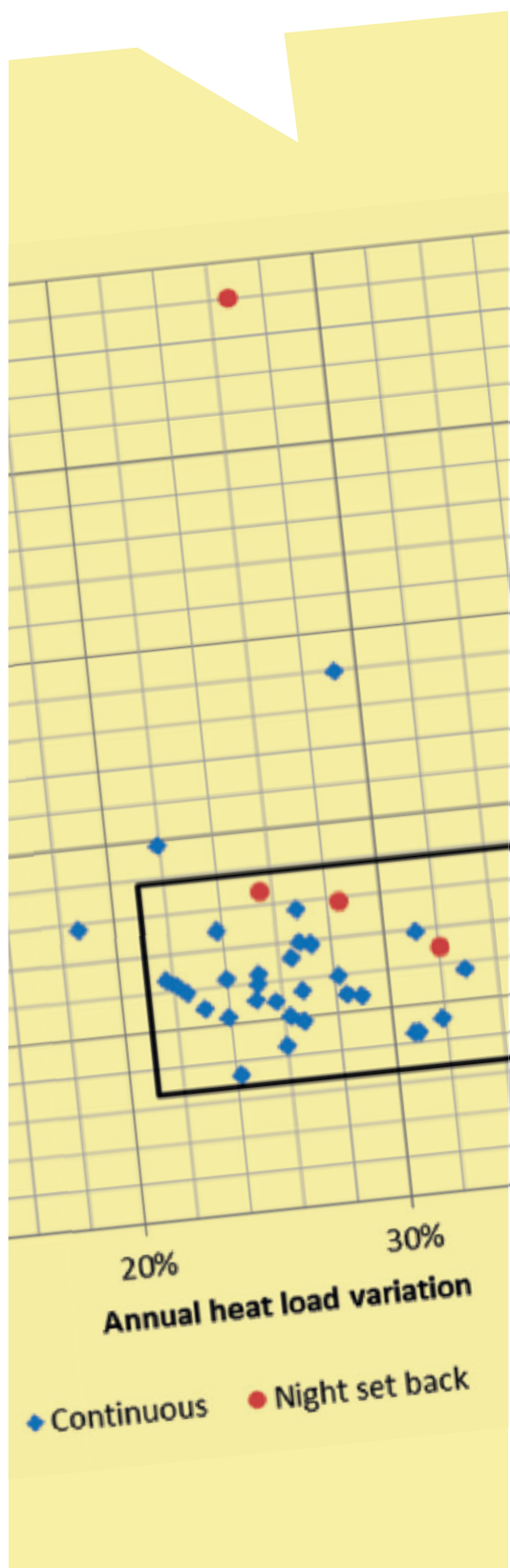


FRAMTIDA VÄRMEBEHOV, ETAPP TVÅ

RAPPORT 2015:107



Framtida värmebehov, etapp två

HENRIK GADD
SVEN WERNER

FÖRORD

Projektets mål har varit att få en god kännedom om värmeflöden i fjärrvärmecentraler och dess variationer. Resultaten kommer kunna öka förståelsen för hur smarta fjärrvärmenät kan skapas i framtiden. Projektet har också syftat till att avsluta industridoktoranden Henrik Gadds femåriga projekt om framtida värmebehov. Projektet är en fortsättning på ett tidigare projekt inom Fjärrsyn som redovisades i rapporten Framtida värmebehov (rapport 2013:14).

Projektet har genomförts av Henrik Gadd och Sven Werner vid Högskolan i Halmstad. Henrik Gadd genomförde sin doktorsdisputation vid Lunds universitet den 17 december 2014.

Projektet har följts av en referensgrupp bestående av Lars Inge Persson (ordförande i referensgruppen, Öresundskraft), Holger Feurstein (Kraftringen), Eric Johansson (Södertörns fjärrvärme), Staffan Larsson (Kalmar energi) och Marie Skogström (One-Nordic AB).

Projektet ingår i forskningsprogrammet Fjärrsyn som drivs av Energiforsk och finansieras av fjärrvärmebranschen genom Svensk Fjärrvärme och Energimyndigheten. Forskningen i Fjärrsyn ska stärka fjärrvärme och fjärrkyla, uppmuntra konkurrenskraftig och affärs- och teknikutveckling och skapa resurseffektiva lösningar för framtidens hållbara energisystem till nytta för fjärrvärmebranschen, kunderna, miljön och samhället i stort.

Carina Bergsten
Ordförande Svensk Fjärrvärmes Omvärldsråd

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att Fjärrsyns programråd eller Energiforsk har tagit ställning till innehållet.

SAMMANFATTNING

Fjärrvärmemarknaden i Sverige kan komma att klämmas mellan dels minskade värmebehov och dels minskad tillgång på de bränsle- och värmeresurser som används idag. För att hantera denna situation finns åtminstone två vägar att gå: Dels att hitta nya värmebehov som t ex absorptionskyla och dels att effektivisera befintliga fjärrvärmesystem. Traditionellt brukar fjärrvärmesystem delas in i produktion, distribution och fjärrvärmecentraler, men eftersom de sekundära systemen i de anslutna byggnaderna utgör randvillkor och i allra högsta grad påverkar systemverkningsgraden i fjärrvärmesystemet måste dessa ingå i en optimering. Produktion och distribution övervakas och optimeras kontinuerligt men de anslutna byggnaderna gör det i varierande grad, ofta inte alls, och är därmed för närvarande den svagaste länken i kedjan. En viktig anledning till att fjärrvärmeföretagen inte övervakat fjärrvärmecentralerna är att antalet kunder är många och att kommunikation med byggnaderna saknats, då den tidigare har varit dyr.

I samband med kravet på månadsvis debitering av verklig elanvändning som kom 1 juli 2009 har system för automatisk mätavläsning installerats. System som också används för att samla in mätvärden från värmemätare. Fr.o.m. 1 januari 2015 blev det dessutom lag på att även fjärrvärme skall bli debiterad för verklig värmeanvändning varje månad. Eftersom insamlingssystemen har en upplösning på minst en timme innebär det att det fr.o.m. 2015 kommer att finnas mätvärden tillgängliga från samtliga fjärrvärmecentraler i Sverige. Dessa timvärden kan utnyttjas för att analysera byggnadernas värmebehov och därigenom identifiera fel i fjärrvärmecentraler och sekundära uppvärmningssystem.

I detta arbete har 20 fjärrvärmesystem och 146 fjärrvärmecentraler analyserats. Ingångsdata i projektet har varit främst timmätvärden för energi, flöde, fram- och returtemperatur, men också data från kundregister. Totalt har drygt 5 miljoner mätvärden och data använts i analyserna. Resultaten visar att det i c:a 75 procent av alla anslutna byggnader finns kvalitetsfel i fjärrvärmecentral eller sekundära system. Detta är fel som med hjälp av timvärden kan identifieras. I projektet Framtida värmebehov har potentialen visats för att använda timmätvärden för att automatiserat kunna analysera fjärrvärmecentraler och kundanläggningar i framtida smarta värmenät.

ABSTRACT

There is a risk that in the future the district heating industry will be squeezed between decreased heat demands and less availability of fuels used in present district heating systems. To handle this situation there are at least two ways to go. First, identify new heat demands as absorption chillers. Second, increase system efficiency in the district heating systems. Traditionally district heating systems usually is divided in production, distribution and substations, but since the secondary systems in the building heating system sets the boundary conditions the must be a part of the optimisation. Production and distribution is continuously commissioned but substations and buildings secondary systems in varying extent, in many cases not at all, and are thereby the weakest link in the chain. Two reasons for substations not to be commissioned are that there are so many and that no communication device has been available.

In July 2009, a legal demand for monthly billing of actual use of electricity went in force and resulted in installation of automatic meter reading systems being installed. These systems can also be used to collect meter readings from heat meters. In 2015, it became also mandatory by law for monthly billing of actual use or all district heating customers as well. Since the automatic meter reading systems have a resolution of at least one hour, all district heating customers will from 2015 have hourly meter readings of the district heating use, meter readings that can be used to identify faults in district heating substations and secondary systems in the buildings.

In this work, meter readings from 20 district heating systems and 146 district heating substations have been analysed. Data used in the analyses are mainly hourly measured energy, flow, supply- and return temperature, but also data from company customer records. In total over 5 million data have been used. The results show that in about 75percent of the analysed buildings, quality faults were identified, faults that can be identified by analysis of hourly meter readings. The project Future heat demands has shown the potential to use hourly meter readings in analysis to developed methods for automatic fault detection in substations and customer secondary systems to be used in future smart heat grids.

INNEHÅLL

1	INLEDANDE PROJEKTINFORMATION	12
2	ORDLISTA	13
3	INTRODUKTION	14
4	METOD OCH AVGRÄNSNINGAR	16
5	FORSKNINGSRESULTAT	17
5.1	SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER FRÅN ARTIKELN "DAILY HEAT LOAD VARIATIONS IN SWEDISH DISTRICT HEATING SYSTEMS[4]"	17
5.2	SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER FRÅN ARTIKELN "HEAT LOAD PATTERNS IN DISTRICT HEATING SUBSTATIONS"[5].	19
5.3	SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER FRÅN ARTIKELN "ACHEIVING LOW RETURN TEMPERATURE FROM DISTRICT HEATING SUBSTATIONS.[7]"	22
5.4	SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER FRÅN ARTIKELN "FAULTS IN DISTRICT HEATING SUBSTATIONS".	24
5.4.1	Dålig avkylning	24
5.4.2	Felaktigt värmelastmönster	25
5.4.3	Dålig reglering	25
6	NYTTAN MED FORSKNINGEN	28
6.1	ALLMÄN NYTTA	28
6.2	PUBLICERINGAR INOM PROJEKTET	29
7	DISKUSSION, FORTSATT ARBETE OCH SLUTORD	30
7.1	DISKUSSION	30
7.2	FORTSATT ARBETE	31
7.3	SLUTORD	31
8	REFERENSER	33

1 INLEDANDE PROJEKTINFORMATION

Projektet bygger på en ansökan daterad 2013-08-05. Högskolan i Halmstad erhöll en beställning med en finansiering från Fjärrsyn på 1,27 Mkr för perioden 1 december 2013 - 30 november 2014. Detta projekt har varit en fortsättning på ett tidigare Fjärrsynprojekt mellan 1 juli 2009 och 30 juni 2013, *Framtida värmebehov*, som har redovisats i Fjärrsynrapport 2013:14.

De två projekten *Framtida värmebehov* och *Framtida värmebehov II* bildar tillsammans finansieringen av ett doktorandprojekt vid Högskolan i Halmstad. Denna rapport innehåller en övergripande sammanfattning av huvudresultaten från både *Framtida värmebehov* och *Framtida värmebehov II*. Anledningen till att projektet blev finansiellt uppdelat på två delar var att Fjärrsyn tillämpar programperioder på fyra år medan doktorandprojektet har löpt över totalt fem år. Fortsättningsvis i rapporten kommer benämningen *Framtida värmebehov* att relatera till hela doktorandprojektet, d v s båda Fjärrsynprojekten.

2 ORDLISTA

I rapporten används, främst i figurerna, engelska eftersom de kommer från de vetenskapliga artiklarna där resultaten från forskningen publicerats. Nedan finns en översättning till svenska för dessa begrepp.

Engelska

Annual relative daily variation
Annual relative seasonal variation
Continuous
Night set back
Time clock operation 5
Time clock operation 7
DH-system
Annual heat supply
Daily average temperature difference
Outdoor temperature
Daily average heat load
Hourly average heat load
Hourly average water flow

Svenska

Total årlig dygnsvariation
Total årlig säsongsvariation
Kontinuerlig
Nattsänkning
Drifftidsstyrning av ventilationen 5 dagar i veckan
Drifftidsstyrning av ventilationen 7 dagar i veckan
Fjärrvärmesystem (DH=District Heating)
Årlig värmeleverant till fjärrvärmenätet.
Årsmedel- ΔT
Utomhustemperatur
Dygnsmedeleffekt
Timmedeleffekt
Timmedelflöde

3 INTRODUKTION

Fjärrvärmebranschen riskerar att i framtiden klämmas från två håll. Dels ser man minskade leveranser till befintligt anslutna byggnader till följd av energieffektiviseringar samtidigt som möjligheten till ny anslutning är begränsad p g a en mättad marknad och dels att tillgången på de idag dominerande bränslena, biomassa och avfall, kan komma att minska.

Framtida renoveringar i anslutna bebyggelse kommer leda till att efterfrågan på värme kommer att sjunka i dessa byggnader samtidigt som den nybyggnation som sker i allt högre utsträckning kommer att ha låga eller mycket låga värmebehov. Detta i kombination med att marknaden i många städer är mättad, eftersom de flesta byggnader är anslutna till fjärrvärmenäten, gör att det är svårt att kompensera för bortfallet genom nyanslutning.

De två dominerande bränslena i dag är biomassa och avfall som står för c:a 70% [1] av den totala tillförseln. Biomassa kan komma att användas för en mängd områden där olja idag används, t ex för att göra plaster e t c. Det finns också en bred politisk vilja att samhället skall bli långsiktigt hållbart. Det innebär att resursanvändning måste minskas med minskade mängder avfall som följd. Ökade kostnader för energi leder till mer energieffektiviseringar inte bara hos kunderna men också hos de som idag levererar spillvärme med minskade spillvärmemängder som följd. Dessutom finns en hårdnande konkurrens från främst värmepumpar p g a förbättrad teknik och de för fjärrvärme ogynnsamma byggreglerna i förhållande till värmepumpar.

Det finns två tydliga vägar för att bibehålla fjärrvärmens konkurrenskraft i framtiden. Ett är att hitta andra värmebehov, t ex industriella behov eller absorptionskyla. Det andra är att öka systemverkningsgraden i fjärrvärmesystemen. Traditionellt pratar man ofta om att fjärrvärmesystemet har tre delar: produktion, distribution och fjärrvärmecentral, men eftersom byggnadernas sekundärsystem sätter randvillkor för totalverkningsgraden behöver, ur ett systemverkningsgradsperspektiv, även dessa ingå vid optimering. Produkten värme är inte levererad förrän den gjort nytta med att värma lokaler och varmvatten och därför bör man även ur ett kundperspektiv inkludera kundanläggningar och fjärrvärmecentraler i optimeringen av systemen. Detta pågår redan sedan flera år i många fjärrvärmeföretag och brukar ofta benämnas energitjänster.

Fjärrvärmeföretag har hundratals eller tusentals anslutna byggnader och man skall både identifiera och prioritera vem eller vilka som har störst behov av dessa energitjänster för att få hjälp att optimera sin energianvändning.

Den 1 juli 2009 infördes ett lagkrav[2] på att fakturering av samtliga elkunder skulle göras på verklig elanvändning och inte som tidigare baserat på tidigare användning (preliminär debitering). För att kunna läsa av elmätare varje månad har automatiska mätinsamlingssystem installerats. Eftersom många fjärrvärmesystem ägs av energiföretag som också äger lokala elnät har det inneburit många fjärrvärmekunder också har automatisk mätaravläsning. Fr.o.m. 1 januari 2015 är det

även ett lagkrav att samtliga fjärrvärmekunder skall faktureras på verklig användning [3]. Även om kravet idag är månadsvis avläsning, så har systemen som installerats en avläsningsupplösning på minst en timme, i många fall betydligt högre. Detta innebär att det fr.o.m. 2015 finns timvis mätning av samtliga fjärrvärmekunder i Sverige.

Utgångspunkten för forskningen i *Framtida värmebehov* har varit att med hjälp av de c:a 30 000 mätvärden som skapas per mätare och år analysera värmebehoven och identifiera olika fel i de anslutna byggnaderna.

Ett mål har varit att ta fram metoder för att identifiera ofördelaktiga värmeuttagsmönster. Även om dessa analyser har varit manuella under projektiden har målbilden hela tiden varit att metoderna skall kunna automatiseras för att med så få mantimmar som möjligt kunna identifiera fel i kunders fjärrvärmecentraler och värmesystem. Denna tid kan istället användas i kontakter med kunder för att avhjälpa fel i dagens och i framtidens smarta värmenät.

4 METOD OCH AVGRÄNSNINGAR

Detta arbete baseras på analys av fjärrvärmeleveranser från 20 svenska fjärrvärmenät, spridda geografiskt och storleksmässigt, samt till 146 fjärrvärmecentraler i Öresundskrafts fjärrvärmenät i Helsingborg och Ängelholm. I de respektive artiklarna har sedan ett urval på mellan 135 och 141 valts ut beroende på kvaliteten på mätvärdesserierna och vad som har studerats.

Hela arbetet är baserat på analyser av entimmes mätvärden för energi, flöde, fram- och returtemperaturer samt utomhustemperatur och kunduppgifter från kundregister. I samtliga fall har ettårsserier använts, 1 januari till 31 december. Mätvärdena från hela fjärrvärmesystemen kommer huvudsakligen från 2008 och 2009, men några få härstammar även från 2004-2007. Mätvärdena från fjärrvärmecentraler är samtliga från 2010.

Fjärrvärmecentralerna blev utvalda efter kundkategori och årligen använd värmemängd. I Öresundskrafts kundregister är alla anslutna byggnader indelade i kundkategorier vars huvudsakliga syfte är att kunna rapportera årlig energistatistik till SCB. I denna statistik efterfrågas kategorierna: Flerbostadshus, En- och tvåbostadshus, Tillverkningsindustri, Offentlig förvaltning, Markvärme och Övrigt. I Öresundskrafts kundregister är två av dessa kundkategorier uppdelade på ytterligare två kategorier. Offentlig förvaltning är uppdelad på Offentlig förvaltning och Hälsa och social service. Övrigt i statistiken är i kundregistret uppdelat på Handel och Övrigt.

Alla analyser har utförts manuellt och är helt teoretiska men samtliga analyserade mätvärden från verkliga mätare som används i det dagliga arbetet. Ingen ekonomisk utvärdering av resultaten eller dess konsekvenser har utförts.

5 FORSKNINGRESULTAT

5.1 Sammanfattning och slutsatser från artikeln “Daily heat load variations in Swedish district heating systems[4]”

I denna artikel behandlas en ny metod för att beskriva och kvantifiera dygnsvariationerna i fjärrvärmesystem. Metoden ger för varje studerat fjärrvärmenät:

1. Fjärrvärmesystems dygnsvariation.
2. Storleken på ett värmelager som behövs för att utjämna alla dygnsvariationer, dvs ett dimensioneringsverktyg för ackumulatorer.
- 3 Värmeeffektbehovet till och från värmelagret för att eliminera dygnsvariationer.

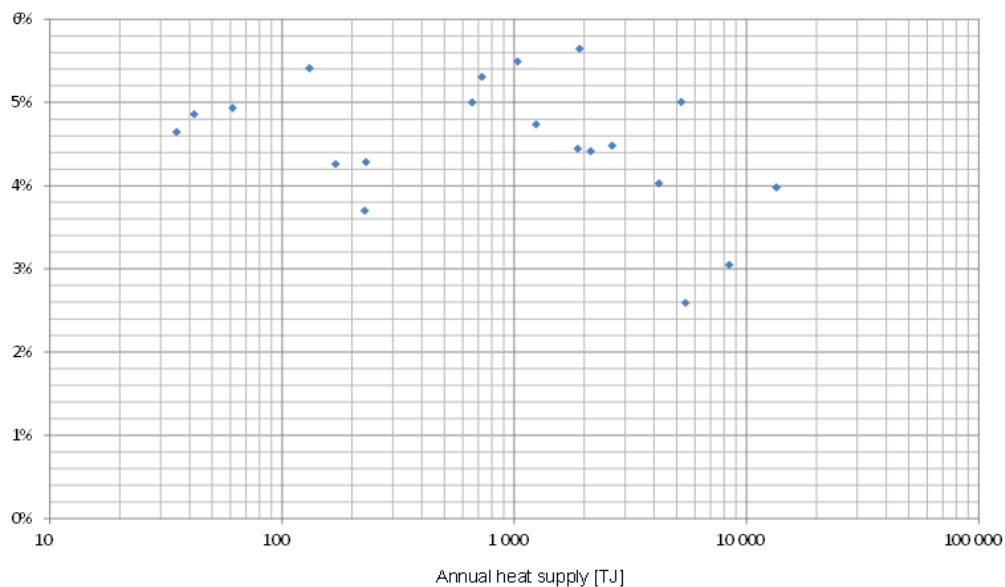
Med hjälp av denna metod kan ett fjärrvärmesystems dygnsvariationer m a o beskrivas med tre tal. Dessa tre tal som alla är relaterade till årsvärmeleveransen i respektive fjärrvärmesystem. Det gör att metoden är storleksberoende och generell samt att talen från olika fjärrvärmesystem är jämförbara sinsemellan.

Metoden har sedan tillämpats på 20 svenska fjärrvärmesystem spridda både geografiskt och storleksmässigt. En anmärkningsvärd del i resultatet är att det är så relativt små skillnader mellan de olika fjärrvärmesystemen vad gäller dygnsvariationerna, trots stor variation i storlek och geografisk spridning, se figur 2. Anledningen till detta är inte utredd.

Tre slutsatser kan dras från analyserna:

- Dygnsvariationerna är små jämfört med säsongvariationerna. Dygnsvariationen är i medeltal 4,5 procent medan säsongvariationen är c:a 24 procent. Dessa procentsatser innebär att enbart 4,5 procent av den årliga värmetillförseln ligger över respektive dygnsmedeleffekt, medan 24 procent ligger över årsmedeleffekten.
- Storleken på ett värmelager för att utjämna alla dygnsvariationen skall vara 15 procent av dygnsmedel energin eller c:a $2,5 \text{ m}^3/\text{TJ}$ eller $9 \text{ m}^3/\text{GWh}$ levererad värme om man använder vatten som lagringsmedium med 40 graders temperaturskillnad..
- Värmeeffektbehovet för upp och urladdning av värmelagret för att kunna eliminera dygnsvariationerna är 40 procent av årsmedeleffekten.

Annual relative
daily variation [%]



Figur 1. Årlig relativ dygnsvariation (Annual relative daily variation) som funktion av årlig värmeleverans för 20 svenska fjärrvärmesystem.

Ovanstående metod användes också genomgående i den sista publikationen i avsnitt 6.2 för att analysera de relativa storlekarna för 209 värmelager och 9 kyllager i Norden.

5.2 Sammanfattning och slutsatser från artikeln “Heat load patterns in district heating substations”[5].

I denna artikel har metoden för att beskriva dygnsvariationen från föregående artikel, *Heat load variations in Swedish district heating systems*, kompletterats med en parameter för att beskriva säsongsvariationen tillämpats på 141 fjärrvärmecentraler. De två parametrarna Annual relative daily variation (Dygnsvariationer i värmebehovet) och Annual relative seasonal variation (Årsvariationen i värmebehovet) har tillsammans med fem kundkategorier och fyra typvärmebehovsmönster använts för att analysera värmelastmönstret i fjärrvärmecentralerna.

De fem analyserade kundkategorierna var:

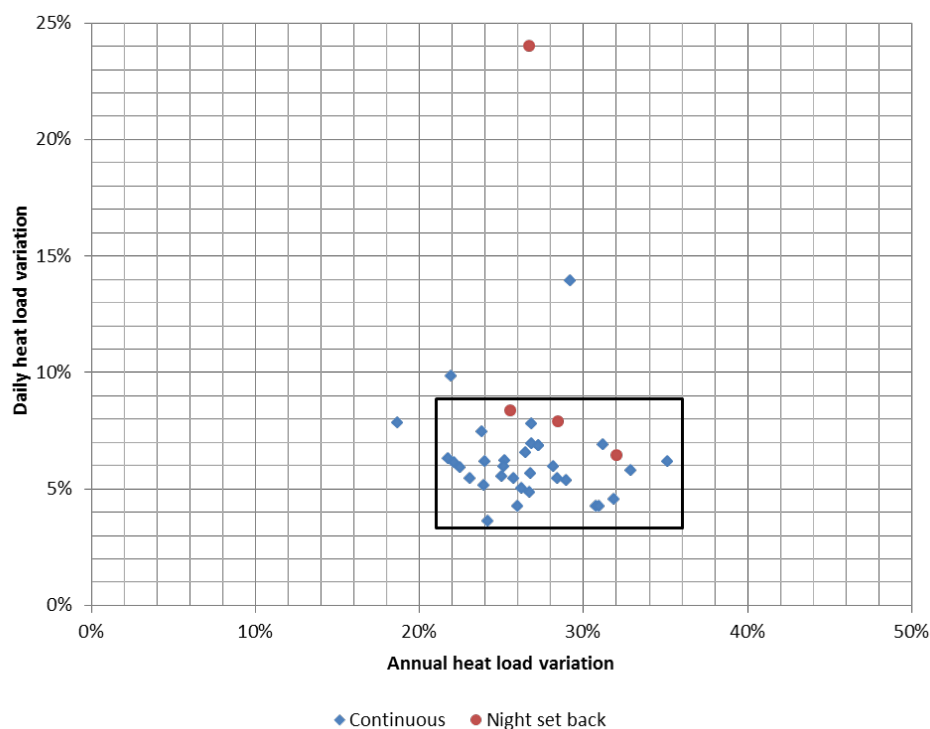
- Flerbostadshus
- Industrier
- Sjukvård
- Handel
- Offentlig administration

Och de fyra typvärmebehovsmönstren var:

- Continuous (Kontinuerlig): Kontinuerlig är när man bara styr på utomhustemperaturen.
- Night set back (Nattsänkning) :Nattsänkning är när man sänker bör-värdet för inomhustemperaturen under några timmar på natten. Vinsten av detta är för ett hyggligt isolerat och tätt hus så marginell att det inte är mätbart eftersom inomhustemperaturen inte hinner sjunka på så kort tid.
- Time clock operation 5 days a week (Drifftidsstyrning 5 dagar/vecka)
- Time clock operation 7 days a week (Drifftidsstyrning 7 dagar/vecka)

Drifftidsstyrning är när man stänger av eller begränsar framförallt ventilationsflödet i byggnader som bara är befolkade vissa dagar eller delar av dagar. Typexempel är en skola eller ett kontor som bara behöver ventilation vardagar under kontors-/skoltid.

Syftet med metoden är att identifiera vad som är normal värmeanvändning och vad som är onormal värmeanvändning. När man plottar de två parametrarna mot varandra kan man identifiera kluster av fjärrvärmecentraler, men också så kallade uteliggare som uppvisar ett avvikande beteende. I Figur 2 är 37 flerbostadshus inplottade. Här ser man dels fyra byggnader med nattsänkning, vilket är en kvarleva från 80-talet som fortfarande finns kvar i många styrsystem. Dels ser man ett tydligt kluster (inramat) med byggnader som har ett normalt värmebehovsmönster. Sedan ser man också fyra uteliggare som på ett eller annat sätt avviker från de övriga. Detta är en indikation på att de kan vara i behov av någon form av energitjänstgöring eller dylikt.



Figur 2. Annual relative daily variation (Dygnsvariation i värmebehovet) som funktion av Annual relative seasonal variation (Säsongsvariation i värmebehovet) för 37 flerbostadshus.

Efter analys av 141 fjärrvärmecentraler m h a ovanstående metod har 3 slutsatser formulerats i artikeln "Heat load patterns in district heating substations":

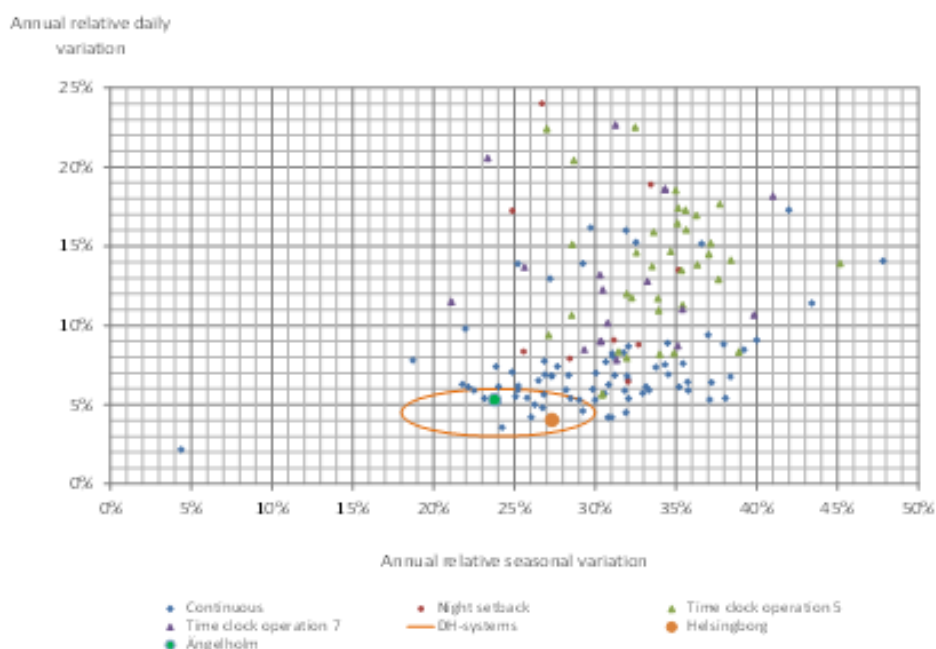
- Värmelastmönster varierar med styrstrategi, säsong och kundkategori
- Det är möjligt att identifiera avvikande värmelastmönster m h a de två parametrar definierade i artikeln, Annual relative daily variation(dygnsvariation) och Annual relative seasonal variation (säsongsvariation).
- Den i artikeln utvecklade metoden kan förbättras genom att omdefiniera de kundgrupper efter förväntat värmebehovsmönster.

Stora dygnsvariationer uppkommer till stor del på grund av stor variation i effektbehov. Eftersom man måste dimensionera en uppvärmningsanläggning efter maxeffekten innebär det att stora dygnsvariationer i uppvärmningsbehovet ger upphov till låg kapacitetsfaktor eller kort utnyttjningstid. Denna slutsats gäller dock bara mindre individuella värmebehov. I större system som fjärrvärmesystem försvinner enskilda effekttoppar genom en effektiv sammanlagring i distributionsnäten. Detta är en mycket viktig slutsats från Figur 3, som visar samma

som Figur 2, men som inkluderar alla fjärrvärmecentraler som har analyserats i projektet.

En viktig konsekvens av Figur 3 är den effektminskning som ett kollektivt uppvärmningssystem ger jämfört med individuella lösningar. Det innebär att man totalt sett i byggnadsuppvärmningen ökar kapacitetsfaktorn eller förlänger utnyttjningstiden och därmed spar resurser i ett kollektivt system, som ett fjärrvärmesystem, jämfört med individuella uppvärmningssystem.

Den utvecklade metoden kan även användas vid generella belastningsanalyser för alla samhällsföreteelser som har en kombinerad års- och dygnsvariation.

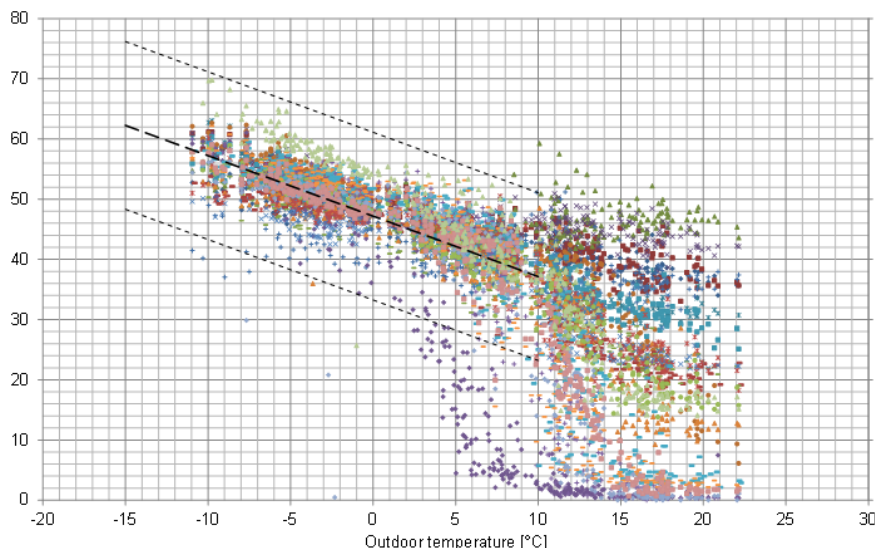


Figur 3. Dygnsvariation som funktion av säsongsvariation för 141 analyserade fjärrvärmecentraler. Den orangea ovalen representerar 20 svenska fjärrvärmesystem. De två stora prickarna de två fjärrvärmesystem i vilka fjärrvärmecentralerna befinner sig. Grafen visar sammanlagringsvinsten med fjärrvärmesystem. Stora dygnsvariationer innebär relativt stort toppeffektbehov. Tack vara sammanlagringen i fjärrvärmenätet blir den gemensamma toppeffekten betydligt lägre än kunders summerade toppeffektbehov. [6]

5.3 Sammanfattning och slutsatser från artikeln “Achieving low return temperature from district heating substations.[7]”

I denna artikel presenteras en ny metod för att identifiera dålig avkylning. Den baseras på temperatursignaturer. En temperatursignatur är ett diagram när man plottar temperaturdifferensen mot utomhustemperaturen. De värden för temperaturdifferens och utomhustemperatur som används är dygnsmedelvärden. (Se Figur 4 nedan)

Daily average temperature difference [°C]



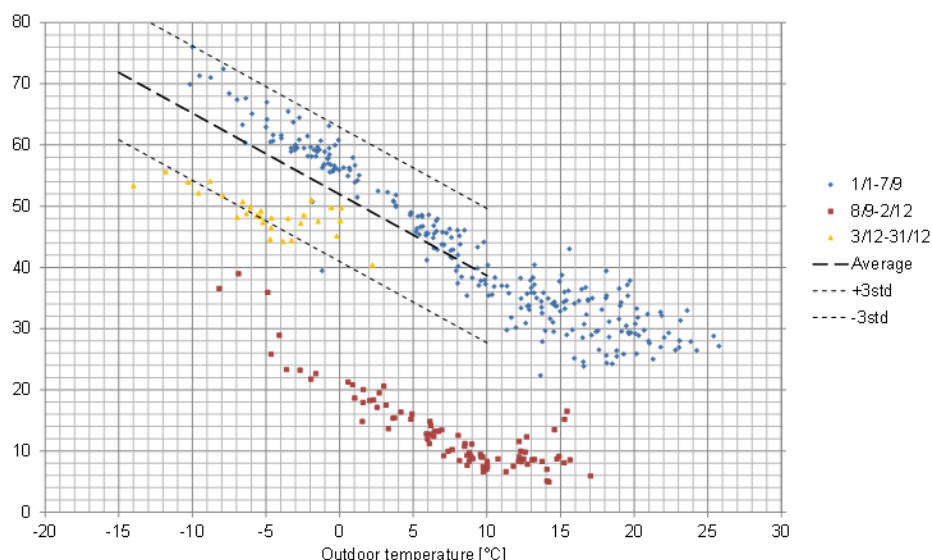
Figur 4. Temperatursignatur för 23 fjärrvärmecentraler i Helsingborg med en årsmedelavkylning överstigande 45 °C baserat på dygnsmedel-värden. Den tjocka streckade linjen är medelvärdet och de tunna streckade linjerna är ± 3 standardavvikelser.

Som kan noteras i Figur 4 är metoden endast tillämpbar vid utomhustemperaturer understigande 10 °C, d v s då det finns ett dominerande uppvärmningsbehov. Under den del av året som byggnadsuppvärmning inte behövs är det däremot bra förutsättningar för felidentifiering i varmvattenkretsen.

En stor fördel med denna metod är att man kan identifiera fel inom loppet av enstaka eller några få dagar. Man kan inledningsvis ha en och samma temperatursignatur med larmgränser för flera byggnader, men eftersom förutsättningarna är olika i olika byggnader måste man på längre sikt sträva efter att ha individuella temperatursignaturer och larmgränser. Tack vare att metoden är snabb kan den också användas för kvalitetskontroll av utförda åtgärder. I Figur 5 nedan kan man se en fjärrvärmecentral med god avkylning t o m den 7:e september då någonting inträffar. Den 3:e december sker en åtgärd och avkylningen förbättras. Dock kan man se att

man inte når upp till den avkylning som rådde innan felet uppstod. Antingen hittades inte det ursprungliga fel som gav upphov till den försämrade avkylningen, åtgärden utfördes inte på rätt sätt eller så har inställningar ändrats när åtgärden genomfördes. Mantid har lagts på en anläggning som skulle kunna vara i toppskiktet vad gäller avkylning, men som istället hamnade i övre delen av bottenskiktet av de analyserade fjärrvärmecentralerna.

Daily average temperature
difference [°C]



Figur 5. Temperatursignatur för en fjärrvärmecentral med ett årsbehov på 378 MWh. Ett fel som uppträder den 8:e september åtgärdas den 3:e december men avkylningen efter åtgärd blir väsentligt sämre än innan felet uppkom.

Artikeln tar också upp felfrekvensen för fel som orsakar försämrade avkylning. Av de totalt 140 fjärrvärmecentraler som analyserats kunde en feluppkomstfrekvens på 6 procent identifieras. D v s under ett år uppstod betydande temperaturdifferensfel i 6 procent av de analyserade fjärrvärmecentralerna under ett år.

5.4 Sammanfattning och slutsatser från artikeln “Faults in district heating substations”.

Av 135 analyserade fjärrvärmecentraler var det 26 procent som fungerade på avsett sätt. Övriga har identifierats med någon typ av kvalitetsfel. Felen som hittats har delats in tre kategorier: dålig avkylning, fel värmelastmönster och dålig reglering. I 0 nedan finns en sammanställning av de analyserade fjärrvärmecentralerna och längre ner finns de olika feltyperna beskrivna.

Tabell 1. Sammanställning av de analyserade 135 fjärrvärmecentralerna uppdelad på olika feltyper och byggnadskategorier.

	Flerbostadshus	Industrier	Hälsa och social service	Handel	Offentlig förvaltning	Summa
Totalt antal FC	35	33	10	22	35	135
Fel värmelastmönster	4	23	2*	8	2*	39
Dålig avkylning	19	27	9	18	19	92
Dålig styrning	3	3	2	3	5	16
Väl fungerande FC	15	3	1	4	12	35
Andel väl fungerande FC	43 %	9 %	10 %	18 %	34 %	26 %

*Hälsa och social service respektive Offentlig förvaltning anses endast ha fel värmelastmönster om de har nattsänkning. I övrigt är grupperna för heterogena för att kunna utvärderas vad gäller värmelastmönster.

5.4.1 Dålig avkylning

Trots decennier av diskussioner om vikten av höga temperaturdifferenser i fjärrvärmenät är det fortfarande högst aktuellt att arbeta med. Av de analyserade 135 fjärrvärmecentralerna var det 68 procent som identifierades med dålig avkylning. I denna artikel har alla fjärrvärmecentraler med en årsmedelavkylning på mindre än 45 °C kategoriserats som dålig avkylning. I verkligheten är en fast gräns för dålig avkylning inte idealiskt. Förutsättningarna för att uppnå god avkylning varierar mellan olika byggnader. Text om man använder fjärrvärme i en industriell process där värmetillförseln behövs vid en redan hög temperatur, dvs har höga sekundära returtemperaturer. Även i bostäder och lokaler kan förutsättningarna vara högst varierande dels beroende på hur sekundära tekniska installationer för

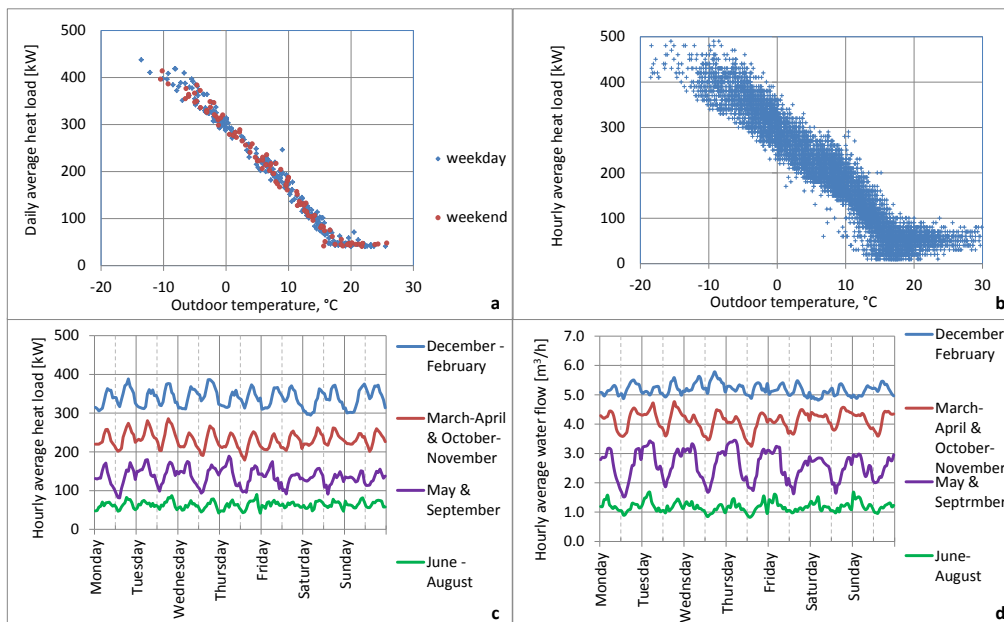
byggnadsuppvärmning, ventilation och varmvatten ser ut men också beroende på vilken verksamhet som bedrivs i byggnaderna. I brist på kunskap om varje enskild ansluten byggnad gjordes ett val att sätta en fast gräns. Även om det i enstaka fall kan bli fel med en fast gräns för avkylning så används den stora majoriteten av fjärrvärme för byggnadsuppvärmning och varmvatten. Dessutom är det ju så att ur ett systemperspektiv så är det fjärrvärmenätets fram- och returtemperaturer som är av störst intresse och därmed anses i detta arbete en fast gräns vara acceptabelt.

5.4.2 Felaktigt värmelastmönster

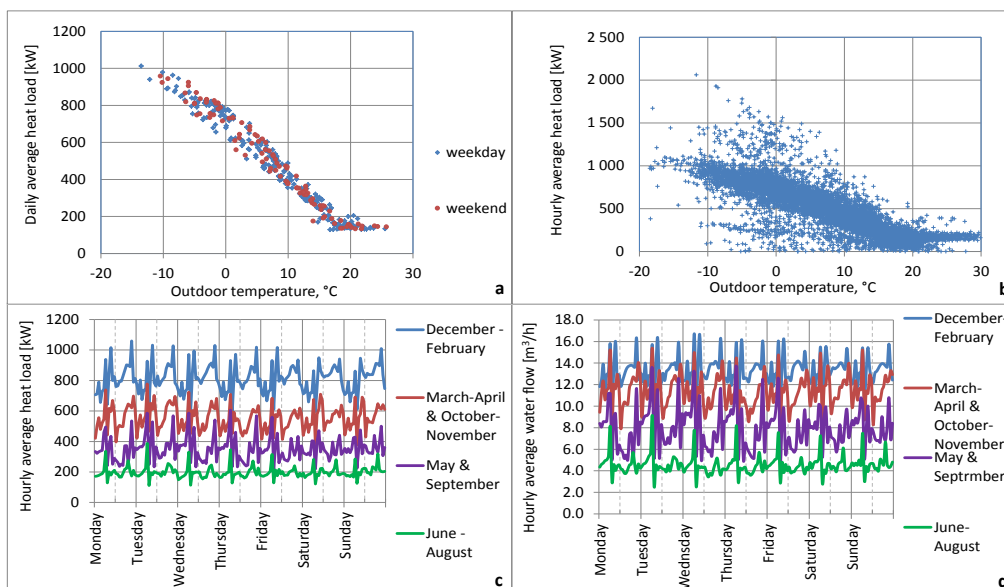
Felaktigt värmelast mönster hittades i c:a 40 procent av byggnaderna. I analysen för felaktiga värmelastmönster används samma kundkategorier och värmelastmönster som presenterats i artikeln: *Heat load patterns in district heating substations*. Som beskrivits tidigare har de kundkategorier som använts varit baserade på krav att lämna energistatistik till SCB. Det gör att det inte är ideala för ändamålet att identifiera värmelastmönster men är den information som finns att tillgå. Det är också av den anledningen som två kundkategorier inte utvärderades för felaktigt värmelastmönster nämligen Hälso- och sjukvård respektive Offentlig förvaltning. Skälet är att dessa två byggnadskategorier är mycket heterogena och innehåller byggnader med en mängd olika verksamhet. Hälso- och sjukvårdsbyggnader kan t ex vara ett sjukhus med ett värmelastmönster liknande ett flerbostadshus eller kan det vara en kontorsbyggnad som skall ha drifttidsstyrning 5 dagar i veckan. Fel värmelastmönster är resultatet av fel i styrsystemen för sekundärsystemen d v s byggnadens uppvärmningssystem. Dock är det fel som är lätta att identifiera och lätta att åtgärda.

5.4.3 Dålig reglering

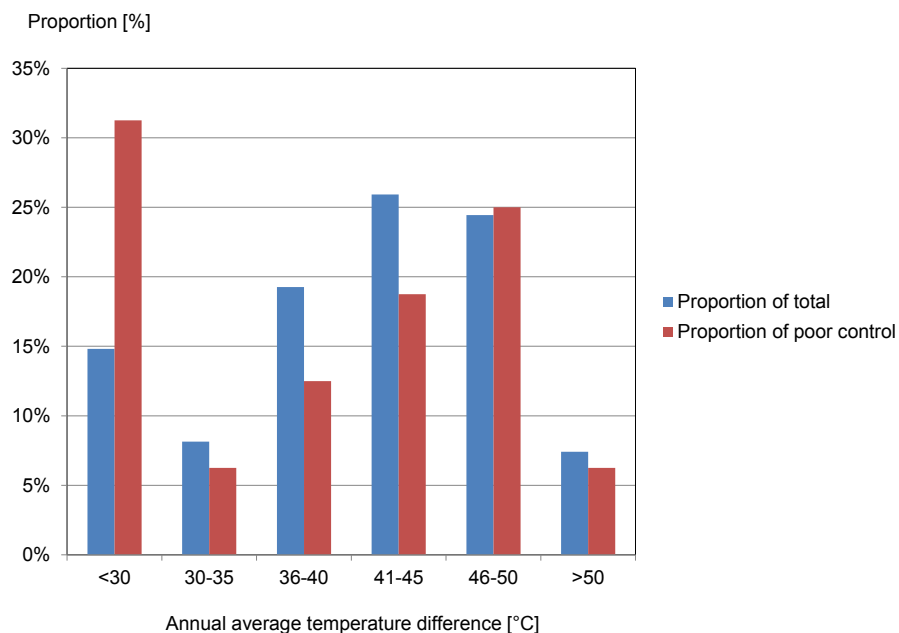
Dålig reglering karaktäriseras av dålig korrelation mellan utomhustemperatur och värmebehov och av oförklarliga svängningar i värmebehovet, se Figur 6 och Figur 7 nedan. Dålig reglering konstaterades i 16 procent av fjärrvärmecentralerna. I motsats till vad man skulle tro finns det mycket liten korrelation mellan dålig reglering och dålig avkylning, se Figur 8. Endast de med allra sämst avkylning är överrepresenterade bland anläggningar med dålig reglering. Vad felen beror på är inte utrett i detta projekt, men det skulle kunna vara både vara fel i reglerkedjan och defekta eller felaktiga komponenter.



Figur 6. Effektsignatur för dygnsvärden (a) respektive timvärden (b) och veckoanalyser för energi (c) och flöde (d) för ett väl fungerande flerbostadshus med ett årligt värmebehov på 1 750 MWh och en årsmedelavkylning på 51 °C



Figur 7. Effektsignatur för dygnsvärden (a) respektive timvärden (b) och veckoanalyser för energi (c) och flöde (d) för ett flerbostadshus med dålig korrelation mellan utomhustemperatur och värmebehov och oförklarliga svängningar. Årligt värmebehov är 4 300 MWh och årsmedelavkylningen 45 °C



Figur 8. Andel fjärrvärmecentraler per avkylningsintervall (blå) och andel inom respektive avkylningsintervall med dålig styrning(röd).

6 NYTTAN MED FORSKNINGEN

6.1 Allmän nytta

Nyttan med projektet Framtida värmebehov kan delas upp i tre delar:

- *Generell vetenskaplig kunskapsuppbyggnad.*
- *Branschkoppling till utbildningen av energiingenjörer och energiekonomer.*
- *Metoder för att höja fjärrvärmens konkurrenskraft.*

Generell vetenskaplig kunskapsuppbyggnad.

Som vetenskapligt område är fjärrvärme en relativt marginell företeelse. Mycket av det som publicerats där fjärrvärme finns nämnt är ofta fokuserade på andra ämnesområden där fjärrvärmesystemet är ett ställe man kan bli av med värme för att på så sätt öka sin totalverkningsgrad. Detta skall på inga sätt förringas, tvärt om, det visar på den stora nytta som fjärrvärmens kan göra i energisystemet. Forskningen i Framtida värmebehov tillför kunskap inom värmelast och värmebehov i fjärrvärmesystem. Det är tillgången på timvis uppmätt värmebehov som tidigare inte funnits som givit upphov och möjlighet till denna forskning. Denna källa av mätvärden är en potentiell guldgruva för forskare och för de fjärrvärmeföretag som samlar in dem.

Branschkoppling till utbildningen av energiingenjörer.

På Högskolan i Halmstad examineras c:a 30 högskoleingenjörer i energiteknik årligen. C:a 25 av dessa brukar välja värmeinriktning med bl.a. kurser i fjärrvärmeteknik. I Varberg har Högskolan i Halmstad ett program för energiekonomer där c:a 20 studenter examineras årligen. Dessa har en obligatorisk kurs i fjärrvärme. Fjärrvärmebranschen har ett rekryteringsbehov på g a framtida pensionsavgångar. Henrik Gadd har deltagit i undervisningen på ovan nämnda utbildningar och på så sätt bidragit till att få en nära koppling mellan utbildning av energiingenjörer, energiekonomer och fjärrvärmebranschen och förhoppningsvis öppnat ögonen på studenterna för att fjärrvärmeföretagen erbjuder intressanta arbetsuppgifter.

Metoder för att höja fjärrvärmens konkurrenskraft.

Resultat i forskningen har byggt kunskap och utvecklat metoder som gör att man bättre kan förstå sina kunders värmebehov som man kan utnyttja när man utvecklar nya tjänster men också metoder som är direkt tillämpbara i arbetet med kundernas värmebehov. På kort sikt till nytta för utvecklingen av energitjänster eller motsvarande vilket i sin tur kan öka fjärrvärmens konkurrenskraft på både kort och lång sikt.

6.2 Publiceringar inom projektet

Samtliga nedanstående publiceringar, med undantag av kapitlet i *Advance in thermal energy storage*, vilka publicerats inom projektet är publicerade med s k open access. Det innebär att de är gratis nedladdningsbara för vem som helst.

- Gadd H, Werner S. *Daily heat load variation in Swedish district heating systems*. Konferensartikel som sedan utvecklades till en tidskriftsartikel med samma namn. 12th International Symposium on District Heating and Cooling, 2010, Tallinn. <http://hh.diva-portal.org/smash/get/diva2:353751/FULLTEXT01.pdf>
- Gadd H, *To measure is to know!* Licentiatuppsats, Institutionen för energivetenskaper, Lunds tekniska högskola, 2012, Lund. http://www.energy.lth.se/fileadmin/energivetenskaper/Avhandlingar/Henrik_Gadd_final_lic.pdf
- Gadd H & Werner S, *Daily heat load variations in Swedish District Heating Systems*. Applied energy 106 (2013) 47-55. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261913000391>
- Gadd H & Werner S, *Heat load patterns in Swedish district heating substations*. Applied energy 108 (2013) 176-183. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261913001803>
- Gadd H & Werner S, *Achieving low return temperature from district heating substations*. Applied energy 136 (2014) 59-67. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261914009696>
- Gadd H & Werner S, *Fault detection in district heating substations*. Submitted to Applied energy.
- Gadd H, *To analyse measurements is to know!*, Doktorsavhandling., Institutionen för energivetenskaper, Lunds tekniska högskola, 2014, Lund. <https://lup.lub.lu.se/search/publication/4811901>
- Gadd H, Werner S. *Thermal Energy Storage for District Heating and Cooling*. Kapitel 18 i Cabeza (ed), *Advances in thermal energy storage systems*. Woodhead Publishing 2015.

7 DISKUSSION, FORTSATT ARBETE OCH SLUTORD

Traditionellt har produktion och distribution i fjärrvärmesystem övervakats kontinuerligt, men fjärrvärmecentraler och byggnadernas sekundära system har i många fall betraktats som kundernas problem. Men funktionen i fjärrvärmecentraler och sekundära system påverkar i högsta grad totalverkningsgraden för fjärrvärmesystemen och dessa är idag den svagaste länken i kedjan. Temperaturerna i dagens fjärrvärmesystem är cirka 15 °C högre än de rent teoretiskt skulle behöva vara. En viktig orsak är att kompensera för kvalitetsfel i fjärrvärmecentraler och sekundära system. Framtida fjärrvärmesystem förväntas ha väsentligt lägre distributions-temperaturer[8]. Då kommer möjligheten att kompensera fel med ökad temperatur inte att vara möjlig, d v s kvalitetsfel måste identifieras och åtgärdas snabbt.

7.1 Diskussion

Medan fjärrvärmenät är tämligen homogena ur värmelastsynpunkt så är de anslutna byggnaderna heterogena. Ett korrekt värmelastmönster för en byggnad är fel för en annan. Detta beror både på att verksamheter ser olika ut i olika byggnader men också på att sekundärsystemen, d v s de tekniska installationerna för värme, ventilation och varmvatten, i byggnaderna ser olika ut.

Det har konstaterats i detta projekt att c:a 75 procent av alla byggnaders värmelast har någon form av kvalitetsfel och att det uppkommer fel i cirka 6 procent av alla fjärrvärmecentraler årligen. Detta innebär att svårigheten inte är att hitta fel utan att veta vad som är en korrekt värmelast för den enskilda byggnaden och hur man skall prioritera fel som hittas.

Många feldetekteringsmetoder som finns beskrivna i litteraturen försöker hitta avvikelser från befintligt mönster, men det förutsätter att allt är rätt när man inför metoden, vilket bevisligen inte är fallet för fjärrvärmeanslutna byggnader. Det är orsaken till att man bör försöka identifiera metoder som ha absoluta felgränser och inte relativa. Att hitta fel när man jämför med något annat som är felaktigt är en dålig metod. Det faktum att varje byggnad är unik gör att larmgränser, åtminstone på sikt, måste vara individuella. För att kunna ha individuella larmgränser krävs att man har kunskap om varje enskild byggnads förutsättningar både vad gäller aktivitet och sekundära system.

Ett annat problem är att fel tycks vara slumpmässiga och inträffar utan mönster. I de analyserade fjärrvärmecentralerna har alla typer av fel identifierats i samtliga byggnadskategorier. Detta i kombination med att värmelastmönster är individuella gör möjligheten att förutse fel svårt, om inte omöjligt.

För att kunna identifiera fel snabbt måste kontinuerlig övervakning införas i kombination med ökad kunskap om respektive kund. D v s för att kunna utnyttja timvärden från värmemätare behöver man också skaffa sig mer kunskap om varje unik kunds förutsättningar som både beror på installationer i byggnaderna och på

vilken verksamhet som bedrivs i respektive byggnad. Det skulle t ex göra det möjligt att servicebesök kan bli mer behovsstyrda och inte kalenderstyrda som idag är vanligt.

7.2 Fortsatt arbete

Projektet Framtida värmebehov har visat att det i timvärden från värmemätare finns stora mängder av information. Tidigare forskning på för fjärrvärme högupplösta mätvärden har varit näst intill obefintliga. Det finns åtminstone tre riktningar för fortsatt forskning:

- Den första är att använda samma datakällor som i detta projekt, dvs från mätinsamlingssystem och kundregister i syfte att hitta nya parametrar och metoder, att kombinera en eller flera metoder eller att förbättra befintliga metoder.
- Den andra är att introducera andra datakällor som t ex information från byggnadsregistret eller från styrsystem från anslutna byggnader.
- Den tredje är att tillämpa de metoder som beskrivits och utvärdera resultaten för att utveckla och förbättra befintliga metoder. En viktig del i det arbetet är att göra metoderna automatiserade för att undvika dyrt mantid.

En fråga som ofta kommit upp under arbetets gång är om ökad upplösning på mätningen skulle göra analyserna bättre. I dagsläget är det tveksamt om det skulle vara till någon större nytta. Möjligtvis kan högre upplösning motiveras om man vill analysera varmvattenbehov och tillhörande fel, men för byggnadsuppvärmning är det mer tveksamt. Dels för att det är i sig en långsam process men också för att det i dagsläget finns så många större fel som sannolikt döljer mindre fel. Av större intresse skulle vara att inkludera andra parametrar som t ex byggnadsinformation, temperaturer i sekundärsystemen eller differenstrycket på primärsidan i fjärrvärmecentralen.

7.3 Slutord

Detta projekt har utgått från en övergripande strategi om att det borde vara lämpligt att först hitta typiska fel i fjärrvärmecentraler och kunders värmesystem som har en tydlig värmeteknisk förklaring och därefter utveckla metoder för dessas identifiering. Senare kan dessa utvecklade metoder automatiseras med systematiska datamining-metoder för applicering på de stora massiva dataflöden som insamling av mätvärden från fjärrvärmecentraler utgör.

Vi är övertygade om att denna strategi innebär både en snabbare väg till implementering och kommer att ge totalt lägre kostnader för de framtida analyserna. Att påbörja automatiska analyser utan att veta vad man letar efter vore att ta större utvecklingsrisker enligt vår mening.

8 REFERENSER

- [1] Årlig statistik. <http://www.svenskfjarrvarme.se/Statistik--Pris/Fjarrvarme/Energitillforsel/> nedladdad 2014-06-30: Svensk Fjärrvärme; 2003-2013.
- [2] Riksdagen. SFS 1999:716. Förordning om mätning, beräkning och rapportering av överförd el Näringsdepartementet.
- [3] Riksdagen. SFS 2008:263. Fjärrvärmelag. Näringsdepartementet.
- [4] Gadd H, Werner S. Daily heat load variations in Swedish district heating systems. Applied Energy. 2013;106:47-55.
- [5] Gadd H, Werner S. Heat load patterns in district heating substations. Applied Energy. 2013;108:176-83.
- [6] Gadd H. To Measure is to Know! [Licentiatuppsats]. Lund: Lunds Universitet; 2012.
- [7] Gadd H, Werner S. Achieving low return temperatures from district heating substations. Applied Energy. 2014;136:59-67.
- [8] Lund H, Werner S, Wiltshire R, Svendsen S, Thorsen JE, Hvelplund F, et al. 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. Energy. 2014;68:1-14.

FRAMTIDA VÄRMEBEHOV, ETAPP TVÅ

Det finns stora möjligheter för fjärrvärmebolag att förbättra verkningsgraden i sina system genom att övervaka data från fjärrvärmecentraler och kundanläggningar. Här redovisas översiktligt slutsatserna av ett doktorandprojekt vid Högskolan i Halmstad.

I projektet, som har pågått mellan 2009 och 2014, har data från 20 fjärrvärmesystem och 146 fjärrvärmecentraler samlats in och analyserats. Det har i första hand handlat om timmätvärden för energi, flöde, fram- och returtemperatur men också om data från kundregister.

Totalt har drygt fem miljoner mätvärden och andra data använts i analyserna. Resultaten visar att det i cirka 75 procent av alla byggnader som är anslutna till fjärrvärme finns kvalitetsfel i byggnadens fjärrvärmecentral eller i det sekundära systemet, det vill säga värmesystemet inne i byggnaden. Felen kan med hjälp av timvärden identifieras och avhjälpas för att förbättra verkningsgraden i systemen.



FORSKNING SOM STÄRKER FJÄRRVÄRME OCH FJÄRRKYLA, uppmuntrar konkurrenskraftig affärs- och teknikutveckling och skapar resurseffektiva lösningar för framtidens hållbara energisystem. Kunskap från Fjärrsyn är till nytta för fjärrvärmeföretagen, kunderna, miljön och samhället i stort. Programmet, som drivs av Energiforsk AB, finansieras av Energimyndigheten tillsammans med fjärrvärmeförbrukarna och omsätter cirka 20 miljoner kronor om året. För mer information om projekt, resultat och ny kunskap från forskningen: www.fjarrsyn.se