

Energimyndighetens titel på projektet – svenska THERMO-S ARE, världens första digitala fjärrvärmenät - fossilfritt alpint VM2019	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska THERMO-S ARE, worlds first digital district heating – fossil free Alpine WC2019	
Universitet/högskola/företag Ngenic AB	Avdelning/institution
Adress Kungsgatan 41, 753 21 Uppsala	
Namn på projektledare Anders Nygren	
Namn på ev övriga projektdeltagare Jämtkraft AB	
Nyckelord: 5-7 st Digitalisering, Fjärrvärme, Spetslast, Peak-shaving, Energieffektivisering, Laststyrning	

## Förord

Projektet, med avsikt att undersöka hur digitala tjänster kan vara ett alternativ till investeringar i infrastruktur, startade 2018. Projektet har finansierats av Energi-myndigheten, Jämtkraft AB och Ngenic AB och en referensgrupp med 10 branschrepresentanter har träffats och de har ställt frågor och givit värdefull input till fortsatt arbete.

Resultaten på de frågeställningar som sattes upp har med marginal uppnått förväntningarna, målen. Projektdeltagarna, Ngenic och Jämtkraft, har analyserat dessa och därefter beslutat att gå vidare med en större kommersiell implementation och fortsätta utvecklingen av de funktioner, tjänster, som projektet verifierat.

Kunder i Åre har, genom ovan beskrivna finansiering, fått möjlighet att kostnadsfritt prova Smart värme Fastighet, och på ett nytt sätt styra värmen i sin fastighet och samtidigt ha möjligheten att spara energi. Eftersom kunder har installerat utrustningen har projektet kunnat utföra tester, prova hypoteser och slutligen redovisa resultat.

Resultat från projektet har kontinuerligt presenterats vid ett flertal publika och privata informationstillfällen där allt ifrån branschföretag, myndigheter, politiker m.fl. har deltagit.

## Innehållsförteckning

Förord.....	1
Innehållsförteckning .....	2
Sammanfattning .....	2
Summary .....	3
Inledning/Bakgrund .....	4
Genomförande .....	5
Initiala förberedelser .....	5
Integration .....	6
Driftsättning av styrning och test. ....	6
Utveckling av intelligenta algoritmer för automatisk laststyrning .....	6
Analys och resultatutvärdering .....	6
Spridning.....	6
Resultat .....	6
Datavalidering.....	7
250 MWh minskad spetslast med olja .....	9
Minskning av varmvattenberoende laständringar på baslastpannan.....	10
Laststyrning ger lägre returtemperatur.....	12
Det går att leverera till fler kunder med nuvarande produktionskapacitet.....	13
Laststyrning och komfortförbättring går hand i hand.....	18
Övriga resultat och lärdomar .....	18
Diskussion.....	19
Ny insikt: Minskad bränsleförbrukning fastbränslepanna FB2 .....	20
Paradigmskifte – digitalisering kan ersätta traditionella metoder .....	20
Publikationslista.....	21
Referenser, källor.....	21
Bilagor .....	21

## Sammanfattning

Projekt ”THERMO-S ARE, världens första digitala fjärrvärmenät - fossilfritt alpint VM2019” har varit i det närmaste en succé. Det övergripande målet, eller visionen, dvs. att det går att lösa många av dagens problem med digitala produkter och tjänster, har uppfyllts. Resultat och data från faktisk drift i Jämtkrafts fjärrvärmenät i Åre, med digitala produkter tjänster, har visat att det går att kombinera miljömål som energieffektivisering och resursoptimering med kundnytta och bibehållen komfort.

Efter utvärdering av resultaten har projektdeltagarna, Ngenic och Jämtkraft, beslutat att gå vidare med en större kommersiell implementation och fortsätta utveckling av de funktioner, tjänster, som verifierats.

Fjärrvärmen är idag under en snabb utveckling. Samma utmaning som elnäten idag utsätts för, dvs. ett ojämnt effektbehov, kan vi hitta i fjärrvärmenät. Lösning är ofta investeringar i dyr nätinfrastuktur i stället för att hantera flaskhalsar med hjälp av nya typer av produkter och tjänster i näten, man är ”van” att göra så. Projektet avsåg visa att digitalisering och nya tjänster i näten är alternativ och/eller komplement till investeringar i infrastrukturer. Genom att digitalt ytterligare driftoptimera produktion och nät för bästa verkningsgrad på biomassaproduktion

skulle dyrare bio-oljeeldning för spetskraft och investeringar i infrastruktur kunna undvikas, ett minskat klimatavtryck för fjärrvärmen.

Utmaningarna ovan formulerades till 11 st mål med avsikt att undersöka om det är möjligt att uppfylla det övergripande målet, att det går att lösa många av dagens problem med digitala produkter och tjänster. Ett av målen ströks tidigt och av de övriga 10 målen uppfylldes 8 till fullo och 2 mål till största delen och verifiering av både ekonomiska och klimatmässiga vinster visades.

Fastighetsägare i Åre har genom att prova ”Smart värme Fastighet” och på ett nytt sätt styra värmen i sin fastighet bidragit till att; tester genomförts, hypoteser provats, data analyserats och resultat slutligen kunnat redovisas. Resultat som verifierar de möjligheter digitalisering Jämtkraft och Ngenic avsåg visa när projektet startades.

## Summary

The project "THERMO-S ARE, worlds first digital district heating – fossil free Alpine WC2019" has been a success. The overall goal, our vision, that it is possible to solve many problems with digital products and services, has been achieved. Results and data from real operations in Jämtkraft's district heating network in Åre, with digital products and services, shows that it is possible to combine sustainability goals such as energy efficiency and resource optimization with customer value and preserved comfort.

After evaluating the results, the project participants, Ngenic and Jämtkraft, have decided to proceed with a large-scale commercial implementation and continue the development of the functions and services the project has verified.

District heating today is undergoing rapid development. District heating networks are facing the same challenges as electricity grids, an uneven power demand. The solution today often consists of investments in expensive network infrastructure, rather than managing bottlenecks with modern products and services, simply because that's the way these issues are solved. The project intended to show that digitization and new services applied in district heating networks are alternatives and/or complements to investments in infrastructure. The optimization of power production and network operation in order to achieve a higher efficiency of the biomass power production using digital products would reduce the need of expensive bio-oil heating for peak load power production. Investments in infrastructure could be avoided with the combined result of a reduced environmental footprint for district heating.

The challenges above were formulated into 11 goals in order to investigate the possibility of reaching the overall goal; that it is possible to solve many of today's problems with digital products and services. One of the goals was removed early and of the remaining 10 goals 8 were met and were 2 partly met. Verification of economical and climate benefits has been confirmed.

By using “Smart värme Fastighet” and in a novel way managing the heating of their buildings, property owners in Åre have contributed to the success of the project; tests could be performed, hypotheses tested, data analyzed and results finally reported. These results verify the possibilities and potentials using digitization that Jämtkraft and Ngenic intended to show when the project was started.

## Inledning/Bakgrund

Sverige ligger idag långt fram inom den tekniska utvecklingen av fjärrvärme. Flera lyckade internationaliseringsprogram pågår och Sverige har en hög status och trovärdighet inom området. Projektet adresserade ett flertal digitala implementeringar som idag saknas.

Fjärrvärmen idag utvecklas snabbt och många aktiviteter rör den s.k. 4:e generationens fjärrvärme, som ofta förknippas den med lägre temperaturer i näten (både framlednings- och returtemperatur). Det arbetet måste ske parallellt med en digitalisering av näten vilken ofta glöms bort. Resultatet blir då att man investerar i dyr nätinфраstruktur i stället för att hantera flaskhalsar med hjälp av olika typer av tjänster i näten, man är ”van” att göra så, det är ”praxis”.

För att ändra på dessa invanda synsätt behövs goda exempel på vad man relativt enkelt kan göra för att nå stora effekter med små medel. Då räcker det inte med små piloter som kan avfärdas med att det är just ”piloter” utan hela nät behöver förändras. För ny och, i dessa sammanhang relativt oprövad teknik, innebär det att energibolagen tar en stor risk om man direkt implementerar i ett stort stadsnät. Effekten av en implementation måste kunna påvisa att en uppskalning inte kommer att innebära någon risk i förhållande till den effekt man uppnår.

Åre by har under flera år kontinuerligt ökat i storlek och får uppvärmning till största delen från fjärrvärme och expansionen av nätet antas fortsätta. Utmaningen är att den kommande planerade expansionen önskas ske med nuvarande planerad produktionskapacitet, dvs. utan utbyggnad av produktionsanläggningar.

Förbrukningen är ojämn med en stor varmvattentappning morgon och middagstid. Svängningar av effektbehov i nätet måste produktionen idag balansera för i god tid. I de flesta fall hanteras effekttopparna genom att fjärrvärmenätet ”förladdas” med energi genom att en högre framledningstemperatur än vad som normalt behövs skickas ut i nätet. En stor utmaning för driftorganisationen är att förutse när de korta effekttopparna infaller och manuellt planera reglering av produktionsanläggningarna för att möta efterfrågan.

Projektets startades med ansatsen att göra Åre till världens första digitaliserade fjärrvärmenät där alla produktionsenheter och anslutningspunkter är uppkopplade i realtid. Styrning av produktion och konsumtion matchas kontinuerligt mot minimering av kostnader och miljöpåverkan. Genom att driftoptimera produktion och nät för bästa verkningsgrad på biomassaproduktion skulle dyrare bio-oljeeldning för spetskraft och investeringar i infrastruktur kunna undvikas.

En jämnare drift av nätet medför också en ökad livslängd av anläggning och nät tack vare mindre termiskt slitage. Med en digitaliserad driftoptimering antogs sänkta framlednings- och returtemperaturer och därmed skulle förluster minska och verkningsgraden i produktion öka.

Genom att i realtid mäta framlednings- och returtemperatur i anslutningspunkter skulle nätet kunna styras mot lägre temperaturer, utan att leverans kvaliteten försämrades. Styrning antogs också ge en möjlighet att lastkompensera tillfälliga punktlasttoppar utan att nätet skulle behöva leverera övertemperaturer. Projektet avsåg att visa nya möjligheter till driftoptimering som tidigare inte varit möjliga.

Drivkrafter för Jämtkraft och Ngenic var att tillsammans göra en storskalig implementation i ett fjärrvärmenät och maximera möjligheterna som digitalisering erbjuder i en toppmodern produktionsanläggning. Nätets storlek medför att realisering/implementation blir enklare och analys av resultat blir tydligare. Anläggningen i Åre har samma karaktäristik och avgränsningar avseende vad alternativa investeringar skulle kosta som ett motsvarande storstadsnät har.

Den kanske viktigaste parametern var att visa att de problem som beskrivs ovan i många fall kan lösas med digitala lösningar/tjänster, och således undvika stora, kostsamma investeringar i infrastruktur. Avsikten var att undersöka om de mål som sattes upp var nåbara, för beslut om vidare implementering och installation och utveckling av funktioner och tjänster.

Dessa mål har med god marginal uppnåtts och fortsatt kommersialisering har startat.

## **Genomförande**

Genomförandet av projektet var i enlighet med de arbetspaket som definierats (förutom beräkningar av difftryck) och flera av paketen utfördes parallellt. Analys och styrperioder utökades för att få mer och bättre data att analysera vilket medförde att projektet drog ut på tiden.

Deltagare i genomförande av projektet har aktivt varit personal från Jämtkraft AB och Ngenic AB, och passivt alla deltagande kunder i Åre fjärrvärmenät.

## **Initiala förberedelser**

Projektet startade med en förberedande analys av fjärrvärmenätet. Penetrationsgradsmål (behov av antalet uppkopplade fastigheter) och typ av utrustning baserat lastkurvor och behov i nätet identifierades. Det innebar bl.a. analys av effektkurvor, begränsningar per bränsleslag, kartläggning av undercentralernas utrustning samt kartläggning av övrig mätutrustning nödvändiga för verifiering av målen

Inventeringen följdes av rekrytering av kunder och installation av styr- och mätutrustning. Vi visste, från tidigare försök/projekt, att det krävs en stor arbetsinsats för att kunna rekrytera många kunder, även om de får ett mycket fördelaktigt erbjudande. Information och rekryteringsinsatser utfördes vid upprepade tillfällen

om vad det innebär att delta i projektet. Jämtkraft erbjöd även deltagare i projektet ett oförändrat pris på fjärrvärme fram till 1/1 2022.

### **Integration**

Ngenic hade vid projektstart ett API för styrning av värmesystem i villor/mindre fastigheter. En styrning, och styrutrustning, för större fastigheter utvecklades. Om det redan fanns en digital styrning i fastigheten integrerades det befintliga styrsystemet i Ngenics överordnade system.

### **Driftsättning av styrning och test.**

Systemet driftsätts vintern 2018/2019 och initiala tester av styrning sker med ett fåtal enskilda fastigheter. Mätning av produktionsdata utökades till en högre frekvens än i ett normalt driftfall för att kunna verifiera algoritmer, vilket ökar datamängden och kostnaderna för detta. Fler anläggningar anslöts löpande under projektet.

### **Utveckling av intelligenta algoritmer för automatisk laststyrning**

Det arbetspaket vi definierat, ”Säsongsstyrning och datainsamling för utvärdering och måluppfyllnad” utökades till att också bl.a. implementera funktioner för att utvärdera och kunna svara på;

- hur mycket styrbar effekt är tillgänglig?
- hur mycket effekt styr vi?
- hur bra träffar vi effekttoppar?
- hur mycket effekt kan vi styra bort i en nödsituation?
- vilken nivå/mängd av nyanslutning av lastpunkter kan vi göra utan utbyggnad av produktion?

### **Analys och resultatutvärdering**

Utökningen av utvecklingen beskriven ovan medförde att analys och resultatutvärdering drog ut på tiden jämfört med projektplanen i ansökan. Det tog således mycket mer resurser (tid) än planerat men det gav projektet bra, tydliga och vetenskapliga resultat, se kapitel **Resultat** nedan.

### **Spridning**

Resultatspridning och projektinformation har kontinuerligt spridits. Första pressmeddelandet om projektet skickades 2018 och därefter har det skrivits, informerats eller förelästs över 20 gånger.

### **Resultat**

Projektet har givit många bra resultat och vi har valt att beskriva dessa i 6 avsnitt varav det sista fångar upp lärdomar, observationer etc. som är nyttiga att ha i

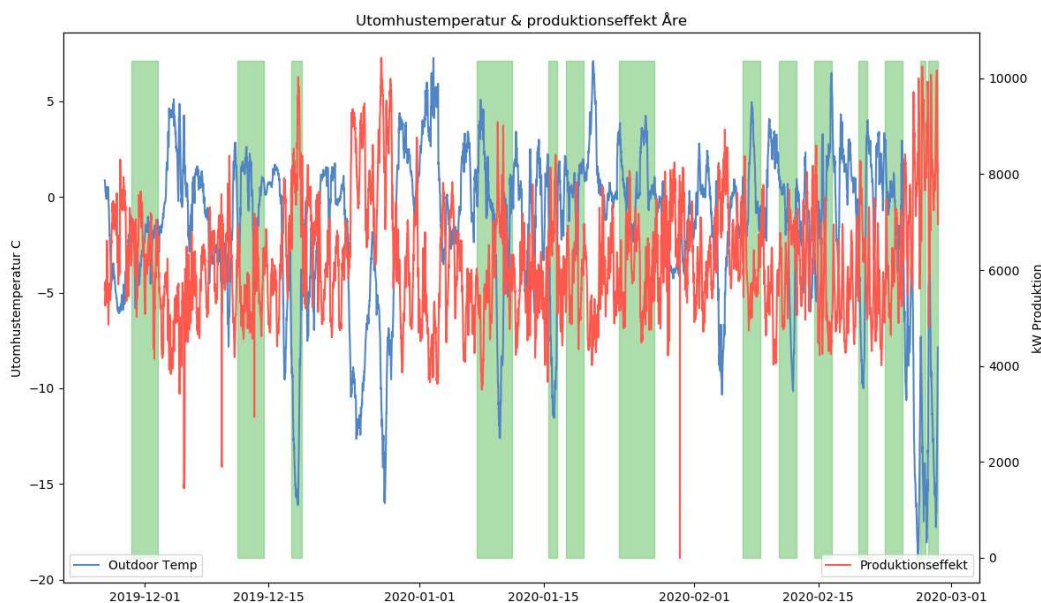
åtanke vid kommande implementationer så väl som för vidareutveckling av tjänsterna.

## Datavalidering

Inför projektets start gjordes en analys av produktionseffekten hos värmeverket i Åre. Den i särklass högsta lasten inträffade i början av januari 2017 och den uppgick till 12,5 MW (timmedelvärde) och vid en utetemperatur av ca -23 C. Dygnsmedeleffekten för samma dag låg närmare 10,2 MW och således skulle en sänkning på 2,5 MW (under en timme) motsvara 20% av maxlasten. Utifrån dessa data sattes projektets allra första mål, dvs. att pricka en ekvivalent topplast med en effektlaststyrning och därmed reducera spetslasten till under dygnsmedelvärde.

Under försöksperioden, december 2019 till mars 2020, uppmättes endast ett mindre antal timmar där utetemperaturen var under -15 C. Det milda vädret reducerade således värmebehovet i hela Åre och det var endast vid ett fåtal timmar som en produktionseffekt över 10 MW registrerades. Konsekvensen var att ingen ”kritisk last” inträffade och det fanns således inget behov av oljeeldning. Möjligheten att faktiskt mäta minskning av oljespets uteblev således.

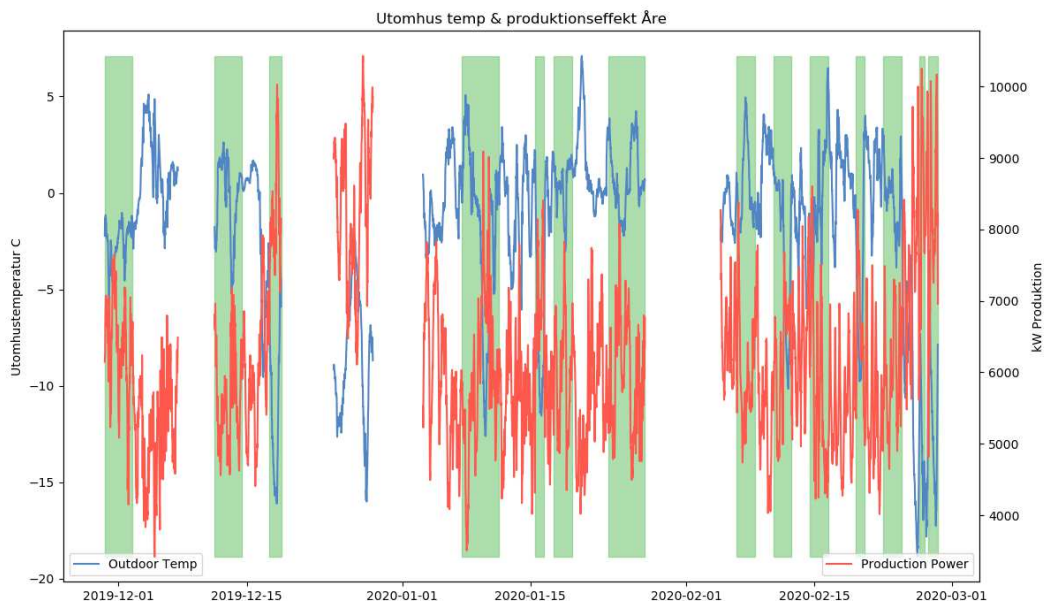
Analysen fokuserades därför på att undersöka i vilken utsträckning styralgoritmen minskat den last som i kontexten vinter 2019/2020 bedömdes som ”kritisk”, dvs. när effekttoppar kunde styras bort, hade fungerat. För att göra en tillförlitlig utvärdering av implementationens påverkan på spetslasten skapades ett körschema där laststyrning slogs ”på” och ”av” under perioder av uppvärmningssäsongen 2019/2020. Genom att därefter jämföra de två resulterande datamängderna (”med laststyrning” och ”utan laststyrning”) kan styrningen utvärderas. Styralgoritmen kan antas ligga bakom effektskillnaden. Figur 1 nedan visar körschemat.



**Figur 1:** Körschema under uppvärmningssäsongen 2019/2020 med utomhustemperatur (vänster axel) och produktionseffekt (höger axel). Grönmarkerade fält visar perioder med laststyrning.

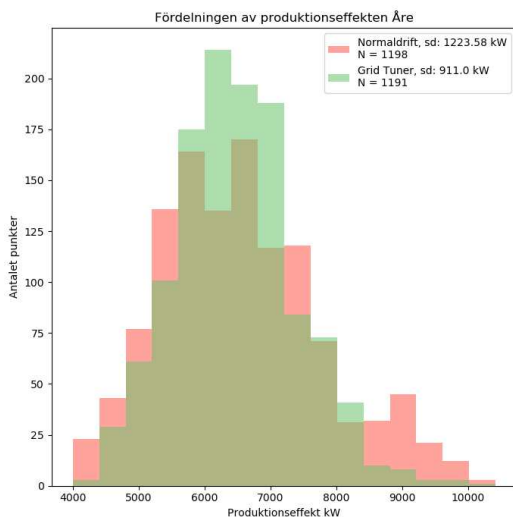
Ur figur 1 kan man utläsa att det finns en obalans i data sett till antalet punkter (många fler tider utan styrning än med) såväl som en obalans i fördelningen av utetemperatur. Denna typ av obalans medför en bias under kalla dagar. Därför reducerade vi data så utetemperaturer och antalet datapunkter normaliserades.

Resulteraande datamängd som ligger till grund för analyserna visas nedan i figurerna 2, 3 och 4.

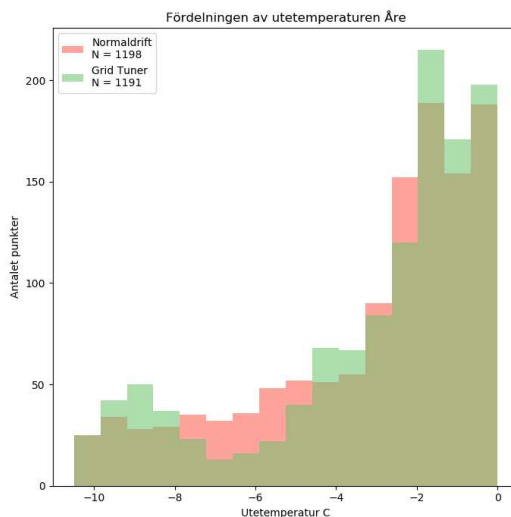


**Figur 2: Körscemat efter normalisering för utetemperatur. Detta är data som använts för att beräkna resultaten som visas i figuren.**

Fördelningen av produktionseffekten för datamängder i figur 2 visas nedan i figur 3. För att styrka antagandet att datamängderna är lämpliga för jämförelse visas fördelningen av utetemperaturer för respektive datamängd ("med laststyrning" och "utan laststyrning") i figur 4.



**Figur 3: Fördelning av produktionseffekt för respektive datamängd "med laststyrning" (Grid Tuner, grönt) samt "utan laststyrning" (default, rött).**



**Figur 4: Fördelningen av utomhustemperaturer för respektive datamängd "med laststyrning" (Grid Tuner) samt "utan laststyrning" (default).**

Den effektreducering styralgoritmen bidragit med vid spetslasttider beräknas utifrån histogrammet i figur 3 där staplarna i histogrammet visar antalet datapunkter (y-axel) vars effektvärde hamnar i ett viss intervall (x-axeln). Det överlapp av temperaturfördelningarna med och utan styrning som ses i figur 4 visar att bias avseende temperatur har eliminerats och att skillnaden i produktionseffekt härrör från laststyrning och inte från utetemperatur.



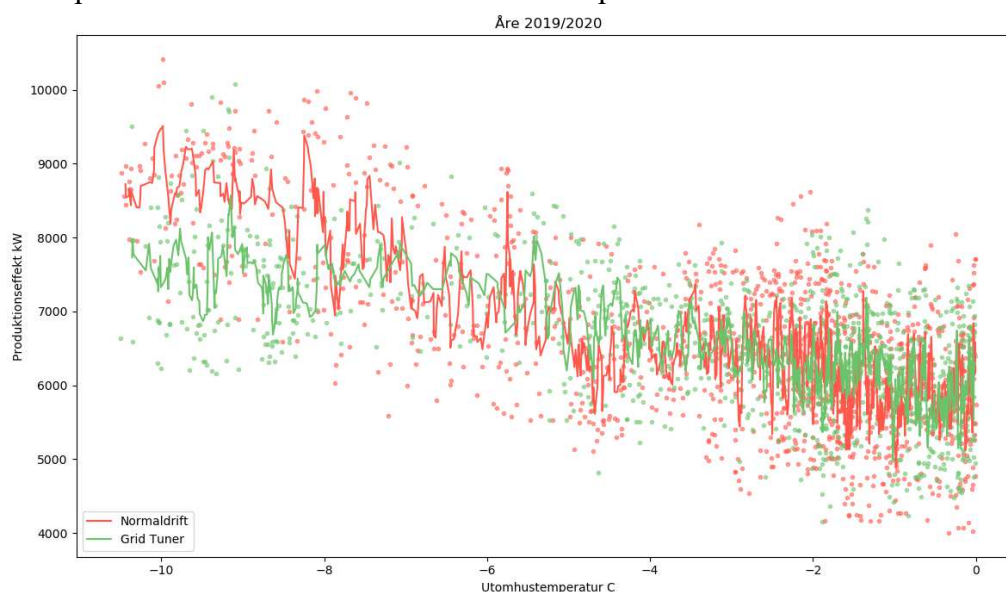
Under normaldrift ("utan laststyrning") var 45 stycken datapunkter i intervallet med medianvärde 9 MW, medan endast 8 stycken datapunkter från "med laststyrning". Genom att summera effektvärdena i tid per grupp ("med laststyrning" och "utan laststyrning", grön och röd i histogrammet) erhålls 2 539 MWh respektive 2 492 MWh, en total energi på 5 031 MWh. Vi konstaterar att energimängden är i princip den samma med och utan laststyrning (differensen är mindre än 1%). Det är viktigt att poängtera att "effektreducering" är synonymt med "energiflyttning" när det gäller laststyrning.

Eftersom energimängden i de två datamängderna är lika kan vi dra slutsatsen att styralgoritmen har *flyttat* energi från tider med last större än 9,2 MW till tider med last i intervallet 5,6 till 7,2 MW (vilket syns i figur 3 där de gröna staplarna är betydligt högre än de röda i intervallet). Styralgoritmen har således identifierat 9,2 MW som gräns för "kritisk last" för uppvärmningssäsongen 2019/2020.

### 250 MWh minskad spetslast med olja

Det var en mycket mild vinter vilket inte gjorde det möjligt att testa om produktion av spetslast med olja praktiskt kunde undvikas, så den av systemet identifierade kritiska lasten 9,2 MW fick definiera brytpunkten. En uppskattning på "minskad spetslast" kan då beräknas genom att summera energin i intervallen från 9,2 MW och uppåt och sedan subtrahera "med laststyrning" från "utan laststyrning" (subtrahera grön från röd i figur 3). Det ger en uppskattad spetslastminskning på 208 MWh, mycket nära projekt målet 250 MWh.

Ett alternativt räknesätt bekräftar spetslastminskningen på ca 200 MWh. Figur 5 visar samma data som presenterats i figur 2 (samt i figur 3 och figur 4) men med effektproduktion som funktion av utomhustemperatur.



**Figur 5:** Effektproduktion som funktion av utetemperatur. "med laststyrning" (grönt) och "utan laststyrning" (rött).

Punktmolnet i figur 5 består således av samma punkter som räknas till antal i histogrammen. Strecken är då medelvärdet av punkterna efter en "join" på utetemperatur avrundad till en tiondels grad celsius. De heldragna linjerna utgör

medelvärdet för respektive utomhustemperatur (med intervall på en tiondels grad celsius).

Figur 5 visar tydligt samma trend som man ser i histogrammet i figur 3, dvs. att vid kallare utomhustemperatur är produktionseffekten markant lägre med laststyrning än utan. Väljer vi  $-6\text{ C}$  som "kritisk temperatur" och beräknar arean mellan medelvärdelinjerna får vi 219 MWh.

Sammanfattningsvis anser vi att vi har uppnått det första definierade målet i projektet till 80%, fast i en annan form än vad som ursprungligen var planerat. Det milda vädret under uppvärmningssäsongen 2019/2020 gav inte möjlighet att direkt beräkna minskad oljeanvändning. Med ett större antal installerade system hade resultatet på beräkningarna ovan överskridit 250 MWh.

### **Minskning av varmvattenberoende laständringar på baslastpannan**

Varje större laständring medför en ökning av utsläpp av CO, NOx och stoft med 10-30%. Utsläppen minskar därefter gradvis tills pannans drift återigen har stabiliserats på det nya driftläget. Eftersom laständringar påverkar utsläppen har vi i analysen utvärderat både hur amplituden på produktionseffekten samt antalet laständringar påverkas. Detta är utfört under februari 2020, under de dygn som har en medeltemperatur mellan  $-2^{\circ}\text{C}$  -  $+2^{\circ}\text{C}$ , varierat med respektive utan laststyrning. Laständringar påverkar även slitaget på anläggningar.

### **Laständringar i produktion**

Analysen av registrerade effektvärden visar att medelvärdet av standardavvikelsen under laststyrningsperioderna för produktionseffekten är:

- utan laststyrning = 0,736 MW, och
- med laststyrning = 0,616 MW.

Skillnaden i standardavvikelse, med och utan laststyrning, är således  $0,736 - 0,616 = 0,120\text{ MW} = 120\text{ kW}$ . Amplituden har minskat med ca 288 kW.

Vi har även räknat fram kvoten av produktionseffektens amplitud i förhållande till produktionsmedeleffekten och därefter beräknat medelvärdet, med och utan laststyrning. Analysen visar även att medelvärdet av amplituden i förhållande till medelvärdet av produktionseffekten har minskat med laststyrning och är:

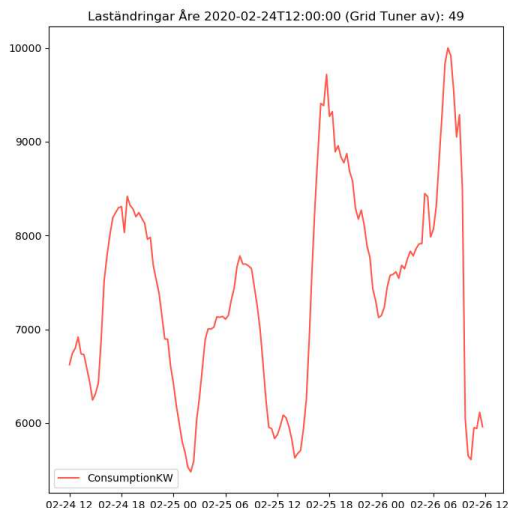
- utan laststyrning = 43,0 %, och
- med laststyrning = 38,1 %.

Det indikerar att amplituden hos produktionseffekten har minskat med  $43,0 - 38,1 = 4,9\%$  under perioder med laststyrning.

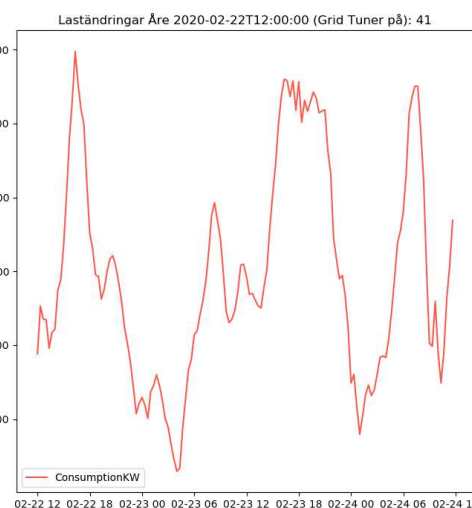
Styralgoritmen har minskat produktionseffektens standardavvikelse, vilket betyder att lastvariationerna har blivit mindre till omfång, dvs. att amplituden har minskats.

Har vi då minskat antalet lastförändringar som vi förutspådde? För att ta reda på om lastvariationerna är färre i antal har vi analyserat data och beräknat differenser i produktionseffekten.

Genom att notera när differensen byter från ökning till minskning hittar vi tidpunkter där trenden bryts. Dessa brytpunkter betraktas som "laständringar" och summeras för grupperna "med laststyrning" och "utan laststyrning", dvs. med eller utan Grid Tuner. Figur 6 och 7 visar exempel på hur beräkningar ser ut.



**Figur 6: Produktionseffekt (Gridtuner av) med 49 laständringar**



**Figur 7: Produktionseffekt (Gridtuner på) med 41 laständringar**

Tabell 1 visar antalet laständringar i produktionseffekt och motsvarande beräkning för kollektivet med styrd effekt, dvs. den summerade lasten av de enheterna som har styrts av Grid Tuner.

Effektkurva	Laständringar med laststyrning	Laständringar utan laststyrning	Minskning (%)
Produktionseffekt	723	839	14
Styrd effekt	1109	1440	23

**Tabell 1: Antal laständringar för respektive kurva.**

Styrning med algoritmen i Grid Tuner minskar antalet laständringar för de styrda värmesystemen kraftigt, med 23%, och den påverkan som syns på aggregerad nivå är en minskning med 14%. Grid Tuner har minskat antalet laständringar av produktionseffekten, på systemnivå, med 14%.

## Utsläpp

Under samma period, 2020-02-01 – 2020-02-29 registrerades utsläpp av O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, och CO med respektive utan laststyrning. Utsläppen i tabell 2 nedan utgör medelvärdet av utsläppen per dygn.

Status	Åre_O <sub>2</sub> [% tg]	Åre_NO <sub>x</sub> [ppm tg]	Åre_CO [ppm tg]	Åre_Pn [MW]
Utan laststyrning	9,56	63,36	961,40	4,130
Med laststyrning	9,39	63,43	1 150,25	4,128

**Tabell 2: Utsläpp per dygn med och utan laststyrning.**

Under laststyrning är nivåerna av O<sub>2</sub> något lägre medans utsläppsnivåerna av NO<sub>x</sub> och CO visar en liten ökning.

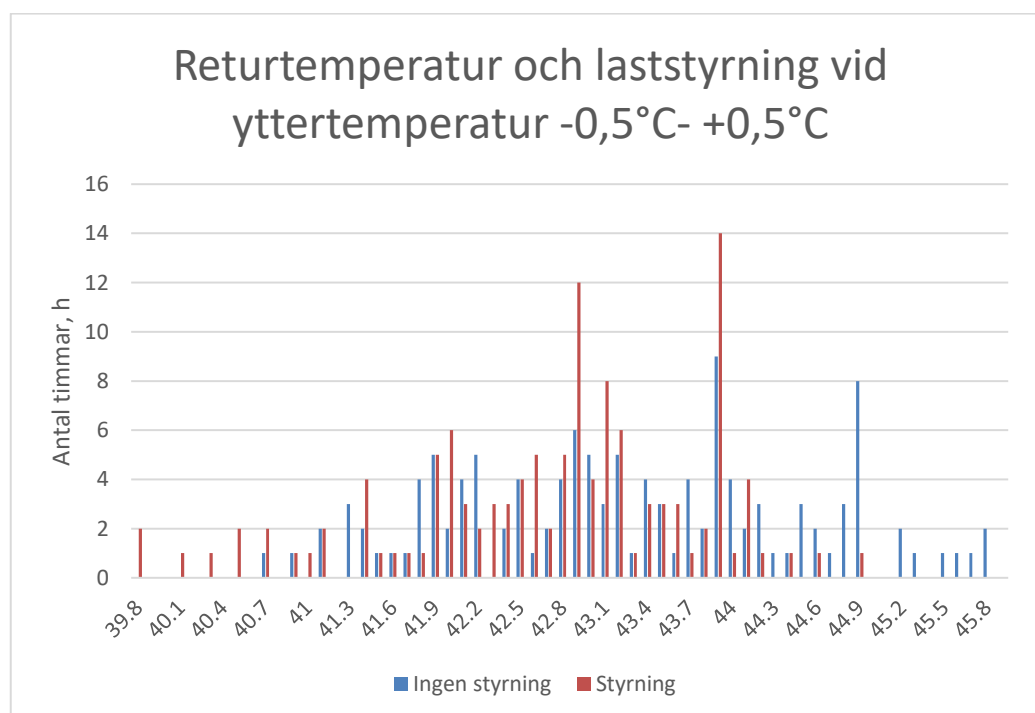
En jämförelse med andra tidsperioder, där laststyrningsfunktionen inte varit införd, visar på värden som är både högre och lägre vid olika driftlägen. Faktorer

som effektbehov, bränslesort, bränslekvalitet, fukthalt i bränsle, pannornas in-justering, driftsituation med en eller flera pannor etc. verkar således påverka utsläppen mer än vad laststyrningen kan visa. Vi kan utifrån beräkningarna inte dra slutsatsen att minskning av laständringar, inom ramen för projektet, har medfört minskade utsläpp.

### Laststyrning ger lägre returtemperatur.

Hypotesen, och målet, var att visa på att laststyrning ger en lägre returtemperatur i fjärrvärmesystemet vilket då medför ett större utbyte vid rökgaskondensering och därmed ökar den totala verkningsgraden i processen. Returtemperaturen har analyserats utifrån ett nätperspektiv och den har utförts på den temperatur som vattnet har när det kommer tillbaka från kundernas anläggningar och när produktionsanläggningen på Sösia.

Analysen visar att vid en yttertemperatur mellan  $-0,5^{\circ}\text{C}$  -  $+0,5^{\circ}\text{C}$ , och med laststyrningen aktiverad, så reduceras antalet timmar med returtemperaturer mellan  $44,7^{\circ}\text{C}$  –  $45,8^{\circ}\text{C}$ . Antal timmar med returtemperatur lägre än  $40,7^{\circ}\text{C}$  har istället ökat. Se figur 8 nedan.

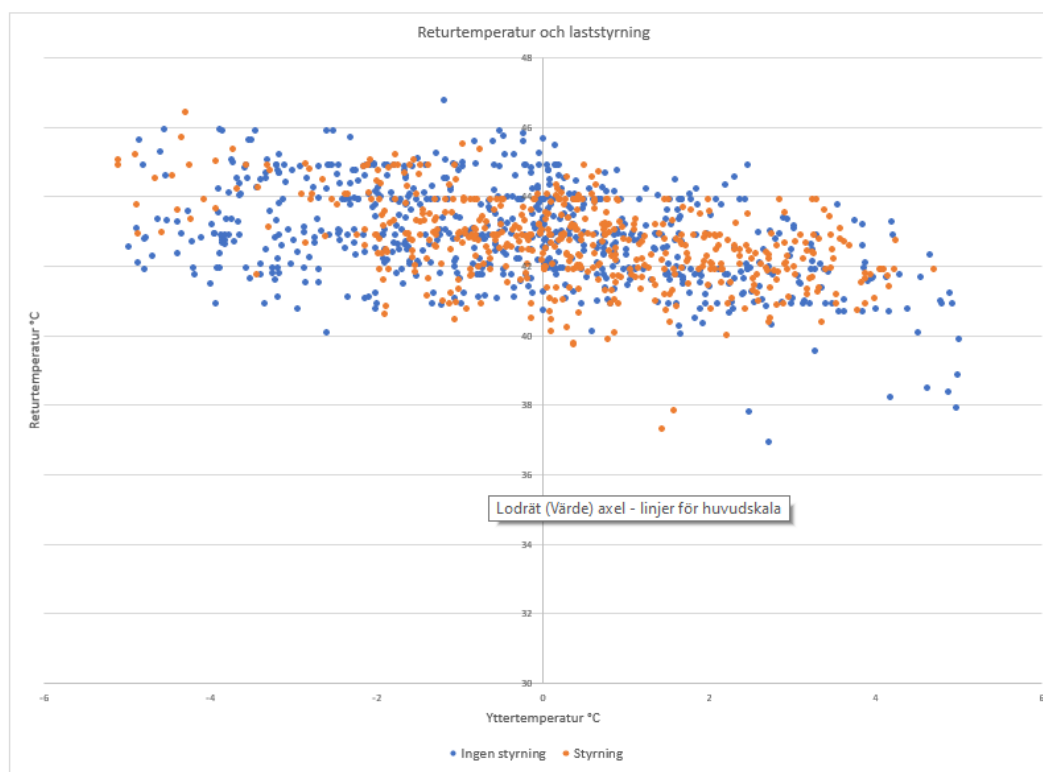


Figur 8: Returtemperaturer med och utan laststyrning vid yttertemperatur i intervallet  $-0,5^{\circ}\text{C}$  -  $+0,5^{\circ}\text{C}$

Vid nedreglering stryps flödet genom fjärrvärmecentralens primärväxlare för uppvärmning och tillförsel av energi minskar. Energibehovet kvarstår i fastigheten vilket får sekundärsidans värmesystem att svalna. Det förbättrar avkyllningen av primärsidans fjärrvärmeväxlare och temperaturen på returvattnet från fastigheten blir således lägre.

Figur 9 visar samtliga returtemperaturer med yttertemperaturer i intervallet  $-5^{\circ}\text{C}$  -  $+5^{\circ}\text{C}$ . Vid yttertemperatur runt "nollan" syns det tydligt att returtemperaturen är lägre vid laststyrning än vid normal drift. Mättekniskt ser vi en ansamling av

mätvärden vid temperaturerna 40,9°, 41,9°C, 42,9°C, 43,9°C, 44,9°C, vilket troligen orsakas av någon brytpunkt/skalning i mätsystemet.



Figur 9: Returtemperaturer med och utan laststyrning vid utetemperatur i intervallet -5°C - +5°C

Slutsatsen är att returtemperaturen är ca 1°C lägre med laststyrning än utan laststyrning.

### Det går att leverera till fler kunder med nuvarande produktionskapacitet

Om det går att möta ett ökat energibehov utan att bygga ut produktionen handlar främst om att kunna reducera spetslasten eftersom det är det som styr dimensioneringen av fjärrvärmenätet.

För att klara det behövs;

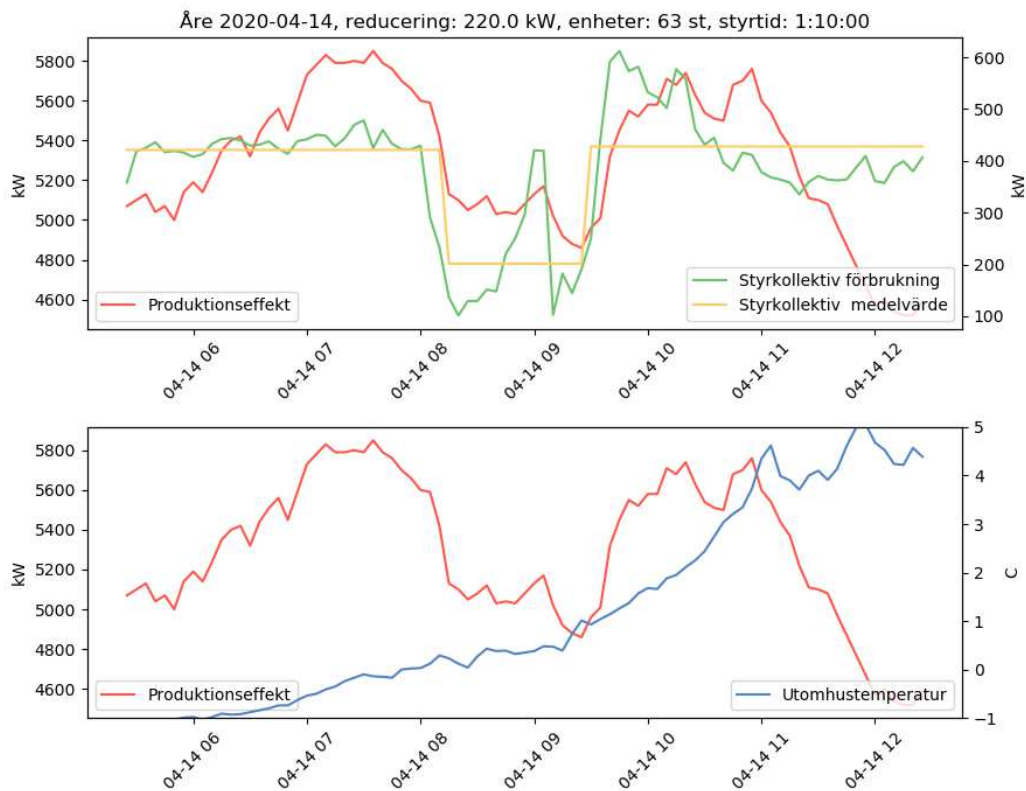
- en förmåga att minska spetslast med en betydande effektreduktion och
- att kunna förutsäga när en spetslast kommer att inträffa.

Resultat från av två olika angreppssätt redovisas nedan.

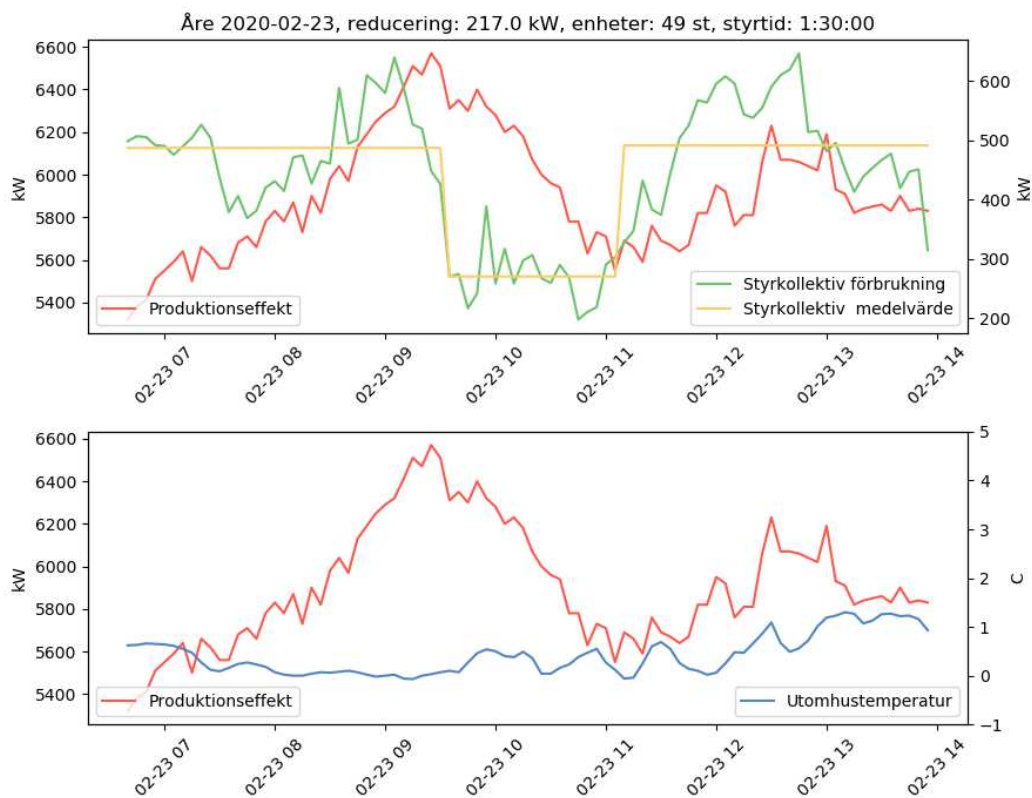
### Träffsäkerhet

Två exempel av styrningar som visar vilken effektreduceringsförmåga de uppkopplade systemen har aggregerat och hur bra styralgoritmens träffsäkerhet avseende effekttoppar är redovisas här.

Effektreduceringsförmåga vid två styrningar visas i figur 10 och 11 nedan.



**Figur 10: Effektreduceringsförmåga 14/4, 63 system**



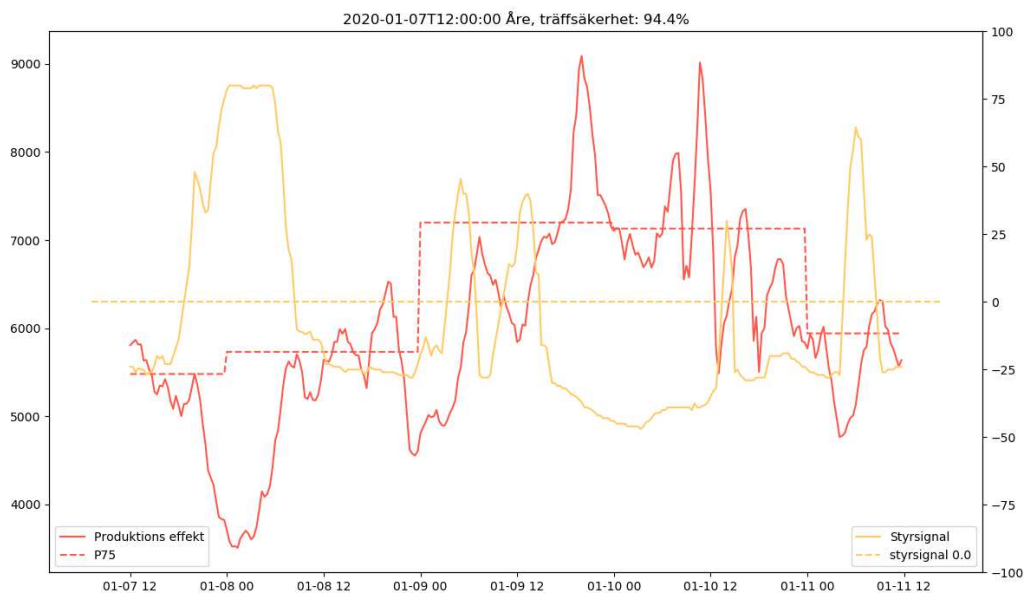
**Figur 11: Effektreduceringsförmåga 23/2, 49 system.**

Både figur 10 och 11 visar att det går att styra ca 220 kW, vilket i båda fallen är kring 4% av dagens maximala last och de visar även att reduktionen inte beror av förändringar av utomhustemperaturen. Effektreduceringsförmågan är nu

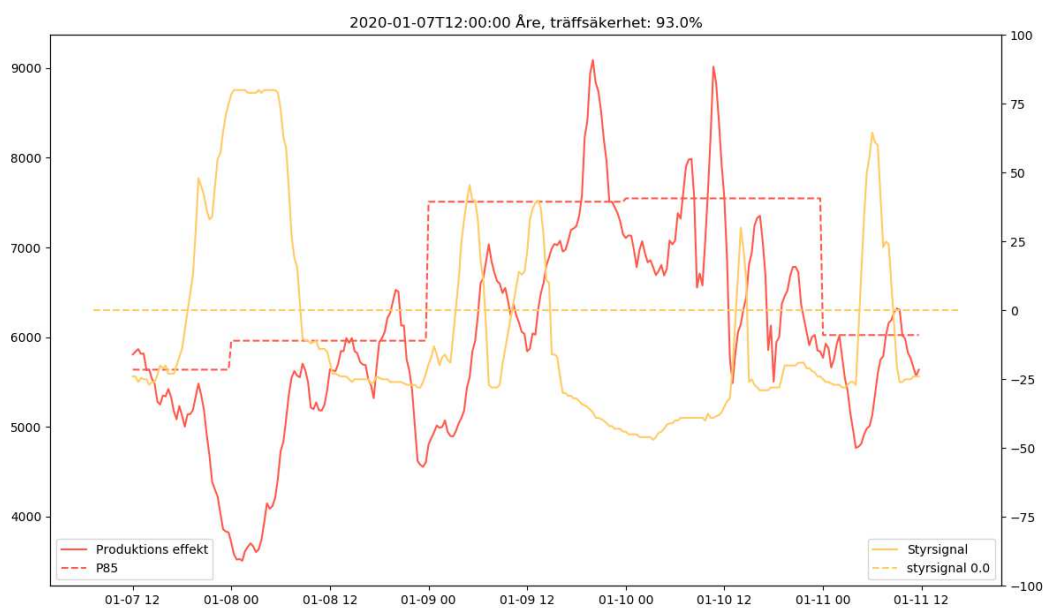
konstaterad så det återstår att visa vilken träffsäkerhet styralgoritmen har. För att göra det behöver vi först definiera vad vi menar med begreppet träffsäkerhet.

Under projektet har vi utgått från ett enkelt, men kraftfullt, antagande om att träffsäkerhet är hur stor andel av effekttopparna som sammanfaller med en nedstyrning. Det ger oss möjligheten att definiera effekttopparna utifrån olika percentilvärden (ju högre percentilvärde, desto bredare "topp").

Om vi till exempel använder 75-percentilen (P75) beräknas för varje dygn P75, vilket är det värde som 75% av uppmätta värden underskrider. Resterande 25% av observationerna ligger således över P75 och definieras som effekttoppar.



**Figur 12: Exempel på 75:e percentilen 7-11/1 2020**



**Figur 13: Exempel på 85:e percentilen 7-11/1 2020**

Figurerna 12 och 13 ovan visar värden på P75 respektive P85 för en av de många styrperioderna. För att redovisa styralgoritmens träffsäkerhet över hela projekt-tiden beräknas percentilvärden, PX-värden, för varje styrperiod.

Medelvärden för fyra percentilnivåer från alla styrningar visas nedan i tabell 3.

Percentil	Träffsäkerhet (%)
P75	88,1
P85	87,8
P95	91,8
P98	94,9

Tabell 3: Träffsäkerhet för samtliga styrperioder.

Det är värt att poängtera att träffsäkerheten som redovisas i tabell 3 är beräknad utifrån dagstoppar, dvs. vi har utvärderat styrningen utifrån "lokala" lasttoppar relativt dagens förbrukning. Som jämförelse har vi en hundra procentig träffsäkerhet på årstoppar, dvs. "globala" lasttoppar relativt årets förbrukning.

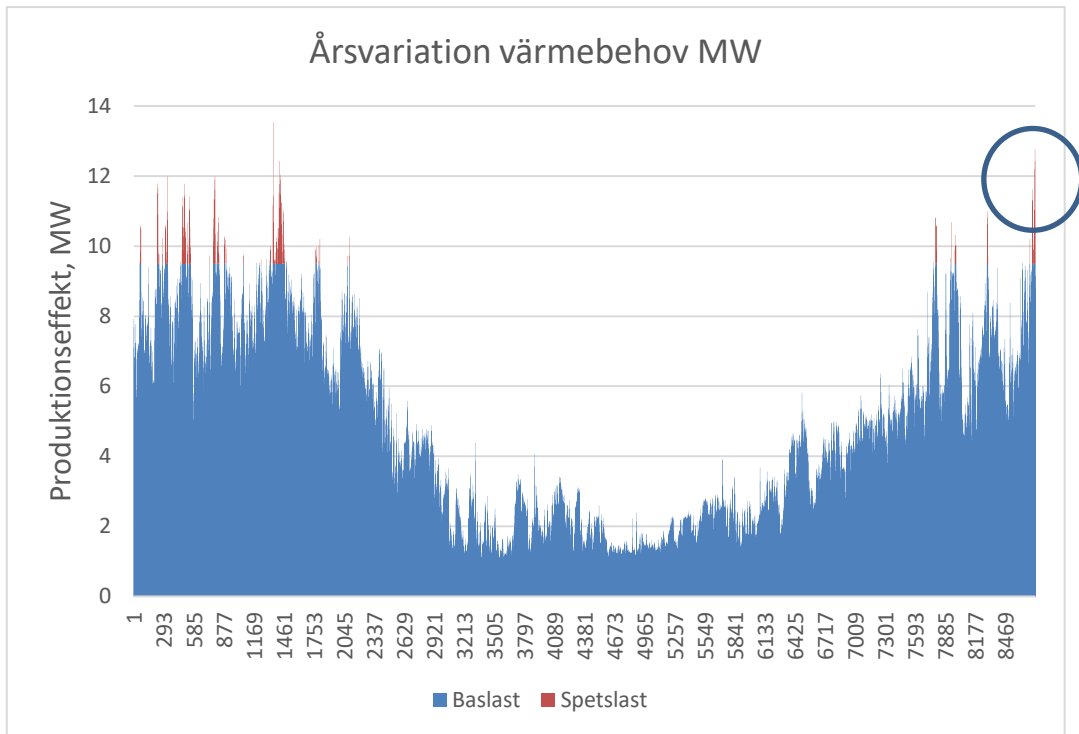
I figur 12 och 13 illustreras detta. Lasttopparna den 9:e och 10:e är betydligt högre (ca. 9 MW) än lasttoppen den 8:e (ca. 6,5 MW) men sett ifrån P75 och P85 är träffsäkerheten densamma. Vad det gäller årets högsta lasttoppar är träffsäkerheten 100%.

### Reduceringsförmåga

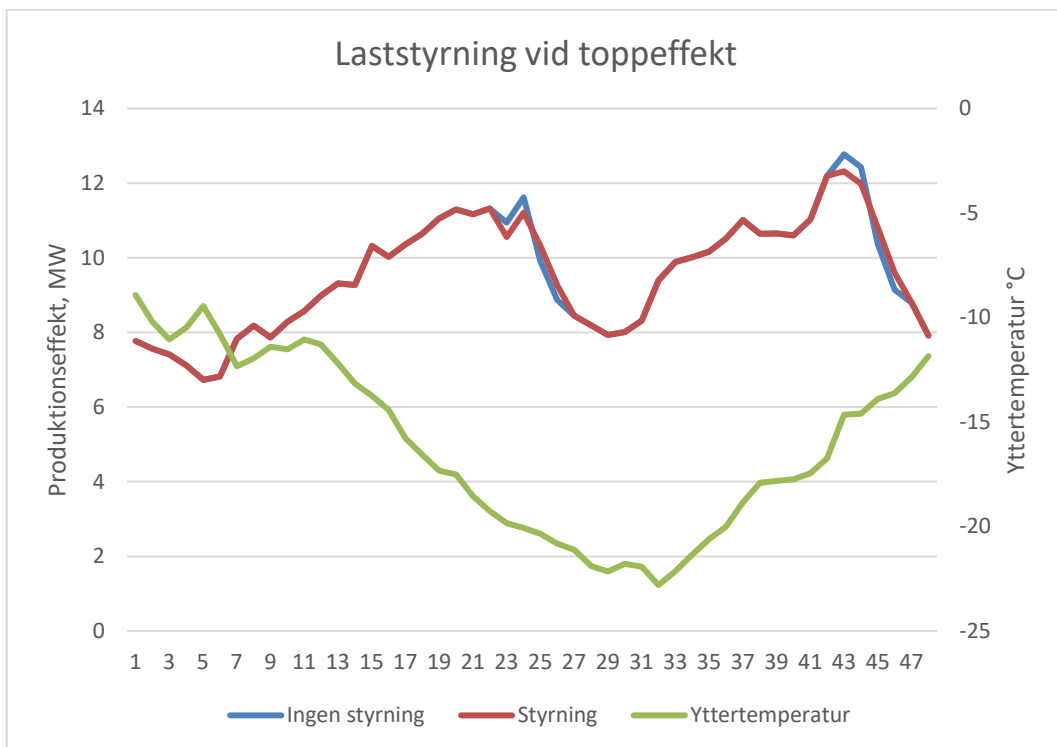
Vid laststyrning (lastreducering) utförd 2020-02-23 styrdes 49 st enheter. Medel-effekten som styrdes ner var 0,217 MW samtidigt som produktionseffekten var ca 6 MW. Laststyrningen minskade alltså effekttoppen med ca 0,217 MW, se figur 11 ovan.

Figur 14 visar årsvariationen över värmebehovet i MW i årenätet och vi har analyserat data inringat i diagrammet. Dessa timmar ser vi nedan i figur 15.





**Figur 14: Värmebehov över referensår 2016 (timmar på X-axel)**



**Figur 15: Värmebehov över två dygn med hög last, inringar i figur 16 (timmar på X-axel)**

Produktionseffekt i nätet vid DUT, Dimensionerande Utetemperatur, beräknas vara ca 12-13 MW och vi antar att den effekt som kan reduceras vid styrning är någorlunda linjär mot yttertemperatur. Vi har en uppmätt reduktion av 0,217 MW, enligt figur 13, vid produktionseffekt 6 MW. Vi antar då att det är möjligt att reducera ca 0,450 MW vid 12,7 MW produktionseffekt.

Slutsatsen är att med en perfekt laststyrning, där toppeffekttimmarna kan reduceras i 1-1,5 h, kan en ny kund/leverans med maximalt 0,450 MW effektuttag, anslutas. Det motsvarar ca 45 – 60 villor med maxeffekt är 7,5-10 kW.

Potentialen om alla kunder (ca 190 st) är anslutna bedömer vi är uppemot 2 MW.

### Laststyrning och komfortförbättring går hand i hand

Det är relativt enkelt att minska effektbehovet i fjärrvärmenätet, för att parera tillfälliga lasttoppar, genom att strypa värmeförsel till kunder. Det kommer inte att accepteras av kunderna, ingen vill ha det kallt, så den stora utmaningen är att hantera de tillfälliga effektopparna **utan** att påverka kunders upplevda komfort.

Ngenics styralgoritm använder fjärrvärmenätets förväntade energibehov och den tillgängliga termiska energin hos de styrbara kunderna i beräkningarna. Laststyrningen ska således balansera mellan:

- fjärrvärmenätets tillstånd, och
- kundens komfort.

För att utvärdera om styralgoritmen lyckats med att uppnå ovan nämnda balans har vi använt oss av en metrik som togs fram för att vetenskapligt mäta termisk komfort med hjälp av Tune appen<sup>1</sup>. Metoden går ut på att räkna antalet ändringar i önskad temperatur och den har använts vid akademisk forskning av inomhuskomfort<sup>2</sup>. Idén bakom metoden är att människor som är obekväma (för varmt eller för kallt) kommer att justera sin önskad temperatur i större utsträckning än om de är bekväma.

Vi har i projektet räknat antalet ändringar av önskad innetemperatur hos de villakunderna som deltog i projektet med följande resultat. Det var 82 ändringar utan att dessa kunder styrdes och 76 ändringar när samma kunder laststyrdes. Det är en skillnad på bara dryga 7% och noterbart är det var något fler ändringar utan laststyrning än med, se tabell 4 nedan.

Reglering	Antal ändringar av önskad innetemperatur
Med laststyrning	76
Utan laststyrning	82

Tabell 4: Kunders ändringar av önskad inomhustemperatur med och utan laststyrning.

### Övriga resultat och lärdomar

Det har varit stort intresse av att vara med i projektet. Drivkraften hos kunden att delta har varit möjligheten att få vara med och utveckla fjärrvärmenätet och på det sättet bidra till en bättre miljö och säkrare fjärrvärmenät.

Huvuddel av villaägarna har installerat enheten själva. Där Jämtkraft utfört installationerna har det tagit ca 20 minuter.

<sup>1</sup> Wyon and Ridenour

<sup>2</sup> Sarran et al.

Vi upplever att ett flertal kunderna inte använder Ngenic Tune aktivt. Mest troligt är att dessa kunder inte är intresserade av ny teknik. Några kunder är däremot mycket intresserade, framförallt de kunder som har fastigheter i Åre men bor någon annanstans eftersom de nu har kontroll på uppvärmningen i fastigheten. Även några ägare av större fastigheter har visat mycket stort intresse eftersom de sett möjligheten att kunna styra temperaturen inomhus på ett bättre sätt.

Ett exempel är en restaurang i två våningar där det ibland var gäster på första eller andra våningen. Följden blev att rumstemperaturen oftast blev för hög i det rummet där gästerna fanns. Genom att använda rumsgivare för varje våning med möjligheten att välja aktiv rumsgivare kunde nu fastighetsägaren styra inomhustemperaturen utifrån vilken våning som hade gäster och därmed balansera temperaturen bättre. Innan Tune installerades så kunde det ofta bli för varmt eller för kallt huset.

En lärdom är att lokala VVS -entreprenörer bör kontaktas när produkter/system installeras på värmesystemen. Två kunder som ringde den lokala VVS-firman eftersom de upplevde att det var något fel och VVS företaget förstod inte direkt att det var laststyrning som medfört ett ”onormalt” beteende av regulatorn eftersom de inte var informerade om systemets funktionalitet.

### **Andra lärdomar**

- Komma i kontakt med rätt fastighetsansvarig för att komma in och montera utrustning. Ibland har inte fastighetsköparen erhållit information om deltagande i projektet och vet inte vad som är på gång.
- Att hitta eluttag för både modem och gateway är inte alltid enkelt.
- Tillgång till internet i större fastigheter är ofta begränsat (det har lösts genom användning av 4G modem).
- I vissa större fastigheter har inte inomhustemperaturgivare kunnat monteras eftersom räckvidden inte varit tillräcklig. Givaren har då fått vara ”passiv” vilket gjort att Ngenic inte har haft den vanliga styrfunktioner. Kunden kan se sin förbrukning och effekt men inte styra den.

### **Diskussion**

Vi har i resultatredovisningen ovan visat flera fördelar med digitalisering, både avseende ett hållbarhetsperspektiv, t.ex. reducering av spetslaster samt resursoptimering, kostsamma investeringar i infrastruktur kan undvikas.

Förutom de resultat som redovisats ovan har projektet givit en insikt om en ytterligare besparing som digitaliseringen kan ge avseende bränsleförbrukning samt tankar och idéer om en bredare implementation skulle kunna ske genom att visa på hur digitalisering kan skapa nya affärer och tjänster för ett mer hållbart samhälle.

### **Ny insikt: Minskad bränsleförbrukning fastbränslepanna FB2**

När fastbränslepanna 1 (baslastpanna) når ca 5 MW av den maximala effekten på ca 6 MW startas normalt även fastbränslepanna 2 för att ha marginal om något oförutsett händer med fastbränslepanna 1. Fastbränslepanna 2 får då verka som baslastpanna med en fast effekt av ca 1,5 MW och fastbränslepanna 1 hanterar förändringar som uppstår.

Inför en helg och/eller med väderprognos som indikerar ett effektbehov upp mot 5 MW startas då fastbränslepanna 2 enligt ovan av driftpersonal i förväg. Verkningsgrad för fastbränslepanna 1 är ca 95% och för fastbränslepanna 2 ca 85%. Om det med hjälp av ett beslutsstödsystem med väderprognos och aktivering av laststyrning går undvika en start av fastbränslepanna 2 eller minska dess produktion under t.ex. en helg, finns det möjlighet att minska åtgång av bibränsle tack vare skillnaden i verkningsgrad. Det viktiga är att skapa trygghet hos operatörerna i driftcentralen så att onödig drift undviks.

Om vi antar:

- Att det finns möjlighet att aktivera laststyrning på ca 1 MW (flexibilitet) hos kunderna.
- Att fastbränslepanna 2 går inte på fast effekt utan regleras efter behov.
- Att det är skillnad i verkningsgrader mellan baslastpanna och spetspanna.
- Ett bibränslepris 220 kr/MWh.
- Produktionsdata från driftår 2017.

Då visar våra beräkningar att det finns en möjlig besparing på ca 397 MWh bibränsle. Det skulle 2017 gett en kostnadsbesparing på ca 90 tkr.

### **Paradigmskifte – digitalisering kan ersätta traditionella metoder**

Digitalisering är inte en trend utan det är en utvecklig påverkar i stort sett alla applikationer, branscher och industrier. Olika branscher har olika nivåer av konservatism och dessa nivåer är ofta beroende på hur viktig funktionen som upprätthålls är för välmående. Man skulle kunna säga att ju lägre ner i Maslows behovstrappa som produkter och tjänster levereras till, desto mer konservativt är agerandet. Riskbenägenheten är således låg ju längre ner på trappan vi kommer, dvs. önskan att prova något nytt ställs alltid i relation till det som fungerar och konsekvenserna om det fallerar.

Energi, eller här mer specifikt värme, är i Sverige ett behov som hamnar långt ner i basen av trappan. Vi kan placera energi/värme på trappstegen: 1) fysiologiska behov (värme är livsviktigt) och 2) trygghetsbehov (vi vill inte tänka på att vi plötsligt, om värmen försvinner, riskerar att hamna på trappsteg 1).

Alla som jobbar med grundläggande basbehov, i vårt fall energi/värme, vet hur viktig den produkt de levererar är för kunderna. Att man möter skepsis och i vissa fall motstånd från egen driftpersonal och andra som ansvarar för funktionen (leveransen) är fullt naturligt, de vet vilka konsekvenser ett fel/driftstopp innebär, både för dem själva (arbete) men framför allt för deras kunder och deras välmående.

Det är därför viktigt att digitalisering måste accepteras och inte påtvingas. Tack vare att projektet kunde genomföras har det varit möjligt att, i nära samarbete med

ansvariga för driften och driftpersonal i Åre, verifiera de teoretiska modellerna och samtidigt ge bl.a. operatörer konkreta resultat och verktyg som visar nyttan av att digitalisera delar av processen. Det utan att väsentligt öka riskerna.

Acceptans, och/eller förståelse, för vad digitalisering kan innebära måste också ske hos kunderna. Erfarenheten är att ”man är sig själv närmast” och det medför att det sannolikt bör finnas incitament för kunderna för att möjliggöra styrningar, utjämning av effekttoppar. I vårt fall handlar det om att säkerställa att systemet i fastigheterna fungerar.

Det innebär ett nytt synsätt avseende kund/leverantörsförhållandet och nya affärsmodeller behöver skapas. Det behöver sannolikt tydligt visas att de som ”hjälper till”, genom att reducera effekttoppar, får en ekonomisk fördel som exempelvis en rabatt på energiräkningen.

De flesta vill bidra till ett hållbart samhälle och vara goda ”energisystemsmedborgare”. 100% deltagande är utopiskt men för att få så högt deltagande som möjligt, bra för miljö, ekonomi etc. så bör de som väljer att avstå få betala mer.

Information och konkreta resultat som genomförandet av projektet givit är mycket viktiga för att vi fortsatt skall kunna utnyttja digitaliseringen för ett mer hållbart och energieffektivt samhälle.

Skepsis har i flera fall bytts till ett stort engagemang, med värdefull input till vidare utveckling av tjänsterna. Jämtkraft och Ngenic har genom resultaten och med en ökad förståelse av behoven valt att ta nästa steg, en större kommersiell implementation har påbörjats.

## Publikationslista

Ej tillämbart.

## Referenser, källor

Wyon, D.P. and Ridenour, J.E. "A covert field-intervention experiment to determine how heating controls that conserve energy affect thermal comfort." *Indoor Air*. 2018;28:763–767. DOI: <https://doi.org/10.1111/ina.12488> .

Lucile Sarran, Morten Herget Christensen, Christian Anker Hviid, Andrea Marin Radoszynski, Carsten Rode and Pierre Pinson. "Data-driven study on individual occupant comfort using heating setpoints and window openings in new low-energy apartments – preliminary insights." *E3S Web Conf.*, 111 (2019) 04063 DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911104063>

## Bilagor

Bilaga 1: ”45965-1 Administrativ bilaga”