

SÄNKNING AV RETURTEMPERATURER GENOM LASTSTYRNING



Rapport | 2008:2

SÄNKNING AV RETURTEMPERATURER GENOM LASTSTYRNING

FREDRIK WERNSTEDT
CHRISTIAN JOHANSSON
JANUSZ WOLLERSTRAND

FÖRORD

Den här studien är ett led i effektiviseringen av fjärrvärmesystemen. Syftet är att öka fjärrvärmens konkurrenskraft genom att använda en laststyrningsmetod för att uppnå sänkta returtemperaturer.

Studien som har genomförts av Fredrik Wernstedt, Christian Johansson och Janusz Wollerstrand från Blekinge och Lunds tekniska högskolor ingår i forskningsprogrammet Fjärrsyn som finansieras av Svensk Fjärrvärme och Energimyndigheten. Fjärrsyn ska stärka konkurrenskraften för fjärrvärme och fjärrkyla genom ökad kunskap om fjärrvärmens roll i klimatarbetet och för det hållbara samhället till exempel genom att bana väg för affärsmässiga lösningar och framtidens teknik.

Eva-Katrin Lindman

Ordförande i Teknikrådet

FÖRFATTARNAS FÖRORD

Föreliggande rapport redovisar metod, genomförande och resultat från ett projekt utfört inom ramarna för forskningsprogrammet Fjärrsyn hos Svensk Fjärrvärme. Projektet är ett resultat av en tvärvetenskaplig insats av forskare från två olika lärosäten, Blekinge Tekniska Högskola och Lunds Tekniska Högskola. Fältförsök har genomförts i samarbete med Karlshamnsbostäder AB och NodaIS AB.

I samband med genomförandet av detta projekt har det tillsatts en referensgrupp vars samlade kunskaper och synpunkter bidragit till projektet. Ett stort tack riktas till deltagarna i denna referensgrupp bestående av Jan Berglund, Svensk Fjärrvärme, Bo Johansson, Karlshamn Energi AB, Stefan Salomonsson, Ronneby Energi AB, Tobias Karlsson, Affärsverken Karlskrona, Tony Svensson, Alfa Laval, Hans Magnusson, Karlshamnsbostäder AB samt Håkan Andersson, E.ON.

Under arbetet har vi stött på problem med att få fram den information vi önskat, därför ser rapporten inte riktigt ut som det var tänkt från början. Det levererade budskapet är detsamma men formen har förändrats något.

Ronneby, februari 2008

Författarna

SAMMANFATTNING

I detta arbete presenteras resultat från fältförsök där vi använt ett distribuerat styrsystem för att studera effekterna på returtemperaturer från fjärrvärmecentraler under laststyrning. Fältförsöken har genomförts i ett område i Karlshamn med fjorton fastigheter. Styrsystemet bygger vidare på de tankar och idéer rörande laststyrning som utvärderades i Stockholm under 80 och 90-talet.

Förespråkare för laststyrning hävdar generellt att det finns ett flertal betydande fördelar med att reglera effekterna som genereras av lasttoppar: *minskade uppvärmningskostnader för fastighetsägare, minskad förbränning av fossila bränslen, möjlighet till större hänsyn till pris och skillnad mellan olika bränslen samt effektivitet mellan olika pannor, minskade kostnader för utsläppsrätter, möjlighet till ökad nettovinst vid försäljning av kraftvärmeproducerad elektricitet, ökade möjligheter att överbrygga kapacitetsproblem i existerande fjärrvärmenät, möjligheter att öka antalet kunder utan att öka produktionskapaciteten, möjlighet för mindre fjärrvärmenät att skaffa billig ackumulatorkapacitet genom utnyttjande av fastigheters termiska buffert. Vår tes är dessutom att laststyrning under perioder med hög last kommer att innebära lägre returtemperaturer från fjärrvärmecentralerna och att detta kan göras utan att påverka upplevd komfort för kunderna.*

Resultaten visar i första hand att nyttan med det laststyrningssystem som beskrivits i rapporten är just att den att sänka höga laster. Vill man sänka returtemperaturer från fjärrvärmecentralen är det först och främst viktigast att fjärrvärmecentralen är rätt dimensionerad samt att den reglerar optimalt. Dock är det så att man genom att laststyra med denna metod erhåller sänkta returtemperaturer under perioder då lasten är hög. Dessa perioder är dessutom perioder då man normalt kan förvänta sig att returtemperaturerna annars blir något förhöjda. Systemet har inte ökat avkylningen, så med andra ord är det inte ett permanent generellt långsiktigt sätt att sänka returtemperaturen på detta sätt. Men, förutsatt att varaktigheten och storleken på begränsningarna ligger inom nivåer som innebär att komforten med hänsyn till tidskonstanter kan hållas på en god nivå, är detta ett bra sätt att åstadkomma bra avkylning då den är som viktigast.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. Inledning	8
1.1 Bakgrund	8
1.2 Syfte och mål	9
2. Tekniken	10
2.1 Effektstyrning	10
2.2 Försäljning av effektstyrningskapacitet	11
2.3 Distribuerade styr- och övervakningssystem	12
2.4 Agentsystem	14
3. System	16
3.1 Systemöversikt	16
3.2 Miljö	17
3.3 Teknik	18
4. Genomförande	21
4.1 Konfiguration av agentsystemet	21
4.2 Systemets arbetsgång	22
4.3 Utvärdering	23
5. Resultat	24
6. Diskussion, slutsatser och framtid	41
6.1 Diskussion	41
6.2 Slutsatser	42
6.3 Framtid	43
7. Referenser	44
Bilaga 1 – karta över fridhemsområdet	46

1. INLEDNING

Få var de som förutsåg de senaste tjugo årens kraftiga expansion av fjärrvärme. Inom många områden ledde detta till att man inte dimensionerade systemen för att hantera dagens höga nyttjandegrad. Då det gäller underdimensionerade ledningssystem uppkommer så kallade, trånga sektioner. För att hantera dessa tvingas man under långa perioder antingen använda sig av en högre framledningstemperatur eller ett högre primärt flöde på fjärrvärmevattnet än vad fallet varit med en korrekt dimensionerad ledning. Genom att laststyra så att de högsta lasttopparna begränsas borde inverkan av dessa trängre sektioner minska. Vidare, genom att man sänker kapacitetsutnyttjandet sänker man samtidigt distributionskostnaderna. Sänkningen resulterar i att nya investeringar kan vänta och därmed att servicelivslängden för tidigare gjorda investeringar förlängs. Vidare, energibelastningen i fjärrvärmenät är hela tiden utsatt för kraftfulla stokastiska variationer på grund av kontinuerligt skiftande kundbehov, och kapaciteten i fjärrvärmenätet måste vara utformad för att hela tiden kunna tillgodose dessa behov. I praktiken uppnås detta idag vanligen genom att alla komponenter i fjärrvärmesystemet dimensioneras efter vissa väldigt sällan förekommande extremsbehov i kombination med användandet av spetslastpannor för att täcka de lasttoppar som uppstår. Förespråkare för laststyrning hävdar generellt att det finns ett flertal betydande fördelar med att reglera effekterna som genereras av lasttoppar:

- Minskade uppvärmningskostnader för fastighetsägare.
- Minskad förbränning av fossila bränslen.
- Möjlighet till större hänsyn till pris och skillnad mellan olika bränslen samt effektivitet mellan olika pannor.
- Minskade kostnader för utsläppsrätter.
- Möjlighet till ökad nettovinst vid försäljning av kraftvärmeproducerad elektricitet.
- Ökade möjligheter att överbrygga kapacitetsproblem i existerande fjärrvärmenät.
- Möjligheter att öka antalet kunder utan att öka produktionskapaciteten.
- Möjlighet för mindre fjärrvärmenät att skaffa billig ackumulatorkapacitet genom utnyttjande av fastigheters termiska buffert.

Vår tes är att laststyrning under perioder med hög last innebär även lägre returtemperaturer från fjärrvärmecentralerna.

1.1 Bakgrund

I det här projektet har vi utnyttjat de senaste tekniska landvinningarna inom både hård- och mjukvara för laststyrning inom fjärrvärmesystem[1]. Arbetet bygger vidare på de tankar och idéer rörande laststyrning som utvärderades i Stockholm under 80 och 90-talet [2]. Ett implementerat och driftsatt system i Fridhemsområdet i Karlshamn har använts för att genomföra praktiska fältförsök. Fridhemssystemet är det första systemet som tillämpar intelligenta mjukvaruagenter för laststyrning inom fjärrvärmesystem.

I ett tidigare projekt har Sipilä och Kärkikäinen [3] visat att det är möjligt att genomföra tillfälliga sänkningar av den maximala energilasten inom fastigheter utan att det påverkar den av kunden upplevda leveranskvaliteten vad gäller värmen. I ett annat projekt påtalar Stang mfl. [4] att det saknas information och expertis angående demand

side management (DSM) för fjärrvärmesystem. Vidare har Wigbels mfl. [5] med simuleringar visats på stora potentiella vinster med DSM i fjärrvärmesystem både då det gäller i ekonomiska termer och reducering av utsläpp.

Vid Lunds Tekniska Högskola (LTH) har det sedan många år bedrivits forskning med inriktning mot effektivisering av enskilda fjärrvärmecentraler. Tidigare projekt har fokuserat på prestandan vid radiatorkretsens värmeväxlare för att på så sätt öka den avkylning som i sin tur medför sänkta returtemperaturer [6]. Genom simuleringsexperiment har man visat att det finns en metod som ger utrymme att öka avkylningen med 2-4°C hos värmeväxlaren för radiatorkretsen. Detta projekt drar lärdom av dessa kunskaper och fokusera på att samordna dessa modeller med systemövergripande styrstrategier för att sänka returtemperaturen på fjärrvärmevattnet genom samverkan och aktiv styrning i de lokala fjärrvärmecentralerna.

Inom branschen finns det ett ökande intresse för laststyrning, men tekniken har alltför varit outvecklad. Detta till skillnad från elmarknaden där laststyrning numera räknas som en mogen standardteknik. Denna rapport hoppas kunna medverka till att öka mognadsgraden av tekniker för laststyrning inom fjärrvärmesystem.

1.2 Syfte och mål

Syftet är att öka fjärrvärmens konkurrenskraft genom att använda en laststyrningsmetod för att bland annat uppnå sänkta returtemperaturer. Sänkt returtemperatur leder till ökad effektivitet i produktionsenheter, minskad kostnad för distribution samt att det är ett mycket kostnadseffektivt alternativ till att ersätta transferledningar till områden med begränsad kapacitet. Den ökade avkylningen leder till lägre kostnader för kunden i de områden där effekt eller flödestaxa tillämpas. Målet för projektet är att presentera och praktiskt verifiera en laststyrningsmetod för att märkbart sänka returtemperaturer från undercentraler utan kännbar komfortsänkning för slutkund.

2. TEKNIKEN

2.1 Effektstyrning

Effektstyrning av fjärrvärmesystem kan åstadkommas genom direkt styrning av kundernas fjärrvärmecentraler eller indirekt genom användandet av olika ekonomiska incitament när det gäller taxan. Indirekt effektstyrning är relativt brett implementerat framförallt genom flödestaxor men på senare tid även genom effekttaxor, exempelvis av Fortum i Stockholm. Direkt laststyrning är mer ovanligt även om det existerar en del försök [2]. Österlind använde ett envägs kommunikationssystem. Genom kommunikationssystemet hade de möjlighet att manipulera utomhustemperaturgivaren och på så sätt påverka uppvärmningen av fastigheterna. Studien bekräftade tidigare teorier om laststyrning och visade att det är relativt enkelt att skapa ett system för att hantera bristsituationer i fjärrvärmenäten. Systemet tog inte hänsyn till kunders komfort eller till rättvis fördelning av styrningen mellan kunderna. Österlind konstaterade att ett minimikrav för ett operativt system är tvåvägskommunikation. Tvåvägskommunikation för fjärrvärmecentraler är idag på ett relativt tidigt stadiet men vartefter hårdvaran utvecklas behöver fokus flyttas mot hur man ska använda systemen samt hur det ska gynna fjärrvärmen i stort. Även om flödestaxor, och på senare tid även effekttaxor, ökar i utbredning så har fastighetsägare i allmänhet inte någon möjlighet att i realtid läsa effekttuttaget, och än mindre möjlighet att aktivt påverka situationen.

Med ett snabbt och styrbart system för reglering av effekttuttaget kan fördelar uppnås i främst två avseenden; dels tillfälligt sänkt effekttuttag och dels tillfälligt höjt forcerat effekttuttag.

Sänkt effekttuttag

Det uppstår ett antal systemövergripande fördelar för en fjärrvärmeproducent om man på ett kontrollerat vis kan sänka effekttuttaget kortvarigt under perioder med förhöjt effekttuttag, ur både operativ och strategisk synvinkel. Om effekten kan regleras ner i ett urval av fjärrvärmecentraler i samband med effekttoppar, kan topplastproduktion undvikas. Det största värdet uppstår om man därmed kan undvika utbyggnad av en topplastanläggning. Ett annat tillkommande värde är att andelen fossilt bränsle i systemet kan begränsas, vilket är ett önskemål som oftast har en stark ekonomisk, politisk, och inte minst, miljömässig förankring. Av säkerhetsskäl (reservkapacitet) är det osannolikt att topplastanläggningar (oljeeldade hetvattenpannor, cisterner, oljelager mm) och därmed underhålls- och kapitalkostnader helt kan avvaras, snarare minskas. Genom att möjliggöra kontrollerad sänkning av det samlade effekttuttaget kan bristsituationer antingen mildras eller undvikas helt, vilket beroende på tillämpning kan användas både vid akuta bristsituationer, exempelvis vid haveri av produktionskapacitet, som vid utökning av kundunderlag utan behov av ökat produktionsunderlag.

Hur många kilowatt som är möjligt att flytta genom laststyrning är beroende av fjärrvärmesystemets varaktighetskurva. Varaktighetskurvan är normalt mycket spetsig, dvs. stora effektbehov har kort varaktighet. Typiskt har 30-40 % av effektbehovet en varaktighet under 500 timmar. I flertalet fjärrvärmesystem produceras topplastvärmen med olja, kol 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. Om vi antar att hälften av toppeffekten under de 100 högst belastade timmarna kan flyttas

från respektive morgontimme till senare på dagen och att kunden även kan vara garanterad att få tillräckligt med tappvarmvatten, så bör det inte bli någon märkbar komfortförlust. Detta motsvarar närmare 5 % av systemets effektbehov, eller 5 MW i ett 100 MW-system. Värdet av denna styrning kan alltså vara 10 Mkr i ett sådant system.

Förflyttning från topp effekt till en grundlastanläggning ger också en lägre rörlig produktionskostnad, förmodligen minst 50 öre/kWh, räknat på en övergång från olja till biobränsle och givet dagens ungefärliga råvarupris. Den korta varaktigheten gör dock inte detta lika värdefullt som i det föregående exemplet. Ett räkneexempel: Energin per kW av effekttoppen på 100 timmar blir ca 50 kWh/kW, vilket alltså ger ett årligt värde på 25 kr/kW ($50 \text{ kWh/kW} * 50 \text{ öre/kWh}$). Diskonterat ger det ett värde på ca 250 kr/kW med en antagen diskonteringsfaktor 10.

Höjt effektuttag

Elförbrukning och elpris varierar över dygnet. Normalt finns en pristopp mellan kl 7 och 9 på morgonen och en annan mellan 17 och 20 på kvällen. Denna variation är i takt med förbrukningen och en anpassning 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. Det är normalt att en fjärrvärmeleverantör också är stor elleverantör i sitt område.

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 pga., att det finns distributionstider för temperaturfronterna i näten. . M a o man kan, under en begränsad period, öka cirkulationen i fjärrvärmenätet och tack vare det producera mera el. Detta resulterar i viss övervärmning av de valda fastigheterna men är acceptabelt så länge övervärmningsnivån är rimlig.

Vi antar i följande räkneexempel att mottrycksanläggningen går på delast under ca 3 000 timmar. Av dessa ligger drygt 15 % på högpristid (vardagar morgon och kväll) eller ca 500 timmar. Prisskillnaden mellan dessa timmar och genomsnittet för efterföljande timmar sätts till 10 öre/kWh. Om flyttad värmeproduktion ger en tredjedel av detta i flyttad elproduktion blir värdet av den flyttade elproduktionen ca 15 kr/kW*år ($1/3 * 500 \text{ timmar} * 10 \text{ öre/kWh}$). Det diskonterade värdet av effektstyrningen blir alltså ungefär 150 kr/kW med en antagen diskonteringsfaktor 10. 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/kW) av möjligheten att anpassa elproduktionen.

2.2 Försäljning av effektstyrningskapacitet

Om man idag inför en effekttaxa har kunderna till största del ännu inte teknisk möjlighet att agera efter en taxan och därmed riskerar man att kunden känner att det inte är en helt rättvis prissättning eftersom man i praktiken inte kan styra undan effekten då uttaget är stort (dels vet man inte om när man har ett högt uttag och dels har man ingen

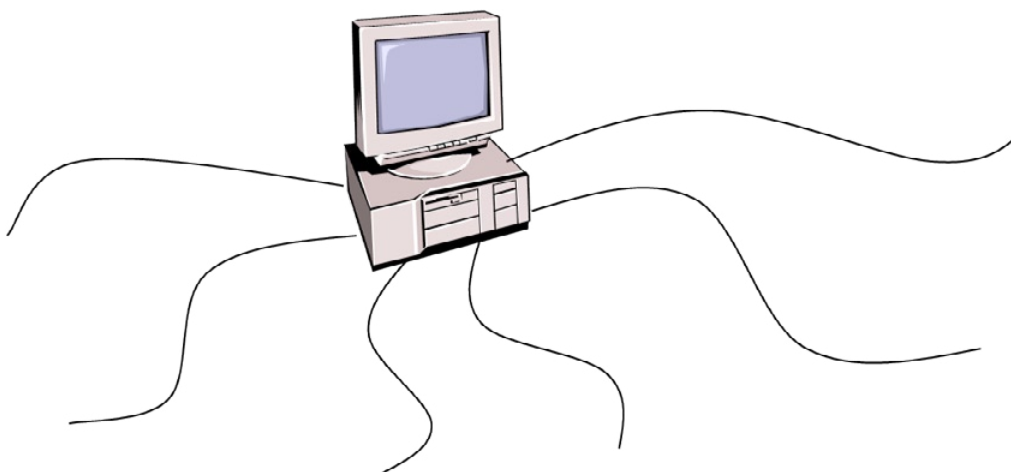
automatik för att styra om så vore fallet). Om alla kunder väljer att installera lokala effektvakter (vilka värmeleverantören då inte kommer att ha kontroll över) som endast tar hänsyn till det lokala effektuttaget kommer intäkterna minska med mer än vad man önskar då det inte alls alltid är önskvärt att sänka uttaget då en enskild kund närmar sig effektgränsen eftersom det i systemet kan finnas mer än tillräckligt med kapacitet. Vidare, om det är så att det finns flera olika gränser för effekttaxan eller att det är en funktion av den aktuella effekten kommer kunderna ha mycket svårt att ställa in sina effektvakter så att de tar hänsyn till dessa olika nivåer med missnöjda kunder som följd. För att avgöra när ett effektuttag bör minskas måste man egentligen ha tillgång till det globala tillståndet, dvs. det totala effektuttaget i nätet. En korrekt effekttaxa borde således egentligen vara kopplad till denna dynamiska globala bild.

Kopplar man laststyrningsutrustning så att man lokalt kan mäta eller uppskatta effektuttaget (t.ex. integrationsverk eller ställdonlägen) kan man se till att kunden styr ner värmekonsumtionen under de högsta effekttopparna och på så sätt dimensionerar ner sin effekttaxa. Vill man även ta hänsyn till det globala tillståndet får man från leverantören begära att systemet skall fördela begränsningar motsvarande den effekt man vill uppnå. Vid behov av effektstyrning kan man då i första hand låta de som har hög förbrukning styra och i andra hand, om den styrningen inte räcker, låter man ytterligare fastigheter komma in och hjälpa till att styra. Att värmeleverantören inför effekt- eller flödestaxa innebär att denne visat att de har höga kostnader för höga laster. Således borde det ligga i värmeleverantörens intresse att flera kunder hjälper till för att sänka effekttoppen och på så sätt minska påfrestningen på fjärrvärmesystemet. Genom att de fastigheter med högsta toppar först går in och styr bort last ser systemet till att de kunderna som skulle betalat för det höga effektuttaget är de som i första hand undviker kostnaden för det höga uttaget.

2.3 Distribuerade styr- och övervakningssystem

Med ett distribuerat styrsystem menar man ofta att man har sammankopplat komponenter så som sensorer, samt styr- och reglerenheter. Utvecklingen av mikroprocessorer har lett till en ökad decentralisering av funktioner till geografiskt skilda platser. Resultatet av att distribuera funktionaliteten ökar mängden nödvändig kommunikation och har ökat behoven av konfigurering av de distribuerade enheterna samt det överordnade systemet [7]. Utveckling av distribuerade och heterogena system för t ex automation och styrsystem ställer stora krav på utvecklingarna. Generellt kan man säga att det finns två funktioner som kan automatiseras i distribuerade system, övervakningsfunktioner och styrfunktioner. Egenskaperna man behöver ta hänsyn till kan jämföras med de generella egenskaperna för komplexa decentraliserade system som beskrivs av Jennings [8]. Vidare ställer systemen stora krav på flexibilitet och adaptabilitet då denna typ av system ofta efter hand modifieras. Den vanligast förekommande modell för distribuerad automation är antagligen ”the Supervisory Control And Acquisition (SCADA) model”. SCADA modellen är dock centraliserad till sin natur, se figur 2.1.

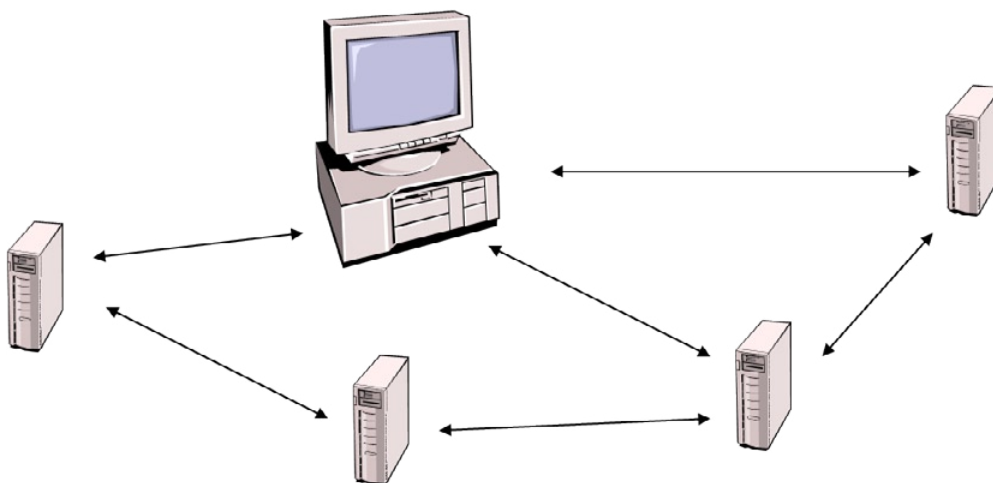
En centralt placerad ”master” övervakar distribuerade enheter via någon form av telemetri. De distribuerade enheterna samlar in mätdata som de vid begäran rapporterar in till den centrala mastern, som sedan utför analyser och kontrollfunktioner.



Figur 2.1 Centraliserat system

SCADA modellen uppvisar acceptabel prestanda och pålitlighet men tenderar att brista lite när det gäller att hantera fel i systemet, samt att det är svårt att konfigurera om systemen, utöka systemen och att anpassa systemen [9]. Vidare, ett generellt argument mot centraliserade modeller för komplexa distribuerade system är att då problemet som systemet jobbar med är mycket komplexa så blir lösningar baserade på lokala beräkningar snabbare under körtid [10].

Ett alternativt sätt att hantera stor komplexitet och bristerna med centraliserade modeller är att decentralisera modellen, se figur 2.2. Den generella iden är att "divide and conquer", att dela upp det komplexa problemet i flera mindre och enklare problem och sedan lösa dessa mindre delar för sig hos distribuerade enheter. Man kan säga att ett antal enheter agerar gemensamt istället för att en enhet skall utföra hela arbetet själv.

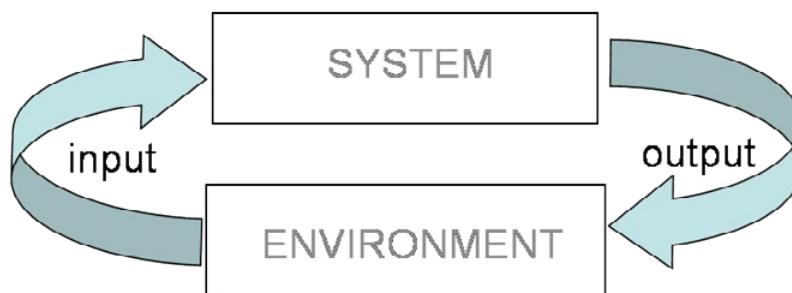


Figur 2.2 Decentraliserat system

På senare år har många tillverkare introducerat avancerade system i sina produkter som kan utföra parameterkonfigurering och övervakning. Möjligheterna att koppla upp dessa typer av system i nätverk lovar system som är mycket dynamiska men problemet att arbeta med dessa smarta lokala system genom ett överordnat system kvarstår. Att utveckla koncept och modeller för dessa system är en öppen forskarfråga. Ett koncept som föreslagits är mjukvaruagenter [11, 12, 13].

2.4 Agentsystem

En agent kan ses som en typ av programvara som självständigt kan fatta beslut med syfte att uppnå givna mål, alternativt att agenten samarbetar med andra agenter för att uppnå gemensamma mål.



Figur 2.3 Principiell modell för agentsystem och dess förhållande till sin omgivning

Agentsystem bygger på decentraliserade systemlösningar och det finns i många fall stora vinster med att använda agentbaserade lösningar för att uppnå de aktuella målen. Parunak [14] listar följande karakteristiska egenskaper för en ideal tillämpning av agentbaserad teknologi:

- *Modulär*, i den mening att varje enhet har en väldefinierad mängd variabler som är skilda från motsvarande inom dess omgivning, och att gränssnittet gentemot omgivningen tydligt kan identifieras och definieras.
- *Decentraliserat*, i den mening att systemet kan delas upp i fristående mjukvaruprocesser som är kapabla att självständigt utföra lämpliga åtgärder utan löpande direktiv från utomstående mjukvaruprocesser.
- *Dynamisk*, i den mening att strukturen och omfattningen på systemet kan vara utsatt för hastiga och ofta förekommande förändringar.
- *Ostrukturerad*, i den mening att den samlade mängden systeminformation inte finns tillgänglig när systemet designas.
- *Komplex*, i den mening att systemet uppvisar en stor mängd skilda beteenden som kan komma att interagera på komplexa och avancerade sätt.

Ett fjärrvärmesystem uppvisar de flesta av dessa ovanstående egenskaper och detta antyder i sin tur att agentbaserad teknologi är en lämplig infallsvinkel för att optimera fjärrvärmesystemets beteende. Det bör givetvis noteras att agentteknologi inte är ändamålsenlig för alla tillämpningar. Exempelvis, inom ett system som är slutet, statiskt, välstrukturerat och enkelt uppbyggt, så kommer förmodligen inte en agentbaserad lösning att erbjuda ökat värde, utan enbart tillföra onödig komplexitet.

Forskare inom många områden såsom datavetenskap, ekonomi och psykologi har studerat koordineringsämnet, vilket kan ses som läran om administrering av beroenden mellan aktiviteter [15]. I alla miljöer där mjukvaruagenter medverkar, behöver agenterna inlåta sig i aktiviteter baserade på antingen samarbetande eller konkurrerande verksamhet för att på ett effektivt sätt uppnå sina uppsatta mål. Ur agentsystemets perspektiv så är koordinering den process vilken agenterna genomgår för att säkerställa att gruppen av individuella agenter uppvisar ett sammanhängande och följdriktigt beteende [16]. En mängd modeller har utvecklats med syfte att hantera problem och situationer relaterade till koordinering. På ena sidan av skalan finns det organisatoriska strukturer och sociala riktlinjer [17], det vill säga långsiktiga regler som styr agentbeståndets beteende. På motstående sida av skalan finns det svarta tavlan modeller [18] och de så kallade "one shot" protokollen, exempelvis kontraktsnät [19]. Mellan dessa motpoler återfinns tekniker såsom ofullständig global planering [20] och ett antal olika förhandlingstekniker, exempelvis marknadsbaserad [21] och spelteoretisk [22] förhandling. Ett flertal forskare har visat att det inte finns någon allmängiltigt enskild bästa modell för att organisera och koordinera inom alla olika miljöer [23].

Det sätt som används för att styra agentsystemet i samband med laststyrning bygger på ett slutet första-pris auktionsförfarande. Denna typ av auktion bygger på att de som medverkar i auktionen lägger var sitt bud som är dolt för de övriga medverkande. De lagda buden jämförs sedan och agent med det bästa budet vinner. I denna rapport innebär bästa bud att fastigheten i fråga är den fastighet som är mest lämpad att genomföra en laststyrning i den bemärkelse att styrningen ger minst negativ påverkan på fastighetens termiska buffert. En sluten auktion bygger således på budgivarnas egna uppfattningar om marknaden och deras interna vilja att ge ett visst bud. Den skiljer sig från en standard auktion av så kallad brittisk typ, där budgivarna tar upp kampen med övriga budgivare baserat på deras relativa priser. Vad gäller spelteori så är en sluten första-pris auktion jämförbar med så kallade holländsk auktion, vilket teoretiskt sätt medför att båda dessa auktionsförfarande ska generera samma slutresultat. En holländsk auktion går till så att auktionsförrättaren påbörjar auktionen med ett högt bud som sedan successivt sänks tills någon budgivare väljer att acceptera budet. Fördelen med detta förfarande är att auktionen enbart kräver ett enda bud för att slutföras, vilket härigenom markant kan påskynda processen.

3. SYSTEM

3.1 Systemöversikt

Laststyrningssystemet baseras på att ge värmeleverantören i fjärrvärmesystem möjlighet att direkt påverka fastigheters uppvärmning genom styrning av enskilda fastigheters fjärrvärmecentral. Genom dubbelriktad kommunikation mellan en ny form av distribuerad styrprogramvara, värmeleverantören och fjärrvärmecentralen får värmeleveratören möjlighet till automatisk laststyrning. Systemet utnyttjar fastigheternas värmetröghet för att begränsa lasttoppar, detta kan göras under en relativt lång tidsperiod. Längden på denna period varierar mellan olika fastighetstyper och är beroende på utomhusklimat, tidskonstanten för fastigheten och mängden tillförd energi. Förr eller senare måste man dock låta fastigheten återgå till ”fri” konsumtion för att de boende inte skall få sin komfort försämrad. Det som gör systemet unikt är att det automatiskt fördelar små begränsningar dynamiskt över beståndet. Fördelningen görs utifrån ett antal faktorer vilket resulterar i att de fastigheter som har bäst förutsättningar för att momentant dra ner effekten gör det före fastigheter som momentant har mindre lämpliga förutsättningar. Man kan tänka på det som en budgivning där den fastighet som just nu har lägsta kostnader i termer av komfort utifrån inställda värden, fastighetens tidskonstant i kombination med lägsta acceptabla inomhustemperatur, kommer att vinna budgivningen och acceptera effektbegränsningen. Antalet auktioner och intensiteten i dem bestäms av effektbegränsningen man vill uppnå samt vad som är möjligt för fastigheterna att genomföra. Under en godtycklig tidpunkt då man effekstyr nätet kommer ett antal fastigheter att vara begränsade, ett antal kommer att befinna sig i en kontrollerad återhämtningsfas och ytterligare ett antal kommer inte ha några begränsningar alls. I ett extremfall skulle alla fastigheter i området kunna vara fullt begränsade men det är inte vad vi eftersträvar då man mister dynamiken och antagligen riskerar komfort, men det är fullt möjligt. Vi anser dock att man i största möjliga mån skall undvika att ge sämre komfort då en av de grundläggande hörnstenarna för fjärrvärme just är komfort. Tekniken påverkar inte tappvattenproduktionen utan endast uppvärmningen av fastigheten vilket bidrar till att kunderna kan fortsätta att uppleva en hög komfortnivå. Om nu fastighetsägare och värmeleverantör ändå vill avtala för att ha möjlighet till större neddragningar i vissa fastigheter så stödjer systemet det genom att man ställer in dels tidskonstant för fastigheten samt att man anger vilken lägsta temperatur som är acceptabel, t ex kan en fastighet acceptera att man i värsta fall går ner tre grader från normalfallet medans en annan fastighet endast accepterar en tvågradig sänkning. Dessa inställningar kan ställas in för att dynamiskt variera över året..

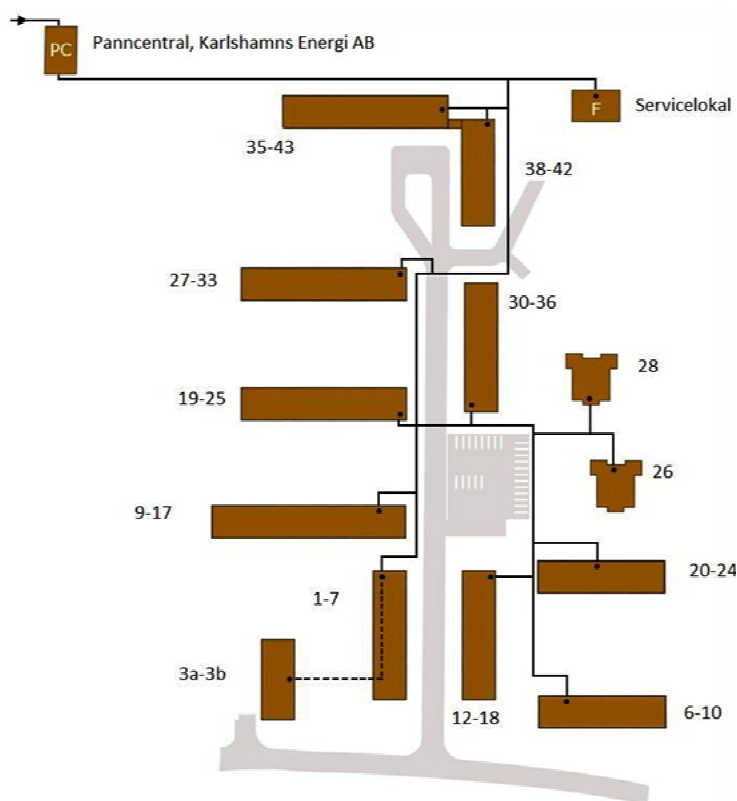
Avkylningen av primärvärmevattnet i en fjärrvärmecentral styrs främst av aktuell fram- och returtemperatur samt flöde på sekundärsidan. Det vanliga är att radiatorflödet hålls konstant. I tidigare arbeten, [3] [4] [6] har man dock visat att man genom att variera flödet beroende på radiatorlasten kan förbättra avkylningen. Fredriksen och Wollerstrand [3] har visat att det för varje kombination av radiatorsystem och fjärrvärmecentral, vid varje lastfall och framledningstemperatur, finns ett optimal flöde i radiatorkretsen som ger lägsta möjliga primära returtemperatur. Om cirkulationsflödet hålls konstant innebär en sänkning av den sekundära framledningstemperaturen att även den sekundära returen sänks, vilket i sin tur betyder en viss sänkning av den primära

returtemperaturen. I samband med laststyrning kan även radiatorflödet optimeras så att optimal sänkning av returtemperaturen uppnås.

3.2 Miljö

Fältförsök har genomförts i Karlshamnsbostäder AB:s fastigheter i området Fridhem, se Bilaga 1. Området består av 14 fastigheter och omfattar sammanlagt 350 hyreslägenheter. Tretton av dessa fastigheter är flerbostadshus av varierande storlek, och den fjortonde fastigheten utgörs av en servicelokal. Fridhem är mycket lämpat för studier av denna typ då det är ett tryckstabilt och väl avgränsat område inom Karlshamn Energis fjärrvärmenät. Med hjälp av flödesmätare på områdets framledning kan ett komplett fjärrvärmenät efterliknas i mindre skala. Samtliga fjärrvärmecentraler är sammankopplade i ett kommunikationsnätverk, vilket även är tillgängligt via Internet. Fjärrvärmecentralerna som är installerade i området kommer från Alfa Laval AB och har en öppen plattform (DUC) där man kan exekvera egenutvecklad programvara för styrning, övervakning och mätdatainsamling.

Figur 3.1 visar en översikt över området Fridhem. Panncentralen i övre vänstra hörnet utgör en sk. reservproduktionsenhet och är förbunden med Karlshamn Energis



Figur 3.1 Översikt över området Fridhem

övriga fjärrvärmenät. Det är i denna panncentral som en av flödesmätarna har kopplats in för att mäta områdets framledningsflöde. Figuren 3.1. visar hur ledningssystemet är sammankopplat inom området och var fastigheterna är inkopplade. De siffror som benämner fastigheterna är deras respektive adress på Fridhemsvägen, dock tillhör 3a-3b Länsmansvägen. Servicelokalen i övre högra hörnet är en lokal utan några boende, och fungerar framför allt som lager och serviceutrymme för fastighetsskötarna inom området.

3.3 Teknik

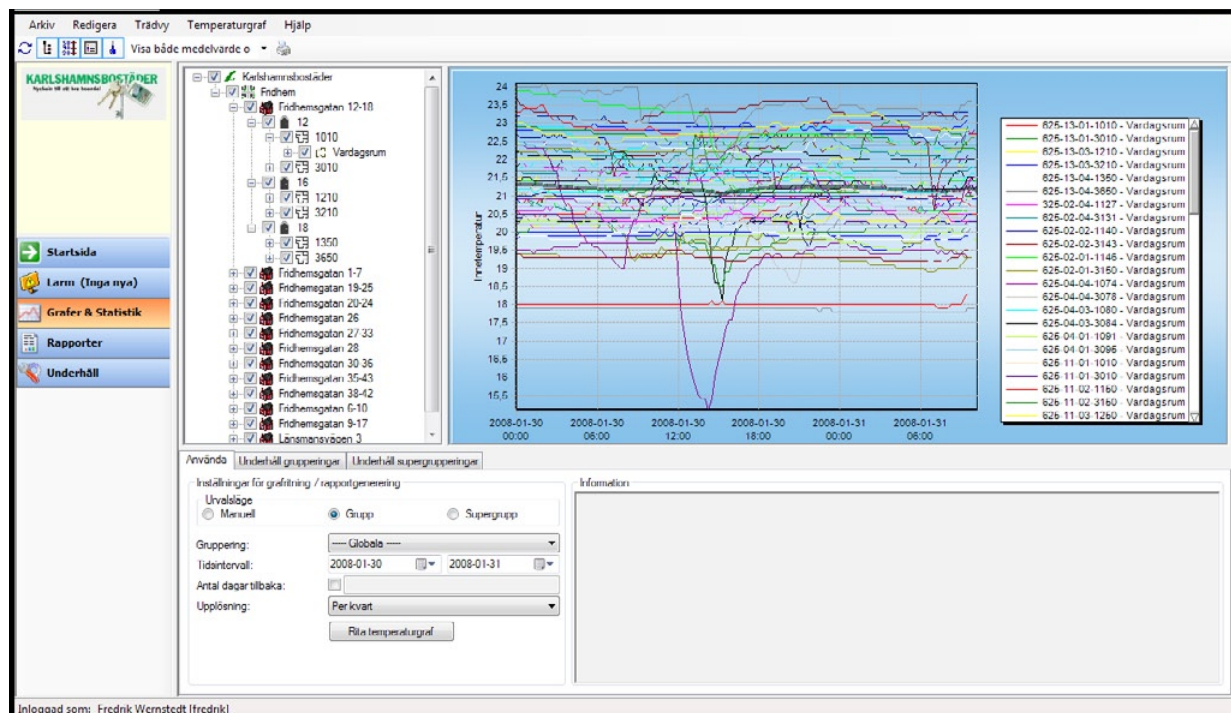
De fjärrvärmecentraler som finns installerade i Fridhem är av typ IQHeat tillverkade av Alfa Laval. Dessa fjärrvärmecentraler är bestyckade med en Siemens Saphir ACX 32 processenhet som innehåller ett RCC-kort med Compact Flash-baserat externt minne. På denna är en version av Windows CE installerad, och detta skapar i sin tur en plattform som möjliggör användandet av exempelvis webbserver, ftp-klient och övrig specialutvecklad programvara såsom styragenterna. Det distribuerade agentstyrsystemet som utnyttjar denna plattform är utvecklad av Noda Intelligent Systems, och detta omfattar även en extern databas baserad på Gentoo Linux operativsystem och PostgreSQL databas. Hela området är sammanbundet via ett TCP/IP baserat nätverk som även är uppkopplat mot Internet via ett brandväggssystem. De två flödesmätare som användes under projektet är utanpåliggande ultraljudsmätare Optisonic 6300 från Krohne. Den flödesmätare som var placerad i panncentralen var kopplad till en Ebox 2300 miniPC baserad på Gentoo Linux, och på denna var en specifikt anpassad mjukvaruagent installerad för att hantera flödesdatan.

För att utvärdera inomhusklimatet användes dels ett system av trådlösa mätpunkter sammankopplade via en databas från EcoGuard, och dels ett fåtal enskilda referensgivare sammankopplade med sina respektive fjärrvärmecentraler. Systemet från EcoGuard installerades under hösten 2007 med ett antal mätpunkter i alla tretton bostadsfastigheter inom Fridhem. EcoGuards grafiska gränssnitt och ett exempel på fjärravläsning av inomhustemperaturer, här i form av graf, visas i figur 3.2

Inga mätpunkter är installerade i servicelokalen som är den fjortonde fastigheten inom området. De enskilda referensgivarna är installerade i de tre fastigheterna, Fridhemsvägen 12-18, Fridhemsvägen 28 och Fridhemsvägen 38-42 och användes främst som referenspunkter innan systemet från EcoGuard var driftsatt fullt ut.

Temperatursensorerna har placerats i lägenheter på olika våningar främst i de som har fönster mot norr och ost, se figur 3.3.

Alla fastigheter redovisade i tabell 3.1 nedan har varit delaktiga i samband med det fältförsök som ligger till grund för denna rapport med ett undantag. I Fridhemsvägen 12-18 installerades en extern flödesmätare för att kunna mäta cirkulationsflödet i radiatorkretsen. Försök med optimering av fjärrvärmevattenavkylning medelst variationer av cirkulationsflödet genomfördes där av LTH, varför fastigheten inte medverkade i det auktionsförfarande som fördelade de enskilda styrningarna. Under projektets gång samlades en stor mängd rådata kontinuerligt in, och denna data sparades i den för syftet utvecklade databasen. Här sparades dels faktiska driftsdata från fjärrvärmecentralerna och dels data härrörande från agenternas kommunikation sinsemellan. Till detta kom-



Figur 3.2 Insamling av temperaturdata från lägenheterna via systemet från EcoGuard.



Figur 3.3 Utplacering av temperatursensorer.

mer även flödesdata som samlades in från flödesmätare som installerades i panncentralen. Driftsdaten från fjärrvärmecentralerna sparades på minutbasis, medan flödesdatan sparades med tio eller fem sekunders intervaller. Det var nödvändigt att uppdatera flödesdatan oftare än övrig data för att få önskad responstid i systemet i förhållande till flödestopp. De fjärrvärmecentraler som finns i Fridhem har dimensionerande data enligt tabell 3.1.

Tabell 3.1

Benämning	Effekt värme/vv [kW]	Tillgängligt differenstryck min [kPa]
Länsmansvägen 3a-3b	370/132	150
Fridhemsvägen 1-7	190/122	150
Fridhemsvägen 9-17	270/160	150
Fridhemsvägen 19-25	185/122	150
Fridhemsvägen 27-33	185/122	150
Fridhemsvägen 38-42	120/94	150
Fridhemsvägen 35-43	185/132	150
Service lokalen	30/38	150
Fridhemsvägen 30-36	170/122	150
Fridhemsvägen 28	150/122	150
Fridhemsvägen 26	150/122	150
Fridhemsvägen 20-24	140/94	150
Fridhemsvägen 12-18	185/122	150
Fridhemsvägen 6-10	160/94	150

4. GENOMFÖRANDE

4.1 Konfiguration av agentsystemet

För att agentsystemet skall fungera tillfredställande så behöver man ställa in dels övergripande systemparametrar, t ex beslutsparametrar för styrning, och dels funktionsparametrar för de enskilda agentnoderna i varje fjärrvärmecentral. Den övergripande systemkonfigurationen ställs in hos de agentnoder som agerar förmedlare av laststyrningen, medan inställningarna för de lokala styrparametrarna återfinns hos agentnoden vid respektive fjärrvärmecentral. Alla dessa inställningar kan dock ställas in och justeras över nätverk från en specifik konfigurationsprogramvara.

Laststyrningen förmedlas mellan alla de fastigheter som ingår i agentsystemet. Systemet väljer ut den fastighet som har störst möjlighet att genomföra en styrning givet de dynamiska förutsättningarna. Detta urval baseras på att systemet hela tiden väljer den eller de fastigheter som har minst att förlora, i förhållande till sin termiska buffert, på att genomföra den begärda styrningen. Urvalet sker via ett auktionsförfarande där alla agenterna ger bud baserat på deras respektive interna förutsättningar. Systemet bygger således på tanken att alla agentnoder gör sitt bästa för att medverka till att de överordnade målen uppnås, dock utan att riskera sina egna respektive inomhustemperaturer. En agentnod som bedömer att den begärda laststyrningen kan komma att medföra en allt för hög belastning på den egna termiska bufferten kan neka att medverka i budgivningen. Detta beteende medför en jämn fördelning av styrningen över hela fastighetsbeståndet. Ytterligare fördelar med den här distribuerade systemdesignen är att fastighetsbeståndet kan öka godtyckligt i omfattning utan att den övergripande styrningen blir överbelastad. Av de fjorton fastigheter som finns i Fridhem så ingick tretton i själva auktionsförfarandet. Den fjortonde fastigheten på Fridhemsvägen 12-18 var urkopplad ur auktionsmodellen, men ingick ändå i det övergripande agentsystemet. Via konfigurationsprogramvara går det att löpande koppla bort eller ansluta agentnoder till auktionsförfarandet, vilket kan vara behändigt i samband med exempelvis driftstörningar och uppgraderingar.

Den enskilda agentnoden i en fjärrvärmecentral måste vara medveten om den aktuella fastighetens egenskaper för att kunna skapa en dynamisk modell över energiförändringarna. De styrparametrar som används för en agentnod är fastighetens tidskonstant och en maxgräns för teoretisk sänkning av inomhustemperaturen. Agentnoden har även begränsats i sin rörelsegrad eftersom maximalt 15 % av framledningstemperaturen går att förändra. Agenten kan med andra ord inte sänka framledningstemperaturen på radiatorkretsen med mer än 15 % av vad den skulle ha varit utan någon sänkning. En säkerhetsfunktion som är implementerad i fjärrvärmecentralen innebär även att temperaturprogrammet återgår till originalläget om man inte påminner det att de ska använda ett annat temperaturprogram efter 10 minuter. Ytterligare en parameter som påverkar en fastighets möjlighet att styra är längden på varje enskild styrning. Detta värde har i Fridhem varit inställt till 120 sekunder. En agent som vinner en auktion och således skall genomföra en styrning kommer att utföra denna styrning under denna tid, för att sedan genomföra en kontrollerad återgång till utgångsläget. Algoritmen för den kontrollerade återgången säkerställer att fjärrvärmecentralen inte överkompenserar vid tillbakagången till utgångsläget. Det är inget som hindrar att en agentnod erhåller en ny styrning under redan pågående styrning, så till vida att fastighetens förutsättningar till-

låter detta. Den maximala gränsen för tillfällig teoretisk sänkning av inomhustemperaturen som användes i Fridhem sattes till en grad från ett utgångsläge på tjugoen grader, det vill säga att inomhustemperaturen i den teoretiska modellen aldrig fick understiga tjugio grader. Inga faktiska temperaturdifferenser av denna storlek har påträffats under försöket i Fridhem. Det förutsätts att den teoretiska modellen är injusterad mot den faktiska temperaturen för att temperaturerna skall följa varandra, och att tidskonstanten som agenten använder ligger i paritet med den faktiska. Alla fastigheter hade en tidskonstant om 300 timmar, förutom Fridhemsvägen 1-7 som hade en tidskonstant om 150 timmar. Att Servicelokalen hade en lika hög tidskonstant som de större flerbostadshusen var på grund av det inte finns några boende där, vilket innebar att vi ville att denna fastighet skulle vara snabb på att acceptera styrningar.

4.2 Systemets arbetsgång

Ett agentsystem för DSM bör kunna basera sin styrning på ett antal olika beslutsunderlag beroende på den tänkta tillämpningen. Dessa beslutsunderlag kan exempelvis baseras på sammanlagda tappvattenuttag, primärflödets karaktäristik, stundande effekttoppar eller manuell igångsättning vid specifika behov hos värmeleverantören. Under försöket i Fridhem har två olika beslutsmodeller använts, dels sammanlagda tappvattenuttag inom fastighetsbeståndet, och dels primärflödets beteende. När systemet tar ett beslut om att verkställa en enskild effekstyrning så genomförs ett auktionsförfarande för att fördela den aktuella styrningen. Detta förfarande följer följande gång:

1. Ett beslutsunderlag visar på behov av styrning, vilket föranleder den eller de agentnoder som förmedlar styrningar att påbörja en beräkning av den nödvändiga storleken på denna styrning
2. En förfrågan distribueras där alla agentnoder får ta del av informationen om den nödvändiga styrningen
3. Alla agentnoder svara på denna förfrågan genom att ge ett bud som motsvarar den påverkan på fastighetens termiska buffert som genomförandet av den aktuella styrningen skulle ge. I detta läge kan en agentnod vägra att medverka i auktionsförfarandet, men agenten kommer ändå i detta fall att svara på förfrågan för att informera om detta.
4. Systemet bedömer med hjälp av buden vilken fastighet som är mest lämpad att genomföra styrningen. I detta läge kan flera agenter få dela på styrningen ifall de har lämnat samma vinnande bud. Informationen angående resultatet av auktionen distribueras till agentnoderna
5. Den eller de vinnande agentnoderna genomför den aktuella begränsningen

Hela denna ovanstående process tar i allmänhet som längst någon sekund att genomföra vilket säkerställer att systemet har en hög kapacitet att dynamiskt parera uppkomna behov av laststyrning. Denna process upprepas så länge som beslutsunderlaget anger ett behov av laststyrning. Under projektets gång användes två olika modeller för att skapa beslutsunderlag till agentsystemet. De två olika modellerna baserades på dels den totala tappvattenförbrukningen, och dels på primärflödet in till området.

4.3 Utvärdering

Normalårskorrigerig används när man vill jämföra en fastighets energiförbrukningen under en viss tidsperiod med samma tidsperiod under tidigare år, utan att jämförelsen ska påverkas av eventuella skillnader i utomhustemperatur under de olika tids perioderna. Behov av detta kan exempelvis uppstå vid installation av energibesparande åtgärder, då man vill studera dessas påverkan på förbrukning före och efter installation. Den vanligaste metoden för normalårskorrigerig bygger på användningen av så kallade graddagar. Graddagar bygger på att den dagliga skillnaden mellan balanstemperaturen, även kallad periodens eldningsgräns, och dygnets medelutetemperatur summeras över en period, vanligen per månad eller över ett helt år. Kvoten mellan graddagstalet för en given normalperiod och för den aktuella perioden utgör den faktor med vilken energianvändningen korrigeras. Det är bara den klimatberoende delen av energianvändningen som normalårskorrigeras, då den del av energianvändningen som åtgår till tappvarmvatten och varmvattencirkulation antas vara konstant mellan de olika jämförelseperioderna även om utomhustemperaturen har skiljt sig något åt mellan de olika perioderna.

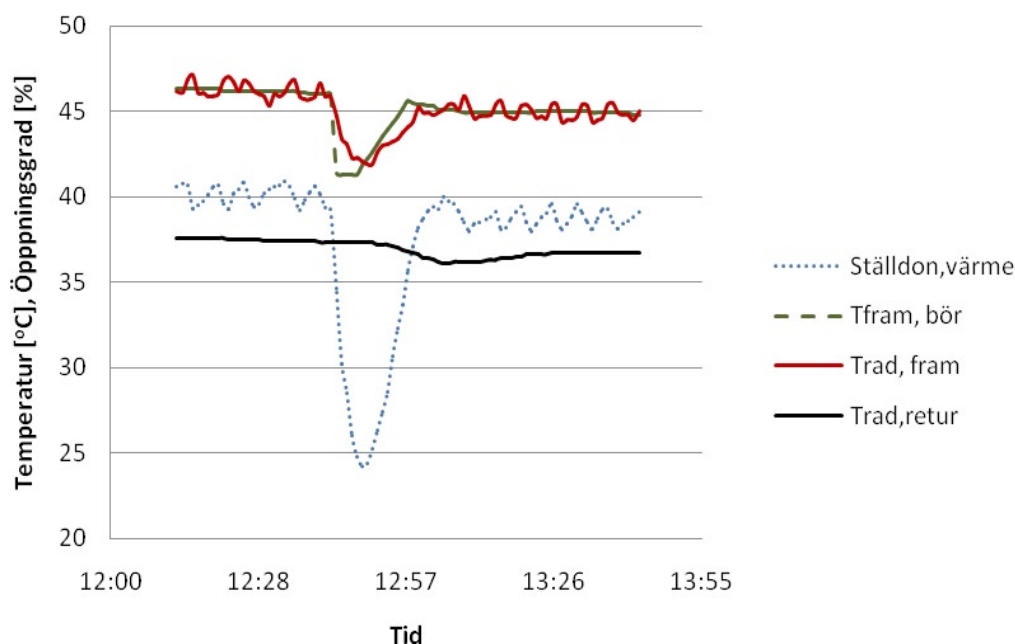
En annan metod för att normalårskorrigera utgörs av modeller baserade på energisignaturer. En energisignatur baseras på uppmätta värden av medelvärmeeffekt för en viss period i förhållande till utetemperaturen under samma period. Längden på perioden över vilken dessa medelvärde beräknas bör vara åtminstone en vecka, då kortare perioder kan ge upphov till icke försumbara dynamiska värmelagringseffekter [24]. Med hjälp av regressionsanalys av dessa mätpunkter erhålles sedan fastighetens energisignatur.

Det finns ett antal olika programvaror som underlättare arbetet med normalårskorrigerig, och de flesta av dessa på marknaden förekommande system är baserade på traditionella graddagsmodeller. Som indata till dessa verktyg går det att köpa färdiguträknade graddagar från SMHI eller, om man hellre vill det, att räkna ut dessa själv baserat på dygnsmedelvärde. Från SMHI kan man även köpa Energi-Index vilket är en tjänst som förutom vanliga graddagar och månadsmedeltemperaturer även tillhandahåller en typ av graddagar som, förutom utomhustemperaturen, även beaktar inverkan av sol, vind, geografiskt läge, energitekniska egenskaper och användningsätt.

5. RESULTAT

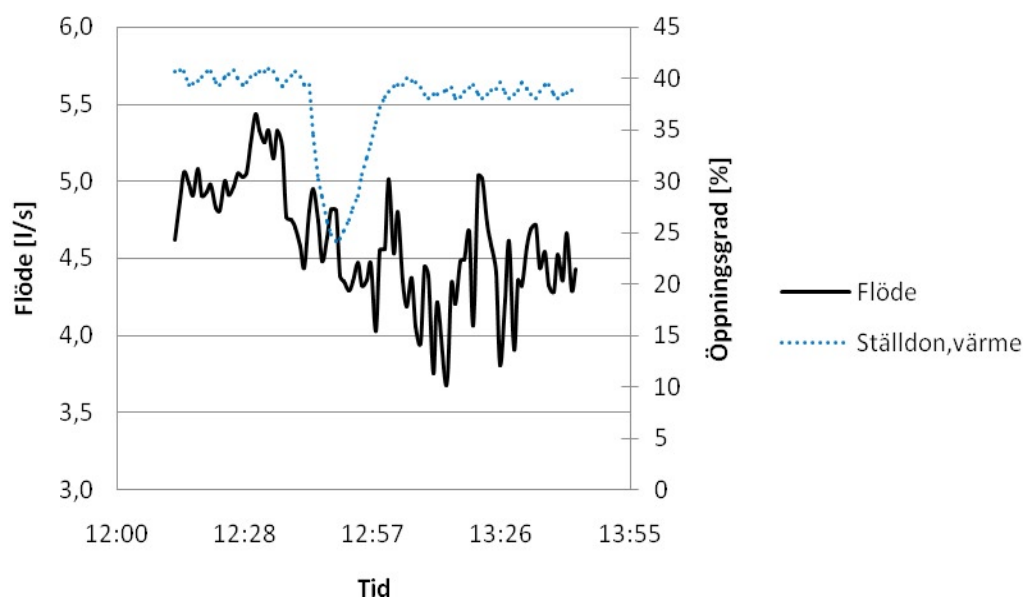
I det här kapitlet redovisas resultaten av laststyrning i området Fridhem samt dess inverkan på last, returtemperatur och komfort. Genom att vi påverkat den faktiska situationen för värmekretsen och fjärrvärmesystemet tvingas vi i flera situationer att resonera utifrån historik och teori hur situationen skulle ha varit om vi inte påverkat den.

Genom att vi aktivt frångår det rådande temperaturprogrammet för radiatorkretsen, se figur 5.1, kommer reglerkretsen att via ställdonet anpassa flödet på fjärrvärmevattnet så att den nya önskade framledningstemperaturen uppnås med efterföljande förändringar på returtemperaturen i radiatorkretsen. I figuren 5.1 kan man även se att vi använder oss av en stegvis och långsam återgång till temperaturprogrammet vilket leder till att vi undviker en omedelbart återkommande högre last ("rekyl").



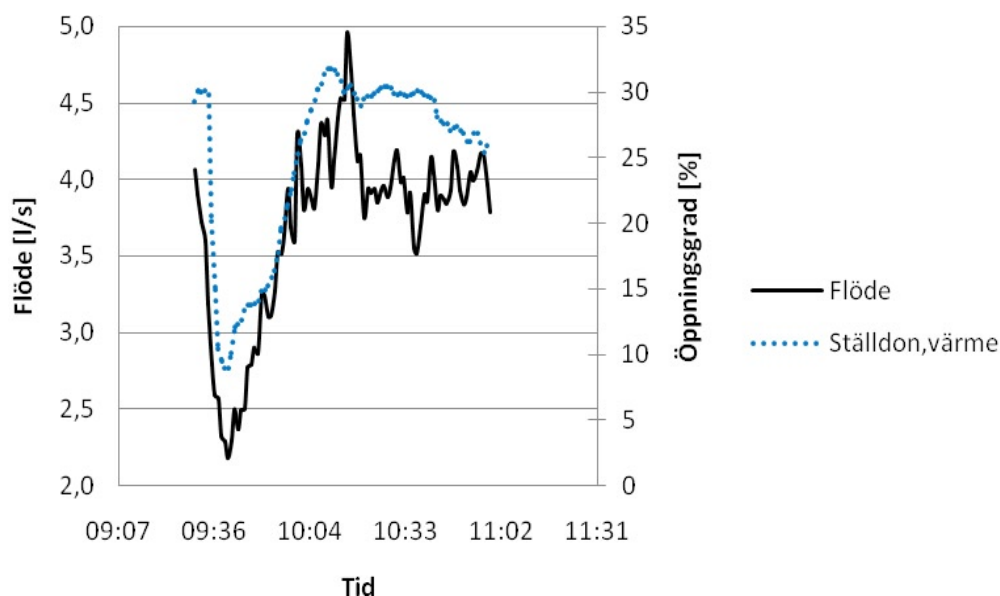
Figur 5.1 Nedstyrning av framledningstemperatur till radiatorkrets och efterföljande reglering i fjärrvärmecentralen i fastigheten Fridhem 28. Lägre radiatortemperatur medför även lägre primär returtemperatur.

I figur 5.2 visas att det inte uppstår någon entydigt urskiljbar effekt på flödet in till hela området då ställdonet för en värmekrets arbetar för att sänka framledningstemperaturen med 15% i en enskild radiatorkrets.



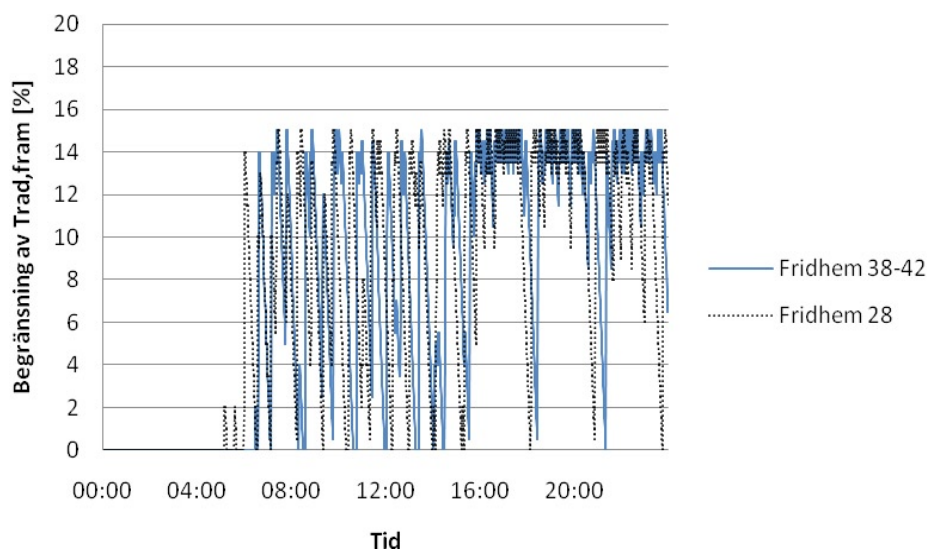
Figur 5.2 Totala flödet in till området Fridhem visas under begränsning av en enda fastighet, Fridhem 28. Flödets variationer beror på stokastisk tappvarmvattenförbrukning och dess medelvärde sjunker med sjunkande värmebehov (ökande utetemperatur).

Effekten av ställdonens arbete ger dock tydligt resultat på det totala flödet till området då flera fastigheter samtidigt genomför begränsningar, se figur 5.3.



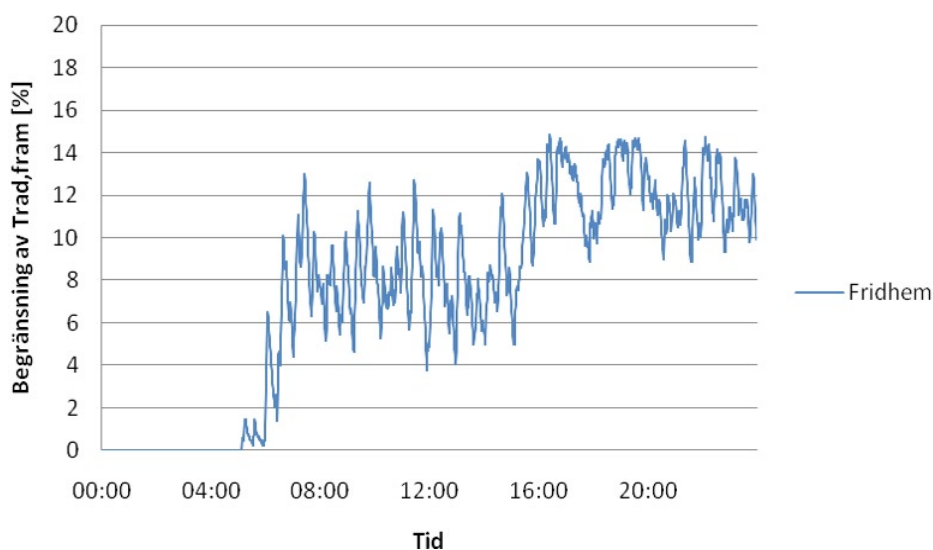
Figur 5.3 Påverkan på det totala flödet in till området Fridhem under begränsning av alla fastigheter i området. Ställdonläget är ett medelvärde för hela området. En 15%-ig sänkning av framledningstemperaturen i radiatorkretsarna har här halverat flödet.

Styrkan är således då flera fjärrvärmecentraler samarbetar för att gemensamt uppnå påverkan på lasten i området. Systemet arbetar genom att fördela många mindre förändringar som sammanlagras för att gemensamt påverka situationen, se figur 5.4.



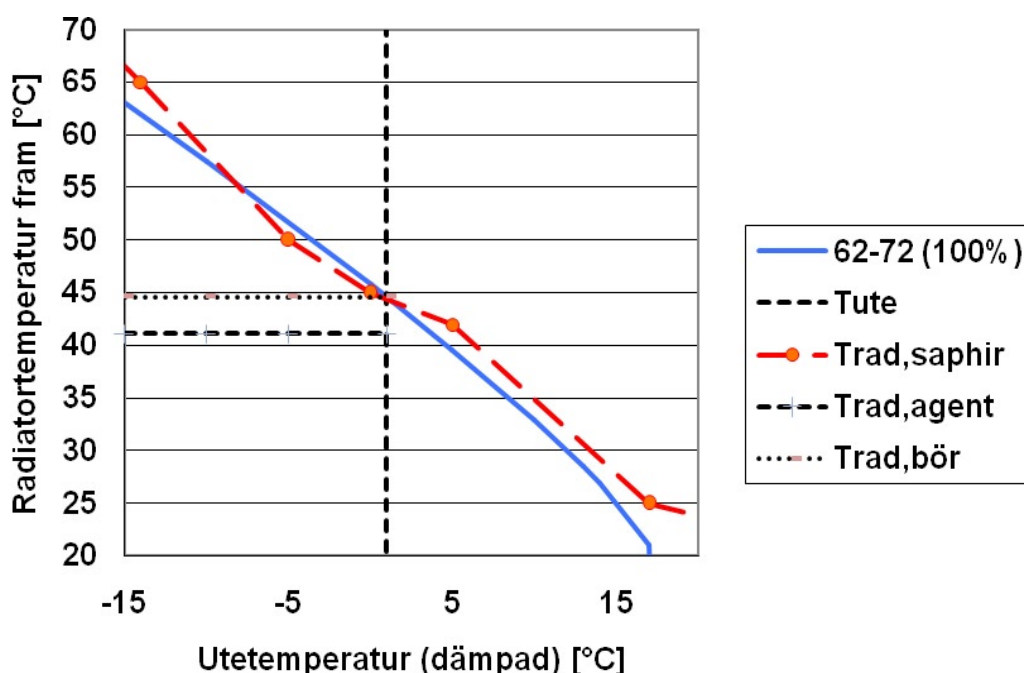
Figur 5.4 Begränsningar utförda i fjärrvärmecentralerna hos de två fastigheterna Fridhem 28 och Fridhem 38-42, med början kl 05:00.

I figur 5.5 visas den sammanlagrade kompensationen under ett dygn av alla fastigheterna i området då de gemensamt skall uppnå de mål man har rörande sänkning av den momentana lasten.



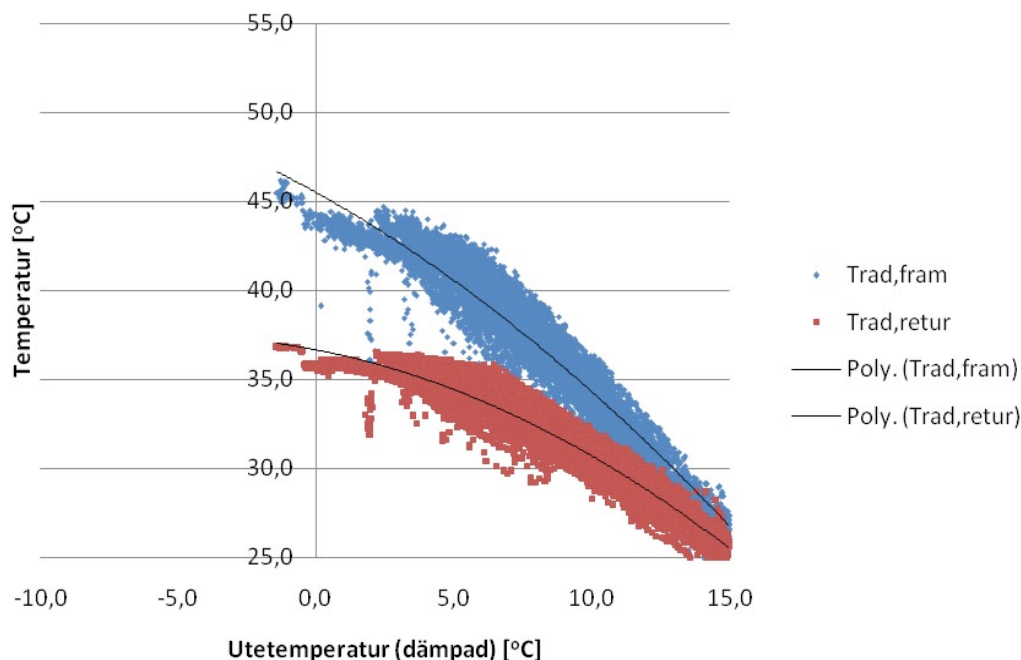
Figur 5.5 Den sammanlagrade begränsningen utförd i området Fridhem då alla fastigheter deltar, med början kl 05:00.

Strategin med begränsningarna kan jämföras vid en principiell parallellförskjutning av temperaturprogrammet. I figur 5.6 visas hur medelvärdet av den totala framledningstemperaturen till radiatorkretsarna förskjutits nedåt under februari 2007. Här visas medelvärdet vilket innebär att man inte ser att både begränsad och normal energileve-rans har förekommit under ett flertal perioder, jmf figur 5.4.



Figur 5.6 Temperaturprogram för radiatorkretsen i fastigheten Fridhem 28 samt begränsad framledningstemperatur för radiatorkretsen (en kort röd linje). Den rödsträckade linjen visar det använda temperaturprogrammet som avviker från ett program baserat på radiatorernas värmeavgivningsförmåga, den blåa linjen.

För att uppskatta den returtemperatur som skulle genererats från en opåverkad framledningstemperatur under perioder då framledningstemperaturen till radiatorerna varit begränsad har vi utgått från historisk data för radiatorernas framledningstemperatur respektive radiatorkretsarnas returtemperaturer, se figur 5.7.



Figur 5.7 Fram- och returtemperaturer i radiatorkretsen i fastigheten Fridhem 28, under perioden januari 2007 till maj 2007 (exklusive februari).

När vi har samlat in data för påverkad ΔT_{rad} respektive uppskattat opåverkad $\Delta T_{log,rad}$ från historisk data kan vi beräkna den minskade effekten vid radiatorerna genom att använda den logaritmiska medeltemperaturskillnaden, $\Delta T_{log,rad}$, mellan radiatorytan och inomhusluften. $\Delta T_{log,rad}$ definieras enligt:

$$\Delta T_{log,rad} = \frac{(T_{rad,fram} - T_{rad,retur})}{\ln\left(\frac{T_{rad,fram} - T_{inomhus}}{T_{rad,retur} - T_{inomhus}}\right)}$$

För att beräkna ny $T_{rad,retur}$ vid en sänkning av $T_{rad,fram}$ kan man:

1. anta att $T_{rad,retur}$ är samma och räkna ut nytt $\Delta T_{log,rad}^n$, där n är sk. radiatorexponent i beräkningsformeln för radiatorernas värmeavgivningsförmåga.

$$\frac{\Delta T_{log,rad}^n_1}{\Delta T_{log,rad}^n_2}$$

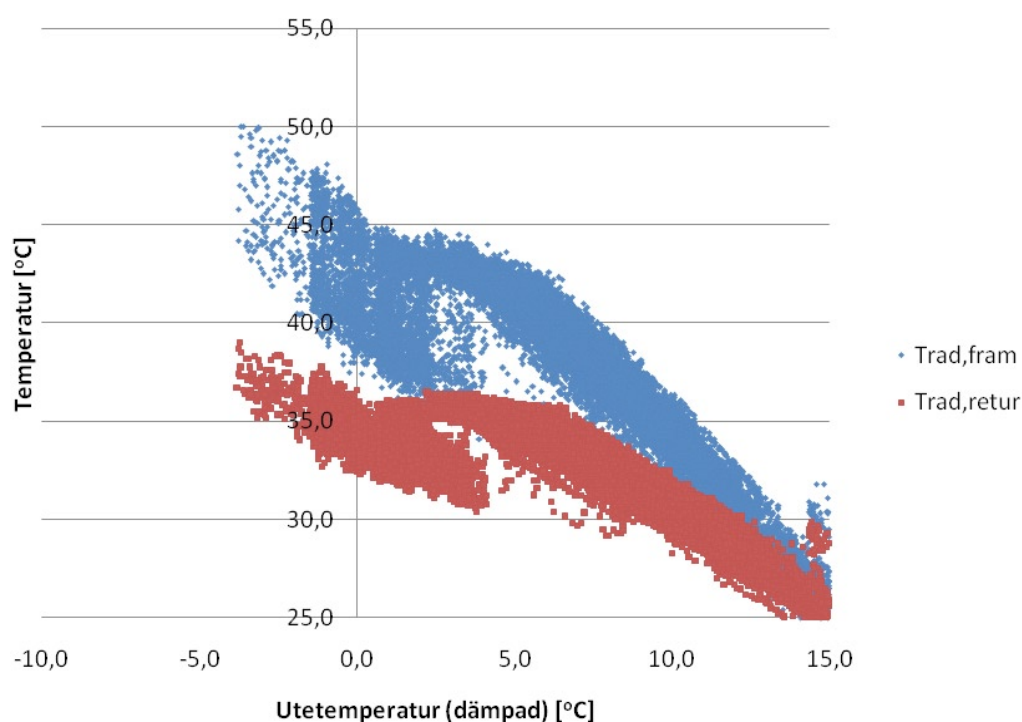
2. räkna ut hur mycket värmeavgivningen minskat
3. räkna ut nytt ΔT_{rad} och därmed ny $T_{rad,retur}$
4. iterera tills stabilt resultat uppnåtts

Genom att uppskatta $T_{rad,retur}$ från historisk data kan man således beräkna vad $T_{rad,retur}$ borde ha blivit då vi sänkte medel för $T_{rad,fram}$ i fastigheten Fridhem 28 med 3,5 °C, se tabell 5.1.

Tabell 5.1

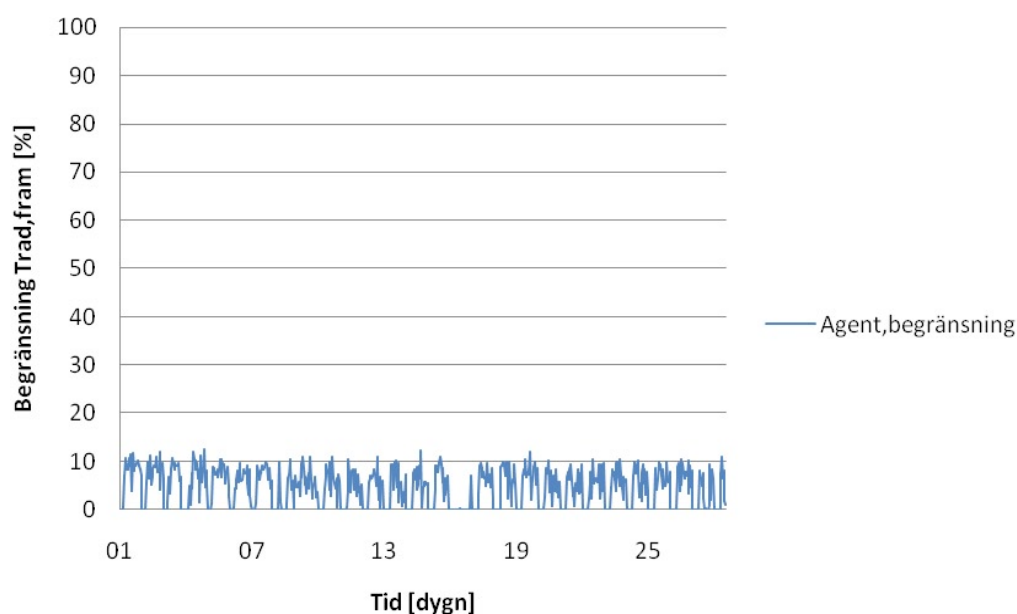
$T_{rad,bör,normal}$	$T_{rad,ret,normal,uppmätt}$	$T_{rad,bör,sänkt}$	$T_{rad,ret,sänkt,beräknad}$	$T_{rad,ret,sänkt,uppmätt}$	Q
44,6	36,1	41,1	36,2	34,0	42,2
iteration		41,1	33,4		91%
iteration		41,1	34,1		82%
iteration		41,1	33,90		85%
iteration		41,1	34,0		84%
iteration		41,1	33,9		84%
resultat		41,1	34,0		84%

Temperaturprogrammet gav under februari 2007 ett medelbörvärde för $T_{rad,fram}$ på 44,6 °C. Vid den här temperatur kan man genom de plottade värdena i figur 5.7 uppskatta $T_{rad,retur}$ till ca 36,2 °C. Använder vi dessa värden då vi beräknar den nya returtemperaturen för den sänkta $T_{rad,fram}$ på 41,1 °C får vi en temperatur på 34,0 °C vilket även var den temperatur som uppmättes under experimenten som medel för $T_{rad,retur}$ under februari 2007. Således, under februari levererades en sänkt effekt vid radiatorerna om 16% till området Fridhem.

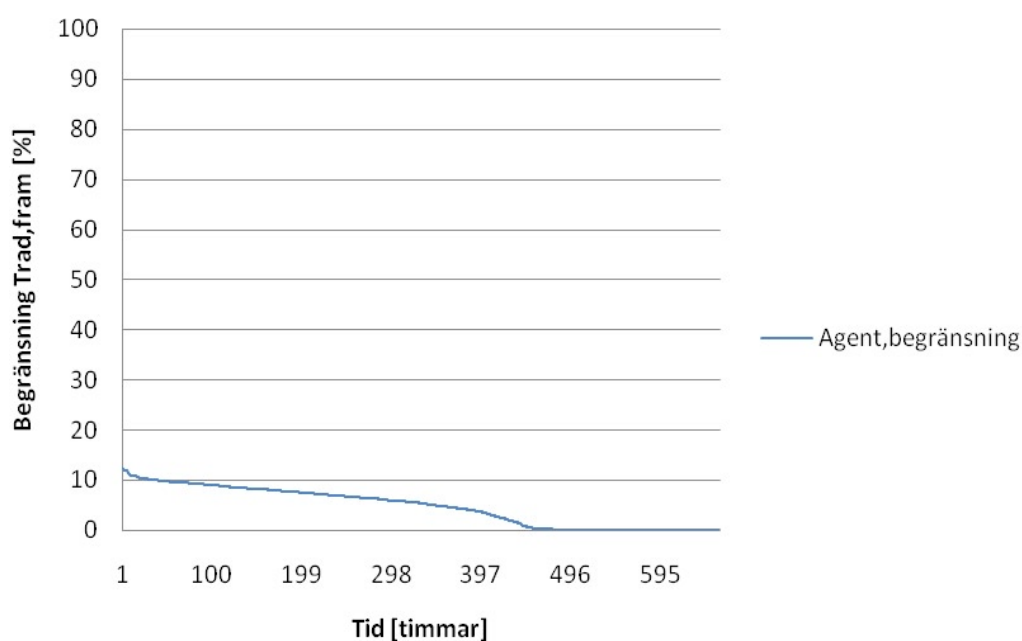


Figur 5.8 Fram- och returtemperaturer i radiatorkretsen i fastigheten Fridhem 28, under perioden januari 2007 till maj 2007 (inklusive februari).

I figur 5.8 visas fram- och returtemperaturer för perioden januari 2007 till maj 2007 då februari är inkluderad. Man ser här tydligt att både framledningstemperaturer och returtemperaturer i radiatorkretsen har tidvis varit lägre än temperaturprogrammet vilket lett till ökad avkylning och sänkta returtemperaturer under perioder med förhöjd last (till vänster i diagrammet).



Figur 5.9 Fördelning av begränsningar över dygnen under februari i fastigheten Fridhem 28.

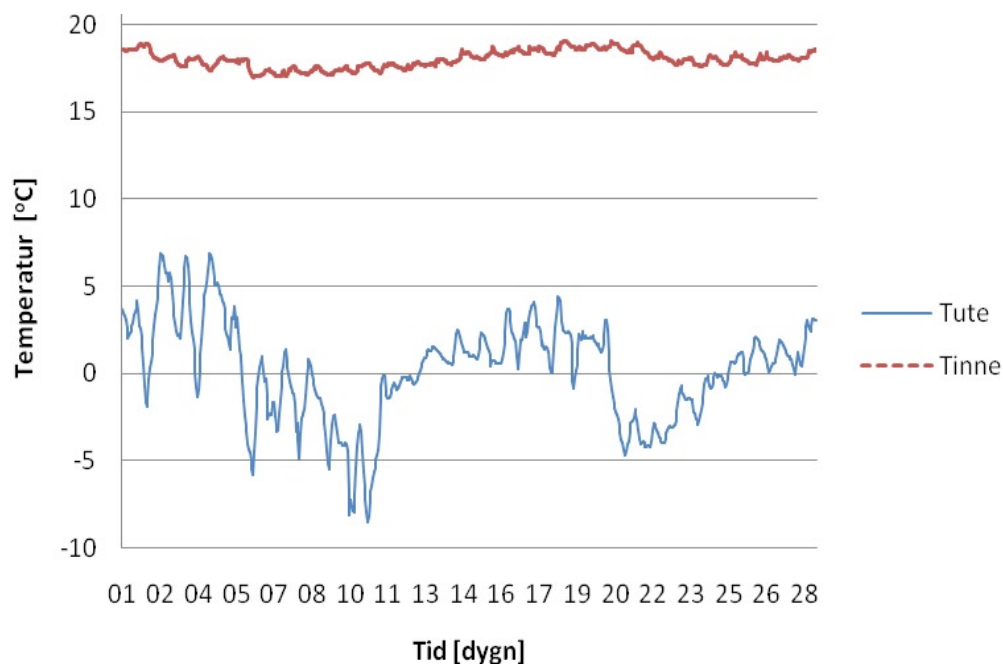


Figur 5.10 Varaktighet för de olika begränsningsnivåerna under februari i fastigheten Fridhem 28.

I figur 5.9 redovisas begränsningarna för en fastighet för perioden februari 2007. Man ser här att begränsningarna varierar i såväl intensitet som nivå under perioden.

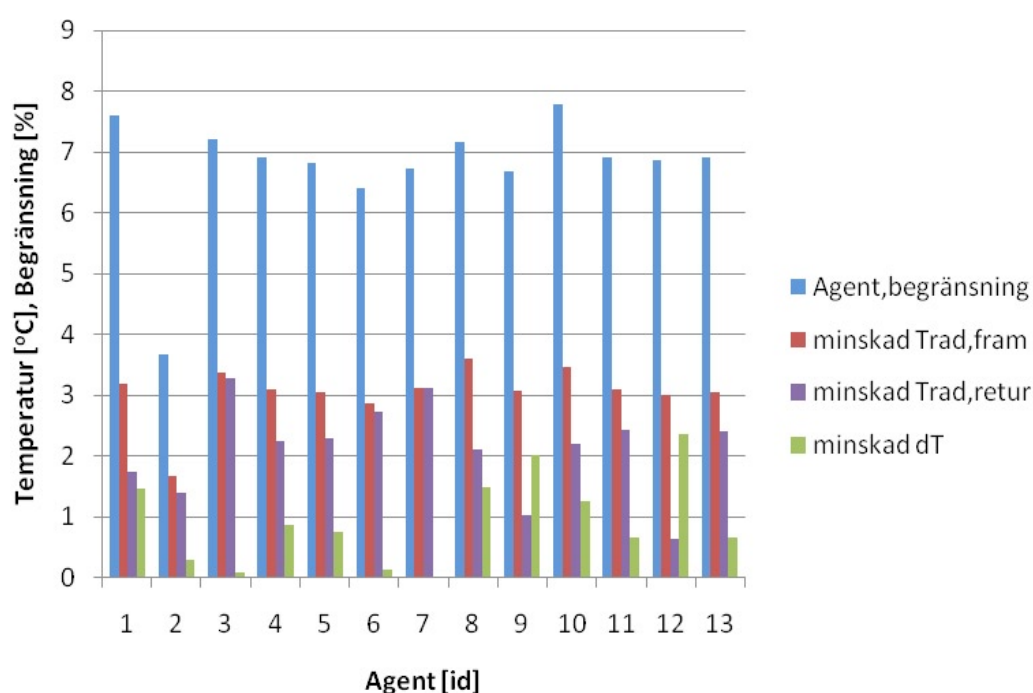
För att tydliggöra att det förekommer perioder med olika nivåer av begränsningar visas ett varaktighetsdiagram över begränsningarna för perioden februari 2007 i figur 5.10.

En sänkt medelnivå för framledningstemperaturen och den efterföljande sänkta returtemperatur i radiatorkretsen som bevisligen sänkt den tillgängliga energimängden vid radiatorerna påverkar givetvis temperaturen i fastigheten. I figur 5.11 redovisar vi de uppmätta värdena från en referenstemperaturgivare installerad i en lägenhet i fastigheten Fridhem 28. Den uppmätta inomhustemperaturen är anmärkningsvärt låg varför man bör undra om givarens kalibrering är korrekt. De senare, omfattande mätningarna av inomhustemperaturen inom hela området har dock visat att det finns boende som föredrar inomhustemperaturer klart under 21 °C. Man kan i alla fall konstatera att inomhustemperaturen är högre vid utetemperaturer över 0 °C och lägre annars. Ett radiatorsystem borde hålla jämn temperatur inomhus varför det finns skäl att misstänka att den använda framtemperaturkurvan (se figur 5.6) inte är optimal.



Figur 5.11 Inomhustemperatur vid referensgivare samt utomhustemperatur för fastigheten Fridhem 28.

I figur 5.12 redovisas resultaten från de enskilda fastigheterna då det gäller framledningstemperaturer, returtemperaturer och förändringar i ΔT_{rad} . Förändringen av ΔT_{rad} har tagits fram genom historisk data (2006-12-01 till 2007-01-31). Medel $\Delta T_{rad,fram}$ har minskats med 3 °C från 45,5 °C till 42,5 °C. ΔT_{rad} för hela området har sänkts med 0,9 °C från 8,3 °C till 7,4 °C och medel $T_{rad,retur}$ har sänkts med 2,1 °C från 37,2 °C till 35,1 °C vilket motsvarar en minskad medelenergileverans vid radiatorerna i området om 11 %.



Figur 5.12 Medel för begränsning, sänkning av framledningstemperatur och returtemperatur samt minskad differens i temperaturer jämfört med historisk data för alla fastigheterna i Fridhem.

En minskad energileverans vid radiatorerna om 11% bör ge en sänkning av temperaturen på inomhusluften om ca 1,8 °C givet en balanstemperatur om 17 °C och utomhustemperaturen 0,7 °C, $(17\text{ °C} - 0,7\text{ °C}) * 0,11 = 1,79\text{ °C}$. Temperaturförändringen kan även något förenklat beräknas med:

$$\frac{T_{inns}(t) - T_{uts}}{T_{inns,o} - T_{uts}} = e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$T_{inns}(t)$ är temperaturen inne vid tiden t , $T_{inns,o}$ är den initiala innetemperaturen, och T_{uts} är den aktuella utomhustemperaturen. Om uppvärmningen inte avslutas helt utan endast minskas, förändras den operativa tidskonstanten, τ , enligt:

$$\tau = \frac{\tau_0}{1 - k}$$

där k är förhållandet mellan tillförd energi och energiförluster. Använder vi denna modell för att beräkna temperatur förlusten vid slutet av februari 2007 från insamlade minuttvärden får vi resultatet att inomhustemperaturen ska ha sjunkit med 1,7 °C.

I och med att vi sänkt energileveransen till radiatorerna ska förbrukad energi för området sjunka i förhållande till normalårskorrigerad förbrukning för motsvarande period tidigare år. I tabell 5.2 redovisas den faktiska och den normalårskorrigerade förbrukningen för perioderna februari 2006 och februari 2007.

Tabell 5.2

Normalårskorrigerad förbrukning (MWh)		Faktisk förbrukning (MWh)	
År 2006 Feb	År 2007 Feb	År 2006 Feb	År 2007 Feb
484	480	503	463

I tabell 5.2 ser man att den förväntade minskade energiförbrukningen mellan åren inte syns. Ett grundläggande problem med normalårskorrigerad förbrukning är att de gängse modellerna inte berör skillnader av inomhustemperaturen, utan denna antas vara konstant under de olika jämförelseperioderna. Detta kan ge upphov till felaktiga tolkningar av energianvändningen i de fall inomhustemperaturen faktiskt har skiljt sig åt under perioderna, detta då även skillnader på enstaka grader av inomhustemperaturen kan innebära betydande skillnader i det faktiska uppvärmningsbehovet. Den grundläggande ekvationen för graddagsbaserad normalårskorrigerad förbrukning bygger på att kvoten mellan mängden graddagar under normalåret och det aktuella året används som korrigeringsfaktor på den klimatberoende delen av den aktuella energianvändningen.

Den insamlade datamängden under februari 2007 visar att inomhustemperaturen utan styrning skulle ha legat 1,7 °C högre än motsvarande period februari 2006. Denna skillnad på inomhustemperatur är något som det inte tas hänsyn till inom gängse beräkning av graddagsbaserad normalårskorrigerad förbrukning, vilket lett till att insatsen under februari 2007 från början felaktigt tolkades som verkningslös ur energisparsynpunkt. I de fall inomhustemperaturen varierar mellan åren, är denna problematik givetvis något som man bör vara medveten om i de fall man använder normalårskorrigerad förbrukning för att utvärdera resultatet av såväl laststyrning som andra energibesparande åtgärder.

Den grundläggande ekvationen för graddagsbaserad normalårskorrigerad förbrukning bygger på att kvoten mellan mängden graddagar under normalåret och det aktuella året används som korrigeringsfaktor på den klimatberoende delen av den aktuella energianvändningen. Ekvationen för en sådan korrigerad förbrukning skrivs enligt:

$$Q_{\text{korrigerad}} = Q_{\text{klimatberoende}} + (Q_{\text{total}} - Q_{\text{klimatberoende}}) \frac{GD_{\text{normalår}}}{GD_{\text{aktuellt}}}$$

där

$Q_{\text{korrigerad}}$ $Q_{\text{korrigerad}}$ = normalårskorrigerad energianvändning [kWh]

$Q_{\text{klimatberoende}}$ $Q_{\text{klimatberoende}}$ = klimatberoende del av energianvändningen [kWh]

Q_{total} Q_{total} = totala energianvändningen [kWh]

$GD_{\text{normalår}}$ $GD_{\text{normalår}}$ = antal graddagar under ett normalår

GD_{aktuellt} GD_{aktuellt} = antal graddagar under aktuellt år

Detta är den gängse metoden för normalårskorrigerings med hjälp av graddagar. Denna ekvation går att tillämpa direkt i ovanstående utförande vilket gör att energianvändningen till fullo korrigeras, men det går även att räkna ner påverkan av korrigeringen för att mildra effekten av denna. Detta system för att normalårskorrigera antar att det är samma inomhustemperatur under både normalperioden och den aktuella perioden. För att justera energiförbrukningen mot att ta hänsyn till skillnader av inomhustemperaturen mellan jämförelseperioderna måste ytterligare någon faktor läggas till. Ett tillägg av en sådan faktor kombinerat med omförflyttning inom uttrycket ger följande resultat:

$$Q_{\text{korrigerad}} = Q_{\text{klimatberoende}} + \Delta Q(1 + \Delta T \sigma) \left(\frac{GD_{\text{normalår}}}{GD_{\text{aktuellt}}} \right)$$

$$\Delta Q = Q_{\text{total}} - Q_{\text{klimatberoende}}$$

$$\Delta T = T_{\text{normalår}} - T_{\text{aktuellt}}$$

där

$T_{\text{normalår}}$ = Inomhustemperaturen under normalår [°C]

T_{aktuellt} = Inomhustemperaturen under aktuellt år [°C]

σ = Procentuellt värde av att förändra inomhustemperaturen en grad, vanligtvis omkring 0.05

Den klimatberoende delen antas vara oförändrad, det vill säga att man antar att de boende inte förändrar sitt tappvattenuttag på grund av att inomhustemperaturen är justerad upp eller ner ett fåtal grader under samma period. I ovanstående uttryck innebär det att justeringen av energianvändningen mot inomhustemperaturen görs efter borttagning av den klimatberoende delen, för att inte påverka storleken av tappvattenförbrukningen. Det finns ett antal olika källor för hur stor tappvattendelen antas vara av totalen, men i sammanhanget är det viktigaste att det värde man använder, typiskt omkring 30%, är konstant under alla beräkningar. I samband med normalårskorrigeringar bör denna typ av beslutsunderlag tydligt framgå i alla sammanhang. Vidare utförs justeringen av den klimatberoende delen av energianvändningen innan själva normalårskorrigeringen eftersom energianvändningen skall korrelera gentemot den givna referenstemperaturen inomhus.

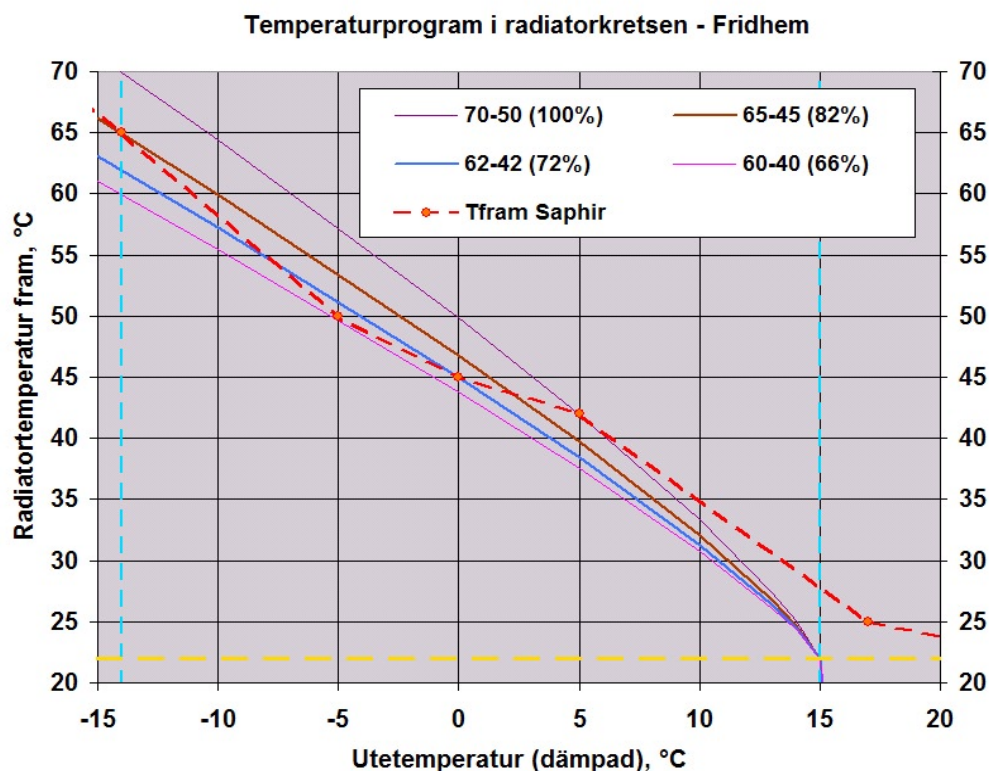
Tabell 5.3

Normalårskorrigerad förbrukning (MWh)		Faktisk förbrukning (MWh)	
År 2006 Feb	År 2007 Feb	År 2006 Feb	År 2007 Feb
484	451	503	463

I tabell 5.3 visas resultatet motsvarande 7 % minskad energiförbrukning från Fridhem där februari 2007 har normalårskorrigerats med hänsyn till den beräknade inomhustemperskillnaden om 1,7 °C. Motsvarande justering kan göras i samband med normalårskorrigerings med hjälp av energisignaturmodeller. Precis som i fallet med grad-

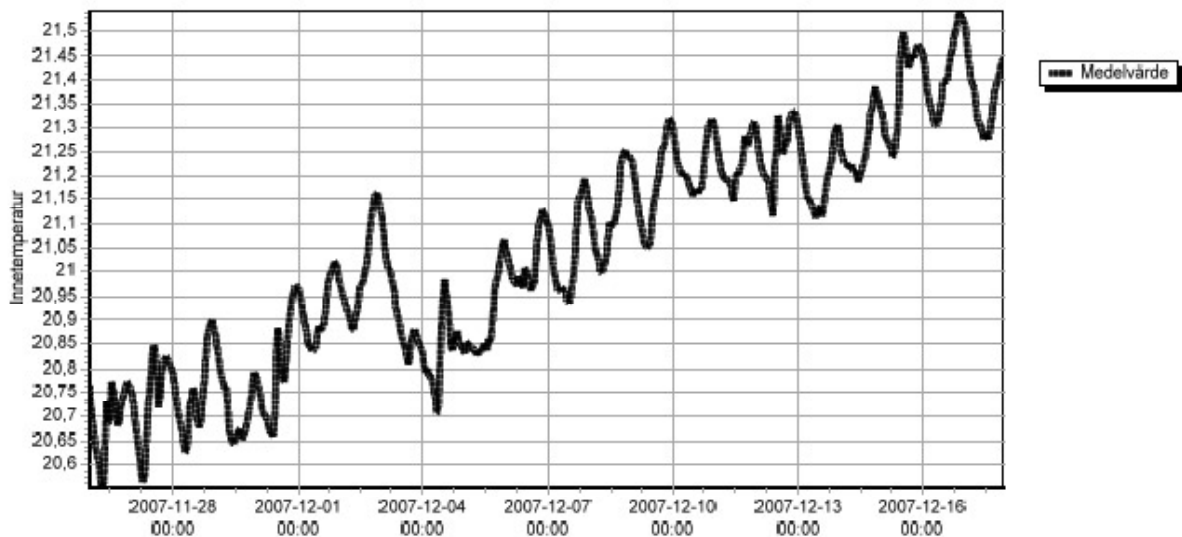
dagsmetoden så förändras inte själva normalårskorrigeringen i sig, utan det syftar till att normalisera själva underlaget till samma relativa nivå innan normalårskorrigeringen genomförs. Anledningen till att den faktiska temperaturen inomhus förändras kan vara flera, såsom skillnader i solinstrålning, sociala faktorer och systeminställningar.

Efter att vi under tidig höst 2007 fått tillgång till det nya temperatursensor systemet med 78 sensorer installerade på lämpliga platser i området visade det sig att balanstemperaturen snarare ligger vid ca 15 °C i stället för de 17 °C som temperaturprogrammen varit inställda på samt att temperaturprogrammet därmed gett en något förhöjd inomhustemperatur vid plusgrader och en något sänkt inomhustemperatur vid minusgrader. För att korrigera detta bytte vi först till 62-42 temperaturprogrammet och sedan, då sänkningen visat sig vara för stor, till 65-45 temperaturprogrammet, se figur 5.12b. Det sistnämnda bytet motsvarar ca 10% ökad tillgång på energi vid radiatorerna i jämförelse med tidigare temperaturprogram.



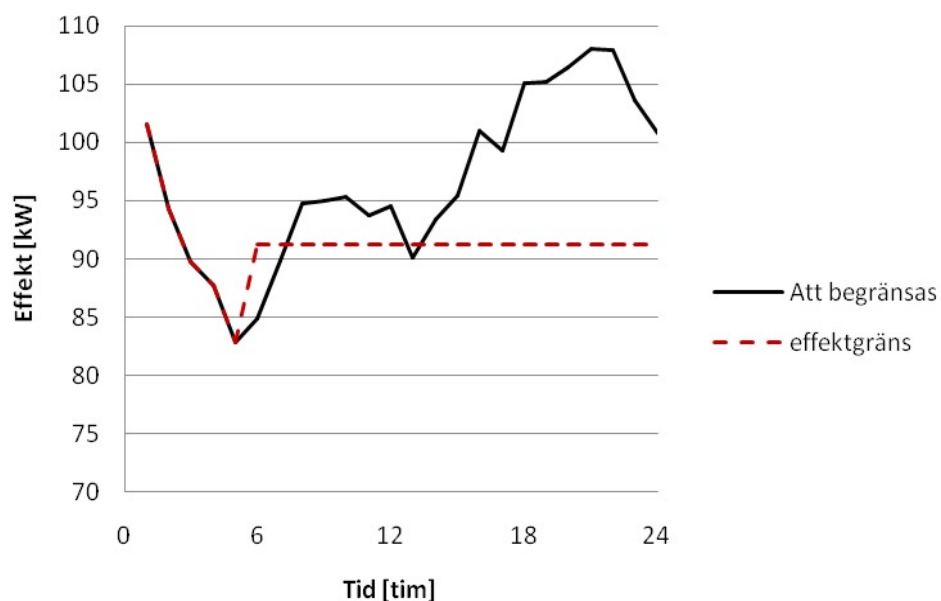
Figur 5.12b Temperaturprogram för radiatorkretsar i Fridhemsområdet vid $T_{balans} = 15^\circ\text{C}$.

I figur 5.13 ser man att vi genom bytet av temperaturprogram från Saphir till 65-45 höjde medeltemperaturen i området med ca 0,7 °C vilket är något lägre än den höjning som det skulle ha blivit enligt kontrollräkning, $(15-4,1) \cdot 0,1 = 1,09$ °C. Skillnaden kan bero på inverkan av radiatortermostatventiler.



Figur 5.13 Medelinomhustemperaturen i området Fridhem uppmätt via 78 sensorer vid byte av temperaturprogram till 10% högre tillgång på energi vid radiatorerna.

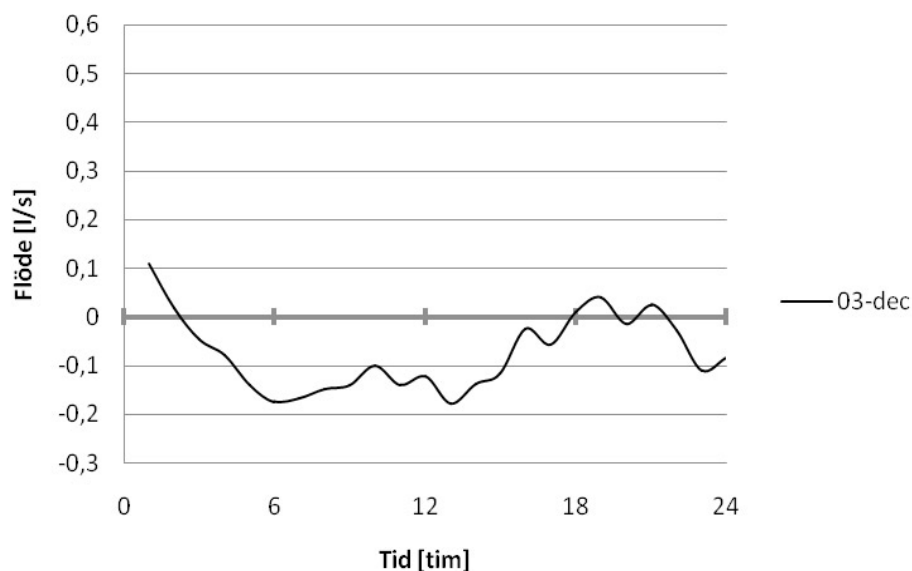
Under den 3:e december 2007 användes systemet för ytterligare ett syfte utöver att enbart studera hur returtemperaturerna påverkas under längre perioder av styrning. Vi ville se om det gick att sätta en begränsningsnivå för ett helt dygn motsvarande lasten under natten och på så sätt se till att effekttoppar i lasten helt undviks. Vi antar här att lasten under natten mestadels består av värmelast och att de tillfällen lasten går över



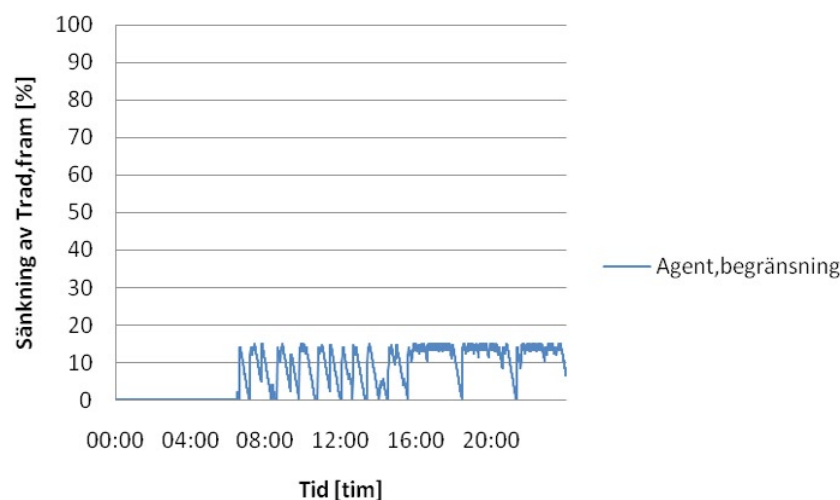
Figur 5.14 Framtagande av begränsningsnivå för dagen.

denna senare under dagen till största del beror på sociala laster. Vi antar även att värme-lasten dagtid kommer att vara lägre än på natten, varför ingen stor risk för dålig komfort trots effektbegränsning föreligger. I figur 5.14 visar vi hur vi genom att låta systemet automatiskt ta fram medellasten mellan kl 00 och klockan 05 skapar en nivå som vi vill att systemet inte ska överstiga under resterande timmar av dygnet. Systemet arbetar helt självständigt under hela dygnet.

I figur 5.15 redovisas utfallet av ett dygns styrning. Systemet har fungerat väl och det har sett till att lasten legat under den fastställda nivån under hela dagen fram till två tillfällen under kvällen då behovet av begränsningar överstigit den tillgängliga begränsningskapaciteten.



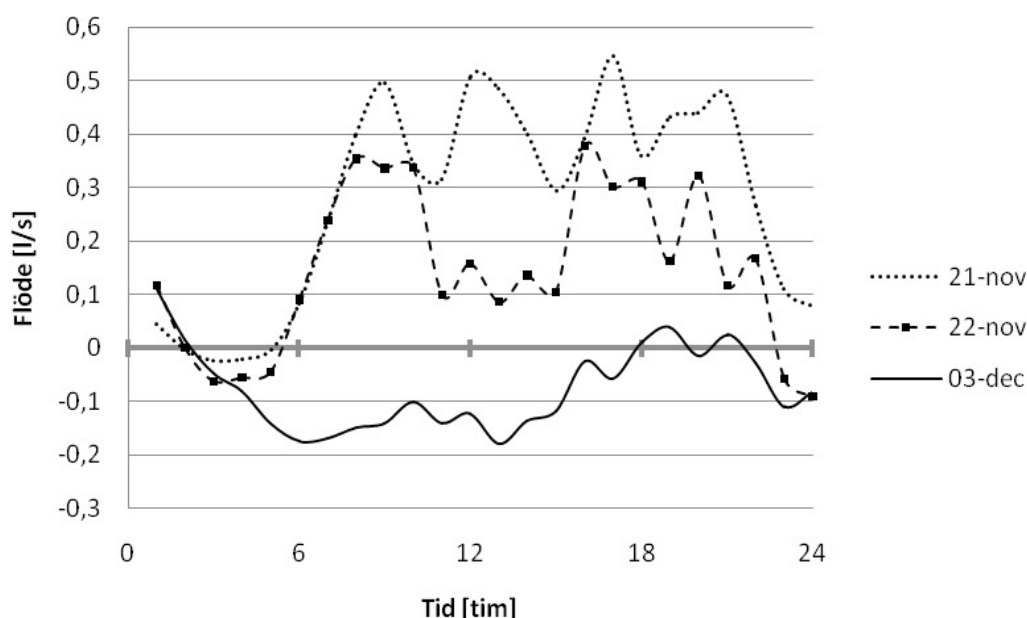
Figur 5.15 Resultaterande flöde under ett dygn då man lastbegränsar enligt en begränsningsnivå motsvarande medelflödet kl. 00-05.



Figur 5.16 De sammanlagrade begränsningarna i området Fridhem under den 3:e december, från kl 06:00.

Under kvällen kan man se i figur 5.16 att systemet genomfört maximala begränsningar om 15% sänkning av framledningstemperaturen till radiatorkretsen.

Figur 5.17 visar differensen under dygnet vi styrt, samt två andra dygn, till sina respektive medelnivåer framtagna mellan kl 00-05. Under den 21:a november var medelavvikelsen till nattens medelflöde 0,29 l/s med en maximal avvikelse på 0,54 l/s. Under den 22:a november var motsvarande värden 0,28 l/s respektive 0,38 l/s. Under dygnet vi laststyrde blev de motsvarande värdena -0,07 l/s respektive 0,04 l/s. Men ser tydligt att lasten jämnats ut och det annars normalt förekommer såväl morgon som kvällstoppar i lasten.



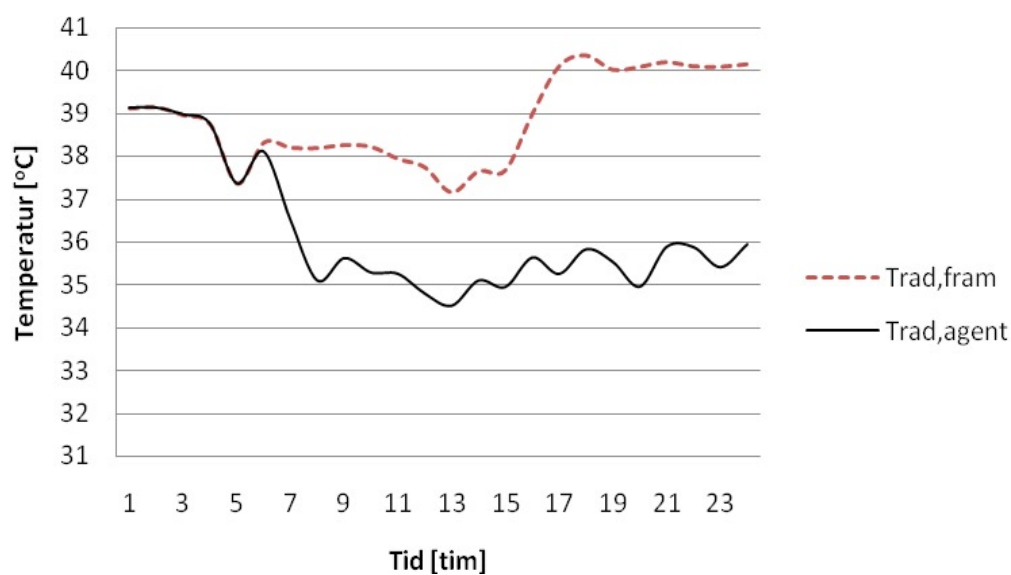
Figur 5.17 Differensen mellan medelflödet kl 00-05 till resterande timmar för hela området i Fridhem under två opåverkade dygn, 21:a och 22:a november samt för ett dygn då vi styrt lasten, 3:e december.

I tabell 5.4 redovisas förhållandena under de respektive dygnen. Om man bara utgår från utomhustemperaturen borde den 3:e december utifall vi inte styrt haft värden som motsvara ungefär ett medel mellan den 21:a och den 22:a november.

Tabell 5.4

	21 nov	22 nov	3 dec
$T_{fram,fjv}$	89,1	87,1	84,4
$T_{rad,fram}$	38,7	37,4	36,2
$T_{rad,retur}$	33,2	32,1	31,3
ΔT_{rad}	5,5	5,3	4,9
T_{uts}	4,4	6,3	5,6

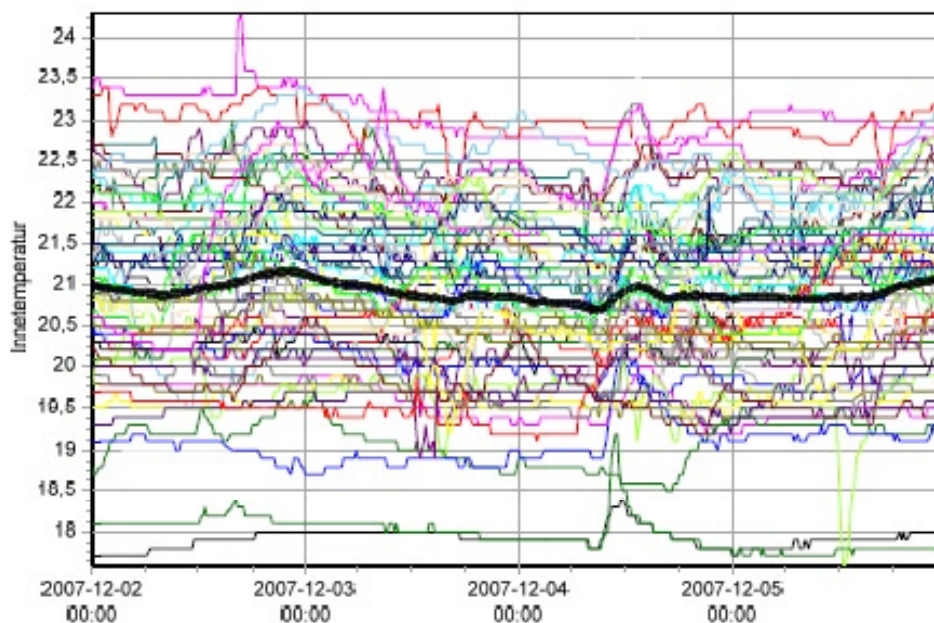
I figur 5.18 ser man att om man jämför det opåverkade temperaturprogrammets framledningstemperatur för radiatorerna med den använda begränsade framledningstemperaturen så har begränsningarna kraftigt sänkt framledningstemperaturerna till radiatorerna under det styrda dygnet.



Figur 5.18 Jämförelse mellan temperaturprogrammet och den begränsade framledningstemperaturen i radiatorkretsen.

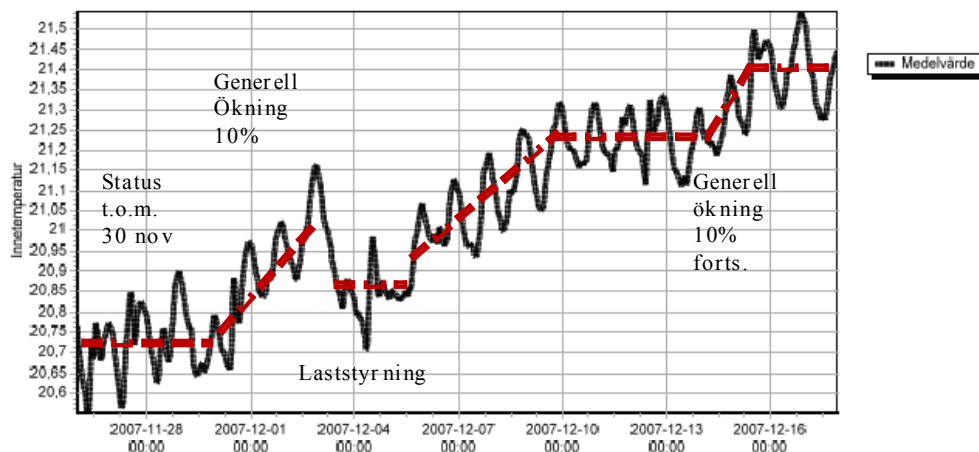
Sammanfattningsvis för dygnet den 3:e december blev medel för $T_{rad,fram}$ sänkt med 2,7 °C, $T_{rad,retur}$ sänkt med 1,9 °C och ΔT_{rad} minskade med 0,8 °C vilket motsvarade en sänkt energileverans vid radiatorerna om 14%.

Under de dygn som systemet arbetade i december med syfte att jämna ut lasten, kan man se en svag nedgång i medeltemperaturen inomhus, se figur 5.19.



Figur 5.19 Inomhustemperaturer under dygnet 2007-12-02 till 2007-12-05.

I figur 5.20 redovisas periodens medeltemperatur inomhus i hela området och man ser att man under laststyrningen haft en sänkt medeltemperatur på ca 0,2 °C (medelskillnaden mellan de uppåtgående trendkurvorna före och efter styrningen) vilket inte motsvarar den sänkning om 14% som vi gjort. Den generella ökningen som visas i figuren är till följd av det tidigare nämnda generella bytet av temperaturprogram som skedde under perioden för att höja medeltemperaturen i fastigheterna något.

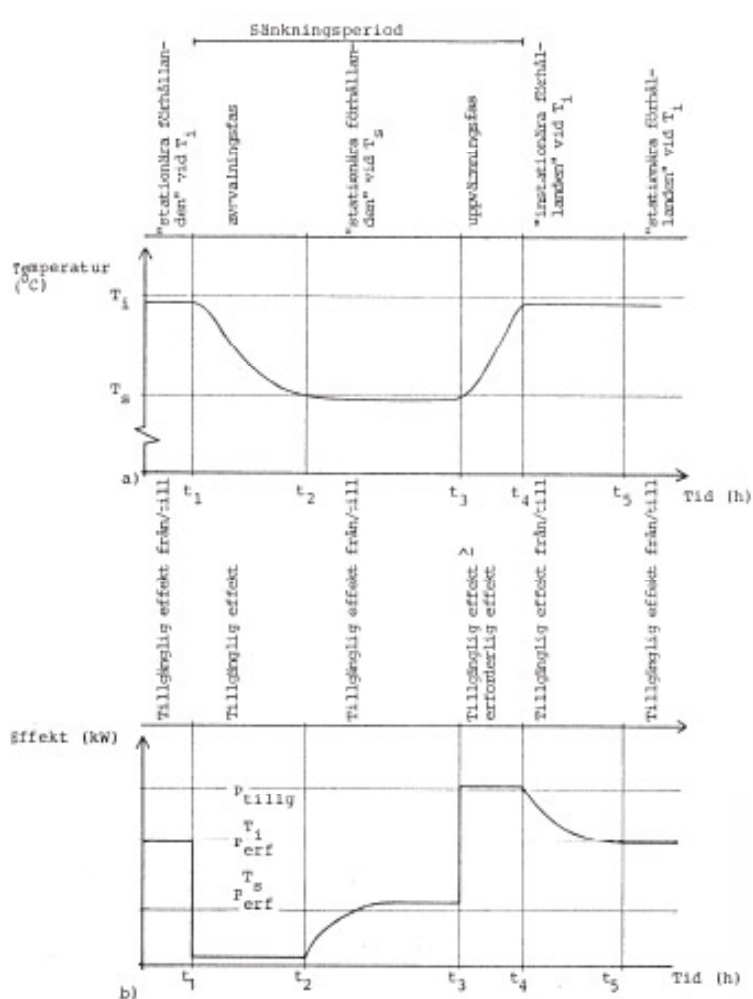


Figur 5.20 Medel för inomhustemperaturen för perioden 2007-11-28 till 2007-12-16.

6. DISKUSSION, SLUTSATSER OCH FRAMTID

6.1 Diskussion

Harrysson hävdar i [25] att av olika energisparåtgärder är inverkan av varierande inomhustemperaturer bland de minst studerade, såväl i experimentella som teoretiska undersökningar. Värmekapaciteten i en fastighet möjliggör en förskjutning av värmeuttaget i tiden, vilket kan reducera effektuttaget från värmesystemet beroende på styrprincip. Energibalansen för en byggnad utgörs av det enkla sambandet att lika mycket energi som lämnar byggnaden måste tillföras för att uppnå balans. Den tillförda värmeenergin är den energi som måste tillföras för att uppnå ett visst önskat inneklimat och utgörs av produkten av värmeeffekten och den tid över vilken den verkar. Beakta diagrammet av Harrysson [25] i figur 6.1. och betänk att om man förlänger avståndet i tid mellan t_3 och t_4 kommer effektuttaget även att bli lägre. Principiellt kan man säga att det tar lika lång tid för temperaturen att sjunka som det tar för den att öka givet samma förändring i tillförd effekt.



Figur 6.1 Principiella samband mellan temperatur, effekt och tid vid periodvisa temperatursänkningar. Byggnaderna antas ha direktverkande termostatregerade elradiatorer [25]

Genom att beakta relationen mellan tillförd energi, tidskonstant, perioden för begränsad respektive inte begränsad energitillförsel samt hastigheten med vilken man återför energi efter begränsad period anser vi att man långsiktigt kan använda laststyrning utan att sänka komfortnivån på ett märkbart vis. Givetvis måste medeltemperaturen sjunka över perioden men sänkningarna kommer att uppträda under kortare perioder samt hållas inom nivåer som är acceptabla för god komfort. Det är därför av största vikt att laststyrning följs åt med trovärdig modellering av byggnadsdynamiken. I sammanhanget är det värt att nämna att man brukar hävda att inomhustemperaturer normalt varierar med $\pm 0,7$ °C samt att det kan vara psykologiskt viktigt att de som nyttjar fastigheterna aldrig upplever att radiatorerna är kalla, utifall att de lägger handen på dem, eftersom vi aldrig sänker framledningstemperaturen med mer än 15%.

6.2 Slutsatser

Optimering inom fjärrvärmesystem har traditionellt fokuserat på produktion och distribution, på senare år har dock även värmesystemen hos kunderna fått välförtjänt fokus. Idag finns på många håll en insikt om fördelarna att gå från att koncentrera sig på de enskilda komponenterna (lokal optimering), till att lägga minst lika mycket vikt på interaktionen mellan komponenterna (systemoptimering).

I första hand återfinns nyttan med det laststyrningssystem som beskrivits i rapporten i värdet av att just sänka höga laster. Vill man sänka returtemperaturer från fjärrvärmecentralen är det först och främst viktigast att fjärrvärmecentralen är rätt dimensionerad samt att den reglerar optimalt. Dock är det så att man genom att laststyra med denna metod erhåller sänkta returtemperaturer under perioder då lasten är hög. Dessa perioder är dessutom perioder då man normalt kan förvänta sig att returtemperaturerna annars blir något förhöjda. Systemet har inte ökat avkylningen, så med andra ord är det inte ett permanent generellt långsiktigt sätt att sänka returtemperaturen på detta sätt. Men, förutsatt att varaktigheten och storleken på begränsningarna ligger inom nivåer som innebär att komforten med hänsyn till tidskonstanter kan hållas på en god nivå, är detta ett bra sätt att åstadkomma bra avkylning då den är som viktigast.

Från uppmätt data i fjärrvärmecentralerna har vi beräknat en sänkt effekt vid radiatorerna om 11% till området Fridhem under februari 2007. Vid en första kontroll av normalårskorrigerad förbrukning kunde vi inte identifiera någon minskad förbrukning. Vid en närmre studie konstaterades att vi inte beaktat en förändrad inomhustemperatur. Efter beaktade av sänkt inomhustemperatur kan vi anta en sänkt energiförbrukning om 7%. Värt att beakta är att det under perioden inte noterats fler klagomål från de inneboende än vad som kan anses som normalt.

För en producent som praktiskt vill kunna utnyttja laststyrning behövs teknik för att styra konsumtionen vid enskilda fjärrvärmecentraler, vidare behöver man upprätta dubbelriktad kommunikationsmöjlighet mellan fjärrvärmecentralerna och övervakningsnoden. Vidare behövs det ett överordnat styrsystem som sköter detta automatiskt och dynamiskt anpassar sig efter situationen för de enskilda fjärrvärmecentralernas aktuella värmebehov, då komplexiteten är för stor för att detta ska göras antingen manuellt eller via fördefinierade statistiska laststyrningsmodeller. Det agentbaserade systemet testat inom detta projekt uppfyller ovan nämnda krav.

6.3 Framtid

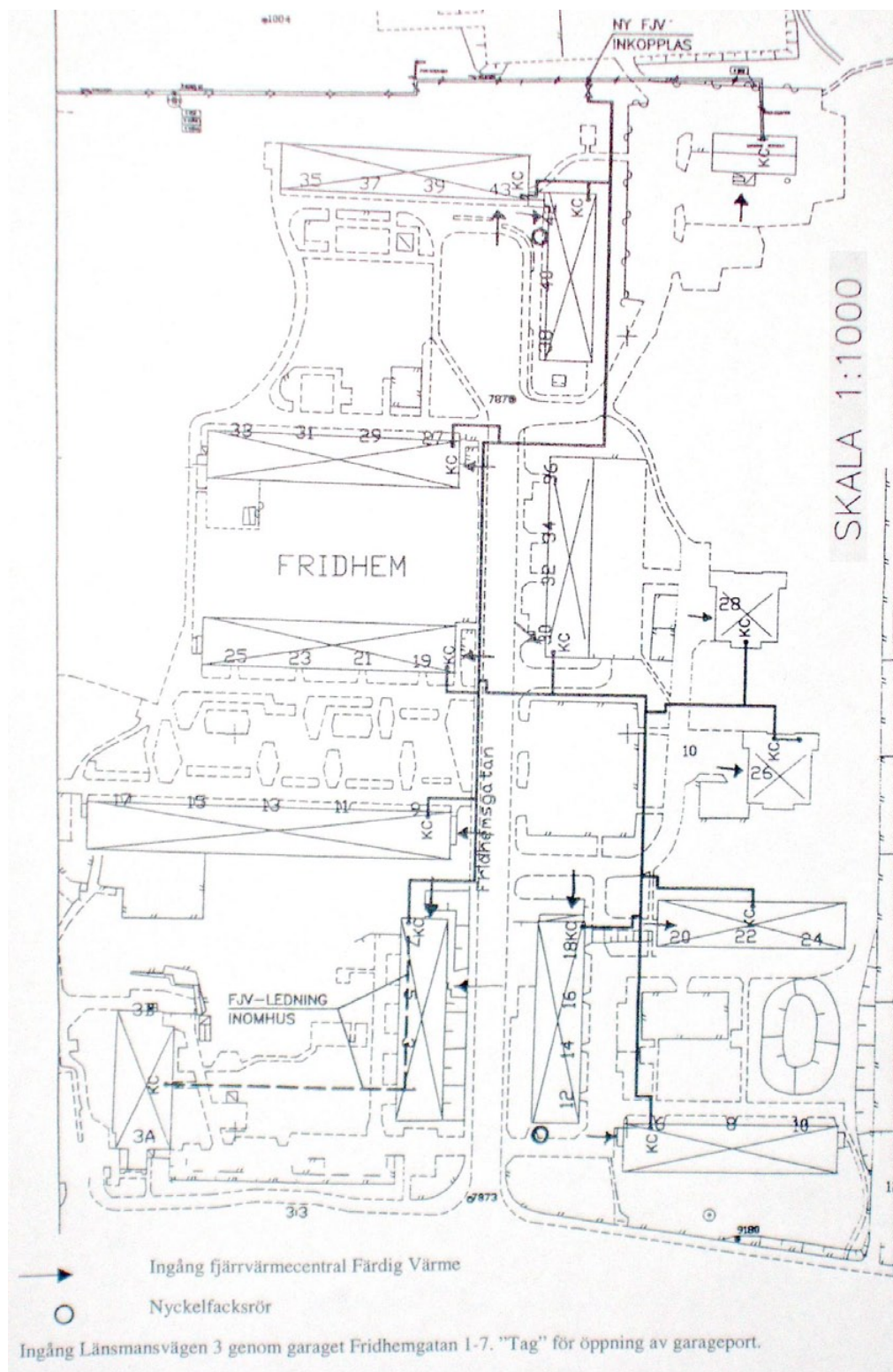
Vi anser att det finns flera intressanta områden där man kan gå vidare att studera laststyrning. Ett sådant område är hur man genom aktiv laststyrning kan hantera de dynamiska laster som uppstår från fiktiva värmebehov (Werner, *Svensk Fjärrvärme*, FoU 1997:10). Ytterligare ett intressant område är att studera möjligheter till att aktivt nyttja väderprognoser för att skapa lokala lastprognoser. Dessa lastprognoser ligger sedan till grund för att planera och aktivt styra systemet optimalt med hänseende på miljö, komfort och ekonomi. Man kan även tänka sig att man studerar Tredjeparts tillträde i fjärrvärmesystem där grupper av fastighetsägare går samman för att förhandla om energipriser om de garanterar att inte gå över vissa effekttak. Vidare vore det mycket intressant att analysera samspelet mellan tappvarmvattenlast och effektbegränsning på radiatorsidan. Vår tes är att tappvarmvattenprioritering inte behövs överhuvudtaget då man kör agentbaserad laststyrning. Slutligen behöver man göra djupare analyser av effekterna på komforten av kortvariga begränsningar i fastigheterna för att skapa förfinade teorier och metoder för att effektskyra utan att påverka komfort och för att undvika återvändande effektrekyler.

7. REFERENSER

- [1.] Wernstedt, Multi-agent systems for distributed control of district heating systems, doktorsavhandling, Blekinge Tekniska Högskola, 2005
- [2.] Österlind, Effektbegränsning av fjärrvärme, Byggforskningsrådet, 63:1982
- [3.] Sipilä och Kärkikäinen, Demand side management in district heating systems, Euroheat and power, vol. 29/3, 2000
- [4.] Stang, Volla och Drysdale, Optimised District Heating Systems Using Remote Heat Meter Communication and Control, IEA District Heating and Cooling, 2002:S7
- [5.] Wigbels, Bohm och Sipilä, Dynamic Heat Storage Optimisation and Demand Side Management, IEA District Heating and Cooling, Annex VII, Report 2005:8
- [6.] Wollerstrand, Ljunggren och Johansson, Optimal reglering av radiatorsystem, Fjärrsyn 2007:6, Svensk Fjärrvärme.
- [7.] Wagner, T, An Agent-Oriented Approach to Industrial Automation Systems, Lecture Notes in Computer Science, 2592:2003
- [8.] Jennings, N.R, An agentbased approach for building complex software systems, Communications of the ACM, 44:2001
- [9.] Brennan, R.W, Norrie, D.H, Evaluating the relative performance of alternative control architectures for manufacturing, IEE ISIC/CIRA/ISAS, Gaithersburg, 1998
- [10.] Rinaldo, J, Ungar, L, Auction-driven coordination for plantwide optimization, FOCAPO, 1998
- [11.] Ferber, J., "Multi-Agent Systems", Addison-Wesley, ISBN 0-201-36048-9, 1999.
- [12.] Weiss, G., "Multi-Agent Systems", MIT Press, Cambridge, MA, ISBN 0-262-23203-0, 1999.
- [13.] Wooldridge, M., "An Introduction to Multi-Agent Systems", John Wiley & Sons, ISBN 0-471-49691, 2002.
- [14.] Parunak, H., "Industrial and Practical Applications of DAI", in Weiss, G. (ed.) Multiagent Systems, MIT Press, 1999.
- [15.] Malone, T., Crowston, K.: The interdisciplinary study of coordination, ACM Computing Surveys, Vol. 26(1), 1994.
- [16.] Nwana, H.S., Lee, L., Jennings, N.R.: Co-ordination in software agents systems, BT Technol J. Vol 14(4), 1996.
- [17.] Shoham, Y., Tennenholtz, M.: On the synthesis of useful social laws for artificial agent societies, Tenth National Conference on Artificial Intelligence, pp. 276-281, 1992
- [18.] Erman, D.L., Hayes-Roth, F., Lesser, V.R., Reddy, D.R., The HERSAY-II speech understanding system: Integrating knowledge to resolve uncertainty, ACM Computing Survey, Vol. 12:213-253, 1980.
- [19.] Smith, R.G.: The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver, IEEE Trans on Comput, Vol. 29(12), 1980.
- [20.] Durfee, E.H., Lesser, V.R., Partial Global Planning: A coordination framework for distributed hypothesis formation, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 21(5), 1167-1183, 1991.
- [21.] Clearwater, S.H. (ed.): A paradigm for distributed resource allocation, Xerox PARC, 1995, ISBN 981-02-2254-8.

- [22.] Axelrod, R., The evolution of cooperation, Basic Books, 1984.
- [23.] Decker, K.S. and Lesser, V.R., Designing a Family of Coordination Algorithms. In Proceedings of the First International Conference on Multi-Agent Systems, 1995.
- [24.] Shultz, L., Normalårskorrigeringen av energianvändningen i byggnader- en jämförelse av två metoder, Effektiv 2003:01
- [25.] Harrysson, C., Byggnadsutformning och värmekapacitet. Förstudie och Litteraturlin inventering, SBUF och Örebro Universitet, 2004

BILAGA 1 – KARTA ÖVER FRIDHEMSOMRÅDET





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.svenskfjarrvarme.se/fjarrsyn

SÄNKNING AV RETURTEMPERATURER

En ständigt aktuell fråga i fjärrvärmebranschen är hur man ska förbättra avkylningen i systemen. En effektiv avkylning innebär stora besparingar och en möjlighet att ansluta fler till ett fjärrvärmenät. Den här rapporten visar resultat från fältförsök där man har använt ett distribuerat styrsystem för att se effekterna på returtemperaturer från fjärrvärmecentraler med laststyrning.

Innehållet i den här rapporten är användbart för dig som är fjärrvärmechef, fjärrvärmetekniker, distributionschef, distributionstekniker eller reglertekniker. Men också tillverkare av fjärrvärmecentraler och reglerutrustning har nytta av rapporten.

Resultaten visar att nyttan med laststyrningssystem framför allt är att sänka höga laster. Vill man sänka returtemperaturer från fjärrvärmecentralen är det först och främst viktigast att fjärrvärmecentralen är rätt dimensionerad samt att den reglerar optimalt.

