

# DEMONSTRATIONSPROJEKT INOM EFFEKT OCH LASTSTYRNING



Rapport | 2009:26



# DEMONSTRATIONSPROJEKT INOM EFFEKT OCH LASTSTYRNING

FREDRIK WERNSTEDT   CHRISTIAN JOHANSSON

# FÖRORD

Syftet med detta projekt är att demonstrera och utvärdera operatörskontrollerad styrning av effekt- och laststyrning i två olika fjärrvärmesystem (resultat presenteras emellertid från tre olika fjärrvärmesystem).

Fjärrvärmesystem är efterfrågestyrda system, det vill säga det är konsumtionen som styr vilken effekt som fjärrvärmeleverantören behöver leverera till systemet. Tanken med last och effektstyrning är att efterfrågesidan kan utgöra en effektreserv vilken man vid väl valda tillfällen kan utnyttja för att reducera förbrukningen istället för att producera mer fjärrvärmeenergi.

Avsikten inom projektet har varit att analysera potentialen av denna teknik under praktiskt kommersiella förutsättningar. Således är projektet i ordets bemärkelse inte ett demonstrationsprojekt utan mer av karaktären forskningsprojekt.

Projektet har utförts av NODA Intelligent Systems och samfinansierats av Fortum Värme AB, Mälarenergi AB, Svensk Fjärrvärme samt NODA Intelligent Systems.

**Eva-Katrin Lindman**

Ordförande i Svensk Fjärrvärmes Teknikråd

## SAMMANFATTNING

Detta projekt omfattar en demonstrationsinstallation inom två olika fjärrvärmesystem (resultat presenteras från tre olika fjärrvärmesystem) med syfte att studera operatörskontrollerad styrning av effekt- och energiuttag. Avsikten inom projektet är att analysera potentialen av denna teknik under praktiskt kommersiella förutsättningar. Således är projektet i ordets bemärkelse inte ett forskningsprojekt. Projektet har finansierats av Fortum Värme AB, Mälarenergi AB, Svensk Fjärrvärme samt NODA Intelligent Systems AB.

Projektet har tyvärr dragits med förseningar vilket lett till att man inte haft möjlighet att utvärdera alla de punkter som framlades i projektansökan. Projektet har gett upphov till en mängd lovande resultat och värdefulla insikter. Några av projektets slutsatser är att

- Systemet minskat effektuttaget med närmare 20 % i samband med de högsta effekttopparna. Detta värde är dock långt ifrån den maximala kapaciteten som ligger på ca 70 % av det totala effektuttaget för uppvärmning av de anslutna fastigheterna.
- Systemet har visat en tydlig tendens att sänka energiförbrukningen i de medverkande fastigheterna utan att komforten upplevts som försämrad. I ett av fjärrvärmesystemen sänktes den totala energiförbrukningen över de ingående fastigheterna med ca 7,5%.
- I värmesystem där ventilationen har en betydande påverkan på inomhusklimatet är det komplicerat att kontrollera effektuttaget genom förändringar av temperatur i värmesystemets sekundärkrets. Den här typen av system finns ofta i offentliga byggnader såsom skolor.

Olika aspekter av effektstyrning som teknik har länge studerats, men det är inte förrän de senaste åren som den tekniska utvecklingen har möjliggjort dess användning i en bredare skala. Förmågan att styra effektuttaget hos fjärrvärmekunderna skapar möjlighet att optimera produktionsstrategier och ger upphov till en rad fördelar som ytterligare stärker fjärrvärmens miljömässiga och ekonomiska konkurrenskraft.

<b>1. Inledning</b>	<b>7</b>
1.1 Bakgrund	7
1.2 Syfte och mål	7
1.3 Projektorganisation	9
<b>2. Genomförande</b>	<b>10</b>
2.1 Förutsättningar inför projektet	10
2.2 Systemteknik	10
2.2.1 Serversystem och databaser	11
2.2.2 Backup	11
2.2.3 Säkerhet	12
2.2.4 NODA RTD IO-board	12
2.2.5 Auktionsförfarande	13
2.3 Kommunikation	14
2.4 Användarvänlighet och användargränssnitt	14
2.5 Installation	17
2.6 Skalbarhet	19
<b>3. Styrning av last och effekt</b>	<b>20</b>
3.1 Incitament till styrning av last och effekt	20
3.2 Intelligent effektstyrning	20
<b>4. Resultat</b>	<b>23</b>
4.1 Effektstyrning	23
4.2 Energiuttag	29
4.3 Inomhusklimat	37
4.4 Tillgänglig effekt att styra	38
4.5 Räkneexempel	41
4.5.1 Räkneexempel 1: Sänkt effektuttag	41
4.5.2 Räkneexempel 2: Flyttat effektuttag	41
<b>5. Demonstrationsprojekt som projektform</b>	<b>43</b>
<b>6. Diskussion</b>	<b>44</b>
<b>7. Slutsatser</b>	<b>45</b>
<b>8. Framtida arbete</b>	<b>47</b>
<b>9. Referenser</b>	<b>48</b>
<b>10. Bilagor</b>	<b>49</b>

# 1. INLEDNING

## 1.1 Bakgrund

Fjärrvärmesystem är efterfrågestyrda system, dvs. det är konsumtionen som styr vilken effekt som fjärrvärmeleverantören behöver leverera till systemet. Tanken med last och effektstyrning är att efterfrågesidan kan utgöra en effektreserv vilken man vid väl valda tillfällen kan utnyttja för att göra förbrukningsreduktioner istället för att producera mer fjärrvärmeenergi.

Genom att delvis jämna ut variationer i fjärrvärmelasten finns stora miljö- och driftsfördelar att vinna. Om behovet av spetslast minskar kan det leda till att fjärrvärmeleverantören på sikt beslutar sig för att fasa ut eller lägga en eller flera spetslastpannor i malpåse. Fjärrvärmeleverantörer som ansluter nya kunder kan med hjälp av lastförskjutningen undvika eller fördröja inköp av ny produktionskapacitet, alternativt ansluta fler kunder till nät som redan är högt belastade. Att det finns perioder då ett minskat effektuttag gynnar systemet visas tydligt genom att allt fler fjärrvärmeföretag inför taxor som baseras på utnyttjad effekt. Om kunderna väljer att installera lokala effektvakter som endast tar hänsyn till det lokala effektuttaget kommer intäkterna minska med mer än vad man önskar då det inte alls alltid är önskvärt att sänka uttaget då en enskild kund närmar sig effektgränsen eftersom det i systemet kan finnas mer än tillräckligt med kapacitet. I grund och botten kan man med fog hävda att det är ett distribuerat informationsproblem, fjärrvärmecentralernas reglering saknar helt enkelt information för att kunna avgöra när ett effektuttag bör minskas. För att få beslutsunderlag måste man ha tillgång till det globala tillståndet, dvs. det totala effektuttaget i nätet kopplat till det aktuella produktionsläget. Man måste således se till hela fjärrvärmesystemet för att dra full nytta av möjligheten att styra lasten.

För att en förbrukningsreduktion inte ska påverka värmekomforten i fastigheten behövs dock någon form av intelligent lokal styrning. Det måste med andra ord finnas återkoppling mellan styrningen och komforten. En viss effekt måste hela tiden tillföras fastigheten för att förhindra kallras och för att förhindra att inomhustemperaturen ska falla under acceptabla komfortnivåer under längre styrtillfällen. Man behöver även genomtänkt styrning för att begränsa återvändande effekt efter styrtillfället. Det är uppenbart att effektstyrning påverkar inomhustemperaturen men det är också helt klart att det finns betydande buffert i fastigheterna som kan användas för att förflytta uppvärmning betydande tidsperioder utan att komforten påverkas.

Tidigare försök med ett distribuerat styrsystem i ett mindre bostadsområde i Karlshamn [1] har visat att det är möjligt att få goda systemresultat när det gäller effekt- och laststyrning genom att låta fjärrvärmecentralerna i ett antal hus kommunicera med varandra och samarbeta kring effektreduktioner, detta utan att värmekomforten blivit lidande. Den här rapporten beskriver resultaten av ett demonstrationsprojekt där tekniken testas under kommersiella former.

## 1.2 Syfte och mål

Syftet med detta demonstrationsprojekt är att praktiskt visa och verifiera nytta med effekt- och laststyrning i fjärrvärmenät under kommersiella former. Demonstrationsprojektet har två primära mål som ska utvärderas hos två olika fjärrvärmeleverantörer med skilda behov.

Det första målet är att validera och verifiera de tekniska aspekterna i systemet samt att skala upp tekniken. Här ingår bland annat att installera utrustningen och låta den arbeta med olika typer av fjärrvärmecentraler, olika kategorier av fastigheter och olika kommunikationslösningar. Syftet med detta mål är att demonstrera systemets funktionalitet och att anpassa tekniken så att den utvecklas till en generell lösning för framtida installationer.

Det andra målet är att ekonomiskt motivera en storskalig installation och att hitta framtida marknadskanaler gentemot kunderna. Här ingår bland annat att identifiera metoder för att uppskatta potentiell effektbegränsning vid storskalig installation, identifiera metoder för att fastställa övergripande effektstyrningskurvor samt att ta fram rekommenderade installationsrutiner.

I samband med projektet så studeras de förändringar som uppstår i konsumtionsmönstret hos de individuella fastigheter som ingår i projektet. Denna analys baseras på timtal och bygger på mätdata som samlas in från installationsområdena allteftersom projektet fortgår. Konsumtionsmönstret hos dessa fastigheter kommer att jämföras dels över tiden i samma fastighet i relation till när styrning genomförs och när den inte genomförs, och dels gentemot andra liknande referensfastigheter utan styrning under de tider styrning sker.

Målet gentemot produktionssidan är att beskriva hur producerad effekt är beroende av tid och temperatur utomhus. Syftet med tekniken är att minska beroendet av tid över dygnet, det vill säga att i någon mån kunna frigöra effektbehovet från sociala aspekter av lasten. Projektet syftar även till att studera antal faktiska pannstarter som tekniken uppnår i förhållande till förväntat antal pannstarter utan operativ effektstyrning. Genom att minska andelen spetslast i förhållande till baslast, förväntas effektstyrning även kunna bidra till att emissioner av fossil koldioxid minskas.

Inom ramen för projektet skall även en rad installationstekniska och praktiska aspekter av systemet utvärderas. Detta innebär att analysera tidsåtgång i samband med installation och att ta fram en praktiskt orienterad inventering av de problem som kan uppstå i samband med installation och drift. För att systemet i de enskilda fastigheterna skall kunna upprätthålla en acceptabel leverans kvalitet så krävs det att systemet kan beräkna de förändringar som uppstår i fastighetskroppen när dess energiuttag manipuleras. Förmågan att beräkna detta är kopplat till en rad aspekter såsom påverkan av befintliga ventilationssystem, geometrin av fastigheten och fysiska egenskaper av de material byggnaden består av. I projektet ingår att studera de praktiska aspekterna av att fastställa dessa parametrar. Dessa värden är även av relevans i samband med att en installation projekteras och ett fastighetsbestånds totala förmåga att effektstyra utvärderas. Att behandla metoder för att fastställa olika fastighetskategoriers förmåga att effektstyra ingår i studien. Utöver detta syftar även projektet till att studera användargränssnitt i samband med praktisk användning av ett system.

Effektstyrningssystemet är beroende av fungerande kommunikation. I projektet ska ett tidigare installerat system för GPRS användas i ett av fjärrvärmesystemen och i det andra ska en fast uppkoppling mot Internet användas. Olika aspekter av dessa kommunikationslösningar skall studeras i samband med projektet.



### 1.3 Projektorganisation

Detta demonstrationsprojekt har genomförts under projektledning av Fredrik Wernstedt på NODA Intelligent Systems AB. Projektledningsarbetet har utförts i samarbete med projektledare Sten Grahn på Fortum Värme AB och projektledare Einar Port på Mälarenergi AB.

Teknisk anpassning, installation och drift av systemet har utförts av personal på NODA. Kompletterande insamling av mätdata har utförts av personal på Fortum Värme AB vad gäller installationen i Stockholm respektive Mälarenergi AB i Västerås.

Referensgruppen till projektet har utgjorts av Gunnar Nilsson (Göteborg Energi AB), Anders Johansson (Energimyndigheten), Bo Johansson (Karlshamn Energi AB) samt Kjell Andersson (Mälarenergi AB).

## 2. GENOMFÖRANDE

Demonstrationsprojektet har genomförts på två olika orter, dels i Stockholm hos Forum Värme AB och dels i Västerås hos Mälarenergi AB. Under projektperioden installerade även NODA ett system hos Tekniska Verken i Linköping vilket har möjliggjort att även inkludera resultat från det systemet. Resultat och utvärdering av demonstrationsprojektet bygger sålunda på driftsdata från installationer inom tre olika svenska fjärrvärmenät. I samband med presentation av resultat så tydliggörs det vilken specifik installation datamängden härrör ifrån.

I Västerås var det framför allt skolfastigheter och andra offentliga byggnader som ingick i projektet, medan installationen i Stockholm och Linköping framför allt omfattat flerbostadshus. Inom ramen för demonstrationsprojektet fanns det således en god bredd av fastighetstyper vilket möjliggör mer generella slutsatser och resonemang i samband med denna rapport.

### 2.1 Förutsättningar inför projektet

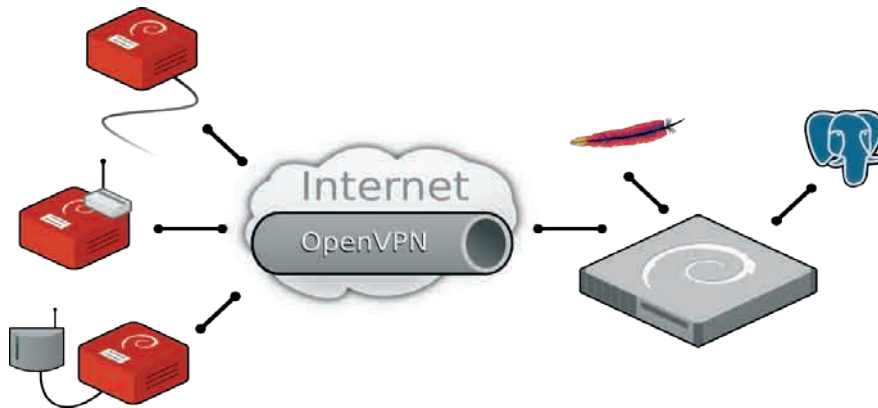
Systemet som NODA tillhandahåller är till sin natur distribuerat och använder den sammanslagna energibufferten hos ett antal fastigheter för att uppnå systemövergripande fördelar. För att studera detta beteende i en operativ verksamhet så är det således viktigt att ha ett tillräckligt stort antal fastigheter som kan samverka med i projektet. Inför projektet gjordes bedömningen att det skulle vara tillräckligt med tjugo fastigheter i Västerås och fyrtio fastigheter i Stockholm, dvs. att demonstrationsprojektet skulle omfatta total sextio fastigheter fördelade på två olika fjärrvärmenät.

Ett syfte med projektet var att studera olika typer av kommunikationslösningar. Tanken var att använda Stadsnät för deras existerande Internetuppkoppling i Västerås och i Stockholm använda de existerande GPRS/Elnät-modem som redan används för insamling av mätdata. Vidare ville vi inom projektet studera potentialen för effektstyrning i olika typer av fastigheter. För att uppnå detta gjordes installationerna i varierande kategorier av fastighetstyper. I Västerås handlade det företrädesvis om skolfastigheter och andra offentliga byggnader, med ett stort användande av luftvärmekretsar inkopplade på sekundärsidan. I Stockholm omfattade installationen olika typer av flerbostadshus. Syftet var även att utvärdera de tekniska problemen med en stor variation av olika fabrikat och modeller av reglercentraler.

Under projektet skulle samtliga fastigheter inventeras i de två installationerna. Inför detta arbete togs en inventeringsmall fram, se bilaga. Syftet var bland annat att man ville fastställa fastighetstyp, fabrikat av reglercentral, kontaktpersoner samt existerande kommunikationslösning. Vidare skulle historisk driftsdata samlas in för att fastställa energisignaturer.

### 2.2 Systemteknik

Systemet bygger på en kombination av hårdvara och mjukvara. Den grundläggande tekniken för effektstyrning finns inbyggd i de mjukvarubaserade systemen, dels på de individuella datorsystem som installeras i varje medverkande fastighet och dels på de servrar och databaser som ingår i systemet. Hårdvaran som levereras i samband med projektet är en öppen plattform som NODA utvecklar och inom projektet används den som ett medel för att påverka reglercentralerna ute i fastigheterna. Med öppen



Figur 1. De lokala systemen (röda) och serversystemen (grå) samverkar via krypterade kopplingar över Internet

plattform menas att den medföljande mjukvaran är baserad på en av NODA anpassad version av operativsystemet Linux och att den levereras med ett lättanvänt programmeringsinterface (API) för att hantera I/O. Olika leverantörer kan således programmera nya tjänster för plattformen med hjälp av allmänt tillgängliga programmeringsspråk såsom exempelvis C och C++. Figur 1 visar en övergripande bild av systemet.

### 2.2.1 Serversystem och databaser

I varje installation är det serversystemen som utgör ryggraden och dessa består av vanliga 64-bitars x86 datorer baserade på anpassade versioner av operativsystemet Debian Linux. Varje installation tilldelas sin egen server, vilken är konfigurerad enligt de krav som installationen i fråga ställer. Med undantag för den mjukvara som är utvecklad av NODA så använder serversystemet endast fri mjukvara. Anledningarna till detta är flera, varav de viktigaste är kostnad, underhållbarhet och flexibilitet.

För att skydda systemet från dataförlust så innehåller varje server dubbla hårddiskar där diskparet körs enligt RAID 1, dvs. att all data speglas på båda hårddiskarna. Detta ger en större trygghet gällande dataförlust vid eventuella problem med hårdvaran. Till detta är kopplat ett system för extern backup.

För att hantera de stora mängder data som genereras i samband med att systemet är i drift så används ett databassystem. Gällande prestanda i ett databassystem av denna typ så påverkar valet av hårdvara i servern och själva strukturen i databasen mycket mer än databasen i sig. I samband med valet av databas är det därför mycket mer än prestandan som utvärderas, exempelvis konfigurerbarhet, licensiering och användarvänlighet. Vi använder PostgreSQL vilket är den databas som bäst uppfyller de krav som ställs på systemet ur såväl funktionella som organisatoriska hänseenden.

### 2.2.2 Backup

För att säkerställa att systemet inte lider dataförlust vid eventuella hårdvaruproblem så nyttjas en backoplösning som bygger på en stor mängd hårddiskar som är driftsatta enligt RAID 6. Detta systemet körs på en maskin vars enda uppgift är att hantera backup

av data. Valet av RAID 6 möjliggör enkelt uppgradering av systemet då nya hårddiskar med lätthet kan läggas till för att öka lagringsutrymmet om så behövs. RAID 6 är pålitligare än RAID 5 då det använder sig av två paritetsdiskar till skillnad mot RAID 5 som bara använder en. Detta tillåter att upp till två diskar fallerar i disksystemet utan att data går förlorad. Sålunda har driftsteknikerna större tidsfönster för att lösa eventuella problem.

Förutom driftsdata så tas även backup på andra vitala delar av systemet, såsom inställningar och användargränssnitt. Detta sker kontinuerligt varje vecka. Alla data i backupsystemet skickas även vidare till en extern maskin som står på en annan geografisk plats än det övriga systemet. Detta minimerar risken att data går förlorad även om serverparken skulle utsättas för svårare överkan såsom brand eller inbrott. Vidare används UPS:er vid samtliga installationer av servrar.

### 2.2.3 Säkerhet

Många större företag och organisationer har idag egna nätverk som i sin tur är uppkopplade gentemot Internet via olika system av brandväggar. För att överkomma problem i samband med att enheter i projektsystemet ligger innanför sådana nät så kopplas alla systemenheter samman i ett virtuellt privat nätverk (VPN). I ett sådant nät kan NODAs system agera fritt utan att påverka integriteten i det omgivande nätet. Det system för server och klient som används för VPN är OpenVPN som är en fullskalig SSL VPN-lösning baserad på fri mjukvara. Detta möjliggör skapandet av ett eget nätverk där varje klient nyttjar ett eget nyckelpar för att autentisera sig gentemot servern. Detta skapar en säkerhetslösning som även medför att kommunikationen kan begränsas till endast IPv4 adresserna i det aktuella VPN. Detta medför ytterligare ett lager av skydd mot extern obehörig tillgång till systemet.

### 2.2.4 NODA RTD IO-board

För att hantera den stora mångfalden av givare och sensorer utvecklades under projektet egen hårdvara i form av ett IO-kort samt mjukvara för att kunna omvandla dess signaler till temperaturvärde. IO-kortet finns i två generationer där första generationen kom i två olika typer. Samtliga typer av kort har 10 ingångar (6 motstånd, två 0-10VDC, en digital samt korttemperatur) och 4 utgångar (ett motstånd, två 0-10VDC samt en digital). Det som skiljer korten åt är omfånget på motståndsutgången.

Spridningen av signalområde för de givare som vi idag har stöd för kan vara i storleksordningen 85 till 110 ohm för PT100 givare och 1800 till 24000 ohm för en termistorgivare. I generation ett av IO-kortet löstes detta med att ta fram två olika typer av kort. I generation två slogs de två typerna från generation ett ihop och därmed kan ett IO-kort hantera motståndsintervall från 40 till 24000 ohm. Det som även tillkom med generation två var ett fail-over relä, som galvaniskt slår ifrån IO-kortet vid spänningsbortfall och inaktivitet. Detta för att garantera att styrningen återgår till normalläge vid eventuellt avbrott.

Systemet har i dagsläget stöd för fler än tjugo olika typer av givare. Genom att klassificera givarna enligt den ekvation eller det uttryck som används för att räkna om insignalen till en temperatur har vi kunnat lägga till stöd för de vanligast förekommande

givare som finns publicerade i temperatur/motstånds-tabeller. De ekvationer och uttryck vi använder är Callendar-Van Dusen, Steinhart-Hart, linjär ekvation samt polynom.

### 2.2.5 Auktionsförfarande

När operatören vill påbörja en effektstyrning för att exempelvis styra bort en kommande effekttopp, så meddelas detta till systemet. Systemet analyserar sedan storlek och tid för den totala styrningen, och baserat på detta fördelas andelar av styrningen över hela fastighetsbeståndet. Detta sker automatiskt och görs kontinuerligt under den tid som styrningen skall utföras. Allt eftersom energibufferten i individuella fastigheter används så omfördelar systemet styrningar inom det medverkande fastighetsbeståndet. Enkelt kan detta beskrivas som en form av så kallad rundstyrning. Omfördelningen bygger på ett auktionsförfarande med syfte att för varje tidpunkt kunna identifiera de fastigheter som just då är mest lämpade att genomföra en effektstyrning. Systemet i varje enskild fastighet beräknar kontinuerligt den mängd effektstyrning som fastigheten i fråga kan genomföra utan att riskera inomhusklimatet. Denna mängd används sedan av fastigheten som bud i samband med auktionsförfarandet.

Varje installation rapporterar således kontinuerligt in till systemet en lista med bud på styrningar som anses vara lokalt acceptabla baserat på gällande inomhuskomfort och utomhustemperatur. Varje bud innehåller tre saker: 1) förändring av emulerad utomhustemperatur till reglercentral, dvs förskjutningen av utomhustemperaturen, 2) hur mycket effektuttaget förändras samt 3) hur länge styrningen kan köras utan att inomhuskomforten försämras mer än den satta acceptansnivån. Dessa listor av bud används av systemet för att beräkna aktuell möjlig effektförändring samt estimerar tillgänglig energibuffert i systemet, som sedan kan presenteras som grafer i användargränssnittet för att tydliggöra aktuell systemstatus. En operatör kan påbörja en systemstyrning antingen manuellt i realtid eller i förväg genom ett tidsschema. Baserat på detta arbetar systemet sedan för att löpande ta fram de vinnande buden som en procentuell styrning av den lokala installationens maximala styrning. Systemet skickar sedan ut instruktioner om effektstyrning till respektive installation som därefter styr enligt de lokala förutsättningarna.

För att beräkna påverkan på inomhusklimatet i de individuella fastigheterna, och såldes möjliggöra skapandet av lokala bud, använder systemet en matematisk husmodell. Parametrarna till husmodellen är unik för varje fastighet och ska baseras på fastighetens geometri och byggnadsmaterial i kombination med ventilationsflöde och kontinuerligt energiuttag. Husmodellen bygger på en energibalans i fastigheten där förhållandet mellan tillförd energi i relation till energiförluster ger en analys av inomhusklimatets aktuella status. För det lokala systemet i en fastighet så finns det två huvudsakliga parametrar att hantera, inomhusklimatet och energitillförseln till fastigheten. Till följd av den fysiska processen med energiförluster i fastigheten så finns det en fördröjning mellan inverkan av energitillförsel och förändring av komfort. Denna fördröjning skapar ett tidsfönster där det är möjligt att utföra förändringar i tillförseln av energi utan att komforten inomhus påverkas i märkbar grad. Det finns med andra ord en energibuffert i varje fastighet och storleken på denna bestämmer hur mycket fastigheten i fråga kan medverka i den systemövergripande styrningen.

Husmodellen används kontinuerligt av systemet i den lokala fastigheten, dels för att beräkna fastighetens framtida förmåga att medverka i kommande effektstyrningar och dels för att beräkna aktuell status och för att genomföra kontrollerad återgång efter styrning med återkoppling till aktuella temperaturer i värmekretsens framledning och retur. Husmodellen bygger på ett system av differentialekvationer som löses numeriskt över de aktuella tidsperioderna.

### 2.3 Kommunikation

Systemet är till sin natur distribuerat och kräver således fungerande kommunikation mellan de sammankopplade noderna för att fungera fullt ut. Systemets funktionalitet är inte i sig beroende av formerna för den underliggande kommunikationslösningen så länge denna tillhandahåller en adekvat nivå av dubbelriktad kommunikation.

Enligt den ursprungliga projektplaneringen skulle fast koppling till Internet användas i Västerås genom Stadsnät samt de redan installerade GPRS/Elnäts modem som används för mätdatainsamling i Stockholm. Under inventering och installationsfasen visade det sig att den existerande lösningen i Stockholm var låst för tredje part samt att det i Västerås fanns fastigheter där det skulle bli för kostsamt att dra fram fast uppkoppling till Internet. För att projektet inte skulle fallera till följd av att man inte hade någon användbar kommunikationslösning fick man istället gå över till att bygga upp en kommunikationslösning med GPRS modem. Detta blev sedermera den lösning som sedan skulle komma att gälla i samtliga installationer i såväl Västerås som Stockholm. Detta är även den kommunikationslösning som används i Linköping. Tyvärr innebär detta att det inte har funnits möjlighet inom projektet att utvärdera systemet under olika kommunikationslösningar.

Den form av kommunikation som har använts inom projektet bygger således utslutande på användandet av externa GPRS modem. De modem som har använts är av modell Maestro Lite 100. Till varje modem kopplas ett abonnemang. För att avgöra vilka SIM-kort och abonnemang som skulle användas gjordes en inventering av olika leverantörer. I detta projekt har framför allt Tele2 använts. Abonnemangslleverantören TRE har inte kunnat användas för denna typ av modem då TRE kräver 3G-kompatibilitet och dessa modem endast har stöd för 2.5G.

### 2.4 Användarvänlighet och användargränssnitt

Systemet bygger på att operatören har möjlighet att dynamiskt utnyttja fastighetsbeståndet som en gemensam energibuffert. För att detta skall fungera på ett tillfredsställande sätt så behöver operatören ha tillgång till ett övergripande användargränssnitt för övervakning och styrning. Som ett steg i ledet att göra systemet tillgängligt för driftpersonal oavsett situation och tillgängligt operativsystem så togs beslutet att implementera användargränssnittet som en webbapplikation. Detta minskar kraven på att utveckla specifika applikationer till diverse operativsystem, och möjliggör även att använda systemet via trådlösa enheter såsom mobiltelefoner eller PDA. Dock så måste även en webbapplikation verifieras på de plattformar som användare kan tänkas utnyttja.

Följande lista är operativsystem som NODA i nuläget har listat som prioriterade målsystem:

- \*nix (GNU/Linux, HP-UX, AIX etc). System av nyare version (max fem år gamla)
- Microsoft Windows XP
- Microsoft Windows Vista
- \*BSD (OpenBSD, FreeBSD, NetBSD) System av nyare version (max fem år gamla)
- Sun Microsystems Solaris. Version 10 eller nyare
- Apple Mac OSX. Version 10.4 eller nyare

Via detta gränssnitt kan en operatör övervaka konsumtionsbeteende ur systemperspektiv såväl som de individuella fastigheterna. Från användargränssnittet går det även att konfigurera och administrera alla enheter som ingår i systemet.

Figur 2 visar användargränssnittet för installationen i Stockholm. Det som visas är sidan som hanterar övergripande rapportering för hela fastighetsbeståndet.

Från den översiktliga sidan går det att gå in på varje enskild fastighet som ingår i systemet. På denna sida kan information och filer läggas upp. Detta gör det enkelt att samla fastighetsspecifik information på ett ställe. Figur 3 visar ett exempel på en informationssida för en enskild fastighet.

En operatör kan välja att påbörja systemövergripande styrning, antingen manuellt eller via schemaläggning kopplat till optimeringsarbete. Figur 4 visar ett användargränssnitt för att övervaka och hantera effektstyrning.

Vidare kan systemet även användas för att analysera historisk driftsdata. Flera olika fastigheter kan studeras samtidigt i samma fönster. Dessa data kan exporteras till filer för vidare analys i exempelvis Excel eller MatLab. I figur 5 visas användargränssnittet för att hantera driftshistorik.

**Översikt**

namn	online	T <sub>summetarbetsload</sub>	T <sub>avg</sub>	Effektstyrning	T <sub>fast,trans</sub>	T <sub>fast,retur</sub>	ΔT <sub>fast</sub>
Deverdammen 2	2009-05-20 13:09:00	21.00	20.10	100.00	22.07	21.72	-4.07
Skandian 14	2009-05-20 13:09:00	21.00	20.93	100.00	22.92	22.84	-4.00
Borggruvan Södra 42	2009-05-20 13:00:00	21.00	14.68	100.00	27.75	24.10	3.65
Björkåsen 6	2009-05-20 13:09:00	21.00	17.97	100.00	26.95	20.65	1.21
Botnekärlan 1	2009-05-20 13:00:00	21.00	17.86	100.00	23.37	22.37	0.00
Brunnskällan 1	2009-05-20 13:09:00	21.00	17.09	100.00	22.53	22.72	-0.19
Brandöskärlan 2	2009-05-20 13:09:00	21.00	19.02	100.00	22.10	22.99	-0.20
Falkens Mänslin 10	2009-05-20 13:09:00	21.00	16.84	100.00	24.12	24.06	-1.06
Qvidjans Södra 13	2009-05-20 13:00:00	21.00	14.80	100.00	19.24	20.30	0.35
Falkensbrunnen 1	2009-05-20 13:09:00	21.00	16.31	100.00	26.11	26.30	1.11
Falkensbrunnen 16	2009-05-20 13:00:00	21.00	10.39	100.00	32.15	20.43	2.72
Falkens Skåns 2	2009-05-20 13:09:00	21.00	18.25	100.00	23.88	23.89	-0.02
Hornbäckaren 10	2009-05-20 13:09:00	21.00	16.20	100.00	23.61	23.15	0.47
Horn 14	2009-05-20 13:09:00	21.00	18.14	100.00	22.76	19.28	6.66
Liggen 2	2009-05-20 13:00:00	21.00	21.27	100.00	21.22	21.13	0.00
Liggen 2	2009-05-20 13:09:00	21.00	19.19	100.00	21.80	21.76	0.00
Modullen 40	2009-05-20 13:00:00	21.00	10.20	100.00	30.05	28.17	4.80
Ölsjöbjörns 10	2009-05-20 13:09:00	21.00	16.50	100.00	21.78	21.16	0.61
Flöjuset 6	2009-05-20 13:09:00	21.00	16.16	100.00	21.63	21.74	-0.11
Brunnskällan 14	2009-05-20 13:09:00	21.00	16.69	100.00	26.61	27.76	-1.20
Småland 0	2009-05-20 13:00:00	21.00	14.52	100.00	21.13	21.40	0.35

**Signalproblem**

namn	online	T <sub>summetarbetsload</sub>	T <sub>avg</sub>	Effektstyrning	T <sub>fast,trans</sub>	T <sub>fast,retur</sub>	ΔT <sub>fast</sub>
Borggruvan Södra 30	2009-04-17 00:31:00	21.00	4.08	100.00	40.27	37.37	2.90
Björkåsen 2	2009-05-21 18:37:00	21.00	3.88	100.00	11.90	33.93	7.67
Långholmen Södra 0	2009-05-20 08:30:00	21.00	-1.94	100.00	35.07	35.43	19.02
Mållåsen 2	2009-05-24 18:38:00	21.00	11.15	100.00	45.85	38.57	4.76
Barnbygd 2	2009-04-17 15:58:00	21.00	12.72	100.00	27.72	28.50	-0.88
Si Östra 3	2009-02-22 17:32:00	21.00	-11.02	100.00	52.19	12.95	8.22

Figur 2. Översiktssida i systemet

**Drabantgatan 22**  
inläggningsinformation

Fastighetsinformation		Radiatorer	
Fastighetsbeteckning	Drabantgatan 22	Installationsår	
Adress	Drabantgatan 22	Antal	511
År byggd (år)	1991	Värmeväxlare (yta, m <sup>2</sup> )	
Fastighetskod	700	Reglerventil (fabrikat, beteckning, kv)	
Energislag (kW/k)	6/2	Ställon (fabrikat, beteckning)	
Byggnadsinspektionsnr		Pumpstake (fabrikat, typ, beteckning)	
Kommunikation	CMMS 0735-30020	Modell på utomhusgivare	TA NTC 1000@25
		Reglerinställning	TA 2220

**Tappvattenrör**

Effekt	
Värmeväxlare (yta, m <sup>2</sup> )	
Reglerventil (fabrikat, beteckning, kv)	
Ställon (fabrikat, beteckning)	
Reglerinställning	

**Bilder**

**Intogade filer**

- drabantgatan\_22.jpg (Bilder) [26 x4 KB]
- 70.jpg (Bilder) [260 x10 KB]

Figur 3. Information och filhantering för varje enskild fastighet

**Manuell styrning**

Start

**Uppmärksamhet: Manuell styrning (1) är aktiverad**

**Schemaläggning**

2009-03-28

**Drifthistorik**

Temperatur (balkning) °C

Temperatur (balkning) °C

Temperatur (balkning) °C

Figur 4. Hantering av effektstyrning

**Datum**

Från: 2009-05-20

Till: 2009-05-20

**Axlar**

Lägg till

**Drabantgatan 22** Tuto

**Kaplensgatan 19** Tuto

**Överslagatan 5** Tuto

**Överslagatan 5 - shunt** Tuto

**Rekrutgatan 13** Tuto

Flösa

Uppdatera Spåra

Temperatur (balkning) °C

Figur 5. Hantering av driftshistorik



Applikationen för användargränssnitt består av ett flertal olika moduler som verkar tillsammans för att generera de webbsidor som presenteras för användaren. I dagsläget har applikationen stöd för följande funktioner:

- Operativ drifthantering
- Rapportgenerering
- Fastighetsinformation
- Drifthistorik
- Larmhantering
- Hantering av meddelande

Sidorna för rapporthantering och fastighetsinformation bygger på en så kallad WIKI-motor, vilket låter användaren, att på egen hand, exempelvis uppdatera information och lägga till nya filer. Genom att använda denna typ av motor så möjliggörs exempelvis följande:

- Direkta SQL förfrågningar mot fördefinierade vyer i databasen, vars resultat kan presenteras i tabellform, listor eller som rådata
- Uppladdning av filer som då binds till den aktuella sidan
- Servervariabler. Detta är fördefinierade ord som utvecklas till textsträngar, exempelvis CURRDATE vilket utvecklas till dagens datum

Applikationen förlitar sig för övrigt i stor utsträckning på JavaScript för att skapa en dynamisk och mer användarvänlig mjukvara. Systemet stödjer de flesta etablerade webbläsare såsom Microsoft Internet Explorer, Mozilla Firefox och Opera. På grund av den avancerade teknik som används så kan äldre versioner av dessa webbläsare ibland uppvisa alternativt beteende vid användning.

## 2.5 Installation

Enligt projektplaneringen skulle totalt sextio fastigheter installeras fördelade på fyrtio fastigheter i Stockholm och tjugo fastigheter i Västerås. Till detta tillkom ett antal fastigheter från en parallell installation i Linköping.

I Västerås har systemet installerats i totalt tjugoen fastigheter. Av dessa har elva stycken driftsatts och ingått i systemet i samband med effektstyrningar. En tolfte installation, Carlforrska Gymnasiet, har driftsatts men senare frånskiljts. Vidare har nio fastigheter fått hårdvaran installerad men inte kunnat driftsättas på grund av olika anledningar. Listan med fastigheter i Västerås och deras status är som följer:

- |                   |                           |
|-------------------|---------------------------|
| • Bäckbyskolan    | installerad och driftsatt |
| • Culturen        | installerad och driftsatt |
| • Hällbyskolan    | installerad och driftsatt |
| • Lernia          | installerad och driftsatt |
| • Malmbergaskolan | installerad och driftsatt |
| • Nybyggeskolan   | installerad och driftsatt |
| • Rösegårdskolan  | installerad och driftsatt |
| • Rudbeckianska   | installerad och driftsatt |
| • Tillbergaskolan | installerad och driftsatt |

• Växhuset	installerad och driftsatt
• Viksängsskolan	installerad och driftsatt
• Carlforrska	installerad och driftsatt, avaktiverad
• Mälarhuset	installerad, ej driftsatt pga låg signalstyrka GPRS
• Wennströmska	installerad, ej driftsatt pga låg signalstyrka GPRS
• Gideonberg	installerad, ej driftsatt pga låg signalstyrka GPRS
• Persboskolan	installerad, ej driftsatt pga låg signalstyrka GPRS
• Skiljeboskolan	installerad, ej driftsatt pga krypjord
• Fridhem	installerad, ej driftsatt pga 4-trådars PT100
• Apalby	installerad, ej driftsatt pga 4-trådars PT100
• Rönaby	installerad, ej driftsatt pga 4-trådars PT100
• Stadshuset	installerad, ej driftsatt pga trasig DUC

I Stockholm har utrustningen installerats och driftsatts i totalt tjugosju fastigheter. Utrustningen har inte kunnat installeras i övriga fastigheter då man inte kunnat bekräfta med fastighetsägarna att installation fick ske. Totalt har fyrtiotvå fastigheter inventerats i Stockholm. Alla de fastigheter där det getts tillstånd att installera har blivit installerade och driftsatta. De fastigheter som ingår i installationen i Stockholm är följande:

• Bäverdammen 2	installerad och driftsatt
• Bergsfallet 19	installerad och driftsatt
• Bergsgruvan Större 42	installerad och driftsatt
• Bjurbäcken 6	installerad och driftsatt
• Brandbottnen 1	installerad och driftsatt
• Brandbottnen 2	installerad och driftsatt
• Dykärret Mindre 10	installerad och driftsatt
• Dykärret Större 13	installerad och driftsatt
• Fatbursbrunnen 1	installerad och driftsatt
• Fatbursbrunnen 16	installerad och driftsatt
• Fiskaren Större 2	installerad och driftsatt
• Hornblåsaren 10	installerad och driftsatt
• Hugin 20	installerad och driftsatt
• Liggmilan 2	installerad och driftsatt
• Liggmilan 3	installerad och driftsatt
• Morkullen 40	installerad och driftsatt
• Östergötland 10	installerad och driftsatt
• Rådjuret 6	installerad och driftsatt
• Rosenbusken 18	installerad och driftsatt
• Småland 9	installerad och driftsatt
• Bergsgruvan Större 39	installerad och driftsatt
• Bottnakarlen 1	installerad och driftsatt
• Bröstningen 2	installerad och driftsatt
• Långholmen Södra B	installerad och driftsatt
• Näktergalen 2	installerad och driftsatt
• Ramstycket 2	installerad och driftsatt
• St Göran 3	installerad och driftsatt

Den genomsnittliga installationshastigheten har varit två stycken installationer per dag. Vissa installationer har dock inneburit en större problematik och därför har vi varit ute vid dessa under ett antal tillfällen. De tre största problemområdena i samband med installationerna är följande:

- Låg signalstyrka. Detta problem kan i vissa fall avhjälpas genom en kraftigare antenn. I andra fall kan problemet inte lösas utan att man drar längre kablage och använder en extern kraftigare antenn samt installera signalförstärkare för att hantera kablagesträckan. Detta har dock bedömts som alltför kostsamt inom ramen för demonstrationsprojektet, vilket har gjort att dessa fastigheter inte har kunnat driftsättas.
- 4-trådars PT100. Denna typ av givare för utomhustemperatur klarar hårdvaruplattformen i nuläget inte av. Alternativet hade varit att byta ut givaren, med efterföljande omprogrammering av den befintliga reglercentralen som följd. Detta var inte möjligt inom ramen för demonstrationsprojektet.
- Krypjord. Detta innebär störningar i den befintliga installationen. Att lösa detta faller utanför ramen för detta demonstrationsprojekt.

Till detta kommer installationen i Linköping som omfattar tio fastigheter. Dessa fastigheter använder samma typ av GPRS modem som de i Stockholm och Västerås.

## 2.6 Skalbarhet

I samband med utvecklingen av systemet så har det varit en grundförutsättning att systemet skall vara enkelt att skala upp. För att effektstyra ett större fjärrvärmenät så behöver systemet hantera en ansevärd mängd fastigheter vilket har gjort att skalbarhet har varit en prioriterad aspekt genom hela utvecklingsfasen.

Systemet bygger på självreglerande noder ute i varje fastighet som tillsammans samverkar för att uppfylla systemövergripande mål satta av operatören, exempelvis att styra bort en kommande effekttopp. Varje fastighetsnod beräknar kontinuerligt sina egna förutsättningar för att effektstyra och bidrar enbart till de systemövergripande målen då de lokala begränsningarna på inomhuskomforten tillåter detta. Eftersom varje enskild fastighetsnod själv ansvarar för sitt beräkningsarbete avlastas serverdelen av systemet i hög grad, vilket i sin tur gör systemet väldigt skalbart. Systemet är uppbyggt med grundtanken att det skall vara lätt att bygga ut och att befintliga installationer skall fungera att skala upp eller ned utan omfattande arbete på serversidan. Kombinationen av att fastighetsnoderna arbetar utefter lokala komfortbegränsningar och att effektstyrningen distribueras enligt ett auktionsförfarande baserat på detta gör systemet till självreglerande i den bemärkelsen att systemet som sådant fungerar lika bra med tio, hundra eller tusen noder inkopplade.

För att koppla in en ny fastighet i systemet behövs utrustning för att påverka den befintliga reglercentralens utomhustemperatur, och även möjlighet att läsa av temperatur på framledning och retur på sekundärsidan. Förutom detta krävs någon form av kommunikationslösning till systemet. Totalt sett är det med andra ord inget större arbete som krävs för att installera en ny fastighetsnod, och åverkan på den befintliga utrustningen är minimal. När detta är gjort så kan fastighetens uppgifter läggas in i databasen och den blir därmed automatiskt inlagd i systemet.

## 3. STYRNING AV LAST OCH EFFEKT

Eftersom produktionen i ett fjärrvärmenät är beroende av konsumtionen ute i nätet är det för en operatör värdefullt att till viss del kunna styra effektuttag och energilast med syfte att i sin tur optimera produktionen. Detta kan göras både indirekt och direkt. Indirekta tekniker handlar om att operatören försöker påverka konsumenten till att själva styra sin last. Detta kan uppnås exempelvis genom att införa olika former av effekttaxa eller flödestaxa. Direkt styrning handlar om att operatören har möjlighet att själv styra effektuttag och last ute hos konsumenterna. Tanken med direkt styrning är något som länge har funnits [2], men det är först under de senaste åren som utvecklingen av den tekniska infrastrukturen har gjort metoden praktisk användbar.

### 3.1 Incitament till styrning av last och effekt

Det finns en mängd ekonomiska och miljömässiga fördelar med fungerande operativ styrning av kunders effektuttag. Genom att ha ett system som samordnar konsumtionsbeteendet hos en mängd fastigheter så möjliggörs stora systemövergripande fördelar. Detta tankesätt bygger på att en operatör generellt sett inte är intresserad av att förändra individuella konsumenters lastkurva utan snarare det totala sammanslagna effektuttaget över tiden. Tekniken med operativ laststyrning ger teoretiskt upphov till en rad fördelar:

- Det går att utnyttja baslastpannor till en större andel av den totala producerade mängden energi, istället för att använda spetslast. Att använda baslast istället för spetslast är fördelaktigt ur både ekonomiska och miljömässiga perspektiv, då spetslast i hög grad drivs av kostsamma fossila bränslen som frigör en stor mängd koldioxid.
- Vid kortare effekttoppar kan systemet styra bort effektuttag vilket gör att man helt kan undvika att använda spetslast. Vid uppstart av en panna är generellt emissionerna höga i samband med att pannan kan ta flera timmar på sig att värmas upp.
- Använda fastigheter och distributionssystem som lagringsbuffert för lastförskjutning vilket gynnar kraftvärmeproducerad el, då man bättre kan matcha efterfrågan på elmarknaden under dygnet.
- Vid nyanslutning av kunder kan systemet bidra till att investering i ökad produktionskapacitet undviks eller fördröjs, alternativt att ansluta fler kunder till redan högt belastade fjärrvärmenät.
- Möjlighet att under rätt förutsättningar överbrygga trånga sektioner i fjärrvärmenätet.
- Minskat behov av ackumulatortankar.
- Möjlighet att hantera bristsituationer genom att prioritera mellan olika konsumenter.
- Ökad förmåga att sänka returtemperaturen i fjärrvärmenätet vilket gynnar miljömässig värmeproduktion och sänker produktionskostnaderna.

### 3.2 Intelligent effektstyrning

En av de grundläggande aspekterna av fjärrvärme gentemot kund är dess pålitlighet och höga leveranskvalitet. En fullgod förmåga att upprätthålla detta faktum måste anses vara ett av de viktigare kraven som kan ställas på alla energieffektiviserande åtgärder i ett fjärrvärmenät. Vad gäller effektstyrning så handlar detta om att samordna en kopp-

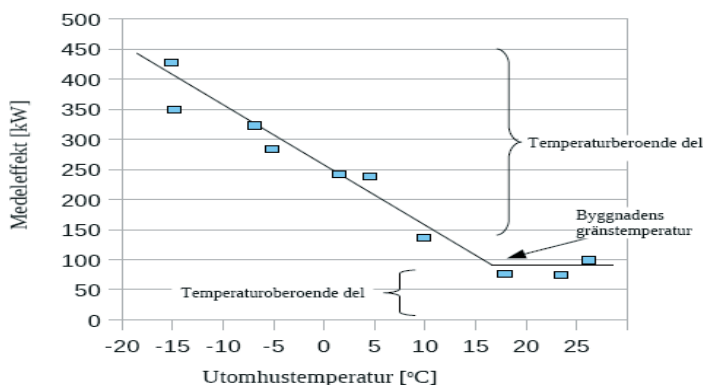
ling mellan två funktioner och målbilder i konflikt, dvs. att upprätthålla en acceptabel inomhuskomfort samtidigt som den av operatören önskade systemövergripande konsumtionsprofilen uppnås. Det är förmågan att samtidigt uppfylla båda dessa krav som skiljer så kallad intelligent effektstyrning från enklare former av effektstyrning. Med enklare system menas exempelvis lokala system som arbetar med effektstyrning i fastigheter enligt fördefinierade listor, eller som använder lokal tappvattenprioritering. Det är ett faktum att om en tappning i en fastighet genererar ett effektuttag som är större än det aktuella effektuttaget för radiatorkretsen räcker det inte med lokal tappvattenprioritering för att jämna ut lasten. Vidare är den typen av teknik inte heller samordnad över fastighetsbeståndet vilket omöjliggör all förmåga till att uppnå längre globala produktionsorienterade mål med garanterande komfortnivåer.

Inomhusklimatet är givetvis kopplat till den lokala konsumtionen, men det finns en fördröjning i denna fysiska process. Det går att under kortare perioder påverka den lokala konsumtionen utan att det lokala inomhusklimatet förändras så mycket att någon försämrad komfort upplevs av de boende. I praktiken rör detta sig om någon enstaka grad. Detta värde kan ändras av systemets operatör, och det går även vid behov att justera det individuellt för varje enskild fastighet.

En viktig aspekt av att upprätthålla en fullgod leveranskvalitet handlar om att enbart påverka uppvärmningen av fastigheten men aldrig kretsen för tappvarmvatten. Förutom den direkta påverkan av komforten som detta skulle medföra, så innebär det även en ökad risk för annan problematik såsom tillväxt av legionella.

Den möjliga effektstyrningen i en fastighet är kopplad till vad fastighetsägaren accepterar. Utrustningen anpassas dels individuellt för att efterlikna fastigheten då det gäller kapacitet och responstider för fastigheternas värmekapacitet och dels ställs även gränser in för den maximala temperaturförändring som fastighetsägaren kan acceptera. Utrustningen har inte varit ansluten till energimätarna vilket innebär att vi istället använt en energisignatur baserad på historisk förbrukning för att uppskatta den effekt som används för att värma byggnaden i ett givet läge. En byggnads energisignatur är ett mått på byggnadens effektbehov relaterat till utomhustemperaturen, se figur 6.

Med utgångspunkt i beräkningar av de lokala komfortnivåerna avgör systemet vilka fastigheter som har mest gynnsamma förutsättningar att effektstyra för att uppnå de



Figur 6. Energisignatur är ett mått på effektbehovet per utomhusgrad

systemövergripande styrmål som för tillfället är önskvärda. Detta utförs med hjälp av det beskrivna auktionsförfarandet vilket medför att systemet hela tiden arbetar efter att uppnå de uppsatta målen, men utan att riskera den fastställda komfortnivån hos de individuella fastigheterna. Systemet bygger på att använda ett mellanlager mellan de produktionsorienterade målen och de konsumtionsorienterade målen. Syftet med detta lager är att uppnå en samverkan mellan målen utan att gå utanför respektive begränsningar. Eftersom systemet verkar inom en dynamisk och föränderlig domän, så måste systemet vara robust, flexibelt och responsivt. För att kunna hantera en ökad komplexitet vid större installationer har systemet en mer distribuerad arkitektur, med syfte att upprätthålla en acceptabel nivå av feltolerans och beräkningskapacitet. Systemet består nu av fristående och autonoma noder som koordinerar och synkroniserar sina respektive beteende samtidigt som de är medvetna om sina respektive komfortnivåer. De grundläggande metodikerna för att hantera denna typ av system bygger på idéer från bl.a. spelteori och ekonomi, som exempelvis det beskrivna auktionsförfarandet. Dessa är olika aspekter som i samverkan ger upphov till ett system som utifrån betraktaren i någon mån kan kallas intelligent.

En fråga som ibland förbises i samband med styrning av konsumtion är den om återvändande laster, dvs. de effekttoppar som uppstår när konsumtionen släpps fri efter en styrning. Vid kortare styrningar är denna återvändande last så stor att den helt tar bort vinsten med själva styrningen vad gäller energibesparing för fastighetsägaren, samtidigt som den ger upphov till ökade effekttoppar för operatören. Detta är bland annat ett problem i samband med den relativt utbredda användningen av statiska nattsänkningar.

För att undvika den här typen av återvändande effekttoppar använder systemet sig av kontrollerad återgång i samband med varje individuell effektstyrning. Det betyder i praktiken att systemet fortsätter att genomföra efterhand minskande effektstyrning även under återgången tills normal effektnivå uppnås. Längden och formen för denna kontrollerade återgång beräknas dynamiskt av systemet och är beroende av fastigheten som sådan, och bygger på dess fysiska parametrar och geometri.

Ytterligare en fördel med en intelligent fördelningsalgoritm är att man ökar förutsättningarna för att eventuella återvändande laster slås samman genom att styrningarna sprids ut över tiden som mindre styrningar hos många fastigheter.

## 4. RESULTAT

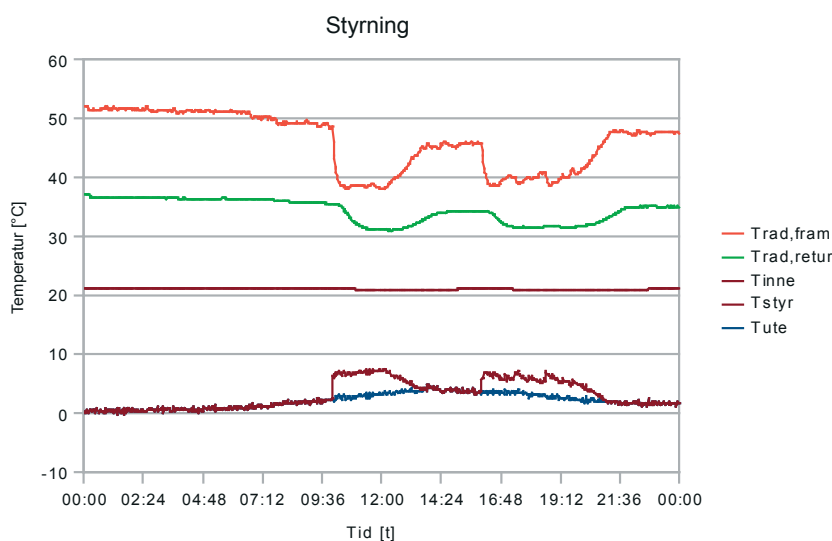
För att underlätta överblicken så delas resultaten upp i ett antal olika delar där vi studerar systemets påverkan på effekt och energianvändning för sig. Till detta kommer en analys av hur inomhusklimatet har påverkats och en diskussion om beräkning av tillgänglig buffert inom fastighetsbeståndet. Systemet som studeras inom ramen för detta projekt bygger på att styra hela eller delar av ett fjärrvärmenät baserat på ett systemövergripande och kommunikativt förhållningsätt snarare än lokalt och oinformerat. För att påvisa denna funktion kommer resultat från såväl enskilda fastigheter som samverkande fastighetsbestånd att presenteras.

Resultaten kommer från tre stycken olika installationer: Stockholm, Västerås och Linköping. I samband med presentationen av diverse resultat så beskrivs även från vilken installation aktuell mätdata är hämtad.

### 4.1 Effektstyrning

Det gränssnitt som systemet använder för att påverka den existerande reglercentralen är dess givare för utomhustemperatur. Genom att manipulera nivån av det som reglercentralen uppfattar som utomhustemperatur går det att styra reglercentralen oavsett den faktiska utomhustemperaturen. Denna påverkan sker genom den existerande lokala algoritmen för reglering vilket gör att inga förändringar behöver utföras på den befintliga reglercentralen. I figur 7 visas hur den förändrade utomhustemperaturen,  $T_{styr}$ , påverkar temperaturen på sekundärsidan i radiatorkretsen. Figuren visar även en svag påverkan på det beräknade inomhusklimatet,  $T_{inne}$ , i samband med varje styrning när fastigheten har börjat tömma sin termiska buffert.

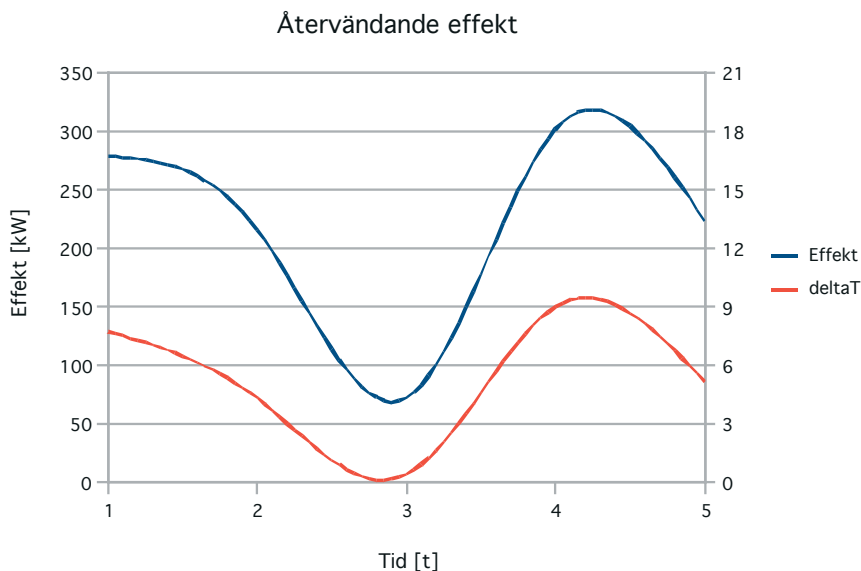
Detta visar att själva grundtekniken för påverkan, dvs. förändring av den av reglercentralen uppfattade utomhustemperaturen, fungerar som det är tänkt. Att reglercentralen styr ner sitt effektuttag om den uppfattar att utomhustemperaturen går upp är självklart och är knappast kontroversiellt. Komplexiteten uppstår snarare när man försöker



Figur 7. Styrning genom förändring av dämpad utomhustemperatur. Viksängsskolan 2009-03-28

att utföra dessa styrningar koordinerat över flera fastigheter i samverkan och att göra detta med syfte att uppnå systemövergripande mål.

Genom att övervaka temperaturerna i framledning och retur i värmekretsen kan systemet beräkna det förändrade tillskottet av energi till fastigheten. För varje fastighet matas löpande dessa data till en matematisk modell av fastigheten som kontinuerligt beräknar den dynamiska förändringen av inomhustemperaturen. Denna förändring av inomhustemperatur ligger sedan till grund för det lokala systemets bedömning av hur lämpad den aktuella fastigheten är att delta i effektstyrning. Genom modellen kontrolleras även att återgången till normalt effektuttag efter en styrning sker utan att någon återvändande last uppstår i allt för hög grad. Exempel på system med återvändande last är de nattsänkningar som många reglercentraler har stöd för. Dessa resulterar sällan i den utlovade energibesparingen, utan ger istället upphov till återvändande last som i många fall motverkar större delen av besparingen. Sker denna återvändande last under morgontimmarna så spår de dessutom på den systemövergripande morgontoppen som generellt återfinns under morgontimmarna i de flesta fjärrvärmenät. I figur 8 syns den återvändande lasten direkt efter en styrning som tillåts skena iväg då återgången inte kontrolleras.



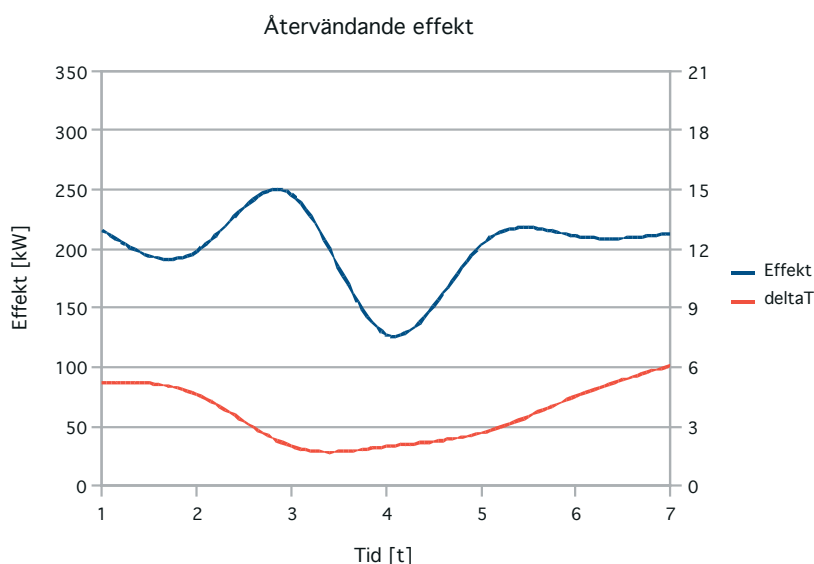
Figur 8. Återvändande last utan kontrollerad återgång. Effektstyrning om cirka 150 kW. Drabantgatan 2009-03-19

I figur 9 ser man samma fastighet som genomför ytterligare en effektstyrning. Skillnaden är att nu hanteras återvändande last genom en kontrollerad återgång. Storleken på effektstyrningarna är ungefär lika stora i båda fallen.

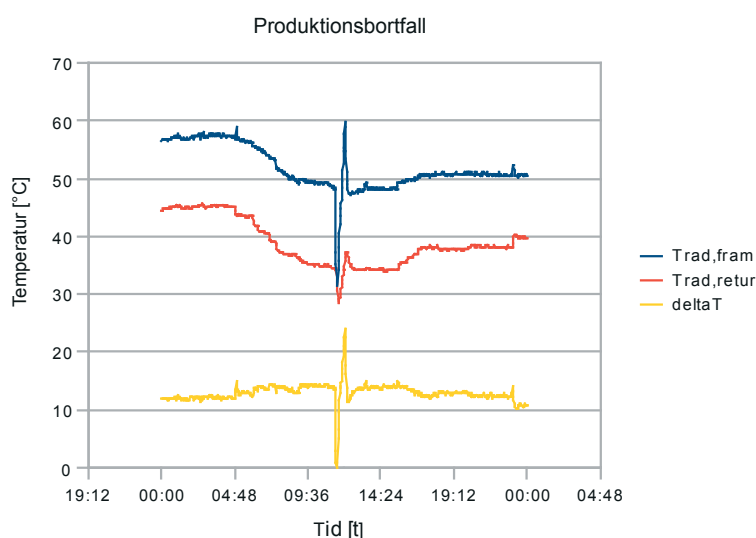
Denna typ av återvändande last återfinns i samband med de flesta snabba förändringar av effektuttaget och det är således viktigt att systemet har förmåga att hantera den typen av händelser. Förutom i samband med medvetet iscensatta förändringar



såsom olika former av effektstyrningar så uppstår återvändande laster även i samband med ofrivilliga produktionsbortfall eller lokala driftsstopp såsom pumpbortfall. Normalt sett kommer reglercentralerna ute i nätet i sådana situationer att öppna sina ventiler fullt ut i hopp om att uppnå sina satta börvärden. Detta är en given konsekvens av normal regler teknik. Med hjälp av den här typen av teknik kan påverkan av sådana stora effektuttag mildras, såväl på lokal nivå som systemövergripande. Ett exempel på återvändande last efter ett pumpbortfall visas i figur 10. I detta fall är inget styrsystem igång, och den återvändande effekttoppen tillåts fortgå obehindrat.



Figur 9. Kontrollerad återgång utan återvändande last. Effektstyrning om cirka 130 kW. Drabantgatan 2009-03-22

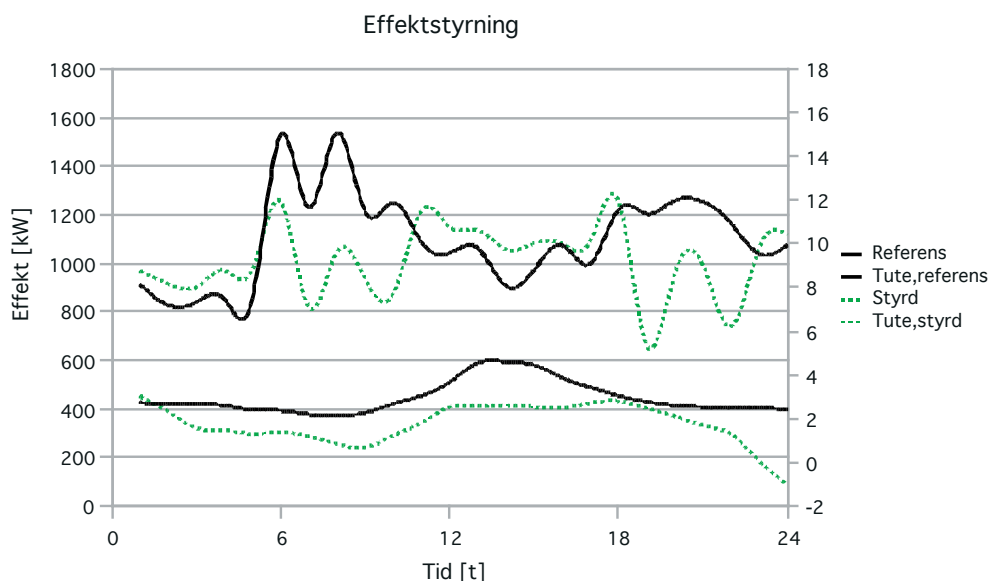


Figur 10. Produktionsbortfall efterföljs ofta av stora effekttoppar då produktion återupptas. Hällbyskolan 2009-03-09

Att oinformerat genomföra lokala effektstyrningar genom att manipulera den av reglercentralen uppfattade utomhustemperaturen är som påvisats inget större problem. Den intressanta problematiken uppstår när man försöker samordna dessa styrningar ur operatörens synvinkel, samtidigt som hänsyn tas till rådande inomhusklimat i de medverkande fastigheterna. Exempelvis kan det handla om att styra bort stundande effekttoppar. I figur 11 visas det sammanlagda effektuttaget för alla de fastigheter som ingår i installationen i Linköping. I figuren jämförs en dag med två genomförda effektstyrningar, *Styrd*, och en referensdag utan någon styrning alls, *Referens*. Under morgonen genomförs en effektstyrning mellan 06.00 och 10.00 och under kvällen ytterligare en mellan 18.00 och 22.00. Effektreduceringen under morgonens styrning och under kvällens styrning uppskattas till ungefär 400 kW vardera.

Den effektdata som presenterades i figur 11 presenteras även i figur 12 efter att effekterna har sorterats storleksmässigt. Detta ger ett varaktighetsdiagram över dagen. I samband med effektstyrningen har det maximala effektbehovet reducerats från över 1 536 kW till 1 255 kW. Den största reduktionen av effektbehovet har skett i samband med de högsta effekttopparna.

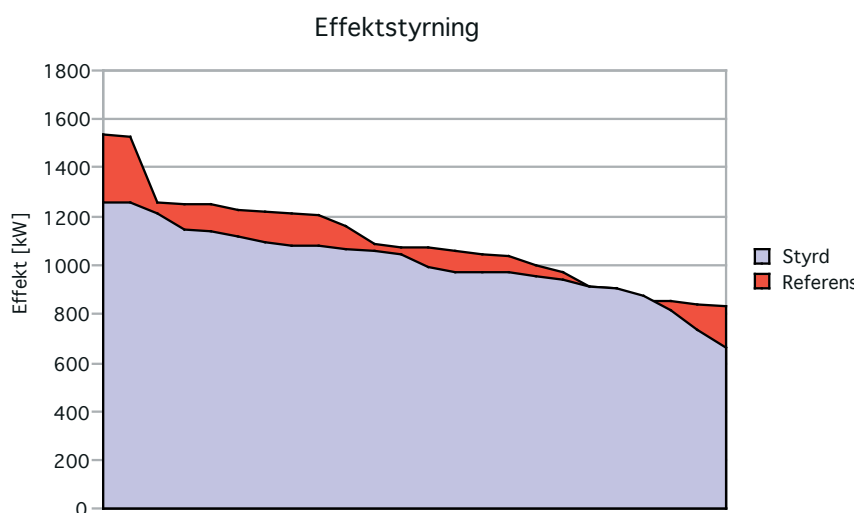
Det skall även noteras att medeltemperaturen utomhus under referensdygnet låg på +2,9 °C, och under dygnet med effektstyrning på +1,7 °C. Ingen justering för denna temperaturförskjutning har skett så egentligen är påverkan av effektstyrningen större än vad som presenteras här, om man tar hänsyn till att det styrda dygnet har haft det kallare. Men man kan konstatera att även då utomhustemperaturen är i genomsnitt mer än en grad kallare så har det styrda dygnet ändå mer än 18 % (skillnad mellan effekttopp på 1255 kW och 1536 kW) lägre effektuttag i samband med de högsta effektbehoven.



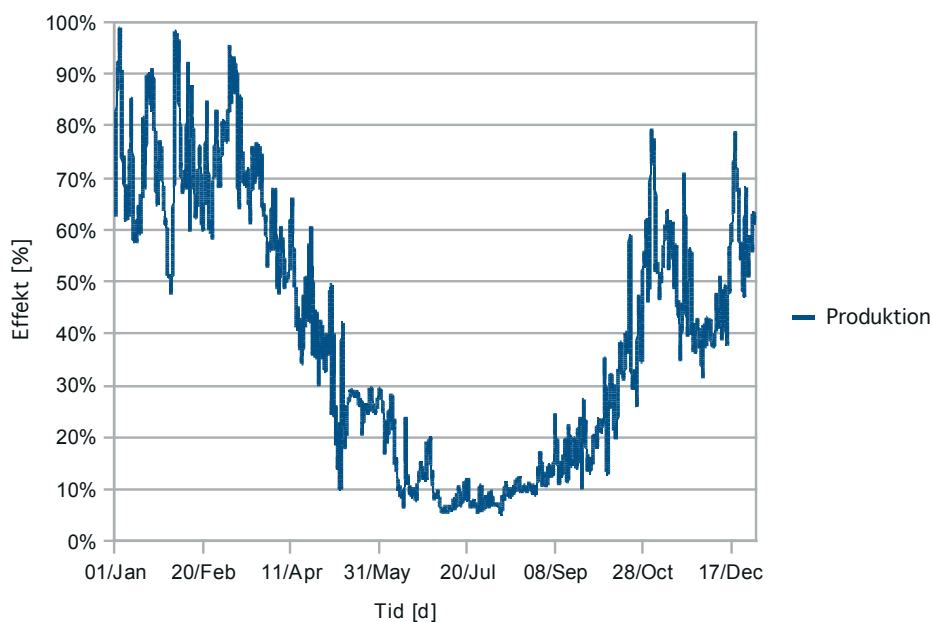
Figur 11. Ett dygn, 2009-03-23, med två genomförda effektstyrningar i jämförelse med referensdygn, 2009-03-05, i Linköping

I Figur 13 visas momentant effektuttag fördelat över ett år i ett fjärrvärmenät. Effektuttaget i figur 13 kan även den sorteras i ett varaktighetsdiagram och detta visas i figur 14.

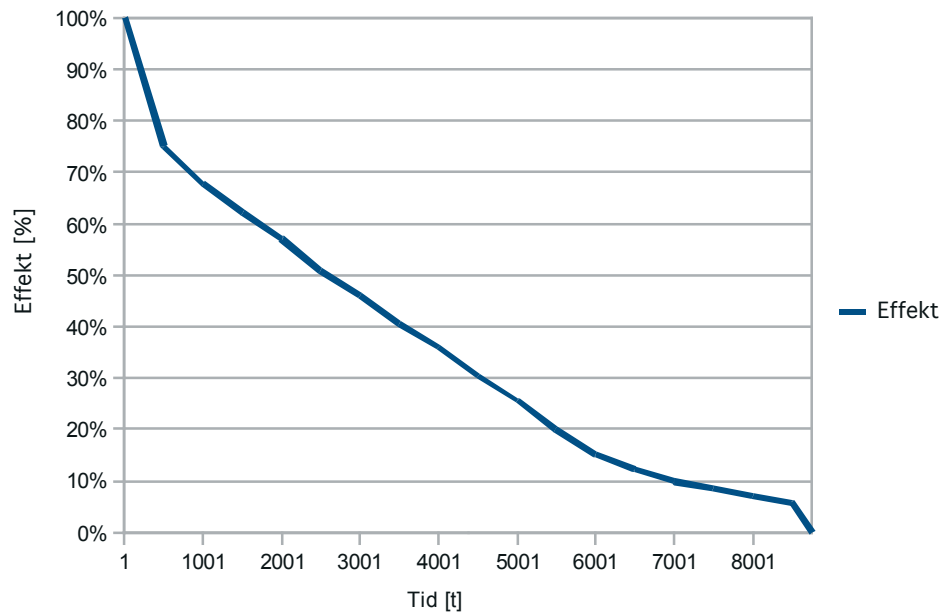
För att tillgodose värmebehovet används normalt ett flertal olika produktionsenheter med olika karaktäristik och tillhörande bränslen. Produktionslagen staplas in i varaktighetsdiagrammet efter kostnad för produktion, vilket normalt innebär att olje-baserad produktion endast går in för att täcka de högsta topparna som vanligtvis har relativt kort varaktighet. I tabell 1 visas en sammanställning av varaktighet och förekomsten av specifika effektnivåer under året.



Figur 12. Effektuttagen sorterade efter storlek. Linköping



Figur 13. Momentant effektuttag över ett år i ett fjärrvärmenät.



Figur 14. Effekttuttag i ett fjärrvärmenät sorterat efter varaktighet.

Tabell 1. Varaktighet och förekomst av effekttoppar i ett antaget fjärrvärmenät.

%	Förekomst [t]	1 t	2 t	3 t	4 t	5 t	6 t	7 t	8 t	9 t	10 t	11 t	28 t
100	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
98	5	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
96	7	2	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
94	15	1	-	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-
92	25	7	-	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-
90	43	10	-	3	1	1	-	1	1	-	-	-	-
88	68	2	2	3	2	2	-	2	-	-	1	1	-
86	119	35	6	-	3	2	2	1	-	-	2	1	-
84	166	20	5	2	1	2	2	2	1	-	3	-	1

När man undersöker de enskilda effekttopparna från ovanstående underlag kan man konstatera följande:

- Varaktigheten för det högsta effekttuttaget är endast en timme.
- Den längsta sammanhängande topp som effekten legat i området för de högsta 8% är fyra timmar.
- För att minska effekttuttaget med 10% behöver systemet kunna styra undan lasten under åtta timmar som längst.

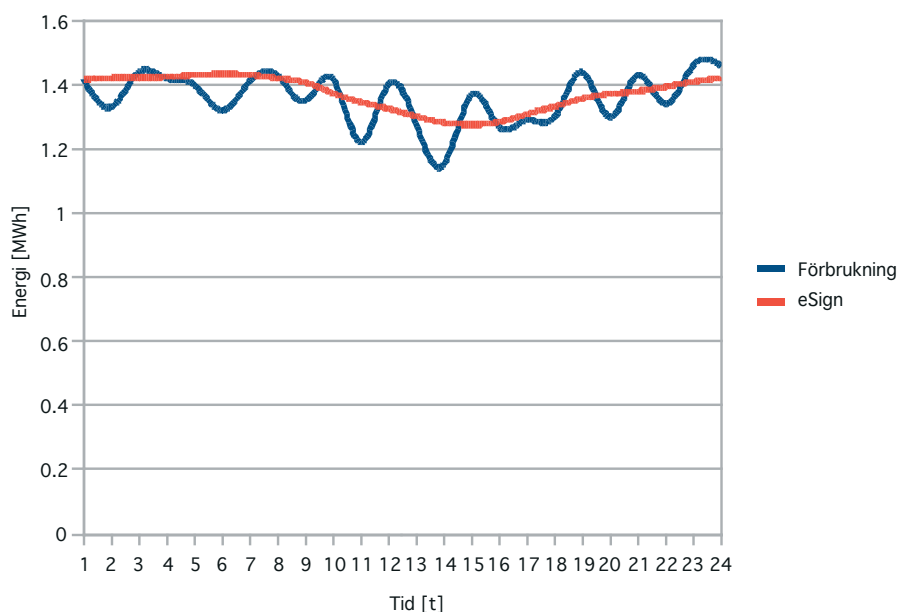
Vi antar här att större fastigheter har en e-signatur på 10 kW/ °C och att man vill förhindra de 10 % högsta uttagen i fjärrvärmenätet. Vidare förutsätter vi att ingen fastighet som ingår i systemet skall genomföra styrningar som överstiger 8 timmar under ett dygn samt att det vid det längsta styrtillfället finns möjlighet att påverka utomhustemperatur-sensorn så att reglercentralen uppfattar temperaturen 10 °C varmare än rådande utomhustemperatur. Vidare, antar vi sedan att exempelssystemet i figur 13 är ett relativt stort fjärrvärmenät med ett maximalt effektuttag om 400 MW kommer det att krävas ca 400 fastigheter för att styra bort ett uttag om 40 MW. Denna kapacitet möjliggör även enligt tabell 1 att man kan styra bort 88 % av alla effekttoppar ned till ca 335 MW.

Den teoretiska optimering som generellt sett används för att hitta de mest ekonomiskt fördelaktiga produktionsalternativen bygger på lösningar av Economic Dispatch Problem (EDP) och Unit Commitment Problem (UCP). Genom att lösa EDP och UCP kan en operatör för exempelvis varje timme det kommande dygnet hitta en önskad konsumtionsnivå. Detta värde kan sedan användas som beslutsunderlag av systemet för att genomföra effektstyrningar med syfte att upprätthålla den önskade konsumtionsnivån.

## 4.2 Energiuttag

För att beräkna energianvändning i en fastighet så använder systemet fastighetens energisignatur (e-signatur). E-signaturen är ett mått på vilken tillförd effekt som krävs per grad för att upprätthålla en temperaturdifferens mellan utomhustemperatur och inomhustemperatur. E-signaturen används även för att i förväg uppskatta en byggnads maximala förmåga att genomföra effektstyrningar. I figur 15 visas att e-signaturen i detta fall stämmer väl med den uppmätta förbrukningen.

Jämförelsen i figur 15 mellan energisignatur och faktisk uppmätt förbrukning bygger



Figur 15. Energisignatur i förhållande till uppmätt förbrukning. Västerås, 2009-03-07

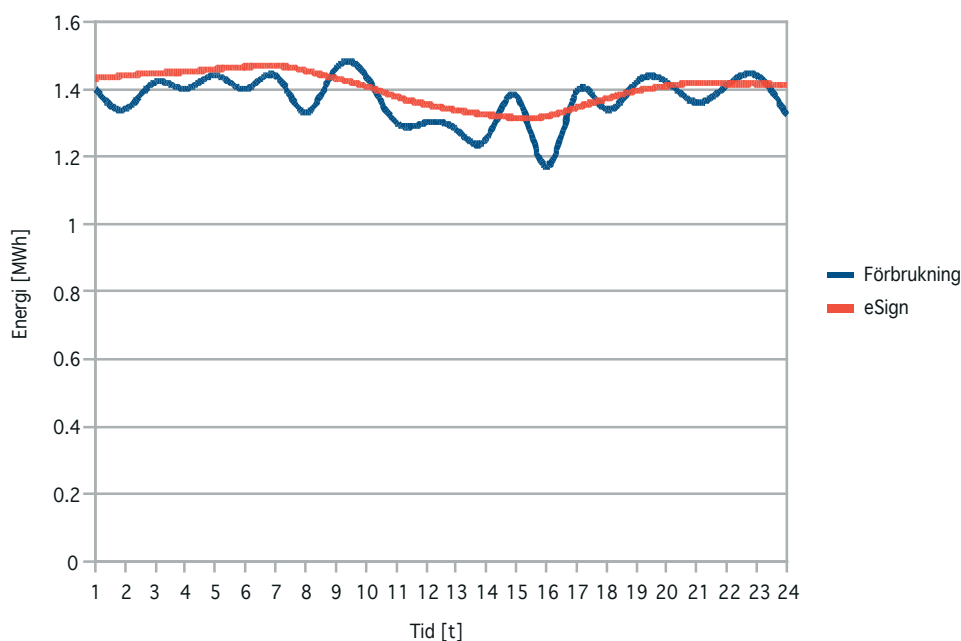
på mätdata från Växhuset, Viksängsskolan, Tillbergaskolan, Nybyggeskolan, Malma-bergsskolan, Lernia och Rudbeckianska gymnasiet. Alla dessa fastigheter ligger i Västerås. I figur 16 uppvisar samma fastigheter ytterligare ett exempel på att e-signaturen på ett nära sätt följer uppmätt förbrukning.

I figur 17 ser man samma fastigheter genomföra en samordnad styrning mellan 15.00 till 19.00 under ett dygn. Den uppskattade e-signaturen för referens (röd linje) följer det tidigare mönstret medan den e-signatur som systemet manipulerar med hjälp av utomhusgivaren tydligt uppvisar en minskning i samband med att styrningen har ägt rum.

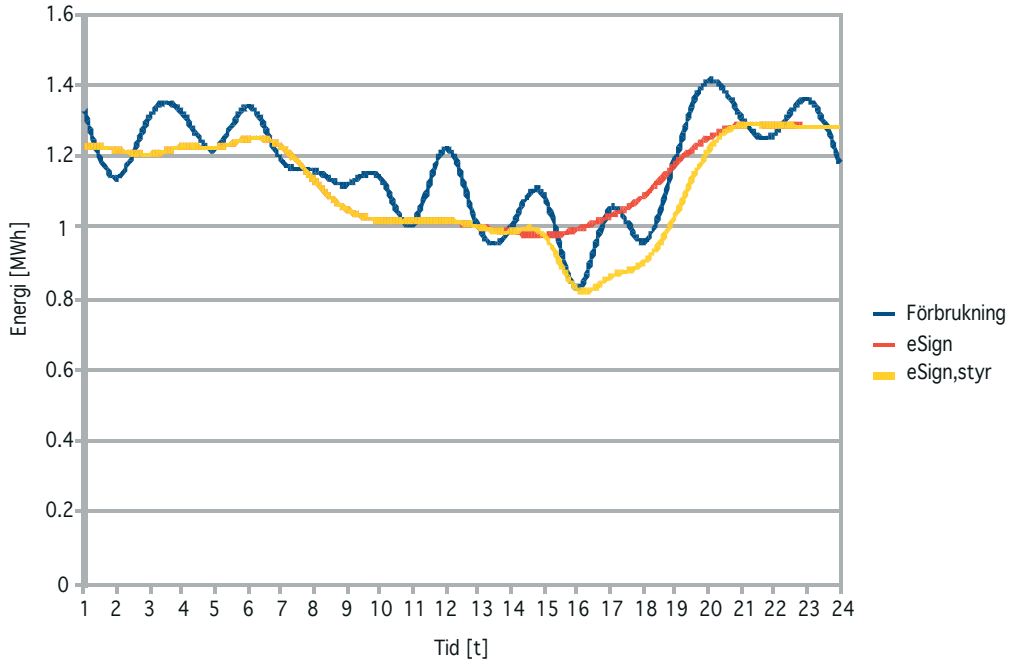
I samband med en effektstyrning som den i figur 17 så minskar energitillförseln till fastighetsbeståndet med cirka 2,5%. Detta resonemang bygger på att differensen mellan beräknad förbrukning givet verklig utomhustemperatur och beräknad förbrukning mellan den styrda utomhustemperaturen är en korrekt uppskattning. Den tidigare visade korrelationen mellan e-signaturen och faktisk uppmätt förbrukning stödjer detta antagande.

I figur 18 visas ett dygn där två på varandra följande effektstyrningar genomförs. I denna figur ingår även flödet över fjärrvärmecentralen.

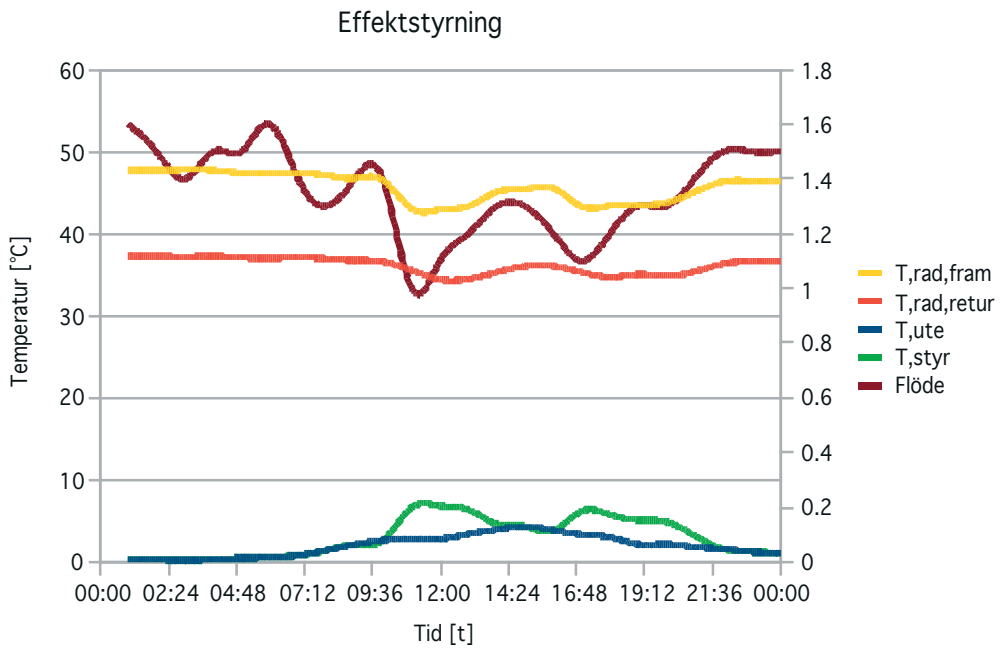
Genom att jämföra den verkliga utomhustemperaturen,  $T_{ute}$ , med den som systemet matar till reglercentralen,  $T_{styr}$ , så syns det tydligt var effektstyrningar har genomförts, dvs. dels en under förmiddagen och en under eftermiddagen. I samband med de två styrningarna syns att systemet minskar framledningstemperaturen i värmekretsen. Det framgår även tydligt att flödet över fjärrvärmecentralen minskar kraftigt i samband med effektstyrningen samt att även  $T_{rad,retur}$  sjunker.



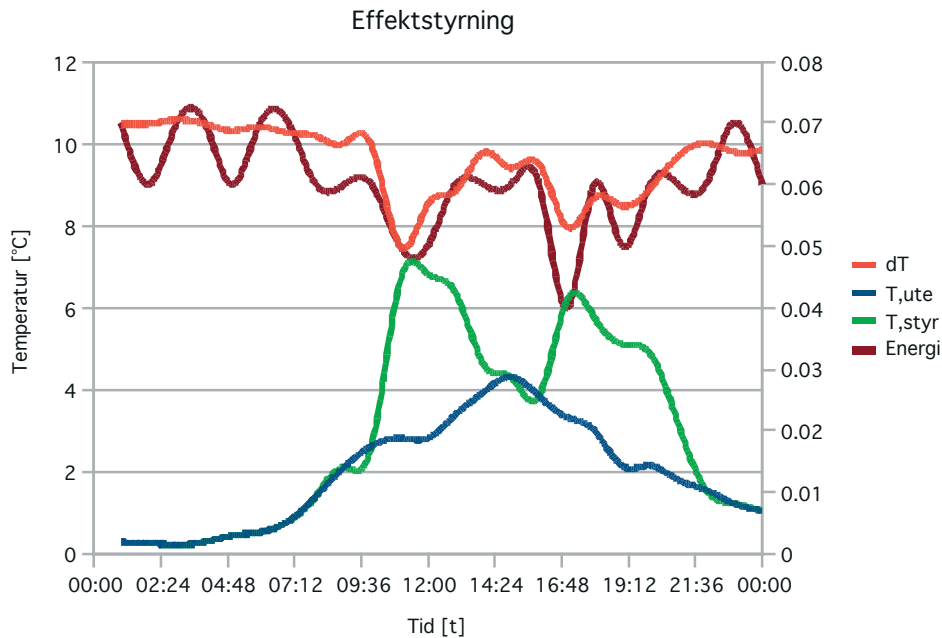
Figur 16. Energisignatur i förhållande till uppmätt förbrukning. Västerås, 2009-03-08



Figur 17. Energisignatur med (gul) och utan (röd) styrning. Västerås, 2009-03-21



Figur 18. Två effektstyrningar samma dag. Tillbergaskolan, 2009-03-28



Figur 19. Två effektstyrningar samma dag. Tillbergaskolan, 2009-03-28

I figur 19 visas ytterligare data från samma två styrningar i Tillbergaskolan. I figuren visas  $dT$  uttryckligen, dvs. skillnaden mellan temperatur fram och retur i värmekretsen. Även det faktiska energiuttaget visas.

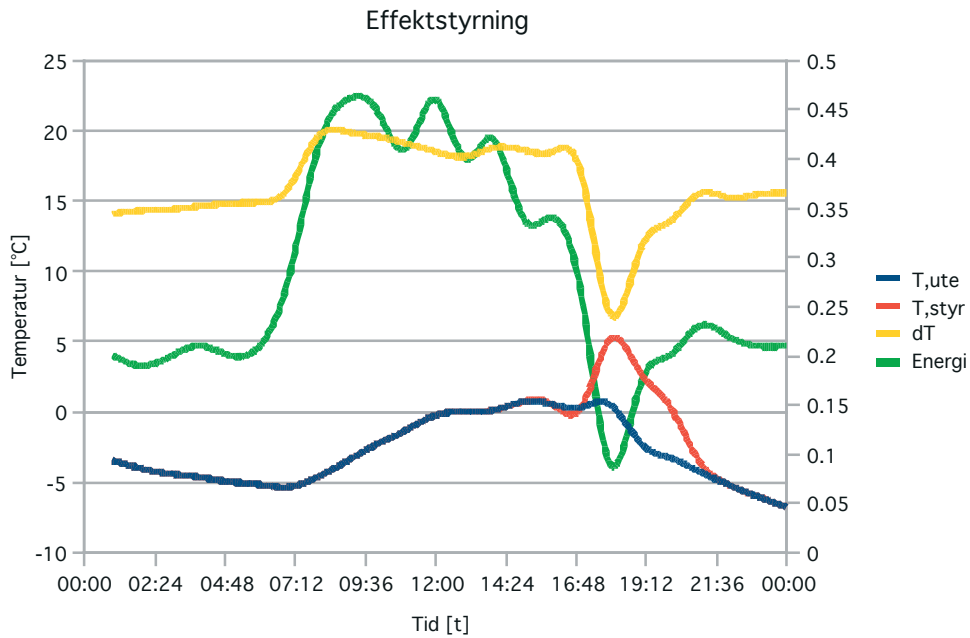
Det framgår tydligt i figuren att energitillförseln till fastigheten minskar då  $dT$  sjunker i samband med att systemet genomför de två effektstyrningarna. I figur 20 visas samma beteende i en annan fastighet som genomför en enskild styrning under eftermiddagen.

I figur 21 visas resultaten vad gäller energiförbrukning för ett antal samverkande fastigheter som gemensamt arbetar för att minska effekttopparna. Skillnaden i energiförbrukningen följer i stort de resultat vad gäller effektuttag som presenterades i föregående avsnitt. Utomhustemperaturen är som innan i genomsnitt mer än en grad lägre under dygnet med effektstyrning än under referensdygnet, men systemet uppvisar trots detta en minskad energiförbrukning.

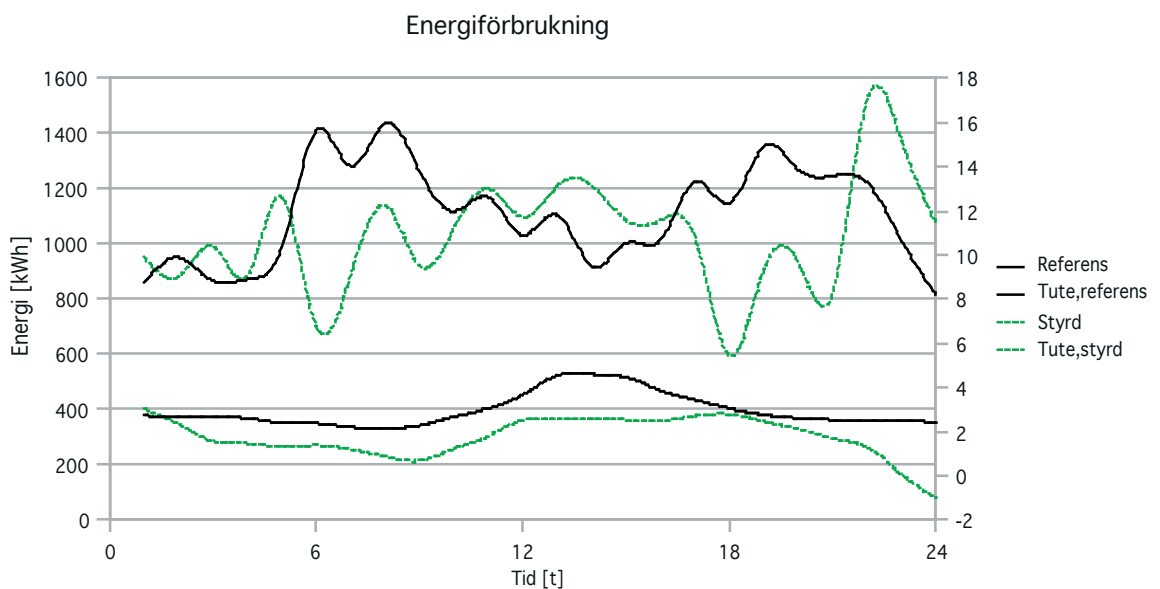
I figur 22 visas samma energiförbrukning som i figur 21 i form av ett varaktighetsdiagram där energiuttagen har sorterats enligt fallande storlek.

Arean av det röda området motsvarar den minskade energianvändningen. Den totala energianvändningen i området under dygnet utan effektstyrning är 26578 kWh och motsvarande energianvändning under dygnet med effektstyrning är 24727 kWh. Kvoten mellan dessa två resultat ger en minskad energianvändning om ungefär sju procent. Detta resultat är baserat på ett genomsnitt över alla medverkande fastigheter i Linköping.

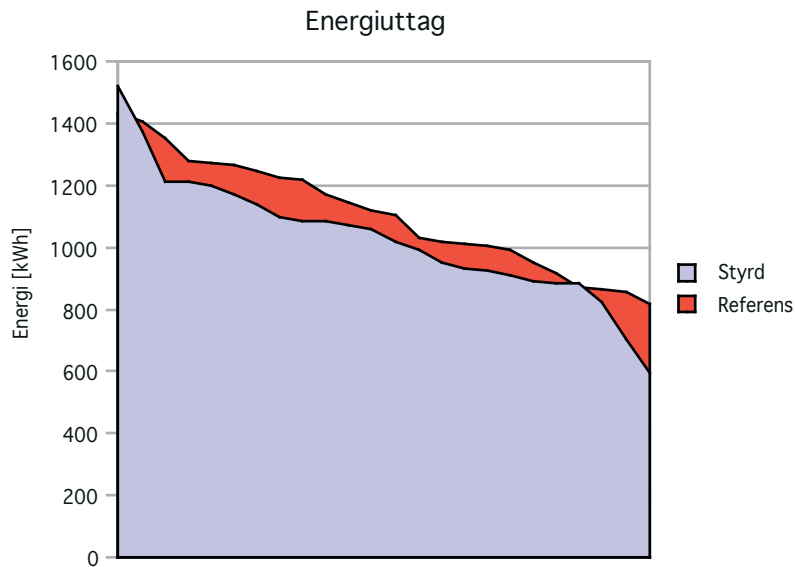




Figur 20. Effektstyrning med minskat energiuttag som följd. Nybyggeskolan. 2009-03-24



Figur 21. Jämförelse av energiförbrukning med, 2009-03-23, och utan, 2009-03-05, effektstyrning i Linköping

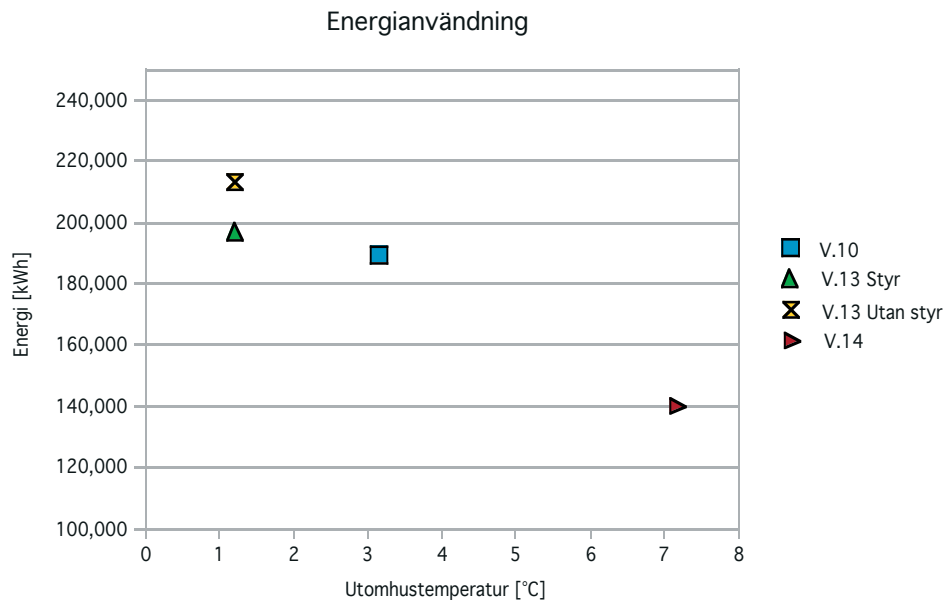


Figur 22. Energiuttag sorterat efter storlek för Styrd, 2009-03-23, och Referens, 2009-03-05, i Linköping

I figur 23 visas den totala energianvändningen i ett samordnat fastighetsbestånd under veckolånga perioder med styrning respektive utan styrning. Värdena visas i form av det totala värdet för energiförbrukning under den aktuella veckan. Veckorna 10 och 14 är referensveckor där ingen styrning har skett. Under vecka 13 har styrning löpande genomförts. Figuren visar energianvändningen i förhållande till den genomsnittliga utomhustemperaturen under veckorna.

Värdena för *v.10*, *v.14* och *v.13 Styr* är faktiska uppmätta värden av energiförbrukningen. Värdet för *v.13 Utan styr* är uppskattat utifrån e-signaturerna för fastighetsbeståndet i förhållande till den aktuella utomhustemperaturen. Uppskattningen stöds även av det linjära samband som kan ses i figuren vad gäller punkterna för *v.10*, *v.14* och *v.13 Utan styr*, dvs. de uppmätta värdena när ingen effekstyrning har skett. Det linjära förhållandet, då utomhustemperaturen inte ligger nära 0 °C, har sedan tidigare verifierats av personal på Tekniska Verken i Linköping. Värdet för *v.13 Styr* är 197215 kWh och värdet för *v.13 Utan styr* är 213352 kWh. Kvoten mellan dessa ger att det har blivit en energibesparing på ungefär 7,5 %. Detta värde är ett genomsnittligt värde baserat på ett helt fastighetsbestånd som samordnat effekstyr under veckolånga perioder för att uppnå en global energieffektivisering. Det uppmätta värdet ligger i paritet med de tidigare presenterade resultaten.

I de fall flödestaxa eller effekttaxa används i fjärrvärmenät, så är de i allmänhet beroende på någon form av utvärdering av kundens tidigare högsta värden. Vid en analys av uppmätta maximala värden under projektperioden så kunde det konstateras att de lägsta värdena i allmänhet låg i samband med perioder av styrning och att de högsta värdena alltid låg utanför perioder av styrning. Följande exempel är från Tillberga-skolan under mars månad:

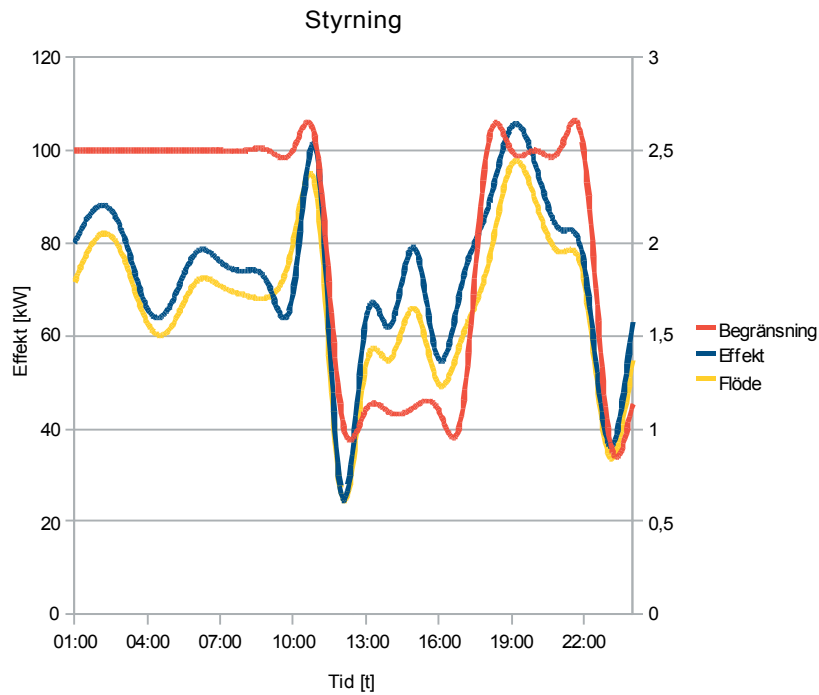


Figur 23. Jämförelse av fyra veckors energiförbrukning i Linköping

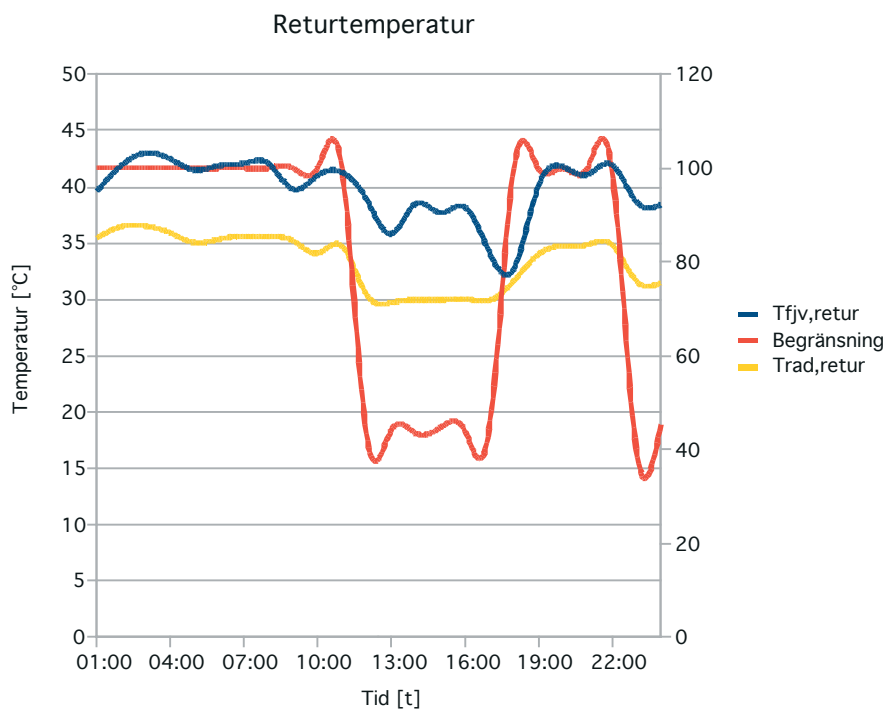
- *Flöde*: Högsta uppmätta värde är 2,7 m<sup>3</sup>/h vilket inträffade tre gånger under mars månad, 2009-03-01, 2009-03-11 och 2009-03-24. Vid ingen av dessa tillfällen genomfördes effektstyrningar.
- *Flöde*: Lägsta uppmätta värde är 1,0 m<sup>3</sup>/h vilket inträffade fyra gånger under mars månad, 2009-03-15, 2009-03-21, 2009-03-28 och 2009-03-29. Vid alla dessa tillfällen genomfördes effektstyrningar.
- *Energiuttag*: Högsta uppmätta timvärde är 0,15 MWh vilket inträffade två gånger under mars månad, 2009-03-24 och 2009-03-25. Vid ingen av dessa tillfällen genomfördes effektstyrningar.
- *Energiuttag*: Lägsta uppmätta värde är 0,04 MWh vilket inträffade tre gånger under mars månad, 2009-03-15, 2009-03-21 och 2009-03-28. Vid alla dessa tillfällen genomfördes effektstyrningar.

I samband med styrningar påverkas även returtemperaturen från fjärrvärmecentralen [3]. I figur 24 visas två genomförda styrningar i en fastighet i Stockholm där man ser att såväl effekt som flöde påverkas i samband med styrningarna.

Figur 25 visar hur returtemperaturerna förändras i såväl sekundärkretsen som över fjärrvärmecentralen under styrningarna.



Figur 24. Två styrningar i fastigheten Hugin, 2009-03-27



Figur 25. Förändring av returtemperaturer, Hugin 2009-03-27.

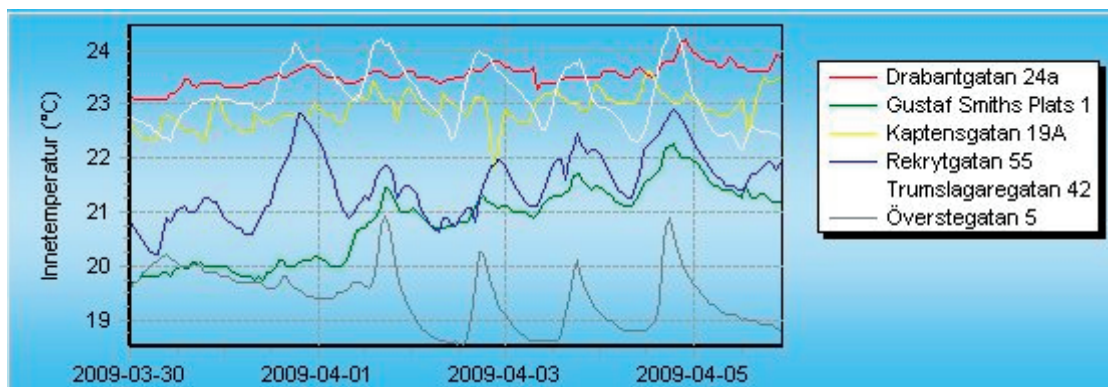
### 4.3 Inomhusklimat

En viktig del av tekniken är att säkerställa att ett fullgott inomhusklimat råder vid alla tidpunkter i samband med att effektstyrningar genomförs. Den främsta mätaren på detta är att boende i fastigheterna inte klagat i samband med att systemet aktivt effektstyr.

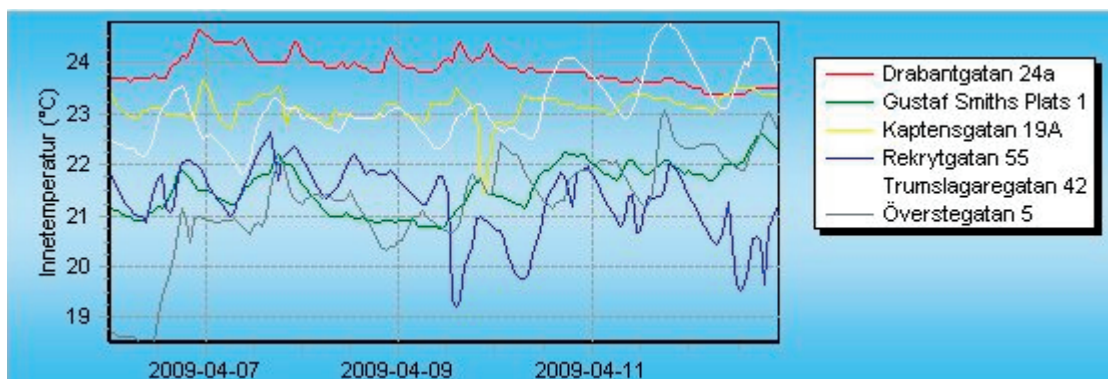
Systemet använder den termiska bufferten för att möjliggöra för de enskilda fastigheterna att medverka i de systemövergripande effektstyrningarna. Detta innebär i praktiken att systemet sänker energiuttaget i fastigheterna under kortare stunder för att minska det totala effektbehovet i nätet. Dessa styrningar ska inte vara så långa att de märks av de boende. I de fastigheter i Linköping där inomhusgivare använts har inte någon temperaturförändring kunnat identifieras som är större än de förändringar som normalt löpande sker i fastigheter. I figur 26 visas inomhustemperaturer för en vecka då styrning inte har förekommit.

I figur 27 visas uppmätta inomhustemperaturer under en vecka då effektstyrningar genomförts löpande vid ett flertal tillfällen varje dag.

När en nedkylning sker under okontrollerade former kan dock en större påverkan på komforten uppstå. Figur 28 visar en sådan sänkning av inomhustemperaturen till följd av att styrutrustningen fallerat efter ett elavbrott. Under en period av 48 timmar sjönk inomhustemperaturen i fastigheten från ca 18,5 °C till ca 17 °C. Med hjälp av



Figur 26. Vecka 14 då inga effektstyrningar genomförts i Linköping.



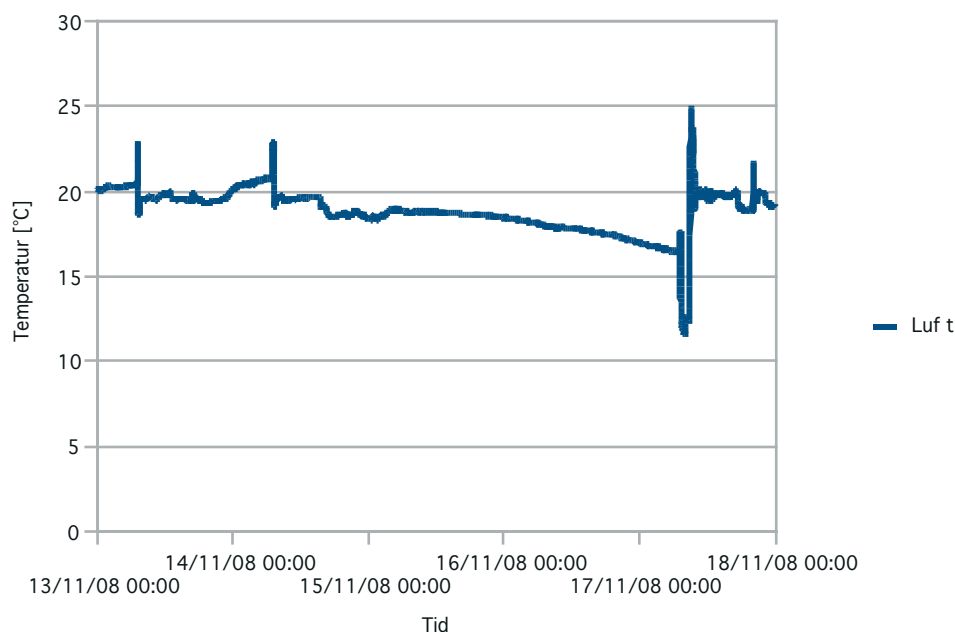
Figur 27. Vecka 12 då effektstyrningar av varierande omfattning genomförts dagligen i Linköping

enpunktsformen för linjens ekvation i kombination med den genomsnittliga utomhustemperaturen för perioden på 4,8 °C ges hur många timmar det tar för inomhustemperaturen att falla till samma temperatur som utomhustemperaturen, i detta fall 438 timmar. Med hjälp av den dimensionerade utomhustemperaturen (DUT), som i Västerås fall är -26 °C och inomhustemperaturen vid bortfallets början, erhålls ett värde för när temperaturen bör ha fallit 63 % av sitt ursprungliga värde, i detta fall blir det -9,62 °C. Enligt tvåpunktsformen för linjens ekvation ger detta då ett x-värde på 276, dvs. fastighetens tidskonstant vid DUT uppskattas enligt denna metod till ca 276 timmar. Detta resonemang bygger på linjära samband som i verkligheten inte är helt linjära men ger ändå en uppfattning om potentialen att lagra energi i byggnader.

I ett värmesystem som det i Carlforrska gymnasiet där ventilationen har en betydande påverkan på inomhusklimatet är det mer komplicerat att kontrollera effekttaget. Till följd av aktiv ventilation blir komforten snabbt påverkad om man inte tillför tillräcklig effekt. Eftersom fördröjningen mellan energiuttag och komfortförändring minskar, minskar även systemets förmåga att styra bort effekt. Ett alternativ vid installationer i den typen av fastighet kan vara att endast styra värmetillförseln till radiator-systemet och att inte inkludera hetvattnet för ventilation i styrningen.

#### 4.4 Tillgänglig effekt att styra

För att kunna utvärdera den ekonomiska nyttan med systemet i förhållande till kostnader för installation och drift så behöver en operatör i samband med installation kunna uppskatta antalet fastigheter som behöver ingå i systemet.



Figur 28. Fallande inomhustemperatur till följd av elavbrott och fallerande utrustning under kvällen 2008-11-14 i Carlforrska gymnasiet.

Den påverkan man kan uppnå med hjälp av den här typen av system är beroende av de fastigheter man har att tillgå för styrning. En stor och värmetrög fastighet har större styrkapacitet än en liten fastighet med snabbare värmeförluster. Oftast kan man uppskatta en genomsnittlig fastighet inom fjärrvärmenätet som man kan använda för att göra en första analys av behovet. För att beräkna detta krävs att man känner till dels den totala effekt som man vill kunna styra, och dels att man har en uppskattning på e-signaturen för en genomsnittlig fastighet av de potentiella installationsobjekten. Förutom detta krävs även att man vet brytpunktstemperaturen, utomhustemperatur vid behovstillfället, uppskattad tidskonstant för en genomsnittlig fastighet och även den högst accepterade temperaturdifferensen inomhus. Detta sista värde utgör i praktiken den energibuffert inne i de enskilda fastigheterna som systemet använder för att fördela effektstyrningen. Med andra ord så är det accepterat att inomhustemperaturen i enskilda fastigheter under kortare tidsperioder faller med upp till detta värde i samband med att systemet effektstyr. Ekvationen för att beräkna antalet fastigheter som behövs är följande:

$$Antal = \frac{effekt}{eSignatur * (T_b - T_{ute}) * Styr_{max}}$$

där:

*effekt* = önskad effektstyrning [W]

*eSignatur* = genomsnittlig e-signatur i fastighetsbeståndet [W/°C]

$T_b$  = Temperatur för brytpunkt [°C]

$T_{ute}$  = Utomhustemperatur vid styrtillfället [°C]

$Styr_{max}$  = Den maximala andelen av totalt effektbehov som kan styras, normalt 0,7

Det normala värdet på  $Styr_{max}$  0.7 är en generell gräns som används i systemet för att inte helt strypa uppvärmningen, inte ens under korta stunder. Detta har sociala aspekter såsom att radiatorer inte ska vara helt kalla, om någon boende lägger handen på dessa. Detta värde är således det maximala värdet som systemet någonsin skulle kunna styra, dvs. det finns en inbyggd gräns som gör att systemet aldrig styr bort mer än 70 % av det totala effektbehovet. Oftast så styr systemet inte så här mycket i samband med enskilda effektstyrningar. Detta värde går att ändra om behov skulle uppstå, men det är inte rekommenderat att gå mycket lägre än detta på grund av de nämnda anledningarna.

För att beräkna hur länge dessa fastigheter kan upprätthålla en styrning innan de måste återgå använder man följande ekvation:

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

där

$t$  = tiden i timmar som systemet kan upprätthålla styrningen vid fullständigt avbrott i energileverans.

$T_{diff}$  = Accepterat temperaturfall inomhus i samband med styrning [°C]

$T_{in}$  = Temperatur inomhus vid påbörjad effektstyrning [°C]

$T_{ute}$  = Utomhustemperatur vid styrtillfället [°C]

$tidskonstant$  = Tidskonstant för den genomsnittliga fastigheten inom installationsområdet

Denna formel gäller vid ett fullständigt bortfall, dvs. ett  $Styr_{max}$  på 1. Vid lägre  $Styr_{max}$  blir tiden för möjlig styrning längre.

I samband med projekteringsfasen kan följande schablon användas för att uppskatta tidskonstanten för en fastighet enligt nedan [4]:

- Lätt byggnad: 80 h (lätt konstruktion och kryppgrund).
- Halvlätt byggnad: 150 h (lätt konstruktion, betongplatta på mark).
- Halvtung byggnad: 300 h (tung konstruktion, betongplatta/bjälklag av betong).

En något mer avancerad men ändå schablonmässig metod presenteras i [5] där man även tar hänsyn till byggnadens ålder.

Då det gäller att analysera behovet av antalet fastigheter man behöver installera i för att få en given buffert så är det den totala storleken på bufferten som är viktig, inte hur denna är fördelad bland faktiska fastigheter. Däremot när man skall studera tidsaspekten så blir det relevant hur de enskilda fastigheterna är uppbyggda. Även om exempelvis hundra mindre fastigheter tillsammans kan styra bort lika mycket effektbehov som tjugo större fastigheter, skulle de mindre fastigheterna inte kunna upprätthålla denna styrning lika länge eftersom temperaturen inomhus generellt faller fortare i en mindre fastighet. Har man en uppsättning olika fastigheter som ingår i systemet så kommer förmågan att upprätthålla en styrning kontinuerligt att minska allt eftersom de mindre fastigheterna når sina gränser, sedan de medelstora fastigheter och slutligen de lite större.

Genom att ha ett större antal fastigheter inkopplade i systemet än som direkt krävs för att utföra enskilda styrningar så kan en operatör ha olika delar av systemet i olika faser, dvs. när vissa fastigheter genomför aktiva styrningar, så befinner sig andra fastigheter i återhämtning och vissa står i beredskapsläge för att kunna påbörja styrningar direkt vid eventuellt behov.

Att beräkna hur lång tid som dessa system kan upprätthålla en enskild styrning innebär i praktiken att beräkna hur lång tid det tar för inomhusklimatet i fastighetsbeståndet att falla ner till gränsen för de satta begränsningarna. Det blir i praktiken så att systemet har en viss kapacitet att effektstyra och att denna förmåga sedan minskas allt eftersom de individuella fastigheterna når sina begränsningar. Har man ett större fastig-



hetsbestånd så kan man upprätthålla styrningen längre eftersom fastigheter kan avlösa varandra i samband med effektstyrningen.

Förmågan att effektstyra är beroende på det totala effektuttaget i en enskild fastighet. Är effektuttaget stort så är fastighetens förmåga att effektstyra stort. Detta innebär således att förmågan att effektstyra är större ju lägre utomhustemperaturen är, det vill säga förmågan att effektstyra är som störst när behovet att göra det generellt är som störst.

## 4.5 Räkneexempel

### 4.5.1 Räkneexempel 1: Sänkt effektuttag

Det största monetära värdet av sänkt effektuttag är antagligen om man till följd av installerad effektstyrningskapacitet kan undvika utbyggnad av en spetslastanläggning. Antalet kilowatt som är möjligt att flytta är dels beroende av fjärrvärmesystemets varaktighetskurva och dels av karaktäristiken på de anslutna fastigheterna. Varaktighetskurvan är normalt mycket spetsig, dvs. den har ett stort effektbehov med kort varaktighet. Typiskt har 30-40 % av effektbehovet en varaktighet under 500 timmar. I flertalet fjärrvärmesystem försörjs toppen med olja eller el. En oljeeldad panncentral kostar ca 2 000 kr/kW att installera, vilket alltså är värdet av en sparad kilowatt om man står inför ett investeringsbeslut. En motsvarande biobrännleeldad panna kostar ca 10000 - 13000 kr/kW.

Om vi utgår från varaktighetsdiagrammet i figur 14 och antar att 70 % av topp-effekten under de 100 högst belastade timmarna kan flyttas från respektive morgontimme till senare på dagen. (Om kunden ändå får varmvatten så blir det ingen märkbar komfortförlust) Det motsvarar närmare 15 % av systemets effektbehov, eller 15 MW i ett 100 MW-system. Värdet av denna styrning kan alltså vara 30 Mkr i ett sådant system.

Förflyttning från topp effekt till en grundlastanläggning ger också en lägre rörlig produktionskostnad, förmodligen ca 20 öre/kWh (från aktuellt pris på Tallbecksolja på ca 40 öre/kWh inkl. skatter till biobrännle med pris på ca 20 öre/kWh). Ett räkneexempel: Energin per kW av effekttoppen på 100 timmar blir ca 150 kWh, vilket alltså ger ett årligt värde på 30 kr/kW ( $150 \text{ kWh/kW} * 20 \text{ öre/kWh}$ ).

Ett annat tillkommande värde är att andelen fossilt brännle i systemet kan begränsas, vilket ofta är ett starkt miljömässigt önskemål. Av säkerhetsskäl (reservkapacitet) är det osannolikt att topplastanläggningar (oljeeldade hetvattenpannor, cisterner, oljelager mm) och därmed följande underhålls- och kapitalkostnader helt kan avvaras, utan snarare minskas.

### 4.5.2 Räkneexempel 2: Flyttat effektuttag

Elförbrukning och elpris varierar över dygnet. Normalt finns en pristopp mellan kl 7 och 9 på morgonen och en annan mellan 19 och 20 på kvällen. Denna variation är i takt med förbrukningen och en passning av elproduktionen ger fördelar antingen genom att el kan säljas till i genomsnitt bättre pris eller att den egna produktionen bättre kan anpassas till den egna förbrukningen.

Med hänvisning till ovanstående resonemang om effektbehovet påpekas att eventuell mottrycksproduktion med all sannolikhet inte kan ökas under dessa timmar. Då utnyttjas den redan för fullt, men under höst och vår finns normalt perioder när elproduktionen

inte är maximal. Under dessa tider skulle effektstyrning av värmeeffekten kunna användas för optimering av elproduktionen. Vi förutsätter här att värmeeffekten inte varierar helt i takt med elpriset, dvs. att det finns distributionstider i näten. Vi antar i detta räkneexempel att mottrycksanläggningen går på dellast under ca 3 000 timmar. Av dessa ligger drygt 12,5 % på högpristid (vardagar morgon och kväll) eller ca 375 timmar. Prisskillnaden mellan dessa timmar och genomsnittet för efterföljande timmar sätts till 10 öre/kWh. Om flyttad värmeproduktion ger hälften av detta i flyttad elproduktion blir värdet av den flyttade elproduktionen ca 13,35 kr/kWh ( $1/2 * 267 \text{ timmar} * 10 \text{ öre/kWh}$ ). Om systemet är stort (mer än 100 MW elproduktion) kan man överväga att delta på balansmarknaden med något tiotal MW, vilket ger ett mycket större värde (uttryckt i kr/kWh) av möjligheten att anpassa elproduktionen. Således, om man under 267 timmar i genomsnitt flyttar 1 MW är det värt 13350 kr i ökade inkomster per år vid försäljning av el.

I tabell 2 visas kostnaden för att producera 1 MW värme, inkl. skatter, bränslepriser, elcertifikat etc., se bilaga för underlag, givet olika kategorier av produktionskällor. Givet dessa kostnader presenteras beräknat värde i kr/MWh fjärrvärme av att flytta värme mellan olika produktionsslag. X-axeln visar fjärrvärmenätets baslastpanna och på y-axeln visas kostnadsdifferensen mellan vald spetslastpanna och baslastpanna. Ett exempel: om man har en biobränsleeldad baspanna med elproduktion, är det (givet endast rörlig kostnad) billigast att ha en koleldad panna med turbin som spetslastpanna. Den fasta kostnaden för att idag bygga en koleldad panna med turbin överstiger dock vida kostnaden för att bygga en biobränsleeldad (tallbeck) hetvattenpanna. Värdet över 0 innebär en kostnadsökning, värden under 0 innebär en besparing. T.ex. värdet av att flytta 1 MWh värme från spetslastpannan (kol) till baslastpannan (biobränsle) är således 87 kr/MWh värme. Prestandauppgifterna i bilagan bör modifieras om man har en viss panna/turbin i åtanke.

Tabell 2. Beräknat värde av att flytta värmelast mellan olika produktionskällor.

Kostnad för 1 MW värme	128	690	273	474	683	215
Spetspanna \ Baspanna	Biobränsle - mottrycksproduktion	Biobränsle - med reducerad elproduktion	Hetvattenpanna - biobränsle	Hetvattenpanna - tallbecksolja	Hetvattenpanna - EO <sub>5</sub>	Kol, med elprod.
Biobränsle - mottrycksproduktion	0	-562	-145	-346	-554	-87
Biobränsle - med reducerad elproduktion	562	0	417	216	7	475
Hetvattenpanna - biobränsle	145	-417	0	-201	-409	58
Hetvattenpanna - tallbecksolja	346	-216	201	0	-208	259
Hetvattenpanna - EO <sub>5</sub>	554	-7	409	208	0	467
Kol, med elprod.	87	-475	-58	-259	-467	0

## 5. DEMONSTRATIONSPROJEKT SOM PROJEKTFORM

Projektet har utförts i form av ett demonstrationsprojekt. Det har även förekommit utveckling under projektperioden enligt projektplanen samt för att möta förändrade förutsättningar. Detta är en projektform som inte tidigare har praktiserats genom Svensk Fjärrvärme. Vid en jämförelse med traditionella forskningsprojekt så är det några saker som skiljer sig. Ett demonstrationsprojekt är till sin natur närmare en kommersiell installation än ett vanligt forskningsprojekt. Det kräver då även ett projektupplägg och struktur som är mer lik kommersiella installationsprojekt. I detta projekt har några punkter identifierats som kan utvecklas i samband med framtida demonstrationsprojekt.

- Ansvarsfördelning – Precis som i andra projekt är ett demonstrationsprojekt beroende av flera olika personer som alla får saker att hända. Detta ställs dock mer på sin spets i ett demonstrationsprojekt där genomförandeplanen mer liknar kommersiella installationsprojekt. Detta ökar kraven på att alla bitar löpande faller på rätt plats vid rätt tidpunkt. För att uppnå detta krävs en djupare ansvarsanalys så att hela händelsekedjan kan definieras i förväg.
- Informationshantering – För varje projekt bör man skapa en enkel hemsida där en kort projektbeskrivning tillsammans med relevant information samlas. Ett förslag till var man kan placera sidan är på [www.svenskfjarrvarme.se/projekt/projektnamn](http://www.svenskfjarrvarme.se/projekt/projektnamn). Vidare vore det även värdefullt med en mailadress av typ [projektnamn@svenskfjarrvarme.se](mailto:projektnamn@svenskfjarrvarme.se). Detta blir en enkel informationshubb där inblandade i projektet kan hänvisa alla intresserade, exempelvis fastighetsägare, boende och installatörer.
- Riskanalys – Genomför en mer uttalad riskanalys. För varje risk identifiera vad som skall göras för att undvika att risken inträffarsamt vad som skall göras i det fall att risken realiserar. Formalisera och dokumentera denna process och ha som fast del i eventuella uppföljningsrapporter.
- Kommunikation – Detta är en följd av första punkten. För att ett projekt skall fungera och för att upprätthålla en konsekvent målbild måste all relevant information löpande kommuniceras ut till alla inblandade personer och organisationer. Förslagsvis kan en uttalad kommunikationsplan bli del av framtida demonstrationsprojekt, speciellt i projekt där många olika aktörer är inblandade. I samband med detta är det viktigt att identifiera målgrupper för att avgöra vilka personer man skall vända sig till under olika faser av projektet, t ex installation hos olika fastighetsägare, mätdatainsamling eller allmän information som efterfrågas av externa eller interna parter. Formen för kommunikation är även viktig, exempelvis kan det vara bra att officiellt använda e-mail för att ha möjlighet att dokumentera beslut och överenskommelser. I samband med telefonsamtal där information med relevans till projektet diskuteras kan de viktigaste punkterna skrivas ner och skickas ut till de berörda vid e-mail i anslutning till samtalet. Detta är enkla förslag som ger en mindre mängd merarbete men som i många fall kan visa sig värdefulla i efterhand.
- Mätdata – Mätdata tar alltid längre tid att få fram än vad som från början beräknas. Definiera tidigt i projektet vilken data som krävs, när i tiden data ska tas fram samt identifiera vad som krävs för att den skall komma fram. Identifiera även vem som har ansvar för de olika delarna i detta.

## 6. DISKUSSION

Projektet har tyvärr dragits med stora förseningar vilket lett till att man inte haft möjlighet att utvärdera alla de punkter som framlades i projektansökan och inte heller statistiskt kunnat säkerställa en del av de resultat som framkommit under slutet av projektet. Det finns många lovande resultat men vissa av dessa behöver ytterligare verifieras genom längre utvärderingsperioder.

Det finns flera orsaker till förseningarna men framförallt har kommunikation varit problematiskt. Dels har man underskattat problematik med de kommunikationsmedia som varit installerat före det att projektet startade och dels har den valda kommunikationslösningen för att överkomma dessa problem i sin tur underskattats. Vidare borde dialogen med fastighetsägare varit tydligare. Det visade sig under projektets gång att antalet installationer inte var tillräckligt många för att påverkan skulle kunna studeras på produktionssidan i fjärrvärmesystemet. Baserat på de uppmätta resultaten i befintliga installationerna går det dock att extrapolera för att bedöma systemets kapacitet.

## 7. SLUTSATSER

Systemet som utvärderats i detta projekt bygger på en enkel och grundläggande princip. Om det ska vara meningsfullt att optimera måste man kunna styra, och om man ska kunna styra måste man kunna mäta så att man ser vad man åstadkommer. I grunden utgörs systemet av distribuerade enheter med dubbelriktad kommunikation som både kan samla in mätdata och som kan påverka enskilda fjärrvärmecentraler. Den applikation som sedan implementerats på plattformen som utgörs av de distribuerade enheterna möjliggör att man enkelt kan koordinera och samordna förändringar i ett eller flera fastighetsbestånds samlade effektuttag. Med hjälp av detta system kan en fjärrvärmeleverantör, inom ramarna för satta nivåer på inomhuskomfort, aktivt styra, planera och optimera effektuttag i ett fjärrvärmenät.

Resultaten visar att systemet minskat det totala effektuttaget med närmare 20 % i samband med de högsta effekttopparna. Detta värde är dock långt ifrån den maximala kapaciteten som ligger på ca 70 % av det totala effektuttaget för uppvärmning av de anslutna fastigheterna.

Med rätt prissättning i fjärrvärmenätet vill man uppnå transparens så att kunderna förstår och agerar utifrån kostnaderna för att producera fjärrvärmen. Detta är ett mycket komplext problem där man inte minst måste ta hänsyn till att taxan skall vara förståelig för kunderna. Vidare är det svårt att prissätta fjärrvärmen för olika förhållanden eftersom förutsättningarna för dessa förhållanden förändras om kunderna agerar efter prissättningen. Det blir ett rörligt mål som egentligen kräver att man dynamiskt korregerar priserna för att rätt driftsituation ska uppstå. Genom prissättning kan man enkelt ge kunder incitament till att installera effektstyrningsutrustning. Med endast lokala effektvakter ska man dock se fjärrvärmecentralerna som helt självständiga enheter som agerar utan hänsyn till de aktuella förutsättningarna i det omgivande fjärrvärmesystemet. Bara för att en viss kund nått ett gränsvärde innebär inte det att det inte finns tillräckligt med energi i fjärrvärmenätet. Att begränsa effektuttaget i en sådan situation innebär ingen direkt fördel för situationen som helhet i fjärrvärmenätet. Har man inte övergripande kontroll på de lokala effektvakterna är det mycket svårt att utnyttja beteendet hos dessa för optimering av produktion. Genom att använda fördefinierade styrscheman kan man dock från operatörshåll se till att det uppstår samverkan mellan fjärrvärmecentralerna. Dessa scheman kan definieras optimalt för operatören i olika driftsituationer. Med dessa fördefinierade styrscheman för individuella fjärrvärmecentraler tar man dock inte hänsyn till kundernas komfort, regleringen sker så att säga utan återkoppling. Denna odynamiska form av effektstyrning lämpar sig antagligen bäst för styrning under och efter produktionsbortfall. För att optimera fjärrvärmesystemet ur ett effektperspektiv måste man se till dynamiken i hela systemet. Kundernas komfort måste beaktas såväl som de aktuella driftssituationerna. Påverkan av effektuttaget måste ske utifrån de aktuellt rådande förutsättningarna hos kunderna samt utifrån de aktuella behoven hos producenten av fjärrvärme.

Förutom att styra bort effekttoppar så har systemet även visat en tydlig förmåga att sänka energiförbrukningen i de medverkande fastigheterna utan att komforten upplevts som försämrad. När systemet användes i fastigheterna i Linköping över veckolånga perioder uppvisade systemet en sänkt energiförbrukning på ca 7,5 %. Motsvarande sänkning har även indikerats i övriga fastigheter som deltagit i effektbegränsningar.

Ur operatörmässiga och samhällsekonomiska perspektiv är det att föredra att denna minskade energiförbrukning sker i samband med spetslastproduktion istället för baslastproduktion. Endast genom systemövergripande laststyrning kan detta konsumtionsbeteende säkerställas.

Systemet styr effektuttaget i individuella fastigheter genom att justera utomhustemperaturen som den befintliga reglercentralen reglerar utefter. Styrningar sker genom att reglercentralen matas med en fiktiv utomhustemperatur som skiljer sig från den verkliga, till exempel om en reglercentral får att tro att det är 10 grader ute när det i verkligheten är 5 grader så blir resultatet ett minskat effektuttag under den aktuella tidsperioden. Ett minskat effektuttag leder givetvis i längden till en minskad inomhustemperatur, vilket gör att enskilda styrningar måste ske och genomföras under kontrollerade former. Under projektet har ett flertal temperaturgivare placerats ut inne i olika fastigheter för att mäta temperaturförändringar till följd av effektstyrningar. Trots detta har det inte gått att identifiera var temperatursänkningar har förekommit. Det visade sig att inomhustemperaturen i enskilda lägenheter ändrar sig så mycket till följd av socialt beteende att påverkan av effektstyrningen försvinner i det övriga bruset. Det gick alltså inte att identifiera var temperatursänkningar hade förekommit till följd av minskad energiförbrukning. Rimligtvis har denna minskade förbrukning lett till lägre temperatur i någon del av fastighetskroppen eller däri innesluten luft, men varken temperaturgivare eller boende har kunnat urskilja detta.

I värmesystem där ventilationen har en betydande påverkan på inomhusklimatet är det komplicerat att kontrollera effektuttaget genom förändringar av temperatur i värmesystemets sekundärkrets. Ett alternativ vid installationer i den typen av fastighet kan vara att endast styra värmeförseln till radiatorsystemet och att inte inkludera hetvatten för ventilation i styrningen.

Trots den korta utvärderingsperioden anser vi att man baserat på de resultat som presenterats i projektet kan anse att operativ samordnad effektstyrning som teknik fungerar.

## 8. FRAMTIDA ARBETE

När systemet arbetar för att genomföra systemövergripande effektstyrningar så görs detta baserat på en styrsignal från operatören. Denna styrsignal måste beräknas manuellt baserat på förväntade konsumtionsmönster i fjärrvärmesystemet. För att förenkla denna process bör ett framtida system för effektstyrning integreras med optimeringsverktyg där lösningar av Economic Dispatch Problem och Unit Commitment Problem överförs direkt till styrsystemet.

I projektet används en hårdvaruplattform för att kunna påverka de befintliga reglercentralerna. Denna hårdvara utvecklas löpande för att minska dess kostnader och förenkla installationsprocessen. Systemet är beroende av en större mängd fastigheter och att ha en billig och lätthanterlig hårdvaruplattform underlättar processen att uppnå en tillräcklig mängd installationer.

Då det finns större mängder av ett visst fabrikat av reglercentraler inom ett fjärrvärmesystem kan det vara ekonomiskt försvarbart att anpassa systemet till detta fabrikat. Detta innebär att NODAs system blir helt mjukvarubaserat ute i fastigheterna och då använder de befintliga reglercentralerna via direkt påverkan, istället för som nu genom indirekt påverkan via givaren för utomhustemperatur.

Oavsett om systemet är både hårdvarubaserat och mjukvarubaserat eller enbart baserat på mjukvara så utgör det en kraftfull plattform för framtida energitjänster. Systemet erbjuder ett gränssnitt för att implementera en rad framtida funktionalitet.

## 9. REFERENSER

- [1.] Wernstedt, F., and Johansson, C., "Intelligent distributed Load Control", Proceedings of 11th International Symposium on District Heating and Cooling, Reykjavik, Iceland, 2008.
- [2.] Österlind, B., "Effektbegränsning av fjärrvärme", Rapport 63:1982, Bygghälsöförbundet, ISBN 91-540-3714, 1982.
- [3.] Wernstedt, F., Johansson, C., och Wollerstrand, J., "Sänkning av returtemperaturer genom laststyrning", Svensk Fjärrvärme, FoU 2008:2, ISBN 978-91-7381-0007-4, 2008.
- [4.] Ruud, S., "Energimyndighetens program för passivhus och lågenergihus" Remissversion 2009-03-10. Forum för Energieffektiva byggnader.
- [5.] Dahlroth, B., "Säkrare värmeförsörjning! Tillstånd, Förbättringsmöjligheter, Beredskapsåtgärder", Värmek, 2007



# 10. BILAGOR

## BILAGA 1

**Fastighetsdatainsamlingsmall**

## BILAGA 2

**Installationsrutiner**

## BILAGA 3

**Larmsystem**

## BILAGA 4

**Sammanställning av de (två- och tretråds) givare  
som systemet kan hantera**

## BILAGA 5

**Produktionskostnader**

## BILAGA 1



Demonstrationsprojekt  
Effektstyrning  
Fjärrsyn

## Fastighetsdatainsamling

<b>Kontaktinformation:</b>	
Adress	
Total yta (m <sup>2</sup> )	
Antal lägenheter	
Antal affärslokaler	
Energianvändning (MWh el)	
Energianvändning (MWh värme)	
Energianvändning (normalårskorr.)(MWh värme)	
Specifik energianvändning (kW/m <sup>2</sup> )	
Energisignatur (kW/°C)	
<b>FC belägen i fastighet:</b>	
Försörjer ytterligare fastighet	
Kopplingsprincip	
Installationsår	
<b>Tappvattenkrets:</b>	
Värmeväxlare (yta, m <sup>2</sup> )	
Reglerventil (fabrikat, beteckning, k <sub>vs</sub> )	
Ställdon (fabrikat, beteckning)	
Reglerutrustning	
<b>Radiatorkrets:</b>	
Värmeväxlare (yta, m <sup>2</sup> )	
Reglerventil (fabrikat, beteckning, k <sub>vs</sub> )	
Ställdon (fabrikat, beteckning)	
Pumpdata (fabrikat, typ, beteckning)	
Cirkulationsflöde (l/s)	
Temperaturprogram (värmekurva, gällande DUT)	
Byggnadens tidskonstant	
Modell på utomhustemperaturgivare	
Reglerutrustning	
<b>Ventilationskrets: (data som för radkretsen)</b>	
<b>Luftvärmekrets kopplad till radiatorkretsen:</b>	
Shuntens tekniska data och börvärden	
Reglerutrustning	
<b>Finns tidigare loggad data?</b>	
<b>Kommunikation:</b>	
IP (fast eller DHCP)	
Ledigt 230v	

# BILAGA 2

**NODA** Intelligent Systems AB

Driftsättningsrapport

## Installatör

Företag	
Kund	
Ansvarig	Datum

## Fastighet

Benämning	
Adress	Postnummer
	Postort
Kontaktperson (Förstahand)	Telefonnummer
Kontaktperson (Andrahand)	Telefonnummer
Nyckelkontakt	Telefonnummer

## Installationsdata

Hostname (id)	CF-kort
Typ av IO-kort	Utetemperaturgivare
Kommunikationsleverantör	
Kommunikationslösning <input type="checkbox"/> IP <input type="checkbox"/> Modem	Info

## Modem

Telefonnummer	IMEI-nummer
PIN	Uppmätt signalstyrka

## IP

IP-nummer
-----------

# BILAGA 2

**NODA** Intelligent Systems AB

Driftsättningsrapport

## IO-kort

<b>IN1</b>		<b>IN8</b>	
Givare		Givare	
Typ		Typ	
Motstånd		Motstånd	
<b>IN2</b>		<b>IN9</b>	
Givare		Givare	
Typ		Typ	
Motstånd		Motstånd	
<b>IN3</b>		<b>UT1</b>	
Givare		Givare	
Typ		Typ	
Motstånd		Område	
<b>IN4</b>		<b>UT2</b>	
Givare		Givare	
Typ		Typ	
Motstånd		Område	
<b>IN5</b>		<b>UT3</b>	
Givare		Givare	
Typ		Typ	
Motstånd		Område	
<b>IN6</b>		<b>UT4</b>	
Givare		Givare	
Typ		Typ	
Motstånd		Område	
<b>IN7</b>		<b>Anteckning</b>	
Givare			
Typ			
Motstånd			

## BILAGA 2

**NODA** Intelligent Systems AB

Driftsättningsrapport

### Värmesystemet vid installation

Rådande utomhustemperatur	
Radiator framledningstemperatur	Radiator returledningstemperatur
Ventilation framledningstemperatur	Ventilation returledningstemperatur

### Temperaturprogram vid installation

Temperatur										
Börvärde										
Anteckning										

### Funktionskontroll UT1 vid installation

UT1										
Framledningstemperatur										
Reglercentral										

### Funktionskontroll

Från och tillkoppling verifierad	<input type="checkbox"/> Ja
Kommunikation återställs efter strömavbrott	<input type="checkbox"/> Ja
Utetemperatur återställs efter strömavbrott	<input type="checkbox"/> Ja
Kommunikationslänk återställs efter länkförlust	<input type="checkbox"/> Ja
Loggning aktiverad i databas	<input type="checkbox"/> Ja
SMS loggning aktiverad	<input type="checkbox"/> Ja
SMS larm aktiverad	<input type="checkbox"/> Ja

## BILAGA 2

NODA Intelligent Systems AB

Driftsättningsrapport

## Övrigt


## Signering

Ansvarig installatör	Ort	Datum
----------------------	-----	-------

## Förklarande bilaga till "Driftsättningsrapport"

**Installatör** Anger vem som gjort installationen, vilken kund det gäller och vilket datum installationen driftsätts.

*Syfte:* Spårbarhet till vem som haft uppdraget att installera och driftsätta samt vilken kund det gäller.

**Fastighet** Anger fastigheten som installation gäller för. Vidare anges benämningen för fastigheten i det datoriserade systemet samt vilka personer som är kontaktpersoner för fastigheten. Slutligen anges även hur man får tillträde till fastigheten.

*Syfte:* Klargöra vilken fastighet som installationen gäller för samt hur man får tag på representanter för fastigheten.

**Installationsdata** Anger vilken adress som används av installationen för datakommunikation, vilken kommunikationsleverantör som används samt data för det media som används för kommunikation. Här anges även modell på CF-kort samt vilken typ av utetemperaturgivare som reglercentralen använder sig av.

*Kan en GSM signal över 12 inte uppnås så får utrustningen ej driftsättas.*

*Syfte:* Se till att man anger rätt adress för fastigheten som sedan används av det överordnade kommunikationssystemet. Vidare syftar denna punkt till att man använder sig av rätt karaktäristik och parametrar när man emulerar och läser utetemperaturgivaren.

**IO-kort** För ingående anslutningar anges vilken givare som är ansluten till en viss port, vilken typ av givare det är samt om man använder sig av något precisionsmotstånd för att ändra omfånget. För utgående anslutningar anges vilken enhet som är ansluten, vilken typ det är på enheten samt vilket omfång som utsignalen spänner över.

*Syfte:* Dokumentation över anslutningar för in och utgångar på enheten samt hur dessa är konfigurerade. Syftar till att se till att man förstår och loggar in och utgående signaler på rätt sätt.

**Värmesystemet vid installation** Anger aktuell driftsituation vid installationstillfället.

*Syfte:* Fungerar som en mycket enkel funktionskontroll av fjärrvärmecentralen samt anger hur reglercentralen uppfattar reglersituationen vid installationstillfället.

**Temperaturprogram vid installation** Anger vilken sekt framledningstemperatur som skall råda vid en given utomhustemperatur (hänsyn måste dock tagas till eventuella driftsprogram med tex. dag- / nattsänkn

*Syfte:* Utgör kontrollunderlag för funktionskontroll av UT1 samt utgör temperaturprogrammet för programvaran så att programvaran kan avgöra om styrsignaler får förväntad effekt.

**Funktionskontroll UT1 vid installation** Här anges ett antal (minst 3) punkter för vilken utetemperatur emulerats av UT1 samt vilken framledningstemperatur det ger upphov till och vilken utomhustemperatur som avläses på reglercentralen.

*Kan korrekt funktionalitet ej uppnås får utrustningen ej driftsättas.*

*Syfte:* Kontrollera att utrustningen genererar och använder rätt tabell för att ge korrekt utomhustemperatur, att reglercentralen uppfattar signalen korrekt och styr in den sekundära framledningstemperaturen mot den aktuella i temperaturprogrammet. Vid avvikelser korrigeras utgången så att korrekt funktionalitet uppnås.

**Funktionskontroll** Här utförs ett antal grundläggande funktionskontroller. Punkten att SMS loggning är aktiverad gäller endast då GSM-modem används för kommunikationen.

*Kan funktionerna inte verifieras får utrustningen ej driftsättas.*

*Syfte:* Säkerhetsställa att installationen är robust mot fel i strömförsörjning, mot förlust av kommunikationslänk, samt att larmsystemet är aktiverat. Vidare att installationen loggar korrekt till databasen.

# BILAGA 3

## Larmmottagare för A-larm

Larmmottagare 1	Telefonnummer	Organisation
Larmmottagare 2	Telefonnummer	Organisation
Larmmottagare 3	Telefonnummer	Organisation
Larmmottagare 4	Telefonnummer	Organisation

## Framledningstemperatur avviker från förväntad

Klass (Standard: A)	Fördröjning (Standard: 20 minuter)	Avvikelse (Standard: 5°C)
Beskrivning Larmet löses ut då den sekundära framledningstemperaturen avviker med mer än ett visst värde, standardavvikelse 5°C, från den temperatur som förväntas enligt inställt börvärde. Syftet med larmet är att upptäcka situationer då värmetillförseln till fastigheten avviker från den givna enligt temperaturprogrammet.		

## Avlästa värden oförändrade från föregående avläsning

Klass (Standard: A)	Fördröjning (Standard: 5 minuter)	Avvikelse (Standard: 0)
Beskrivning Larmet löses ut då nya värden inte insamlas från sensorerna under en viss tid, standard 5 minuter. Syftet med larmet är att upptäcka hårdvarufel.		

## Beräknad temperatur lägre än accepterad temperatur

Klass (Standard: A)	Fördröjning (Standard: 0 minuter)	Avvikelse (Standard: 0,1°C)
Beskrivning Larmet löses ut då den beräknade inomhustemperaturen når gränsvärdet för den acceptabla beräknade inomhustemperaturen. Syftet med larmet är att undvika komfortförlust i fastigheten.		

## Går ej att upprätta kommunikation med installation

Klass (Standard: A)	Fördröjning (Standard: 20 minuter)	Avvikelse (Standard: 0)
Beskrivning Larmet löses ut då kommunikationslänken till installationen varit nere under en viss tid, standard 20 minuter. Syftet med larmet är att undvika den osäkerhet som uppstår i samband med avsaknaden av information om regleringen i fastigheten.		

## Avvikande utomhustemperatur

Klass (Standard: A)	Fördröjning (Standard: 5 minuter)	Avvikelse (Standard: 15°C)
Beskrivning Larmet löses ut då den uppmätta utomhustemperaturen från en fastighet avviker från majoritetens utomhustemperatur med ett visst värde, standard 15°C. Syftet med larmet är att upptäcka defekta utomhusgivare.		

## Åtgärder vid A-larm

Då ett A-larm genererats skall utrustningen separeras från den berörda fastighetens värmesystem. Utrustningen fränkopplas genom att man ställer vipparmsbrytaren i den aktuella installationen i läge "OFF".



# BILAGA 3

**NODA** Intelligent Systems AB

Larminstallationsrapport

## Fastighetslista

Fastighet	Adress
Fastighet	Adress
Fastighet	Adress
Fastighet	Adress
Fastighet	Adress
Fastighet	Adress
Fastighet	Adress
Fastighet	Adress
Fastighet	Adress
Fastighet	Adress
Fastighet	Adress
Fastighet	Adress
Fastighet	Adress
Fastighet	Adress
Fastighet	Adress
Fastighet	Adress
Fastighet	Adress
Fastighet	Adress
Fastighet	Adress
Fastighet	Adress
Fastighet	Adress

## BILAGA 3

NODA Intelligent Systems AB

Larminstallationsrapport

## Övrigt


## Signering

Ansvarig installatör	Ort	Datum
----------------------	-----	-------

## Förklarande bilaga till "Larminstallationsrapport"

Larmsystemet har som mål att förebygga att störningar uppkommer i fastighetens värmetillförsel samt att identifiera avvikelser på systemfunktion och systemens tillstånd så att ställda operativa krav ständigt kan upprätthållas. Alla förändringar som påverkar instruktionerna i detta dokument måste göras skriftligen och kommuniceras till systemägare och systemoperatör.

Larmsystemet är uppbyggt kring två principer, att vissa larmsituationer identifieras lokalt och att vissa larmsituationer identifieras centralt. Larmregler och nivåer för larmsituationer som ska identifieras centralt definieras genom att mata in dessa under modulen larmhantering i övervakningsverktyget. Larmregler och nivåer för lokal identifiering av larmsituationer kan endast matas in genom direkt uppkoppling och dataöverföring med den lokala programvaran i varje installation. De operativa kraven är lokalt anpassade för varje fastighet och kan av den anledningen variera mellan de olika installationerna. Förändringar i specifika krav för enskilda fastigheter kan därför kräva korrigering i inställningar av larm för den specifika fastigheten. Exempel på händelser som kan utlösa ett larm är temperaturavvikelser från förutbestämda intervall .

En larmserver söker kontinuerlig i loggad data efter situationer då larmgränser överskrids eller då enskilda installationer lagt in larmmeddelanden i databasen. Uppstår en situation då en nivå överskridits eller ett larmmeddelande lagts in direkt i databasen av en installation skapas ett larmtillfälle vilket indikeras i övervakningsverktyget. När ett larmtillfälle identifierats skickas även SMS och/eller E-mail till registrerade larmmottagare enligt preferenser för larmnivån. Ett larm som genererats kan inte uppstå igen före dess att larmet kvitterats. Även avsaknaden av loggdata kan generera larmsituationer.

I larmsystemet kan olika typer av larm definieras. Till varje larm kopplas en larmtext som beskriver vad som fallerat samt från vilken fastighet larmet härrör. Larmen kan ges olika prioritet, de mest akuta larmen, sk A-larm, skickas ut som SMS till registrerade larmmottagare. Larmhanteringen för lägre prioriterade B-larm sköts endast genom larmmodulen och larmlistan i datorn. Exempel på B-larm kan vara när GPRS länken är nere men kontinuerlig data registreras med hjälp av SMS. Ett annat exempel kan vara när en av hårdiskarna i RAID-6 systemet på servern har fallerat. Ett B-larm är inget kritiskt larm utan fungerar som en signal på att något skall uppmärksammas, samt i vissa fall åtgärdas.

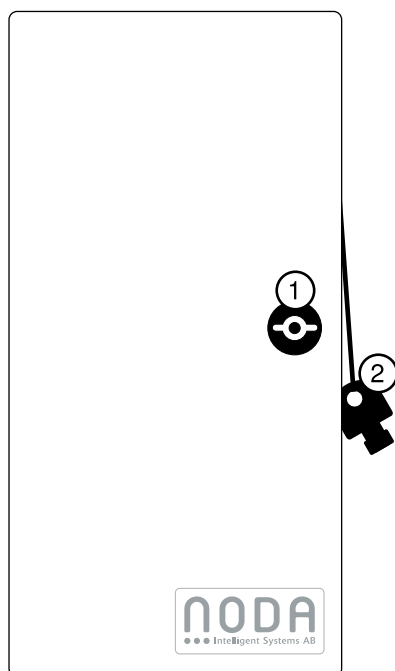
**Larmmottagare för A-larm** Anger vilka som ska vara mottagare av larm. Larmmottagare 1 kontaktas i första hand. Om larmet inte blir kvitterat inom 5 minuter kontaktas nästa mottagare i turordning.

*Om mottagare av larm inte verifieras får utrustningen ej driftsättas.*

*Syfte:* Att säkerhetsställa att man angett mottagare av larm.

**Larm** Anger de A-larm som alltid är aktiva samt vilka gränsvärden som definierats för dessa. Ytterligare larm kan enkelt konstrueras i det grafiska larmhanteringssystemet. Standardvärden är förslag på gränsvärde och skall verifieras/ändras med fastighetsägarens önskemål.

*Syfte:* Säkerhetsställer att larm skapats för problem som hotar grundläggande funktionalitet.



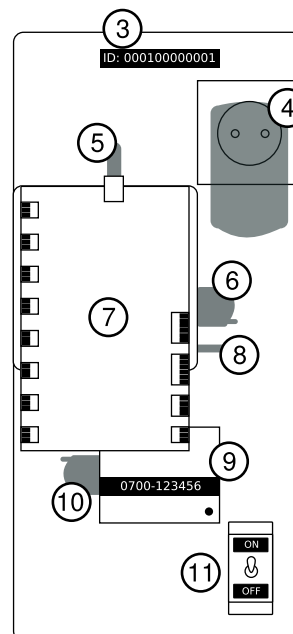
1. Lås
2. Nyckel
3. Identifikation
4. Transformator
5. USB kontakt (A)
6. Modemkontakt (A)
7. I/O-Kort
8. USB kontakt (B)
9. Modem
10. Modemkontakt (B)
11. Vipparmsbrytare

### Vipparmsbrytare

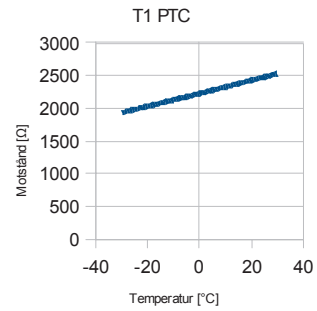
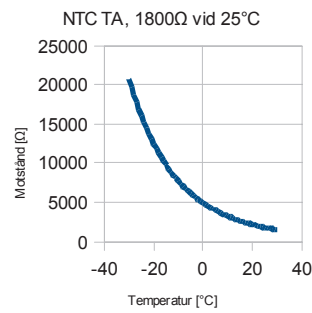
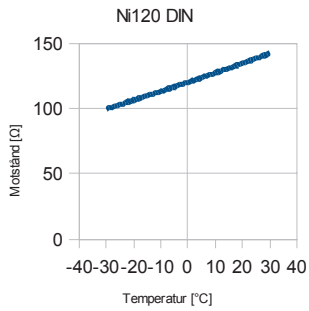
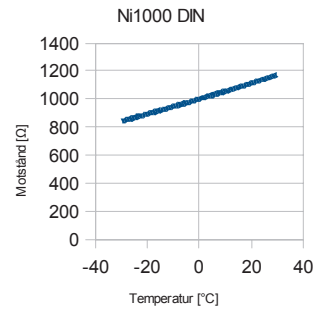
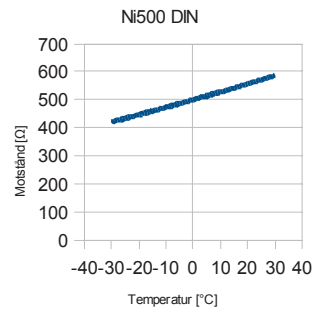
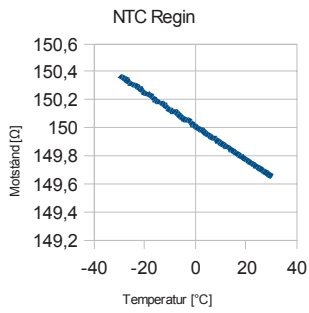
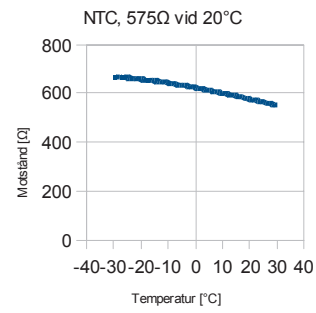
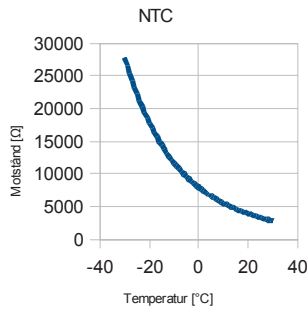
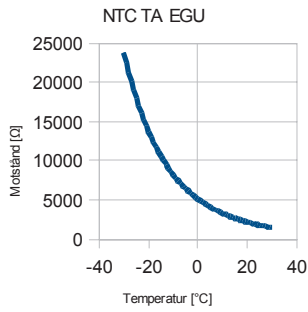
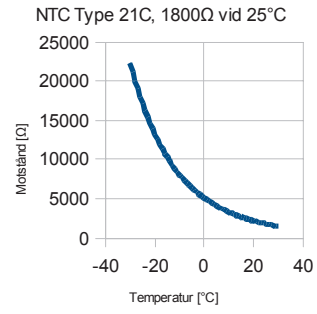
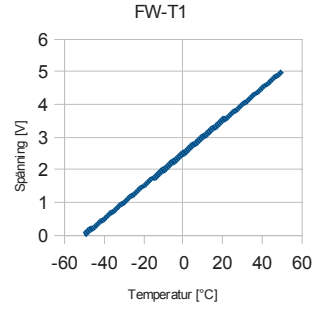
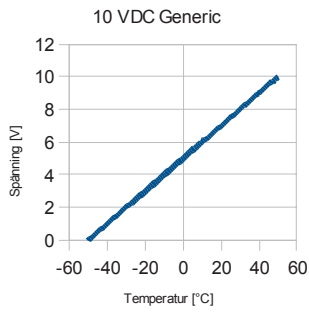
Syftet med vipparmsbrytaren är att tillhandahålla ett enkelt sätt att koppla bort systemet.

Med brytaren i läge 'ON' är installationen aktiverad och systemet påverkar fjärrvärmecentralen.

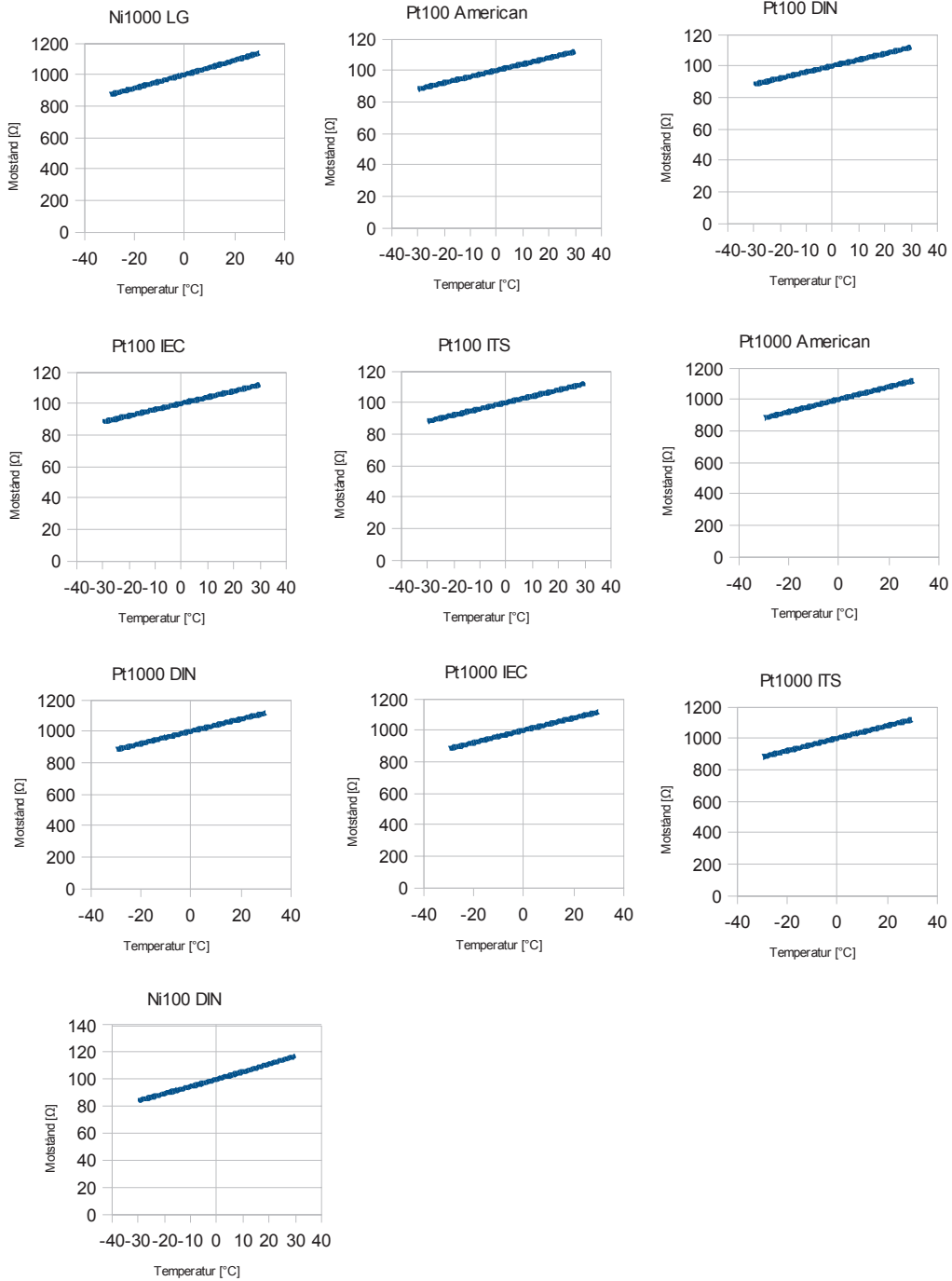
I läge 'OFF' är utomhustempersensorn frikopplad från systemet, och matas istället direkt till fjärrvärmecentralen. Systemet är fysiskt bortkopplat, och kan i detta läge inte påverka fjärrvärmecentralen.



# BILAGA 4



# BILAGA 4



BILAGA 5

CO2-utsläppsrätter (kr/ton)	
162,57	kr/MWh
41,17	olja
55,49	kol
282	Elskatt
0,17	Kvotplik

Pris kr/MWh	
111	kol
220	Biobränsle
400	Tallbeck
230	EOS
400	Elpris
290	Elcertoris
731	Hjälpkraft
1,00	Kostnad / MWh

Slutprodukter

400	Elpris
290	Elcertoris
731	Hjälpkraft
1,00	Kostnad / MWh

111	Bränsle
220	kol
400	Biobränsle
230	Tallbeck
230	EOS

Tekniska data	Med elproduktion Biobränsle (flis)	Med reducerad elproduktion Biobränsle (flis)	Hetvattenpanna Biobränsle (flis)	Hetvattenpanna Tallbecksojla	Hetvattenpanna EOS	Hetvattenpanna - kol, med elproduktion
alfavärde	0,40		0,00	0,00	0,00	0,50
El MWh	0,32		0,00	0,00	0,00	0,50
Värme MWh	0,81		0,85	1,00	1	1,00
RGK-värde	6,4		6,4	0,0		
Värme RGK MWh	0,19		0,15	0,00		
Verkningsgrad	0,90		0,90	0,90	0,9	0,90
Bränsle el MWh	0,36		0,00	0,00	0,0	0,56
Bränsle värme MWh	0,9		0,9	1,1	1,1	1,1
Bränsle tot	1,3		0,9	1,1	1,1	1,67
<b>Skatter</b>						
CO2 värme				277,78		52,0
Energiskatt värme				73,67		61,66
Utsläppsrätter värme				45,75		30,83
Utsläppsrätter el				0,00		
<b>Bränsle Kostnad</b>	<b>Bränsle Kostnad</b>	<b>Bränsle Kostnad</b>	<b>Bränsle Kostnad</b>	<b>Bränsle Kostnad</b>	<b>Bränsle Kostnad</b>	<b>Bränsle Kostnad</b>
El	79	0	0	0	0	61
Värme	197	208	208	444	256	123
<b>Totalt Kostnad</b>	<b>Totalt Kostnad</b>	<b>Totalt Kostnad</b>	<b>Totalt Kostnad</b>	<b>Totalt Kostnad</b>	<b>Totalt Kostnad</b>	<b>Totalt Kostnad</b>
El	79	0	0	0	0	92
Värme	197	208	208	444	653	237
Hjälpkraft	25	15	15	15	15	37
Drift och underhåll	50	50	50	15	15	50
<b>Intäkter</b>	<b>Intäkter</b>	<b>Intäkter</b>	<b>Intäkter</b>	<b>Intäkter</b>	<b>Intäkter</b>	<b>Intäkter</b>
Elcertifikat	93,4	0,0	0,0	0,0	0	200
El	128,83	0,00	0,00	0,00	0	
<b>Kostnad för 1 MW värme</b>	<b>Kostnad för 1 MW värme</b>	<b>Kostnad för 1 MW värme</b>	<b>Kostnad för 1 MW värme</b>	<b>Kostnad för 1 MW värme</b>	<b>Kostnad för 1 MW värme</b>	<b>Kostnad för 1 MW värme</b>
Biobränsle mottrycksproduktion	128	690	273	474	683	215
<b>Spetspanna</b>	<b>Spetspanna</b>	<b>Spetspanna</b>	<b>Spetspanna</b>	<b>Spetspanna</b>	<b>Spetspanna</b>	<b>Spetspanna</b>
Biobränsle mottrycksproduktion	0	-562	-145	-346	-554	-87
Biobränsle - med reducerad elproduktion	562	0	417	216	7	475
Hetvattenpanna - biobränsle	145	-417	0	-201	-409	58
Hetvattenpanna - tallbecksojla	346	-216	201	0	-208	259
Hetvattenpanna - EOS	554	-7	409	208	0	467
Kol, med elprod	87	-475	-58	-259	-467	0



Fjärrsyn – forskning som stärker konkurrenskraften för fjärrvärme och fjärrkyla genom ökad kunskap om fjärrvärmens roll i klimatarbetet och för ett hållbart samhälle, till exempel genom att bana väg för affärsmässiga lösningar och framtida teknik. Programmet drivs av Svensk Fjärrvärme med stöd av Energimyndigheten. Mer information finns på [www.svenskfjarvarme.se/fjarrsyn](http://www.svenskfjarvarme.se/fjarrsyn)

## DEMONSTRATIONSPROJEKT INOM EFFEKT OCH LASTSTYRNING

Här redovisas resultaten från ett demonstrationsprojekt där operatörskontrollerad styrning av effekt- och laststyrning har testats och utvärderats i några olika fjärrvärmesystem.

Resultaten visar att effektuttaget minskar med mellan 20 och 70 procent för uppvärmning av fastigheterna. Det finns alltså en tydlig tendens sänkt energiförbrukning i fastigheterna utan att komforten upplevts som försämrad. I ett av fjärrvärmesystemen sänktes den totala energiförbrukningen med drygt sju procent.

Olika aspekter av effektstyrning har länge studerats, men det är inte förrän på senare år som den tekniska utvecklingen har möjliggjort en bredare användning. Förmågan att styra effektuttaget hos fjärrvärmekunderna skapar stora möjligheter att optimera produktionsstrategierna. Det ger också upphov till en rad fördelar som ytterligare stärker fjärrvärmens miljömässiga och ekonomiska konkurrenskraft.

