-balansansvarig
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.

4.1.2 Förutsättningar för fastighetsägare

I detta sammanhang avser slutanvändare främst fastighetsägare, men kan även inkludera industriföretag eller andra typer av verksamheter som har kapacitet att växla mellan olika energislag för att täcka sitt uppvärmnings och/eller kylbehov.

En grundförutsättning för fastighetsägaren är att det finns en dubbelanslutning som möjliggör växling mellan energislag baserat på styrsignaler från energibolaget, *Tabell 13*. Därför krävs även ett styrsystem som kan ta emot dessa signaler och automatiskt växla energislag i enlighet med energibolagets signaler. Eventuella befintliga engagemang på stödtjänstmarknaden behöver inkluderas i villkoren och beaktas vid potentialstudien.

Tabell 13. Förutsättningar för replikering – Slutanvändare.

Förutsättning	Beskrivning	Kommentar
Dubbel anslutning	VP och FJV/FJK	Anslutningarna måste tillgodose samma rumsliga värme-/kylabehov
Styrsystem som kan ta emot styrsignal från e-Flex	För att kunna agera på körplaner	Styrsystem bör vara öppet för att möjliggöra en smidig integration.
Kundens storlek & körstrategi	Kundunik potentialstudie sätter gränser	Måste finnas ekonomisk vinning motsvarande minst investeringsbehov

4.2 Replikerbarhetsnivå 1 Energiflex. Replikerbarhetsmöjligheter inom Krafringens verksamhetsområde

För att bedöma möjligheterna att replikera energiflexibilitet inom Krafringens verksamhetsområde i Lund, Lomma och Eslöv har antalet dubbelanslutna flerfamiljsfastigheter kartlagts baserat på uppgifter från energideklARATIONER genomförda under perioderna: 2010–2014 (*Tabell 14*) och 2020–2024 (*Tabell 15*).

Bland de dubbelanslutna fastigheterna är den i särklass vanligaste värmepumpsteknologin frånluftsvärmepumpar (FVP), följt av mark- eller bergvärmepumpar (MVP) och i mindre utsträckning luft-vattenvärmepumpar (LVP). Begränsningar för FVP inkluderar den mängd frånluft som kan användas som värmekälla, medan LVP uppvisar låg verkningsgrad vid låga utomhustemperaturer. På grund av dessa tekniska begränsningar kräver båda dessa teknologier kompletterande spetslastvärmekällor, för att säkerställa att hela uppvärmningsbehovet täcks året runt. Detta är en starkt bidragande orsak till dubbelanslutning i dessa fastigheter.

Under perioden 2020–2024 uppgick den totala elanvändningen för värmepumpar till 28 GWh, varav FVP stod för den största andelen med 20 GWh. Det totala fjärrvärmebehovet för spetslast uppgick till 29 GWh per år. Det höga spetslastbehovet kan förklaras av den stora andelen frånluftsvärmepumpar, vilket oftast har en låg energitäkningsgrad på runt 50 %.

Tabell 14. Summerad data energideklARATIONER dubbelanslutna flerbostadshus i Eslöv, Lomma och Lund år 2024

Dubbelanslutna flerbostadshus	FVP	LVP	MVP	FJV	Antal
El till uppvärmning (MWh)					
Eslöv	330	0	50	2 460	20
Lomma	1 030	0	170	4 000	64
Lund	3 650	900	1 150	23 170	170
Total elanvändning	5 020	900	1 360	29 650	254
Antagen COP, årsmedel	4,02	3	4,02		
Total Energi till uppvärmning (MWh)	20 170	2 690	5 470	29 650	

Tabell 15: Summerad data energideklARATIONER dubbelanslutna flerbostadshus i Eslöv, Lomma och Lund år 2014

Dubbelanslutna flerbostadshus	FVP	LVP	MVP	FJV	Antal
El till uppvärmning (MWh)					
Eslöv	0	0	0	0	0
Lomma	170	0	0	1 660	23
Lund	1 960	80	380	11 300	69
Total elanvändning	2 130	80	380	12 960	92
Antagen COP, årsmedel	4,02	3	4,02		
Total Energi till uppvärmning (MWh)	8 540	250	1 530	12 690	

Jämfört med perioden 2010–2014 har antalet dubbelanslutna fastigheter i Lund, Eslöv och Lomma ökat markant de senaste tio åren. Antalet fastigheter har stigit från 92 under perioden 2010–2014 till 254 under perioden 2020–2024, det vill säga en ökning med 176%. Som följd har även elanvändningen ökat med 181 %. Om denna trend fortsätter kommer behovet av systemlösningar, som exempelvis e-Flex, som möjliggör flexibla körstrategier, att bli allt viktigare i framtiden.

4.2.1 Teoretisk lönsamhetspotential flerbostadshus

Baserat på förbrukningsdata från energideklarationerna har fördjupade analyser genomförts för att undersöka lönsamhetspotentialen för fastighetsägaren att tillämpa en flexibel körstrategi med utgångspunkten att den energikälla, antingen fjärrvärme eller värmepump, med lägst energipris för stunden alltid skall nyttjas. Analysen utgår från 2023 års elpriser och ett dynamiskt fjärrvärmepris. För samtliga värmepumpstyper har referensfallet antagits vara en statisk körstrategi, där värmepumpen används för baslastproduktion och fjärrvärmen för spetslast för att täcka fastighetens värmeeffektbehov.

Eftersom den inhämtade datan från energideklarationerna endast omfattar årsenergivolymer, har beräkningar genomförts för att approximera den timupplösta förbrukningen för respektive värmepumpstyp. Detta uppnåddes genom att volymkorrigera timupplöst förbrukningsdata från ett känt och typiskt fastighetsbestånd, så att de summerade timvärdena överensstämmer med de årsdata som redovisas i energideklarationerna för respektive värmepumpstyp.

Vid beräkningarna togs även hänsyn till de unika egenskaperna hos varje värmepumpstyp, såsom energitäckningsgrad och det utomhustemperaturberoende förhållandet för COP (Coefficient of Performance).

Trots noggranna anpassningar kvarstår vissa diskrepanser mellan den dynamiskt beräknade årsenergianvändningen, baserad på summerade timvärden, och de uppgifter som redovisas i energideklarationerna (*Tabell 16*). En sannolik orsak till dessa avvikelser är att de dynamiska beräkningarna bygger på en utomhustemperaturkorrigerad COP-faktor, medan energideklarationernas data baseras på ett årsmedelvärde för COP d.v.s. SCOP. Därtill är avvikelser i värmepumparnas energitäckningsgrad troliga eftersom beräkningarna bygger på produktinformation från nyinstallerade värmepumpar, vilka förmodligen har en betydligt högre energitäckningsgrad än för de värmepumpar som energideklarationerna baseras på. Detta antagande stöds av att det beräknade fjärrvärmebehovet som baserats på de summerade timvärdena är 30 % lägre än det behov som redovisas i energideklarationerna.

Tabell 16. Procentuell avvikelse mellan beräknad årsenergianvändning baserad på timvärden jämfört med uppgifter från energideklaration.

	FVP, värme (MWh/år)	LVP, värme (MWh/år)	MVP, värme (MWh/år)	Totalt VP (MWh/år)	Totalt Fjärrvärme (MWh/år)
Avvikelse beräknad årsenergianvändning jmf med energideklaration	-10%	+6%	-13%	-9%	-30%

Frånluftsvärmepumpar

Under perioden år 2020–2024 uppskattades det totala årliga värmebehovet för dubbelanslutna fastigheter med frånluftsvärmepumpar i Lund, Lomma och Eslöv till cirka 40 GWh, *Tabell 17*. Av detta behov täcktes 18 GWh av värmepumpar (så kallad baslast), medan resterande värmebehov tillgodosågs av spetslast i form av fjärrvärme. Det relativt stora beroendet av fjärrvärme kan förklaras av frånluftsvärmepumpars låga energitäckningsgrad, vilket kräver en kompletterande värmekälla för att möta det totala uppvärmningsbehovet.

Tabell 17. Värmeanvändning fördelat per energikälla under referensfallet och med dynamisk styrning av FVP

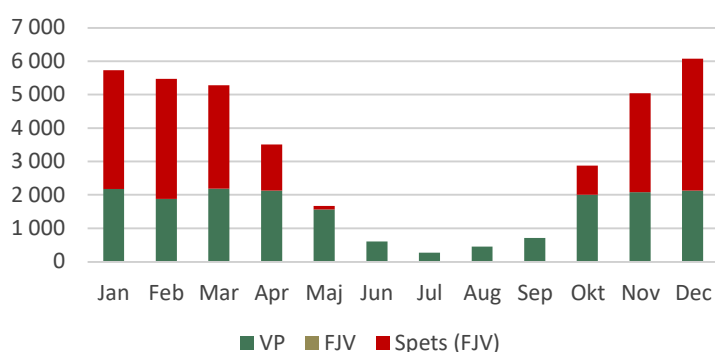
<i>Energikälla</i>	Referensfall (MWh)	Styrning/Dynamiskt Pris (MWh)
Fjärrvärme, bas	0	3 400
Fjärrvärme, Spets	19 500	19 500
Värmeproduktion, VP	18 200	14 800
Andel flex av årsprod VP		19%

Vid implementering av en flexibel körstrategi är det endast valet av energikälla för baslasten som kan påverkas, spetslasten förblir oförändrad på grund av värmepumpens kapacitetsbegränsningar.

En lönsamhetsanalys baserad på energipriser för år 2023 visar att det hade varit ekonomiskt fördelaktigt att ersätta cirka 3 400 MWh av värmepumpsbaserad värmeproduktion med fjärrvärme. Enligt *Figur 35* inträffade merparten av dessa skiften från värmepumpsdrift till fjärrvärmedrift under perioden maj till september.

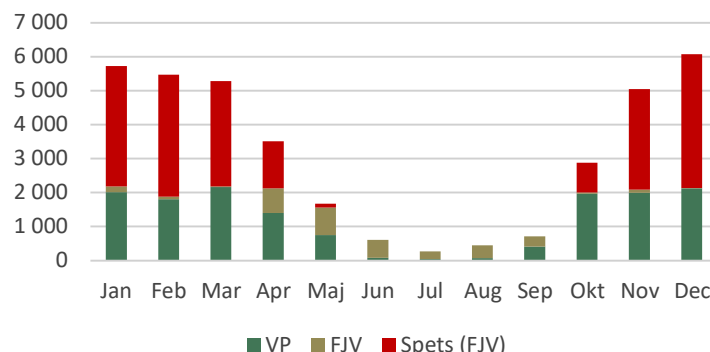
Detta mönster kan förklaras av de relativt låga fjärrvärmepriserna under denna period, vilket beror på en hög tillgänglighet av billig fjärrvärmeproduktion till följd av en stor andel restvärme i fjärrvärmenätet.

Referensfall FVP (MWh), 2023



Figur 35. Energianvändning fördelat per energikälla och månad med nuvarande körstrategi

Styrning FVP (MWh), 2023



Figur 34. Energianvändning fördelat per energikälla och månad med dynamisk körstrategi

Den ekonomiska lönsamhetspotentialen för fastighetsägaren vid implementering av en flexibel körstrategi uppskattas till 8 % (Tabell 18). I snitt reduceras kostnaderna för baslastproduktionen med 7% och för spetslasten med 8%. Besparingspotentialen tycks vara större än för markvärmepumpar och luftvattenvärmepumpar. Detta beror huvudsakligen på frånluftsvärmepumparnas låga energitäkningsgrad under vintermånaderna i kombination med att effekttavgiften för fjärrvärme, avseende referensfallet, baseras på medeleffektuttaget under januari och februari föregående verksamhetsår. Under dessa månader är ofta energitäckningsgraden så låg som 10–15 % med ökade effekttavgifter som följd. Genom att implementera ett dynamiskt fjärrvärmepris, som saknar en separat effektprikskomponent, kommer således det genomsnittliga fjärrvärmepriset att bli lägre.

Tabell 18. Energikostnad för referensfallet samt med dynamisk styrning av FVP

	Referensfall KSEK	Dynamisk styrning KSEK
Kostnad Flexdel	6 435	5 968
Kostnad spetsdel	20 772	19 157
Total Kostnad	27 206	25 124
Besparing	0	2 082
Andel reducerad energikostnad (%)		8%

Luft-vattenvärmepumpar

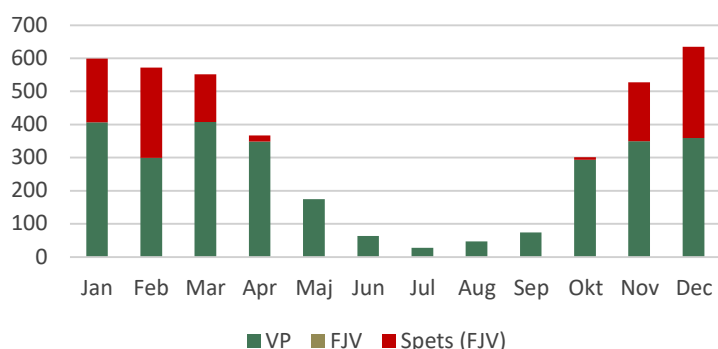
Dubbelanslutna luft-vattenvärmepumpar är relativt sällsynta i Lund, Lomma och Eslöv, med ett totalt värmebehov på cirka 4 GWh per år för dessa fastigheter. Av detta behov täcks cirka 3 GWh av värmepumparna, vilket motsvarar en energitäckningsgrad på 72 %.

Vid implementering av en flexibel körstrategi hade det varit ekonomiskt fördelaktigt för fastighetsägarna att ersätta 685 MWh av den värme som produceras av värmepumpen med fjärrvärme (Tabell 19). Jämfört med resultaten för frånluftsvärmepumpar inträffar något fler skiften från värmepumpsdrift till fjärrvärmedrift under vintertid. Denna skillnad kan förklaras av den högre energitäckningsgraden, som möjliggör en större andel flexibel värmelast, vilket illustreras i Figur 37.

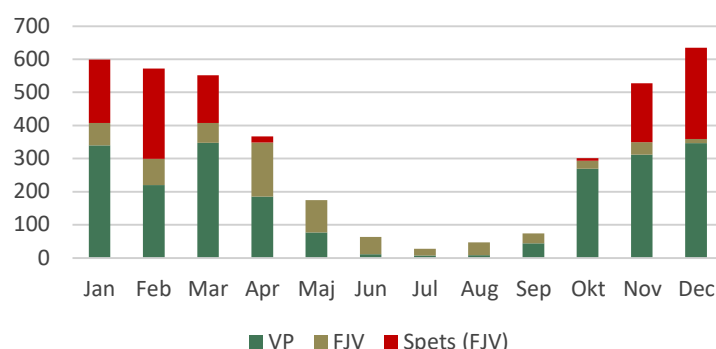
Tabell 19. Värmeanvändning fördelat per energikälla under referensfallet och med dynamisk styrning

Energikälla	Referensfall (MWh)	Dynamisk styrning (MWh)
Fjärrvärme, bas	0	685
Fjärrvärme, Spets	1087	1087
Värmeproduktion, VP	2852	2168
Andel flex av årsprod VP		24%

Referensfall LVP, 2023 (MWh)



Styrning LVP, 2023 (MWh)



Figur 36. Energianvändning fördelat per energikälla och månad med nuvarande körstrategi

Figur 37. Energianvändning fördelat per energikälla och månad med dynamisk körstrategi

Den ekonomiska lönsamhetspotentialen för fastighetsägarna vid införandet av en mer flexibel körstrategi uppskattas den totala besparingspotentialen till 6 %. I snitt sjunker kostnaderna för spetslast med 4% och för baslastproduktionen med 7% jämfört med referensfallet (*Tabell 20*). Att besparingen för spetslast inte tycks vara lika stor som för frånluftsvärmepumpar kan förklaras med ett lägre genomsnittligt effektuttag under referensperiodens effektprisgrundande månader januari och februari.

Tabell 20. Energikostnad för referensfallet samt med dynamisk styrning av LVP.

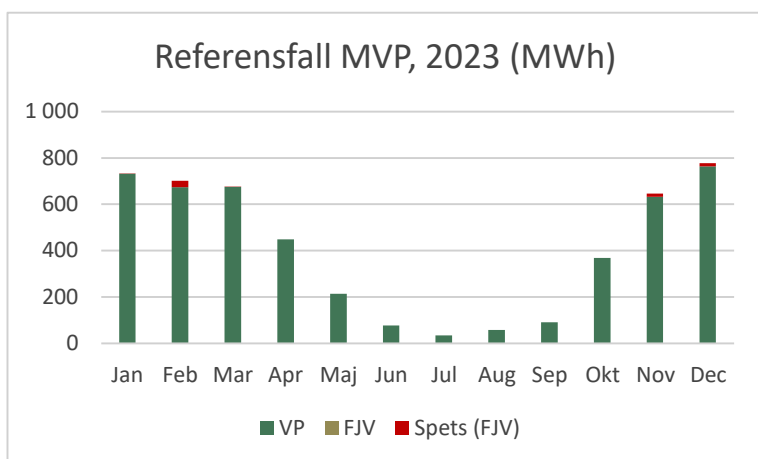
	Referensfall KSEK	Dynamisk styrning KSEK
Kostnad Flexdel	1 366	1 264
Kostnad spetsdel	1 224	1 170
Total Kostnad	2 590	2 435
Besparing	0	155
Andel reducerad energikostnad (%)		6%

Markvärmepumpar

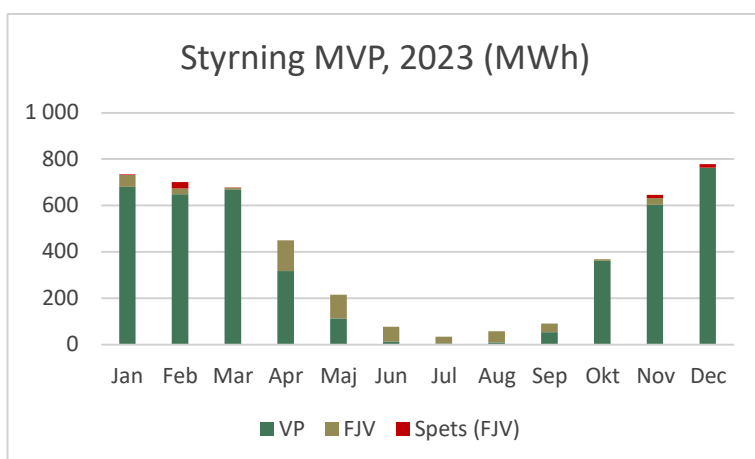
Det årliga värmebehovet för dubbelanslutna fastigheter med markvärmepumpar uppgår till ca 5 GWh, där värmepumpar försåg ca 99% av värmebehovet (*Tabell 21*). Genom att applicera en dynamisk körstrategi hade det varit lönsamt att ersätta 533 MWh av värmen producerad med värmepump med fjärrvärme. Merparten av dessa tillfällen sker under vår och sommarperioden, *Figur 39*.

Tabell 21. Värmeanvändning fördelat per energikälla under referensfallet och med dynamisk styrning

Energikälla	Referensfall (MWh)	Dynamisk styrning (MWh)
Fjärrvärme, bas	0	533
Fjärrvärme, Spets	59	59
Värmeproduktion, VP	4769	4236
Andel flex av årsprod VP		11%



Figur 38. Energianvändning fördelat per energikälla och månad med nuvarande körstrategi



Figur 39. Energianvändning fördelat per energikälla och månad med dynamisk körstrategi

Den ekonomiska lönsamhetspotentialen för fastighetsägaren uppskattas till cirka 3 %, vilket utgör en lägre procentuell besparing jämfört med övriga värmepumpstyper (*Tabell 22*). Den begränsade besparingen beror främst på den höga energitäckningsgraden, även under januari och februari, vilket resulterar i en låg effektpriskomponent och därmed låga fjärrvärmekostnader i referensfallet.

Införandet av ett dynamiskt fjärrvärmepris förväntas leda till något högre fjärrvärmekostnader för spetslast. Detta kan förklaras med att det dynamiska fjärrvärmepriset har en starkare koppling till de verkliga produktionskostnaderna än vad det säsongsbaserade fjärrvärmepriset har.

Tabell 22. Energikostnad för referensfallet samt med dynamisk styrning av MVVP

	Referensfall KSEK	Dynamisk styrning KSEK
Kostnad Flexdel	1 802	1 730
Kostnad spetsdel	70	77
Total Kostnad	1 872	1 807
Besparing	0	65
Andel reducerad energikostnad (%)		3%

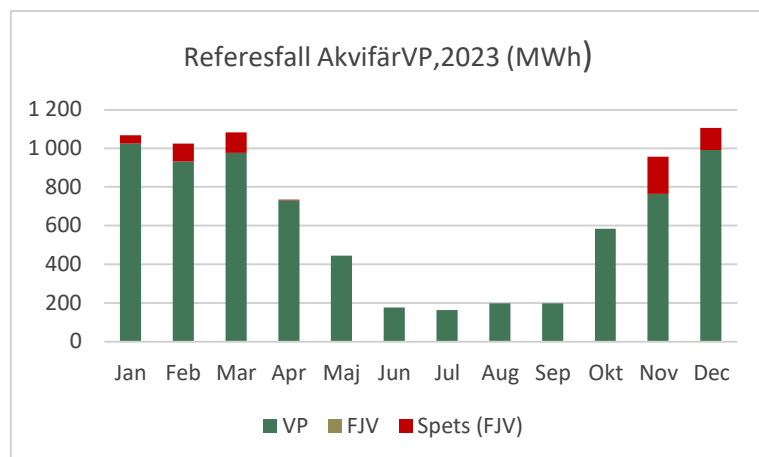
4.2.2 Lönsamhetspotential kommersiell fastighetsaktör

Fastighetsaktören i fråga har en större akvifärvärmepumpsanläggning som förser ett kluster av fastigheter, sammankopplade med ett sekundärnät för värme. Det totala årliga värmebehovet uppskattas till ca 8 GWh. Vintertid, när utomhustemperaturen understiger cirka -3 °C klarar inte värmepumpen att hålla tillräckligt hög temperatur varvid sekundärnätet uteslutande förses med fjärrvärme.

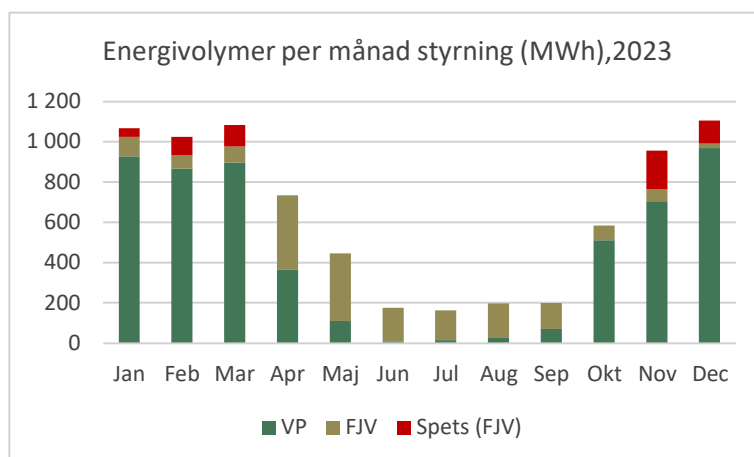
Genom att applicera en flexibel körstrategi hade det varit ekonomiskt lönsamt att ersätta ca 2 GWh, eller 22%, av värmepumpsdriften med fjärrvärme (*Tabell 23*). Likt resultaten från tidigare analyser uppstår merparten av dessa tillfällen under perioden maj-september (*Figur 41*).

Tabell 23. Värmeanvändning fördelat per energikälla under referensfallet och med dynamisk styrning

<i>Energikälla</i>	Referensfall (MWh)	Dynamisk styrning (MWh)
Fjärrvärme, bas	0	1713
Fjärrvärme, Spets	550	550
Värmeproduktion VP	7 184	5 471
Andel flex av årsprod VP		22%



Figur 41. Energianvändning fördelat per energikälla och månad med nuvarande körstrategi



Figur 40. Energianvändning fördelat per energikälla och månad med dynamisk körstrategi

För fastighetsaktören hade den ekonomiska lönsamhetspotentialen uppgått till 9% av de totala värmekostnaderna genom att nyttja en mer flexibel körstrategi baserat på det dynamiskafjärrvärmepriset (*Tabell 24*).

Tabell 24. Energikostnad för referensfallet samt med dynamisk styrning för fastighetsaktör med akvifärvärmepump.

	Referensfall KSEK	Dynamisk styrning KSEK
Kostnad Flexdel	3 420	3 028
Kostnad spetsdel	549	699
Total Kostnad	3 969	3 727
Besparing	0	242
Andel reducerad energikostnad (%)		9%

4.3 Replikerbarhetsnivå 2 Energiflex. Replikerbarhetsmöjligheter på objekt inom Region Skånes fastigheter.

Regionfastigheter förvaltar cirka 1 miljon kvadratmeter fastighetsyta, inklusive åtta sjukhus som präglas av komplexa behov av värme, kyla och el. På flertalet av sjukhusområdena finns motsvarande förutsättningar som för fastighetsbeståndet i Lund; dvs fastigheter som är dubbelanslutna och som har möjlighet att vara flexibla i valet av energikälla, antingen i form av fjärrkyla och lokal kylmaskin eller värmepump och fjärrvärme.



Figur 42 Sjukhusområden i Skåne som förvaltas av Regionfastigheter

En teknisk förutsättning som identifierats under projektets gång och som är avgörande för möjligheten till replikering, är behovet av att kunna samla in data. Detta inkluderar att centralisera insamlingen av mätdata från regionfastigheters samtliga byggnader i en gemensam databas, kallad TDP (Transaktionsdataplattform). TDP möjliggör analys av insamlad data i realtid och har varit en nyckelkomponent för att säkerställa ett säkert och effektivt dataflöde mellan regionens styr- och övervakningssystem och den digitala plattformen.

Utvecklingen av denna molnbaserade lösning har varit avgörande för framgången med piloten hos Regionfastigheter och har även bidragit till att skapa förutsättningar för replikering av modellen till andra objekt inom regionens fastighetsbestånd. Mer detaljerad information om framgångarna med denna lösning återfinns i *Delrapport 3; Testobjekten*.

Replikerbarhetsmöjligheterna av funktionaliteten energiflexibilitet har bedömts genom att identifiera förutsättningarna för respektive sjukhusområde och redovisas nedan.

Lund

Helikopterplattan i Lund är utrustad med en markvärmeslinga som aktiveras vid utomhustemperaturer lägre än 5 °C för att förhindra isbildning. Värmeslingan värms primärt med värmepump, men när denna inte klarar att hålla temperaturbörvärdet nyttjas fjärrvärme som spets. För verksamhetsår 2022 och 2023 uppgick det årliga elbehovet till värmepumpen till ca 55 MWh/år och ett spetslastbehov med fjärrvärme på ca 5 MWh per år.

Då fjärrvärmeanslutningen är dimensionerad för att klara av att förse hela värmebehovet kan den flexibla energivolymen likställas med värmepumpens årliga värmeproduktion, dvs 165 MWh/år, med en antagen COP på 3. Baserat på Krafringens dynamiska fjärrvärmeprismodell och elpriserna för verksamhetsår 2023 hade det funnits en lönsamhet för Regionfastigheter att ersätta upp till 25% av värmepumpens drift med fjärrvärme vilket hade motsvarat en ökad fjärrvärmeleverans med 50 MWh/år och minskat elbehov till värmepumparna med 17 MWh/år.

Baserat på tidigare genomförda studier uppskattas lönsamhetspotentialen uppgå till mellan 2–10 % för verksamhetsår 2023. Även om energivolymerna är relativt små och lönsamheten i absoluta tal är begränsad, bedöms det finnas goda möjligheter för replikering. Detta beror på att arbetsinsatsen för driftsättning är liten, då e-Flex redan är implementerat inom sjukhusområdet i Lund. Innan beslut om vidare replikering tas bör en mer ingående potentialstudie, med timupplöst förbrukningsdata genomföras.

Helsingborg

Sjukhusets östra flygel är i dagsläget dubbelansluten, med en frånluftsvärmepump och en fjärrvärmeanslutning. Värmepumpen återvinner energi från frånluften i sjukhusområdets lågdelar och levererar komfortvärme till den östra flygeln. Precis som i testobjekt 5 styrs värmepumpen av en statisk tidkanal, vilket innebär att den är i drift från den 1 november till den 30 april. Den är dimensionerad för att täcka hela det årliga värmebehovet i östra flygeln, som uppgår till cirka 250 MWh, och har en beräknad årsverkningsgrad (SCOP) på cirka 3,5.

En liknande systemlösning skulle kunna implementeras för en annan flygel på sjukhusområdet, med ett totalt värmebehov på cirka 700 MWh per år. Detta skulle dock kräva en betydande investering på upp till 2,5 miljoner kronor.

Baserat på Krafringens produktionsmix och dynamiska prissättningsmodell bedöms det finnas en ekonomisk potential att med hjälp av en e-Flex-styrning flytta upp till 25 % av energivolymen från frånluftsvärmepumpar till fjärrvärmeproduktion. Med en total kapacitet för de två frånluftsvärmepumparna på 1 GWh per år skulle detta motsvara att 250 MWh av värmelasten överförs från värmepumpsdrift till fjärrvärmedrift, med ett reducerat elbehov på 70 MWh som följd. Den årliga ekonomiska lönsamhetspotentialen för Regionfastigheter uppskattas till cirka 2–10 % baserat på den dynamiska prissättningsmodellen som nyttjats inom e-Flex.

Kristianstad

För Kristianstads sjukhusområde hade det funnits goda förutsättningar till replikering av energiflexibilitetskonceptet då en av sjukhusområdets större byggnader är dubbelanslutna med en akvifärvärmepump och fjärrvärmeanslutning. De båda energikällorna har idag en årsproduktion av värme på ca 7-9 GWh vardera. Värmepumpens årsverkningsgrad (SCOP) uppskattas till cirka 3,5.

De båda energikällorna styrs idag statiskt med en förutbestämd tidkanal, så det bör finnas goda möjligheter till en mer flexibel körstrategi baserat på e-Flex konceptet. Hur stor andel av lasten som det finns ekonomisk potential att vara flexibel i beror framförallt på Kristianstads energibolag, C4 Energi, produktionsmix och deras möjlighet att utforma en dynamisk prismodell för fjärrvärme. Om samma förutsättningar hade gällt som för Krafringen hade det funnits en lönsamhet i att flytta ca 10% av värmeuttaget från akvifärvärmepump till fjärrvärme, dvs ca 700-900 MWh/år. Lönsamhetspotential hade uppgått till 2-10%, om e-Flex prismättningsmodell nyttjats.

Malmö

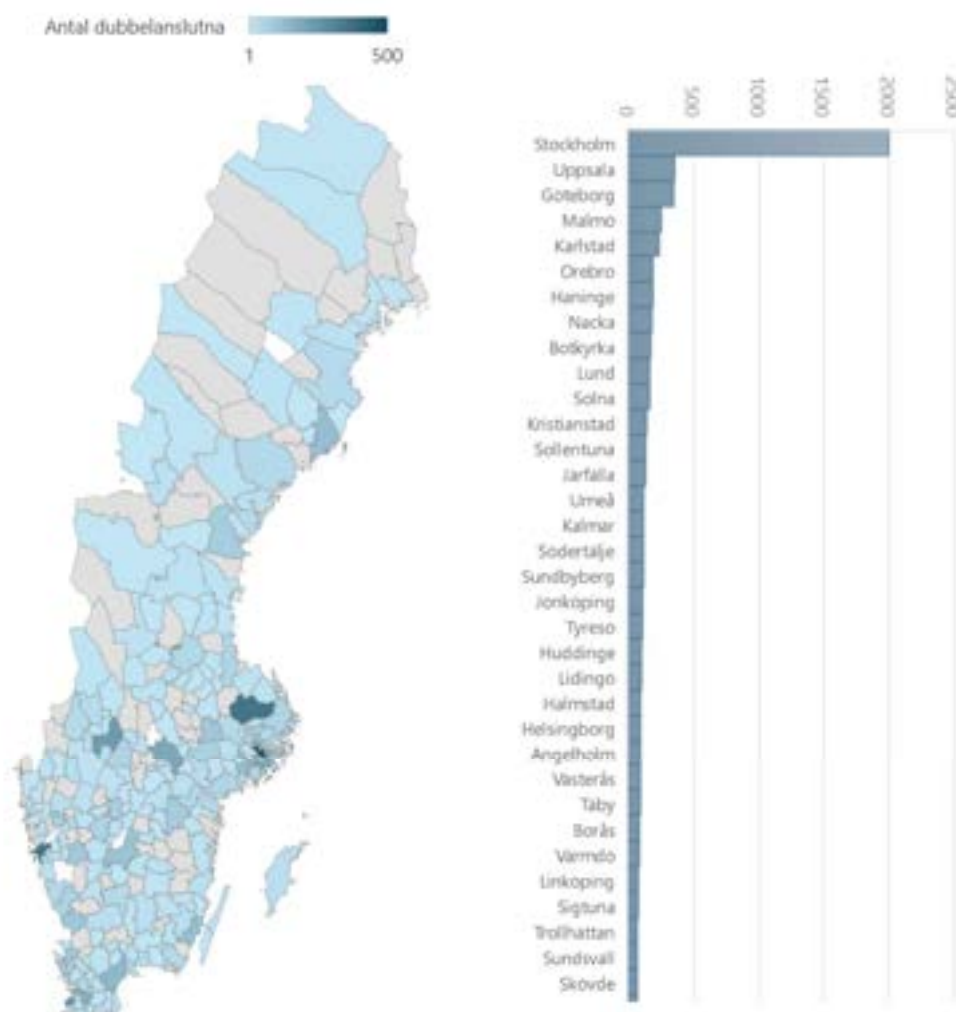
Malmö sjukhusområde har flera fastigheter med dubbelanslutning, där både lokala kylmaskiner och fjärrkyla samt värmepumpar och fjärrvärme används. Den flexibla energivolymen som kan överföras mellan olika energislag uppskattas preliminärt till minst 500 MWh per år. För att fastställa denna volym och den teoretiska lönsamhetspotentialen krävs en mer detaljerad analys.

En av grundförutsättningarna för att kunna replikera konceptet e-Flex är att slutanvändare är dubbelansluta till fjärrvärme och värmepump. Resultat från analys av energideklarationer (se *Tabell 25*) visar på att ca 5% av alla flerbostadshus i Sverige är dubbelanslutna idag och att denna siffra har fördubblats de senaste 10 åren. De allra flesta dubbelanslutna flerbostadshus finns i Stockholm tätt följt av övriga större städer i Sverige (*Figur 43*).

Tabell 25: Antal and andel dubbelanslutna flerbostadshus i Sverige

	2010-2014	2020-2024
Antal dubbelanslutna	3063	8950
Andel dubbelanslutna (antal)	2,3 %	4,96 %
Andel dubbelanslutna (Yta , Atemp)	3,98 %	9,51 %

Antal flerfamiljhus som är dubbelanslutna per kommun (2020 - 2024)



Figur 43. Dubbelanslutna flerbostadshus i Sverige 2024

Den teoretiskt maximala mängden energi som kan flexas genom e-Flex baseras i huvudsak på värmepumpens energitäckning av byggnadens årliga värmebehov. Detta utgår från en driftsstrategi i dubbelanslutna fastigheter, där värmepumpen fungerar som baslast medan fjärrvärme används för att täcka spetslastbehovet. En analys av de aggregerade energimängderna från energideklarerade, dubbelanslutna flerbostadshus i Sverige visar att cirka 52 % av den totala energin (motsvarande 1274 GWh) levereras av värmepumpar idag. (Se Tabell 26)

Den vanligaste värmepumpsteknologin i den här typ av fastigheter i Sverige är frånluftsvärmepumpar (FVP), följt av mark- eller bergvärmepumpar (MVP) och i mindre utsträckning luft-vattenvärmepumpar (LVP).

Tabell 26: Summerad data energideklARATIONER dubbelanslutna flerbostadshus i Sverige 2024

	FVP	LVP	MVP	FJV	Direkt el
El till uppvärmning (GWh)	214	15	92		4
Antagen SCOP	4.02	3	4.02		
Energi till uppvärmning (GWh)	860	45	370	1 160	4
Andel	35 %	1,8 %	15 %	48%	0,2%

Den ekonomiska lönsamheten för att utnyttja flexibilitet inom e-Flex beror på de specifika egenskaperna hos det fjärrvärmenät som fastigheten är ansluten till samt de prismodeller som tillämpas. Baserat på antaganden som motsvarar förhållandena i Krafringens fjärrvärmenät, beräknas det att cirka 19 % av frånluftsvärmepumparnas (FVP) kapacitet, 24 % av luft-vattenvärmepumparnas (LVP) kapacitet och 11 % av mark- och bergvärmepumparnas (MVP) kapacitet skulle kunna flexas lönsamt mot fjärrvärme.

Om dessa andelar appliceras och summeras nationellt för Sverige år 2024, motsvarar detta en potentiell flexpotential på cirka 215 GWh.

5 Utblick jämfört med andra initiativ

I projektet e-Flex har tre olika erbjudanden testats och utvärderats, Elflex, Värmeflex och Energiflex. Detta stycke ger en övergripande bild av liknande lösningar för respektive erbjudande.

5.1 Elflex

Elfex handlar om att frigöra eleffekt i syfte att minska risken för övertrassering mot överliggande nät samt att minska eller flytta investeringsbehov i elnätet på framkant. Det finns idag en uppsjö av erbjudanden för olika kundsegment som syftar till lastutjämning.

Det finns erbjudanden för energiproducerande bolag, som syftar till produktions- och distributionsoptimering vilka bland annat har frigjord elektrisk effekt som ett av utfallen.

För industri och näringsliv finns det tjänster som bland annat syftar till lastutjämning av eleffektbehovet i verksamheten. Det finns även erbjudanden till BRF:er och hushåll, som ger slutanvändarna incitament att styra om förbrukning i tid. Marknaden för den här typen av erbjudanden är omfattande, i ständig förändring och fortfarande växande. Leverantörer av dessa typer av erbjudanden är både klassiska energibolag med eget ägande av fysisk energiinfrastruktur, större tillverkande industriföretag, med mjukvarulösningar som kompletterande erbjudande, konsultföretag med egenutvecklad eller licenserad mjukvara samt energilösningss företag med olika hård- och/eller mjukvara.

Mot bakgrund av detta står därför Elfex-erbjudandet inom e-Flex i konkurrens med liknande erbjudanden på den globala marknaden. Gällande aggregator-rollen på lokal nivå, i syfte att kunna aggregera laster till andra effektmärknadsplatser har det lokala elnätsbolaget alltid en unik position, och så klart även den enda som har möjlighet att upprätta en egen flexmarknad i sitt lokala nät.

5.2 Värmeflex

Värmeflex innebär ett erbjudande med laststyrning på värmesidan, som både leder till minskade värmekostnader för kund och till ett mer optimerat och resurseffektivt fjärrvärmenät. Många fjärrvärmebolag håller för tillfället på att lansera olika erbjudanden kopplat till värmestyrning. Några av dessa sammanställs i Energiforskrapporten *”Kundorienterad utveckling av erbjudanden för efterfrågefleksibilitet i fjärrvärmenätet”*.

Precis som för elflex så ökar antalet erbjudanden i hög takt, dock är marknaden mer fragmenterad på grund av fjärrvärmens naturliga monopol. Det är dock viktigt att notera att flertalet tredjepartsaktörer erbjuder olika värmestyrningssystem med det primära syftet att optimera byggnaders värmetillförsel. e-Flex Värmeflex-erbjudande står därför i direkt eller indirekt konkurrens med dessa system. För att skapa en nytta för fjärrvärmenätet, exempelvis genom att minska topplasteffektuttaget, krävs en integration mellan fastighetsägarens interna optimeringssystem och energibolagets övergripande optimeringssystem, vilket särskiljer Värmeflex från tredjepartsleverantörer av interna fastighetsautomationssystem.

För energibolaget finns ett tydligt incitament att erbjuda en helhetslösning som möjliggör byggnadsintern optimering i kombination med en systemkoppling till det egna optimeringssystemet. Många energibolag arbetar för närvarande med storskaliga uttullningar av denna typ av lösningar, varav några exempel listas nedan.

EON, CESO

E.ON:s programvara **CESO** (Central Energy System Optimization) är utvecklad för att möjliggöra effektstyrning av fjärrvärmecentraler. Den utnyttjar byggnadernas termiska tröghet för att sänka energileveransen under effekttoppar utan att påverka inomhuskomforten. Till skillnad från e-Flex har större fokus lagts på att uteslutande reducera spetslastbehovet i fjärrvärmenätet, snarare än att vara en aktiv del av den dagliga produktionsoptimeringen samt att optimera fastigheternas värmestyrning. Att styrningen inte är lika aktiv som e-Flex framgår i E.ON-rapporten "*Rapport effektstyrning säsong 2023/24*", där det anges att tjänsten varit aktiv 125 gånger under perioden september 2023 till maj 2024. Detta kan jämföras med Värmeflex-styrningen, som varit aktiv i totalt 598 timmar under samma period.

I sitt standardutförande är tjänsten kostnadsfri för fastighetsägare. Det bör dock påpekas att standarderbjudandets primära syfte är att reducera effekttoppar i fjärrvärmenätet, snarare än att optimera kundens värmetillförsel och skapa en jämnare komfortnivå. Denna funktion kan dock läggas till som en extratjänst inom produkterbjudandet SmartKomfort.

Programvaran inkluderar rumsgivare och prognoser för energianvändning, vilket hjälper fastighetsägare att sänka uppvärmningskostnaderna i kombination med CESO, som minskar behovet av spetslast. Lösningen kan användas både för befintliga och nya installationer och är en del av E.ON:s bredare strategi för att erbjuda digitala verktyg som ger kunderna ökad kontroll över sin energianvändning och främjar en mer hållbar energiomställning.

Göteborg energi, Flextrusprojektet

Flextrus-projektet, där Göteborg Energi samarbetar med NODA och Kamstrup, är ett av Sveriges största digitaliseringsinitiativ inom fjärrvärme. Projektet syftar till att förbättra flexibiliteten i fjärrvärmenätet genom att koppla samman cirka 6000 byggnader. Genom att använda AI-baserad teknologi och Kamstrups plattform "Heat Intelligence" optimeras energianvändningen och möjligheten till effektstyrning under perioder med hög belastning.

Med hjälp av styrningen möjliggörs en mer effektiv energihantering, minskade kostnader och förbättrad klimatprestanda. Dessutom bidrar projektet till att skapa ett mer robust system för att möta framtida utmaningar inom energiförsörjning och elektrifiering.

Exempel på andra energibolag som jobbar med storskalig effektstyrning:

- Sthlm exergi (Intelligy)
- Tekniska verken (Intelligy)
- Vattenfall
- Jönköping energi
- Halmstad energi

5.3 Energiflex

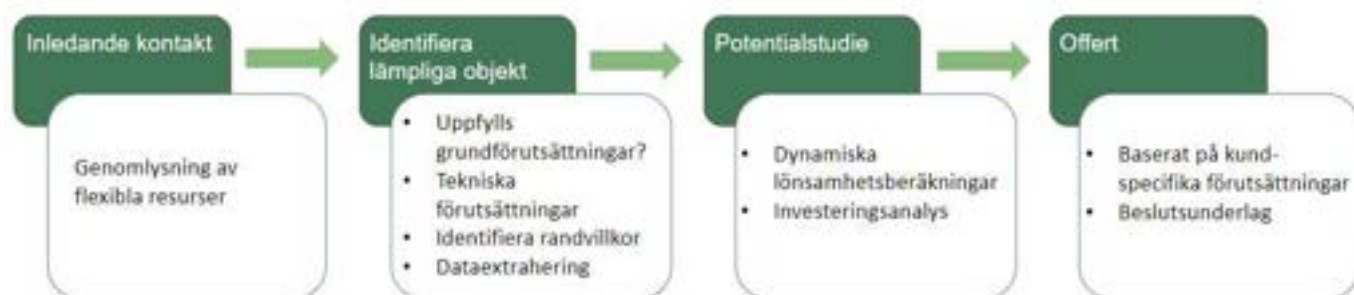
Det finns idag tjänster på marknaden som styr valet av energibärare baserat på fastighetsägarens kostnadsperspektiv. Dessa tjänster tar ingen hänsyn till systemperspektivet, vilket är förväntat eftersom de saknar signaler som informerar om det aktuella läget i det överliggande energisystemet. För att skapa verklig systemnytta genom de sektorskopplingar

som finns i dubbelanslutna fastigheter krävs införandet av rörliga prismodeller som speglar situationerna i respektive energisystem. Eftersom inget energibolag i dagsläget har utvecklat detta är e-Flex unikt i sitt slag på den svenska värmemarknaden.

6 Tillvägagångssätt för replikering

I tidigare avsnitt har det framgått att möjligheterna för replikering av funktionaliteterna energiflexibilitet och värmeflexibilitet är goda. Tillvägagångssättet för att ansluta nya kunder till e-Flex följer samma arbetsmetodik som användes inom e-Flex-projektet i stort, *Figur 44*. Först genomförs en översyn i samråd med fastighetsägaren för att identifiera vilka flexibla resurser som finns tillgängliga. Dessa resurser kan antingen bestå av fastigheter med fjärrvärme, där effektstyrning kan tillämpas, eller dubbelanslutna fastigheter som är lämpade för energiflexibilitet. Oavsett vilken funktionalitet som tillämpas behöver först randvillkoren för den flexibla resursen fastställas. För Värmeflex handlar det om hur mycket inomhustemperaturen får påverkas vid en effektstyrning samt vilken måltemperatur som skall hållas. Då Energiflex skall tillämpas utgörs randvillkoren av: COP på värmepumpen, minsta drifttid per starttillfälle, elhandelsavtal och liknande.

När detta är gjort, utförs en förenklad potentialstudie för att simulera den ekonomiska besparingspotentialen som e-Flex kan medföra. Vidare genomförs en fördjupad utredning om eventuella programmeringsbehov av befintlig styr- och reglering i fastighetsautomationssystemet. Slutligen lämnas en offert till fastighetsägaren.



Figur 44. Arbetsmetodik vid anslutning av nya fastigheter till e-Flex.

7 Diskussion och slutsatser

Denna rapport visar på stora möjligheter för replikering av funktionaliteterna värmeflexibilitet och energiflexibilitet. Med ett allt mer väderberoende energisystem ökar behovet av en holistisk optimering som integrerar fastigheter som en del av det övergripande energisystemet, snarare än att optimera dem isolerat.

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 istället 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. Det är dock viktigt att poängtera att energibolagen bör ha starka ekonomiska incitament att anpassa sina affärsmodeller. Affärsmodeller som i högre grad speglar förutsättningarna i det övergripande energisystemet möjliggör en ökad volymförsäljning av fjärrvärme och fjärrkyla vid strategiskt rätt valda tillfällen.

För att möjliggöra snabb replikering och främja systemövergripande optimering är det en nödvändighet att nya affärsmodeller utvecklas som skapar incitament för fastighetsägare och energibolag att anamma mer flexibla körstrategier. Analyserna i rapporten 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.

7.1 Värmeflexibilitet

Idag finns det en stor outnyttjad potential i form av byggnaders värmetröghet inom fjärrvärmenätet. Dessa byggnader kan liknas vid tusentals små ackumulatortankar och utgör därmed en värdefull resurs för daglig produktionsoptimering. Flera energibolag i Sverige håller på att lansera tjänster liknande de som utvecklats inom e-Flex, men många av dessa fokuserar främst på att minska behovet av spetslast. Genom att inkludera fastigheter i den dagliga produktionsoptimeringen kan man åstadkomma en mer heltäckande optimering som även reducerar behovet av mellanlast.

Det finns dessutom flera andra fördelar med att integrera fastigheter i produktionsoptimeringen. Sektioneringen av fjärrvärmenätet förbättras, eftersom lösningen gör det möjligt att dela upp nätet i flera styrenoder, vilket i sin tur underlättar övervakning. Vid planerade driftavbrott, oavsett om de gäller produktion eller distribution, kan delar av fjärrvärmenätet styras bort på ett kontrollerat sätt. På så vis kan kontrollerade driftavbrott genomföras i delar av fjärrvärmenätet samtidigt som önskvärd inomhustemperatur kan säkerställas.

Denna indelning i noder skapar också möjligheter för energibolag att optimera framledningstemperaturen i fjärrvärmenätet. Genom att använda hela nätet, inklusive uppkopplade byggnader, som en termisk ackumulator kan man exempelvis förladda fastigheter längst ut i nätet med billigare produktion inför en kommande köldperiod. Detta säkerställer att inomhustemperaturen i fastigheterna är tillräckligt hög när kylan väl slår till,

vilket möjliggör att framledningstemperaturen kan hållas på en lägre nivå om det är en tillfällig köldperiod. En sänkt framledningstemperatur leder till minskade distributionsförluster och kan även eliminera behovet av att starta lokala spetslastenheter.

En betydande del av e-Flex bygger på väl beprövad teknik, vilket varit en framgångsfaktor för projektet. Både Energy Opticons programvara, som utgör basen för e-Flex, och fastighetsstyrsystemet från NODA har funnits på marknaden i många år och genomgått omfattande utveckling under tiotalet år. e-Flex har framför allt fokuserat på att integrera dessa två system för att skapa en helhetsoptimering som gynnar både fastighetsägare och energibolag. Denna integration har dock krävt utvecklingsinsatser, då det är avgörande att de flexibla resurserna, i form av uppkopplade byggnader, är en integrerad del av produktionsoptimeringssystemet. En kontinuerlig iteration mellan systemen är nödvändig, eftersom de flexibla resurserna fungerar som en virtuell produktionsenhet där tillförlitligheten av tillgänglig flexibilitet i fjärrvärmenätet spelar en central roll.

För att effekttstyrning ska ha en märkbar nytta inom produktionen krävs att ett brett urval av fastigheter ansluts till tjänsten. Detta förutsätter att den systemlösningen är både enkel och kostnadseffektiv att implementera i stor skala. Den enklaste lösningen hade varit att tillhandahålla dynamiska styrsignaler via exempelvis en hemsida, så att oavsett vilket styrsystem fastigheten har kan de optimera sin värmeförsörjning baserat på dessa. Liknande utveckling har redan skett inom värmepumpsbranschen, där många moderna värmepumpar kan optimera värmeförsörjningen baserat på en API koppling till Nordpool-spotpriser.

Mot denna bakgrund genomfördes en separat pilotstudie på en av Regionfastigheters byggnader med syftet att utvärdera möjligheten att styra fjärrvärmecentralen baserat på timpriser på fjärrvärme. Trots en lovande idé visade det sig att konceptet inte var lika väl lämpat för fjärrvärmebranschen som för värmepumpar. Den huvudsakliga orsaken är den termiska trögheten i fjärrvärmenätet. Från det att värme produceras i en anläggning tills den når fastighetsägaren kan det dröja upp till sju timmar. Detta leder till en tidsmässig förskjutning mellan marginalproduktionskostnaden och toppeffektuttaget i fjärrvärmenätet. Nattetid kan marginalproduktionskostnaden vara högre, då spetslastenheter måste startas för att förladda ackumulatortanken. Detta för att kunna möta morgontimmarnas toppeffektuttag. En styrning av kunderna baserat på ett dynamiskt fjärrvärmepris som speglar marginalkostnaderna skulle därför sannolikt ha begränsad effekt för att minska toppeffektuttaget på morgonen. I värsta fall kan motsatt effekt uppstå: om byggnader urladdas nattetid på grund av ett högre pris, ökar behovet av laddning på morgonen, vilket ytterligare förstärker toppeffektuttaget.

En annan nackdel med denna metod är oförutsägbarheten i kundernas beteende. Vissa kunder kan, på grund av starka ekonomiska drivkrafter, styra sina fastigheter hårdare (t ex godta större avvikelser från normal innetemperatur), medan andra kan kräva större prisskillnader för att motivera en påverkan på inomhuskomforten. Denna osäkerhet gör att fastigheterna inte kan betraktas som en pålitlig resurs i den dagliga optimeringen.

Styrkonceptet som utvärderades inom EBO:s fastighetsbestånd var av en mer traditionell effekttstyrningskaraktär där uppkopplade fastigheter integrerades i den dagliga optimeringen. Resultaten visar att utfallet blev ungefär som förväntat. Visserligen var styrförmågan lägre än förväntat, men själva styrtillfällena skedde vid rätt tillfällen, främst under toppeffektbehov i fjärrvärmenätet. Med en bred implementering kan denna tjänst bidra till en sänkt

energikostnad för slutanvändaren med ett reducerat topplasteffektuttag i fjärrvärmenätet vid rätt valda tillfällen. Därigenom minskas behovet av dyrare produktionsenheter, vilket är styrkonceptets huvudsakliga målsättning.

Med längre testperioder kommer det bli möjligt att finjustera modellen ytterligare, vilket bör öka styrförmågan och besparingspotentialen inom fjärrvärmeproduktionen. Intresset från fastighetsaktörer i Lund och Eslöv indikerar att en snabb replikering av tjänsten är möjlig.

Det har varit svårt att exakt beräkna de kostnadsbesparingar som uppstår inom fjärrvärmeproduktionen under utvärderingsperioden, eftersom en större styrbar last krävs för att se ett direkt utfall på produktionsenheterna till följd av styrningen. Dock bör, som tidigare nämnts, varje minskad kWh på marginalen betraktas som en ekonomisk besparing om lasten kan flyttas till perioder med billigare produktion.

7.1.1 Replikerbarhetsmöjligheter

Den genomförda piloten inom EBO:s fastighetsbestånd har visat att det är möjligt att snabbt skala upp den utvecklade systemlösningen till ett brett kluster av fastigheter inom Krafringens verksamhetsområde. För närvarande installeras tjänsten i delar av Lunds Kommuns Fastighetsbolag (LKF) och i Eslövs kommuns fastighetsbestånd. Även dessa installationer har varit framgångsrika, där steget från installation till driftsättning har visat sig vara smidigt och utan större hinder.

Vid en replikering till andra energibolag krävs att motsvarande systemkonfiguration implementeras. Varje fastighet måste utrustas med ett smart styrsystem som kan generera prognoser över tillgänglig flexibilitet. Dessa prognoser behöver sedan kommuniceras till energibolagets produktionsoptimeringssystem, så att flexibiliteten integreras i den dagliga produktionsoptimeringen och produktionsplaneringen.

Produktionsoptimeringssystemet måste även ha en teknisk kapacitet som säkerställer att flexibiliteten utnyttjas vid rätt tillfällen. Detta är avgörande för att undvika suboptimering och säkerställa att resursen används på ett sätt som gynnar hela systemet.

7.2 Energiflexibilitet

Replikerbarhetsstudien visar på ett väldigt tydligt mönster: antalet fastigheter som har både en fjärrvärmeanslutning och värmepumpsanslutning ökar i snabb takt. Denna ökning tros bestå för flerfamiljshus, bland annat med hänsyn till att det med Boverkets Byggregler är lättare att erhålla en bättre energiklass då värmepumpar installeras. Utan en e-Flex styrning riskerar dessa kunder att skapa suboptimeringar i överliggande energisystem. Under vår, sommar och höst när andelen överskottsvärme i fjärrvärmenätet är förhållandevis hög nyttjar dessa kunder inte fjärrvärme. Detta kan ses som ett resursslöseri då det i värsta fall kan resultera i att bristen på avsättning av överskottsvärme kan resultera i att fjärrvärmebolagen behöver kyla bort värmen. Traditionellt sett har dessa fastigheter endast nyttjat fjärrvärme som en ren spetslastförsörjning, för att täcka den kapacitetsbegränsning som typiskt uppstår under vintertid för dessa fastigheter. Dessa tillfällen sammanfaller vanligtvis med fjärrvärmebolagets behov av att starta spetslastproduktion. Detta är en utmaning rent finansiellt då fjärrvärmebolagen sällan har affärsmodeller som återspeglar den verkliga produktionskostnaden av spetslastproduktion. Det vill säga, för fjärrvärmebolaget kan det vara en ren förlustaffär att sälja mer fjärrvärme under dessa tillfällen.

Genom att istället styra dessa fastigheter baserat på dynamiska styrsignaler, som återspeglar produktionskostnaderna, är det möjligt att säkerställa att rätt energikälla används vid rätt tidpunkt. Då tillgängligheten av billig restvärme är god, är det ur ett rent resursperspektiv mer fördelaktigt om fjärrvärme nyttjas istället för lokal värmepump. För fastighetsägaren innebär det även en möjlighet till reducerade energikostnader, vilket tydligt framgick i replikerbarhetsstudien.

7.2.1 Replikerbarhetsmöjligheter

Merparten av replikerbarhetsstudien har genomförts på flerbostadshus, men potentialen bedöms även vara stor för kommersiella fastighetsaktörer. Dessa aktörer hanterar ofta betydligt större energivolymer och har vanligtvis djupare teknisk kompetens inom styr- och reglerteknik, vilket underlättar en smidig installation. Dessutom har kommersiella fastighetsbolag ofta ambitiösa hållbarhetsmål, som att minska koldioxidutsläpp eller primärenergianvändning. Eftersom e-Flex möjliggör en direkt påverkan på dessa parametrar bedöms lösningen vara särskilt attraktiv för denna kategori av aktörer.

Replikeringsmöjligheterna för e-Flex i Sverige är goda, men framgången beror till stor del på varje enskilt energibolags förmåga att implementera systemet. Ett avgörande steg för vidare replikering är att säkerställa att dynamiska styrsignaler finns på plats, eftersom dessa skapar incitament för fastighetsaktörerna att anamma flexibla energilösningar. Utan sådana signaler saknas drivkraft för fastighetsägare att delta i projektet, vilket begränsar systemets spridning.

Om e-Flex implementerades i större skala över hela Sverige skulle det kunna ge betydande fördelar för det övergripande energisystemet. Prognoser visar att det svenska elbehovet förväntas fördubblas fram till 2035 som en följd av den gröna omställningen. Genom att avlasta elnätet till förmån för fjärrvärme under kritiska timmar skulle e-Flex kunna minska belastningen på elnätet och bidra till en mer effektiv planering av ny elinfrastruktur. Detta skulle inte bara främja en mer robust energiförsörjning utan också förbättra samhällsekonomin.

7.3 Arbetsmetodik

Tillämpad arbetsmetodik inom e-Flex projektet 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.

8 Konklusioner

- Värmeflexibilitet skapar förutsättningar för storskalig effektstyrning, vilket minskar toppeffektuttaget i fjärrvärmenätet och bidrar till lägre produktionskostnader.
- Värmeflexibilitet leder till lägre energikostnader för fastighetsägare och fjärrvärmeproducent samt en jämnare inomhustemperatur.
- Dynamiska prissignaler minskar risken för suboptimering inom energisystemet.
- Funktionaliteten Energiflex möjliggör en sektorskoppling och tillika optimering av energilösningar bestående av el och värme/kyla
- Fastighetsägare som kan vara flexibla i valet av energikälla har goda möjligheter att minska sina värme och/eller kylakostnader
- Den framtagna systemlösningen för både värme- och energiflexibilitet bedöms ha hög replikerbarhet inom Krafringens verksamhetsområde och nationellt.
- För att möjliggöra replikering till andra energibolag krävs en liknande systemlösning som e-Flex och affärsmodeller som främjar ökad flexibilitet.

9 Bilaga

Bilaga 1. Effektbehov för storkunder (>300 MWh/år) fördelat per utomhustemperatur

Tabell 1, Visar effektbehovet beroende av utomhustemperaturen för storkunder >300MWh/ år. Storkunderna består av samtliga storkunder exklusive Lasarettet, LKF, LF, EBO samt heat building-kunder.

T (°C)	STORKUNDER >300MWH/ÅR (MW VÄRME)	20% AV VÄRMELAST (MW)	LKF, LF, EBO, HEAT BUILDING (MW VÄRME)	TOT PRODUKTION NÄT (MW)
-13	99	54	45	285
-12	95	52	43	276
-11	92	51	42	267
-10	88	49	41	258
-9	84	47	39	249
-8	80	46	38	240
-7	77	44	36	231
-6	73	42	35	222
-5	69	41	34	213
-4	65	39	32	204
-3	62	37	31	195
-2	58	36	29	186
-1	54	34	28	177
0	51	32	27	168
1	47	30	25	159
2	43	29	24	150

Bilaga 2. Energibesparing fastighet 1-22 med NODA styrning för EBO.

Fastighet	Total energianvändning NY NÅK 2021	Total energianvändning NY NÅK 2023	Förändring 2023 jmf 2021 NY NÅK total %
Fastighet 1	312	314	1%
Fastighet 2	426	424	0%
Fastighet 3	590	535	-9%
Fastighet 4	284	285	0%
Fastighet 5	368	347	-6%
Fastighet 6	542	507	-7%
Fastighet 7	662	549	-17%
Fastighet 8	99	97	-2%
Fastighet 9	129	131	1%
Fastighet 10	842	880	4%
Fastighet 11	528	644	7%
Fastighet 12	840	894	6%
Fastighet 13	230	148	-36%
Fastighet 14	267	252	-6%
Fastighet 15	355	437	23%
Fastighet 16	227	205	-9%
Fastighet 17	163	169	4%
Fastighet 18	213	397	87%
Fastighet 19	256	148	-42%
Fastighet 20	663	604	-9%
Fastighet 21	441	446	1%
Fastighet 22	537	523	-3%
Totalt	8 661	8 622	

Besparing

-40

-0,5%

Bilaga 3.Effektbehov Regionfastighet TO4 med och utan NODA styrning

<i>Utomhus Temperaturintervall (°C)</i>	<i>Effektbehov referensår 2021 (utan NODA)</i>	<i>Medeleffektstyr per sekvens, 2023 med NODA (MW)</i>	<i>Andel av total värmeeffektbehov (%)</i>	<i>Total bortstyrd volym (MWh)</i>
<-10	3,9	0,3	9%	- 5
-8≤-10	3,7	0,4	12%	-0
-6≤-8	3,4	0,1	2%	-1
-4≤-6	3,2	0,2	6%	-1
-2≤-4	2,9	0,2	7%	-5
0≤-2	2,7	0,3	9%	-10
0≤2	2,4	0,5	19%	-28
2≤4	2,2	0,5	22%	-37
4≤6	1,9	0,4	23%	-47
6≤8	1,7	0,5	28%	-29
8≤10	1,5	0,4	29%	-16
>10	1,2	0,2	13%	-25
Totalt	2,6	0,3	13%	-204

<i>Utomhus Temperaturintervall (°C)</i>	<i>Totalt antal timmar</i>	<i>Varav antalet styrtimmar</i>	<i>Andel styrtimmar av total</i>
<-10	59	14	24%
-8≤-10	52	1	2%
-6≤-8	91	7	8%
-4≤-6	105	4	4%
-2≤-4	153	23	15%
0≤-2	409	39	10%
0≤2	695	62	9%
2≤4	858	78	9%
4≤6	857	105	12%
6≤8	708	62	9%
8≤10	590	38	6%
>10	1961	165	8%
Totalt	6538	598	9%