

Användning av fjärravläst mätdata för framtagning av byggnaders effektsignatur

Andreas Nilsson & Oskar Engberg



LUND
UNIVERSITY

Februari 2007
Examensarbete
Avdelningen för kraftverksteknik
Institutionen för energivetenskaper
Lunds Universitet, Sverige
www.vok.lth.se

© Oskar Engberg & Andreas Nilsson 2007

ISSN 0282-1990

ISRN LUTMDN/TMHP--07/5113--SE

Tryckt i Sverige

Lund 2007

Förord

Detta examensarbete är utfört på E.ON Värme Sverige AB i Malmö, och är ett resultat av företagets vilja att utveckla nya verktyg m.h.a. den fjärravläsning av mätdata som pågått hos deras företagskunder sedan en tid.

Vi skulle vilja rikta ett varmt tack till alla personer på Heleneholmsverket som bidragit med tid, kunskap och tips under resans gång, ni vet vilka ni är. Speciellt tack ger vi till Per, Wille och Katarina. Stor tack även till Mohsen för de sista åren på LTH som har givit oss en bra grund att stå på inför kommande prövningar i arbetslivet.

”Vi har vandrat från att veta ingenting till att veta massor, men nu finns vi inte kvar, för vi är borta. Tänk er en gaffel i en brasa, den är varm och glöder, men den finns kvar!”

Malmö 2007-02-14

Andreas Nilsson och Oskar Engberg

Sammanfattning

I samarbete med E.ON har detta arbete initierats bl.a. med målet att med fjärravläst mätdata ta fram metoder som ger en bild av energianvändningen i en byggnad, d.v.s. dess effektsignatur. Mätarställningar avläses varje hel timme, vilket har pågått sedan december 2005 i Malmö. E.ON vill med detta arbete få nya verktyg för att kunna ge sina kunder en bredare service.

Framtagning av metoder för att bestämma utetemperaturen, vid vilken lokaluppvärmningen upphör (den s.k. brytpunkten), samt beräkning av andelen energi för uppvärmning av tappvarmvatten är centralt för denna rapport. Orsaker som påverkar mönstret hos energianvändningen i byggnaderna har undersökts såsom nattsänkning och helg- och vardagsbeteende. För verifiering av framtagna metoder har energianvändningen för uppvärmning av tappvarmvatten i ett studentboende loggats under en vecka. Även data som en företagskund själv samlat in har använts för verifieringen.

Dessa tämligen enkla metoder gav en bra bild av byggnadernas energianvändning trots alla varianter av mönster hos effektsignaturena. Det visade sig att flertalet byggnaders brytpunkter hamnade omkring 17°C, och deras andel energianvändning för uppvärmning av tappvarmvatten hamnade på 30-40 % av den totala. I detta tidiga skede anses resultatet användbart med potential till vidare förbättringar och noggrannare beräkningar. Förslag på fortsatt arbete har lämnats i rapporten.

Abstract

This Master thesis has been carried out in cooperation with E.ON, and one primary objective is to use automatically read data to create a method that visually describes how energy is used in a building, the so called energy signature. The meters are read every full hour, which have been done since December 2005. E.ON wishes to obtain useful tools for providing an improved service to their customers.

Important for this thesis is to create a method that determines the outdoor temperature at which no heating of the building is needed (the so called break point). Of importance is also to create a method that determines the share of energy used for heating the hot tap water. Causes that effect the pattern of how energy is used in buildings has been investigated and described, e.g. lowering of energy provided during the night or if a difference in the pattern between weekdays and weekends can be found. In order to verify the created methods hot tap water usage has been logged in a student building during one week. Data, read by one of E.ON's customers, has also been used to verify the methods.

These initial and rather simple methods gave a good description of the use of energy in a building even though many buildings had abnormal patterns. The result showed that most of the break points are approximately 17°C, and the share of energy used for heating of hot tap water were usually 30-40 % of the supplied energy. In this early stage the results are considered useful with potential for further development and more accurate calculations. Proposals for future work are mentioned in the report.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Mål	1
1.3	Metod	1
1.4	Avgränsningar	1
1.5	Disposition	2
2	INTRODUKTION TILL FJÄRRVÄRME	3
3	KUNDCENTRALEN	4
3.1	Uppbyggnad	4
3.2	Fjärravläsning	4
3.3	Applikationsområden	5
4	MÄTDATA	6
4.1	Fjärrvärmeanvändning	6
4.2	Utetemperatur	6
4.3	Databehandling	6
4.4	Effektsignatur - samband mellan parametrarna	9
5	PÅVERKANDE OMSTÄNDIGHETER	11
5.1	Helg- och vardag	11
5.2	Nattsänkning	11
5.3	Kallvattentemperatur	12
5.4	Boendebeteende	14
5.5	Egen värmeproduktion i byggnaden	14
5.6	Byggnadsfysik	15
5.7	Styrventilen och värmeväxlaren	17
6	BRYTPUNKTEN	20
6.1	Metod 1, linjär regression	21
6.2	Metod 2, multipel regression	23
6.3	Metod 3, stega från 20°C	24
6.4	Kontroll av brytpunkten	26
7	TAPPVARMVATTEN	29
7.1	Metod 1, kallvattnets inverkan	29
7.2	Metod 2, undersökning av timvärden	30
8	VERIFIERING AV TAPPVARMVATTENMETODERNA	33
8.1	Kontroll 1, loggning av studentboende	33
8.2	Kontroll 2, loggning av bostadsområde	35
9	SLUTSATSER OCH DISKUSSION	38
9.1	Mätdata	38
9.2	Brytpunktsmetoder	38
9.3	Tappvarmvattenmetoder	39
10	FÖRSLAG PÅ FORTSATT ARBETE	40
10.1	Varningsystem	40
10.2	Kategorisering	40
10.3	Energideklarationen	41

10.4	Statistiska modeller	41
	REFERENSER	42
	APPENDIX	43

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Detta examensarbete har utförts på E.ON Värme Sverige AB i Malmö. E.ON har för avsikt att fjärravläsa alla sina företagskunder anslutna till fjärrvärmenätet. Arbetet med att utrusta alla företagskunder med mätare har pågått sedan december 2005 inom Region Malmö, och omfattar knappt 3700 byggnader. De fyra storheterna som avläses är värmeanvändning [MWh], flödesförbrukning [m^3/h], fram- och returledningstemperatur [$^{\circ}\text{C}$]. Målet för E.ON är på sikt att bl.a. kunna förse sina kunder med information om deras byggnaders fjärrvärmeanvändning vid olika utomhustemperaturer. Insamlad data visar den totala uppvärmningsenergin, i vilken det ingår både lokaluppvärmning och uppvärmning av tappvarmvatten. Den sistnämnda påverkas i hög grad av beteendet hos de boende i byggnaden.

1.2 Mål

Det första målet är att visuellt kunna visa sambandet mellan en byggnads fjärrvärmeeffekt och utomhustemperaturen, d.v.s. automatisk generera en effektsignatur för byggnader. Det andra målet är att dela upp energianvändningen för byggnader i tappvarmvatten och uppvärmning.

1.3 Metod

Efter genomförd litteraturstudie av tidigare arbete inom området utförs en genomgång och filtrering av datamängden för att erhålla byggnader med kvalitativ data. Istället för att sedan direkt gå in på avancerade metoder kommer problemet angripas lite enklare, för att sedan utvärdera och eventuellt förfina de testade metoderna. För att utföra beräkningar och plotta diagram används programmet Matlab.

1.4 Avgränsningar

Arbetet kommer endast att inriktas på analys av insamlad mätdata. Metoderna kommer inte att hantera prediktion av byggnadernas fjärrvärmebehov, utan endast fastställa byggnadernas effektsignaturer baserat på deras energianvändningshistorik. I rapporten strävas efter att hålla en så generell nivå som möjligt. Därför kommer inte solinstrålning och vindhastigheter att tas med i beräkningarna då de har väldigt olika påverkan hos byggnader beroende på läge, fönster, isolering etc. Energianvändningen kommer därför endast relateras till utetemperaturen, vilken är den dominerande faktorn i sammanhanget.

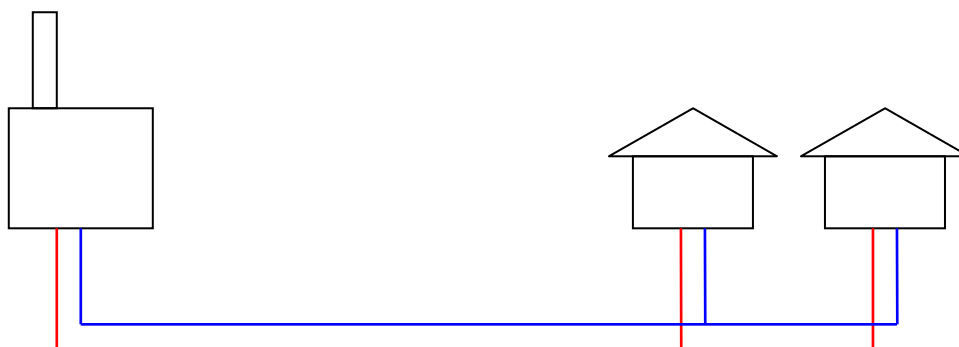
1.5 Disposition

Rapporten inleds med två kapitel som ger läsaren en introduktion till vad fjärrvärme är och hur systemet fungerar i stora drag, samt en beskrivning på kundcentralernas uppbyggnad och funktion. Därefter redogörs vilken mätdata som använts, och hur denna har behandlats inför framtagandet av metoderna. Även vilka omständigheter som påverkar energianvändningen i byggnaderna beskrivs här. Dessa inledande kapitel har som syfte att öka förståelsen inför kommande kapitel.

Sedan fortsätter rapporten med metodbeskrivningar för framtagning av brytpunkten och andelen energi för uppvärmning av tappvarmvatten. Deras arbetsgång redovisas och mindre kontroller utförs. Slutligen verifieras metodernas användbarhet m.h.a. noggrannare data från egen loggning och utomstående källor. Slutsatser dras och förslag på fortsatt arbete ges, med mål att förbättra och vidare utveckla metoderna och deras funktioner.

2 Introduktion till fjärrvärme

I England, USA och Frankrike finns exempel från början 1800-talet där byggnader värmdes med hjälp av uppvärmt vatten från en central producent, en tidig version av fjärrvärme. I Sverige introducerades fjärrvärme i Karlstad år 1948 och tre år senare i Malmö. En anledning var att luften var så förorenad p.g.a. alla små pannor som eldade för att värma byggnaderna de fanns i. Med en stor central anläggning, som hade en hög skorsten med möjlighet att sprida föroreningarna långt utanför ortens gränser, kunde varmvattnet från anläggningen distribueras till flera byggnader och värma dessa samtidigt som föroreningarna spreds utanför stadsgränsen. Fjärrvärme är alltså en gammal energiteknik som förser byggnader med värme för applikationer som lokaluppvärmning och varmvattenberedning. Systemet består av tre delar; produktionsanläggningar, distributionsnät och kundcentraler. Distributionsnätet förbinder produktionsanläggningar och kundcentraler, och levererar varmt vatten med högt tryck via distributionsledningarna. Detta vatten återvänder därefter till produktionsanläggningen för återuppvärmning, se **Figur 1**. [1]



Figur 1: Schematisk bild över ett fjärrvärmenät.

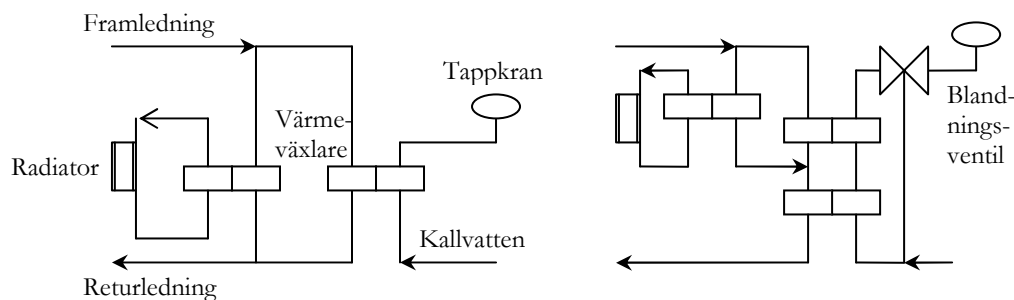
Produktionsanläggningarna kan bestå av t.ex. enkla värmekraftverk med värmeproduktion eller stora industrier med spillvärme från processer. Distributionsledningarna förekommer i olika material, isoleringar och dimensioner beroende på terräng och effektuttagets storlek m.m. Dessa två delar av fjärrvärmenätet behandlas inte djupare i denna rapport då intresset istället riktas mot kundcentralen och vad som sker efter denna.

3 Kundcentralen

Själva objekten i arbetet är de knappt 3700 byggnaderna som E.ON levererar fjärrvärme till i Region Malmö, där alla har ett anläggnings-id på 8 siffror. Här beskrivs hur kundcentralen fungerar och avläses samt vad fjärrvärmeenergin används till. Kort beskrivet innehåller kundcentralen en mängd komponenter där de huvudsakliga är ett antal värmeväxlare som överför den termiska energin från fjärrvärmevattnet (primärsidan) till byggnadernas interna värmesystem (sekundärsidan).

3.1 Uppbyggnad

De två vanligaste typerna av kopplingsanordningar i kundcentralen är parallell- och tvåstegskoppling. Vid parallellkoppling värms sekundärsidans kallvatten upp i ett steg medan tvåstegskopplingen först värmer upp kallvattnet i en förvärmare (första steget) med hjälp av primärsidans returvatten. **Figur 2** visar till vänster en parallellkoppling och till höger en tvåstegskoppling. Skulle inte uppvärmningen vara tillräcklig värms sekundärsidans vatten upp ytterligare i en eftervärmare (andra steget) med hjälp av primärsidans framledningsvatten. [2]



Figur 2: Schematiska bilder över parallell- respektive tvåstegskoppling.

3.2 Fjärravläsning

I kundcentralerna avläses mätarställningen en gång per hel timme med en noggrannhet på 1 eller 10 kWh beroende på kundcentralens storlek. Det som mäts är total värme [MWh] och flödesförbrukning [m^3/h] samt fram- och returtemperatur [$^{\circ}\text{C}$]. Data sparas i batchar om 24 timmar, och skickas till E.ONs affärssystem SAP där de lagras. Tekniken är att betrakta som tillförlitlig även om fel och störningar kan uppstå. Om t.ex. en energimätare skall bytas ut mot en annan får denna inte nollställas. Energimätaren som ersätter den gamla står då inte på samma mätarställning, och man får ett språng upp eller ner i avläst mätarställning vid tidpunkten för mätarbytet.

3.3 Applikationsområden

Energiinnehållet i fjärrvärmevattnet används till två saker i byggnaden, nämligen lokaluppvärmning samt varmvattenberedning för tappvarmvatten och varmvattencirkulation (VVC).

Uppvärmning

Den största delen av energin i fjärrvärmevattnet går åt till att värma upp kundens byggnad via ett värmesystem, t.e.x. ett radiatorsystem, för att uppnå en behaglig inomhus-temperatur och inomhusklimat. Inomhusklimatet kan variera mellan hushåll eftersom människor har olika uppfattningar om vad som är komfortabel inomhustemperatur, vilket gör att energianvändningen kan variera mycket mellan olika hushåll. Termostater på radiatorerna ställs in till den önskade inomhustemperaturen och styr därefter denna med hjälp av flödet genom radiatoren. [3]

Tappvarmvatten

Ett normalt bostadshus i Sverige använder tappvarmvatten i storleksordningen 30 kWh per kvadratmeter och år. Denna användning står för den uppvärmning av varmvatten som tappas ur t.ex. kranar, diskmaskiner och duschar, och motsvarar vanligen 20-25 % av den totalt tillförda energimängden hos flerbostadshus, och 5-10 % i kontorsbyggnader. [4] [5]

Även då inget uttag av tappvarmvatten sker i en byggnad krävs det ändå att vatten över 50°C cirkulerar i byggnadens ledningar. Vattnet cirkuleras därför att även de som är bosatta långt bort i systemet, till exempel på den översta våningen, skall få varmt vatten relativt snabbt när de öppnar kranen hemma. En annan anledning är att förhindra uppkomsten av legionellabakterier. Flödet är lågt, men konstant, och temperaturen sjunker vanligen mellan 5-10°C innan det når tillbaka till kundcentralen. Effektbehovet för varmvattencirkulation är litet jämfört med tappvarmvattnets, men det konstanta flödet gör att en relativt stor energimängd används. Denna kan i olika grad tillgodoräknas husets uppvärmning beroende på rördragningen, och blir alltså en liten eller ingen förlust i det totala systemet under eldningssäsong d.v.s. under perioden då huset har ett uppvärmningsbehov. [4]

4 Mätdata

I detta kapitel beskrivs de två mätparametrarna fjärrvärmeeffekt och utetemperatur som är uppmätta under perioden 2006-01-01 till 2006-08-31.

4.1 Fjärrvärmeanvändning

Den datamängd som samlas in i 1-timmens intervall m.h.a. fjärravläsning hos E.ON i Region Malmö består bl.a. av mätarställningen för den totala energianvändningen i MWh från alla knappt 3700 fjärrvärmeanslutna kunder. Denna storhet är speciellt intressant för detta arbete och anges i rapporten som fjärrvärmeeffekt i kW, då varje timmes mätarställning har subtraherats med föregående timmes. Det ger enheten MWh/h som sedan omvandlats till kW. Den enorma mängden mätdata behöver bearbetas för att filtrera bort eventuella fel m.m. vilket redovisas senare.

4.2 Utetemperatur

Parametern utetemperatur spelar i denna rapport en mycket viktig roll. Här beskrivs därför definitionen av utetemperatur, och senare i kapitel 4.3 hur den har införskaffats och behandlats inför analyseringen av fjärrvärmedata.

I metreologiska sammanhang definieras utetemperaturen som den temperatur uteluften har i grader Celsius. I detta arbete får utetemperaturen vid Heleneholmsverket representera utetemperaturen för hela Region Malmö, stadskärnan såväl som kusten. Detta är en förenkling av verkligheten, vilket diskuteras nedan i kapitel 4.3.

4.3 Databehandling

En genomgång av insamlad data behövs för att upptäcka fel och avvikelser i denna. Både fjärrvärme- och utetemperaturdata kontrolleras i kapitlen nedan för att filtrera bort och korrigera sämre mätdata.

Filtrering av fjärrvärmeeffektdata

Mätdata har innan denna filtrering hämtats från E.ONs databas. P.g.a. eventuella mätfel och datasändningsproblem från byggnadernas fjärravläsningsenheter består data av en mängd saknade värden och störningar. I ett försök till att få en lagom mängd byggnader att bearbeta i rapporten kontrollerades hur många byggnader som saknade nolluttag, alltså att byggnaden inte haft någon fjärrvärmeeffekt överhuvudtaget under någon timme. Nolluttag kan vara ett tecken på driftsstörning eftersom en byggnad alltid har värmeuttag till varmvattencirkulationen, kapitel 3.3. Men ett nolluttag kan även bero på mätarens noggrannhet. Under varma månader, då låg energianvändning kan förekomma p.g.a. avsaknad av lokaluppvärmning, kan en mätare som har noggrannhet på 10 kWh ge

värdet noll under en timme, vilket gör att byggnaden utesluts med denna filtrering. Avstängning av fjärrvärmen vid t.ex. servicearbete genererar också nolluttag. Efter denna filtrering fanns 368 byggnader kvar som alla saknade nolluttag, vilket författarna anser vara en lagom mängd både att skaffa en överblick över samt att det inte tar alltför lång tid för beräkningsprogrammet att hantera. Efter filtreringen representerades byggnaderna av drygt 80 % flerbostadshus, vilka före filtreringen var cirka 55 %, se detaljerat i **Tabell 1**. Med de tre största kategorityperna representerade i arbetets urval anses filtreringen acceptabel.

Tabell 1: Fördelning av byggnadstyperna i arbetets urval samt den totala andelen.

Typ av byggnad	Total andel [%]	Arbetets andel [%]
Flerbostadshus	55.4	83.0
Enskilda anslutna småhus	6.5	0
Gruppanslutna småhus	3.0	0
Industri	4.9	1.4
Offentliga lokaler	11.3	5.1
Övriga lokaler	18.8	10.5
Markvärme	0.1	0

Eftersom en del byggnader även har fjärrkyluttag har de 368 utvalda kontrollerats m.h.a. deras anläggnings-ID mot de med fjärrkyla. Två av byggnaderna utan nolluttag fanns med bland de byggnaderna med fjärrkyla. Anledningen till att inte ha med kunder som även använder fjärrkyla är att sambandet mellan utetemperatur och fjärrvärmeeffekt försvagas. Dessa kunder kan nämligen ha fjärrkyluttag när det är varmt ute men samtidigt ha golvvärmning från fjärrvärmen påslagen för att höja komforten inomhus. Författarna väljer att utgå ifrån att under varma dagar används fjärrvärmen endast för tappvarmvatten och varmvattencirkulation.

Korrigerig av utetemperaturdata

Vid Heleneholmsverket i centrala Malmö finns en gammal mätstation från SMHI som samlar in värden på bl.a. utetemperaturen med 1-sekunds intervall. Då arbetets övriga parametrar mäts med 1-timmens intervall har även utetemperaturen räknats om till 1-timmens intervall. Till vänster i **Diagram 1** visas hur utetemperaturen vid Heleneholmsverket varierat under mätperioden. Diagrammet visar tydligt att mätfel har uppstått vid tre tydliga tillfällen nämligen vid timmarna 1743, 2146-2603 och 4065-4066. Vid de två ställena där temperaturen går ner till -20 respektive -26°C har de intilliggande värdena använts för att linjärt interpolera fram en mer korrekt temperatur.

Intervall mellan timme 2146 och 2603 motsvarar cirka 19 dygn och därför kan inte samma metod användas här. Till hjälp har tagits utetemperatur för samma intervall insamlade vid Västra hamnen i Malmö. Vid kontroll av de båda temperaturserierna upptäcktes att utetemperaturen vid kusten generellt ligger någon grad högre än inne i stadskärnan. Temperaturen före och efter mätfelet var i genomsnitt 0.712°C respektive 0.935°C högre i Västra hamnen. Därför valdes att temperaturen i stadskärnan under perioden för mätfelet var lika med temperaturen i Västra hamnen minus medeldifferen-

sen mellan perioderna före och efter mätfelet. Den blev då 0.824°C lägre än temperaturen i Västra hamnen. Den korrigerade temperaturen visas till höger i **Diagram 1**.

Med utetemperaturen färdigbehandlad i 1-timmars intervall beräknas dygns-, vecko- och månadsmedelvärden hos temperaturen. Senare används dessa medelvärden i analysen av fjärrvärmedata.

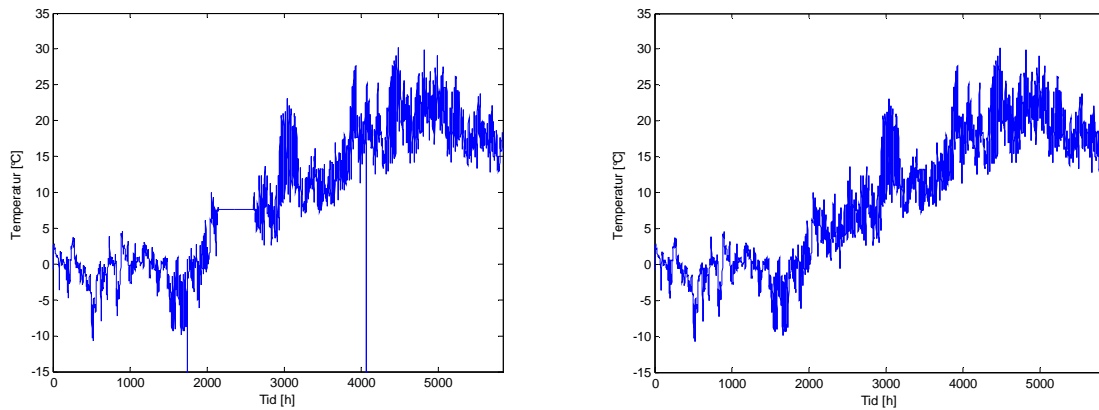


Diagram 1: Utetemperaturen vid Heleneholmsverket i Malmö under mätperioden. T.v. den uppmätta och t.h. den korrigerade.

Medelvärden

Efter att mätdata korrigerats och byggnader filtrerats gjordes ett antal medelvärdesberäkningar för att kunna kontrollera olika mönster hos byggnadernas effektsignaturer. Av utetemperaturen och fjärrvärmeeffekten gjordes medelvärdesbildning till dygn-, vecko- och månadsform. Medelvärdesbildningen utfördes för att komma ifrån de ständiga variationerna mellan timvärdena under dygnet. I **Diagram 2** nedan visas exempel på vad som händer med de allra flesta byggnaders data när denna medelvärdesbildas med olika tidshorisonter. Det som händer är att spridningen av mätpunkterna minskar då avvikande mätvärden får mindre och mindre betydelse när fler punkter, d.v.s. längre tidshorisonter, används.

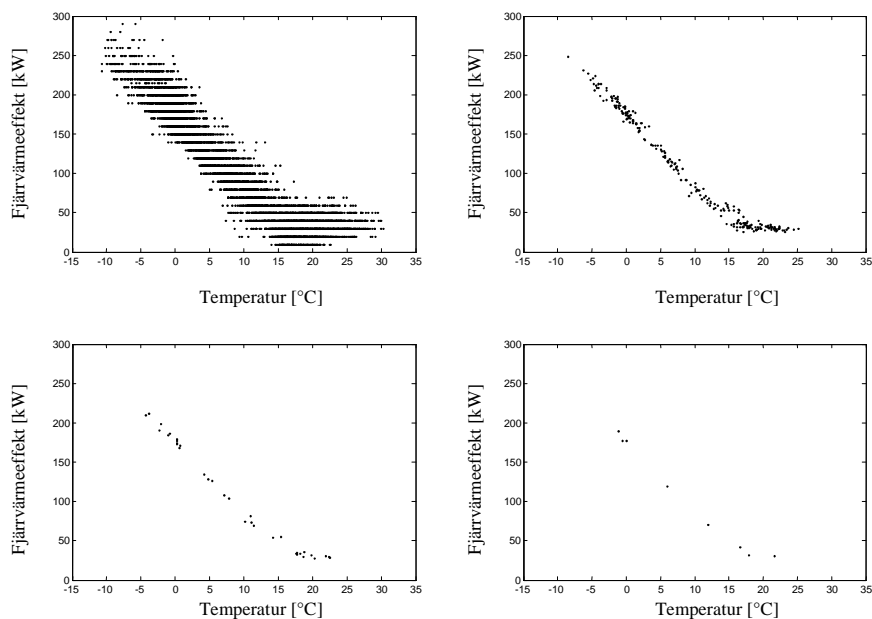


Diagram 2: Olika medelvärden för samma byggnad. Uppe t.v. timvärden och t.h. dygnsvärden. Nere t.v. veckovärden och t.h. månadsvärden.

Lägsta och högsta värde

När medelvärdesbildningen var utförd granskades även de lägsta respektive högsta effektuttagen för alla dygns- och veckomedelvärden. Detta i tron om att de lägsta värdena under varje dygn skulle kunna ge en bild av uppvärmningseffektens andel av den totala fjärrvärmeeffekten. De lägsta uttagen kan eventuellt representera endast uppvärmningen för just den timmen under dygnet respektive veckan där värdet är uppmätt. Denna timme kan förväntas infalla någon gång under natten då tappvarmvattenuttaget borde vara minimalt eller noll. Det som dygnets högsta timvärde visar går inte att säga så mycket om, men gissningsvis är uttaget av tappvarmvatten maximalt just den timmen eller en kombination av mycket uppvärmning och mycket tappvarmvatten.

4.4 Effektsignatur - samband mellan parametrarna

Med korrekt temperaturdata för mätperiodens alla timmar, dygn- och veckomedelvärden samt med fjärrvärmeeffektdata i samma form för de utvalda byggnaderna kunde enkla plottar ritas upp. Detta görs för att få en förhandsvisning på byggnadernas effektbeteende vid olika utetemperaturer, alltså dess effektsignatur. Dessa kan användas för att jämföra byggnaderna med en effektsignaturs förväntade utseende, vilket visas i **Diagram 3**.

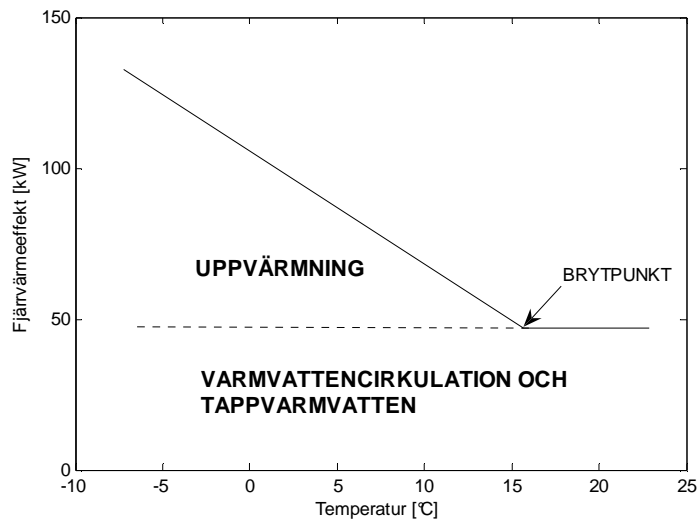


Diagram 3: Förväntat utseende för en effektsignatur.

Efter att ha plottat alla 366 byggnaderna upptäcktes dock att inte alla påvisade ett mönster som liknar det i **Diagram 3** utan helt andra exempel på relation. Ett urval av varierande mönster hos byggnaders effektsignaturer redovisas i Appendix E.

Diagram 3 visar de för kunden två mest intressanta parametrarna, nämligen brytpunkten och lutningen på uppvärmningslinjen. Brytpunkten visar vid vilken temperatur byggnaden inte längre kräver att uppvärmningseffekt behöver tillföras för att bibehålla önskad inomhustemperatur. Denna bryttemperatur ligger något lägre än inomhustemperaturen vilket beror på att människor och apparater själva avger värme samtidigt som isoleringen gör att den värmen behålls i byggnaden. Att linjen fortsätter vågrätt, och inte sjunker mot noll efter bryttemperaturen, beror på att varmvattencirkulationen och tappvarmvattenanvändningen i byggnaden kvarstår.

Lutningen på linjen är intressant därför att den ger en bild av hur väl isoleringen behåller tillförd värmeeffekt inom byggnaden. En kraftig lutning indikerar en dålig isolering, medan en svag lutning indikerar det motsatta. Samtidigt följs en bra byggnad med låg bryttemperatur troligen av en svagare lutning, och vice versa. Tillsammans med bryttemperaturen får man en bild av kvaliteten på byggnadens klimatskal. Klimatskalet definieras som det skal som avskiljer inomhusutrymmet i byggnaden mot dess omgivning. Alltså blir byggnadens väggar, fönster, golv, tak och grund dess klimatskal. [6]

5 Påverkande omständigheter

Variationer i effektuttag under mätperioden kan bero på många faktorer. Här berörs några som författarna har ansett vara intressanta att belysa.

5.1 Helg- och vardag

För att kunna upptäcka något samband hos dygnsmedelvärdena mellan vardagar och helgdagar gjordes en genomgång av 2006 års kalender. En vektor skapades med lika många dagar som mätperioden innehöll, och varje dag gavs värdet 1 eller 0 beroende på om det var helg- respektive vardag. Denna information är intressant då en byggnad med verksamheter som kontor eller skola ska modelleras eftersom ett tydligt mönster kan urskiljas då det är helg- respektive vardag, se **Diagram 4**.

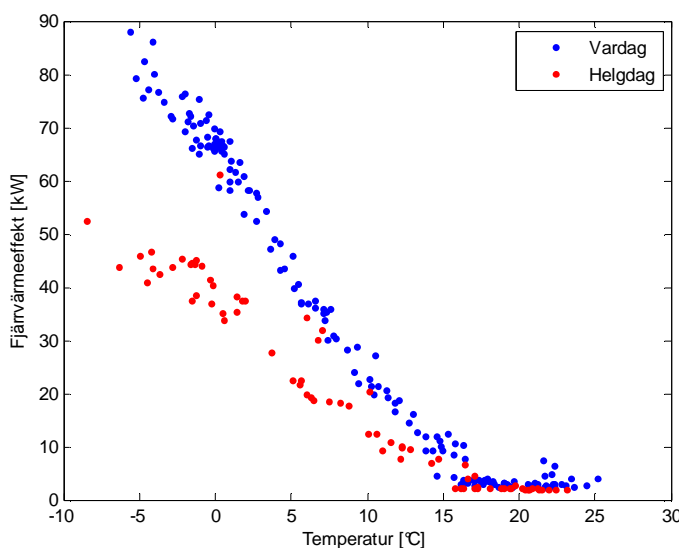


Diagram 4: Effektsignatur för en byggnad under mätperioden, uppdelad i helg- och vardag.

Kontroll av de fem helgdagar som ligger på vardagskurvan visar att detta är helgdagar som infaller mitt i veckan. Det är troligt att det finns en reglering som är inställd på att endast sänka effekten under veckoslutet, och att den inte tar hänsyn till om en helgdag i almanackan infaller under en av veckans fem första dagar.

5.2 Nattsänkning

En teknik som används i en del byggnader är sänkning av inomhustemperaturen under nattimmarna, vilket innebär att energianvändningen för lokaluppvärmning minskar. Detta görs i tron om att energi sparas och därmed även uppvärmningskostnad, men ur fjärrvärmeproducenternas synvinkel är det ofta inte en bra metod. Lönsamheten för kunderna är dels obetydlig samtidigt som produktionsanläggningarna får laststörningar och ojämn efterfrågan. Under natten får producenterna låg efterfrågan på fjärrvärme

och på morgonen en väldigt hög då alla kunder med nattsänkning ska återuppvärma sina byggnader. [5]

Ett sätt att försöka upptäcka nattsänkning är att plotta effektuttagetets timvärden över tiden. Nattsänkningen följs ofta av en effektpik för att kompensera för att det tillförts för lite effekt under nattimmarna. Typiska mönster visas i **Diagram 5**.

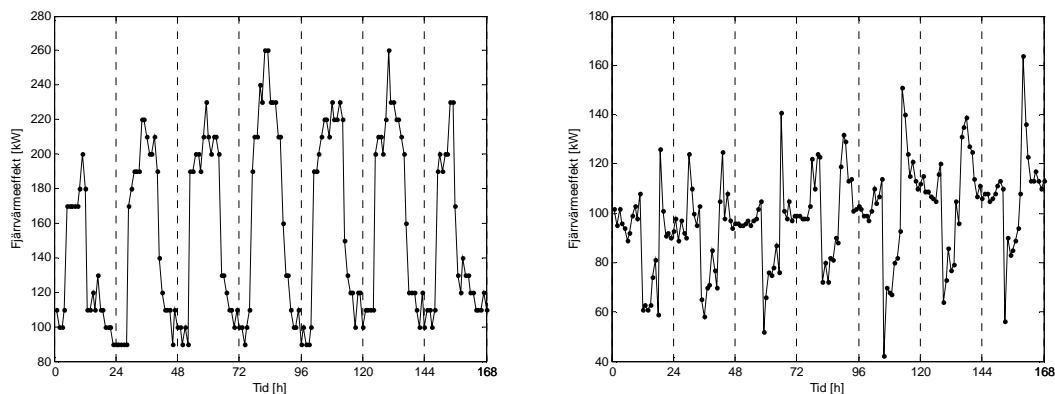


Diagram 5: Två byggnader med nattsänkning.

Den vänstra figuren i **Diagram 5** visar troligen en kontorsbyggnad där luftburen värme används. Genom ventilation med stora luftflöden värms utrymmena. På natten sänks flödet vilket medför att mindre mängd luft värms upp och fjärrvärmeeffekten minskar. Den högra figuren tycks ha nattsänkning på dagen, och det kan bero på en felinställd kundcentral som förskjuter sänkningen av effekten. För att metoderna ska bli optimala bör nattsänkning tas med i beräkningarna, men detta är svårt att generalisera och implementera i en beräkningskod. Detta nämns det mer om i rapportens kapitel om metoderna för avskiljning av tappvarmvatten.

5.3 Kallvattentemperatur

Efter kontakt med Vattenverkets laboratorium i Malmö erhöles temperaturmätningar av kallvatten, gjorda inne i flerbostadshus. Dessa mätningar var gjorda på olika adresser i Malmö enligt en viss mättingsrond som gjordes under måndag, tisdag och onsdag varje vecka. Detta resulterade i totalt 88 dagar, vars mätvärden visas i **Diagram 6**. En stor temperaturdifferens kan ses mellan mätningar gjorda samma datum. Detta beror bl.a. på lokala skillnader i marktemperatur och sträckan vattnet färdas till byggnaderna. [7]

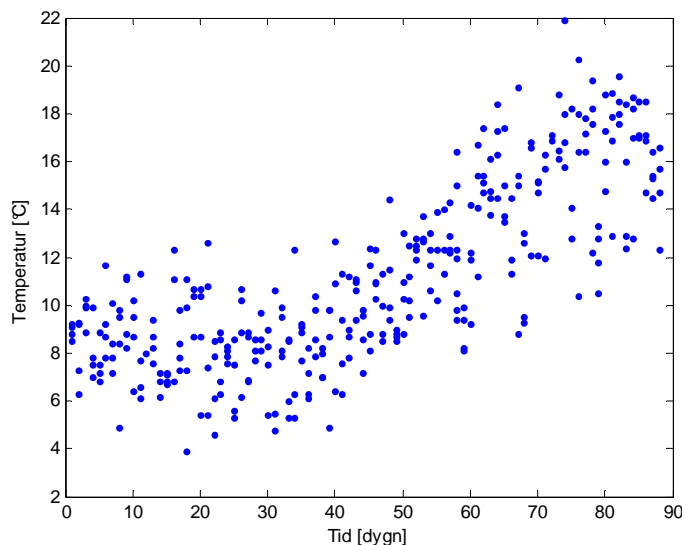


Diagram 6: Mätningar av kallvattentemperaturen för 88 dagar under mätperioden. [7]

Mellan två och fyra mätningar fanns för de dagar då mätning utförts. Månadsmedelvärden bildades för mätningarna och redovisas i **Tabell 2** som visar att kallvattentemperaturen endast varierar mellan cirka 8 och 16°C.

Värmemängden som åtgår för att värma tappvarmvattnet i byggnaderna ökar då uttemperaturen minskar p.g.a. större temperaturdifferens mellan levererat kallvatten och dess önskade temperatur för cirkulation i byggnaderna. En enkel kontroll har utförts genom att jämföra effektåtgången vid höjning till 55°C varmt tappvarmvatten från 8 respektive 16°C. Enligt **Ekvation 1** med konstant massflöde och värmekapacitet men olika temperaturdifferenser fås, genom att dividera P_8 med P_{16} , värdet 1.21.

$$P = m \cdot c_p \cdot \Delta T \quad \text{Ekvation 1}$$

$$\frac{P_8}{P_{16}} = \frac{(55 - 8)}{(55 - 16)} = 1.21$$

Alltså går det åt 21 % mer energi för att värma vattnet från 8°C än från 16°C. En normering har gjorts för alla åtta månader under mätperioden med augusti månad som referens. Detta har viktats in senare i arbetets metoder för att kompensera för den extra effekt som åtgår vid uppvärmning av tappvarmvatten under de kalla månaderna. Vikningskoefficienterna redovisas i **Tabell 2** och utfördes m.h.a. **Ekvation 1**.

Tabell 2: Medeltemperaturer och viktningskoefficienter av kallvattentemperaturen.

i	Medeltemperatur [°C]	P_i/P_{Augusti} [-]
Januari	8.61	1.20
Februari	8.20	1.21
Mars	7.90	1.21
April	8.75	1.19
Maj	11.25	1.13
Juni	13.54	1.07
Juli	14.85	1.03
Augusti	16.18	1

Diagram 6 uppvisar som synes en stor spridning i kallvattentemperatur för samma tidpunkt på året. Medelvärdet representerar ändå på ett mycket bra sätt hur kallvattentemperaturen inverkar på tappvarmvattenuppvärmningen.

5.4 Boendebeteende

Litteraturstudien i Appendix C nämns från många källor att de boendes beteende i byggnaderna har ett stort genomslag på användningen av fjärrvärme. Människor har olika beteenden och vanor som avspeglas i fjärrvärmeanvändningen för både uppvärmning och tappvarmvattenberedning. Det kan vara beteende som hur många personer är hemma, hur ofta och när de duschar, diskar och tvättar m.m. För en mindre byggnad med färre lägenheter har varje hushåll och inneboende större genomslag på effektuttagen varje timme än hos en stor byggnad med många lägenheter där en viss sammanlagring sker vilket jämnar ut effektuttagen under dygnet. Att noggrant bestämma de boendes beteende går inte, det kommer alltid att finnas inbakat i insamlad data. Analys av de boendes beteende omfattas inte av denna rapports mål och fördjupning i området lämnas därhän.

5.5 Egen värmeproduktion i byggnaden

Ett mönster som kan ses hos några byggnader är en viss andel av egen värmeproduktion, vilket kan bero på att en värmepump eller annan värmeproducerande apparat är installerad i byggnaden. Detta visar sig när fjärrvärmeeffekten håller sig lågt även vid kallare utetemperaturer och sedan far upp när egenproduktionen upphör, se **Diagram 7**. Ett problem är att veta om det är egenproduktion eller om byggnaden har ett mycket bra klimatskal, med låg bryttemperatur, och inte kräver mycket uppvärmningseffekt förrän det blir mycket kallt ute.

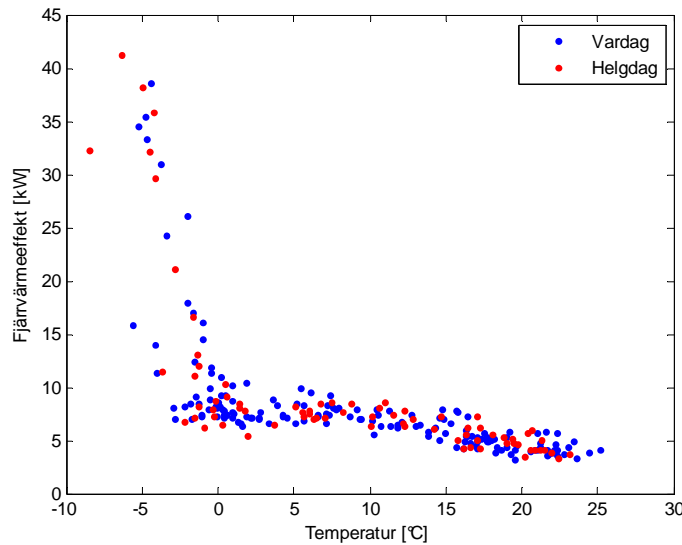


Diagram 7: Effektsignatur för en byggnad med egenproduktion under mätperioden.

5.6 Byggnadsfysik

Byggnader skiljer sig åt mycket både som nämnts tidigare med de boendes beteende men även på byggnadens klimatskal. Detta beror bl.a. på byggår, isolering, antal fönster, storlek och typ av fönster och byggmaterial. Beroende på dessa faktorer har byggnader olika förmåga att lagra värme i sitt skal. Den värmeeffekt som tillförs byggnaden kan beräknas med **Ekvation 2**. [1]

$$P = (k \cdot A + (1 - \eta) \cdot n \cdot \rho \cdot c \cdot V) \cdot (t_i - t_u) \quad \text{Ekvation 2}$$

P	= värmeeffekt	[W]
k	= värmegenomgångstal	[W/m ² ·K]
A	= area för ytterväggar	[m ²]
n	= luftomsättningstal	[ggr/h]
ρ	= luftens densitet	[kg/m ³]
c	= luftens värmekapacitet	[Wh/kg·K]
V	= innesluten luftvolym	[m ³]
η	= verkningsgrad hos ev. VVX för värmeåtervinning	[-]
t_i	= önskad innetemperatur	[K]
t_u	= aktuell utetemperatur	[K]

Egentligen borde det istället för t_i stå temperaturen vid brytpunkten i ekvationen då byggnader ytterst sällan behöver tillföras värmeeffekt när temperaturen ute är 3-4°C lägre än önskad innetemperatur. Detta på grund av den i byggnaden ackumulerad värmen som behålls med hjälp av byggnadens isolering samt de i byggnaden värmegenereande aktiviteter som pågår, t.ex. elektriska maskiner. Ekvationen ovan gäller dessutom endast då inga störande faktorer som t.ex. sol och vind finns. Solen kan värma byggnaden, och dåligt isolerade fönster kan bidra till ofrivillig ventilation då det blåser ute. Vin-

den kan också ha en kylande effekt, vid kraftig blåst minskas husets yttre värmeövergångsmotstånd vid en vägg. Detta värmeövergångsmotstånd är dock relativt litet i förhållande till isoleringen av svenska hus. Det totala värmemotståndet M i väggen dämpar värmetransmissionen igenom densamma och består av inre och yttre värmeövergångsmotstånd samt ett isoleringsmotstånd. M beräknas med **Ekvation 3**. [1]

$$M = \frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_y} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}] \quad \text{Ekvation 3}$$

k	= värmegenomgångstal	$[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$
δ	= vägg tjocklek	$[\text{m}]$
α	= inre värmeövergångstal	$[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$
λ	= väggens värmekonduktivitet	$[\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}]$
α	= yttre värmeövergångstal	$[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$

Beroende på byggnadens isolering kan värme behållas i huset olika länge. Isoleringen ger också upphov till fördröjning i regleringen av hur mycket värme som behövs tillföras byggnaden. Denna fördröjning kallas responstid och kan beräknas med hjälp av byggnadens tidskonstant. Tidskonstanten ger ett mått på hur lång tid det tar för byggnadens innetemperatur att svara på en förändring hos utetemperatur. Konstanten beräknas enligt **Ekvation 4**. [8]

$$\tau_0 = \frac{C \cdot m}{U \cdot A + P_L - P_V} \cdot \frac{1}{3600} \quad [\text{h}] \quad \text{Ekvation 4}$$

C	= byggnadens totala värmekapacitet	$[\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}]$
m	= byggnadens totala massa	$[\text{kg}]$
U	= byggnadens totala värmegenomgångstal	$[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$
A	= byggnadens totala ytterarea	$[\text{m}^2]$
P_L	= effektbehov för ventilation	$[\text{W}]$
P_V	= effektbehov för uppvärmning	$[\text{W}]$

Rumsluftens förändring av temperatur från den initiala temperaturen till utetemperatur kan beskrivas med **Ekvation 5** där man sedan löser ut t och får **Ekvation 6**, där ΔT är det temperaturfall inomhus för vilket man vill räkna ut responstiden t . [8]

$$\frac{T_{rum}(t) - T_{ute}}{T_{rum,0} - T_{ute}} = e^{-\frac{t}{\tau_0}} \quad \text{Ekvation 5}$$

$$t = -\tau_0 \cdot \ln\left(\frac{(T_{rum,0} - \Delta T) - T_{ute}}{T_{rum,0} - T_{ute}}\right) \quad [\text{h}] \quad \text{Ekvation 6}$$

Betonghus med tjocka väggar kan ha tidskonstanter på upp till 200 h och ett vanligt litet trähus har vanligen mellan 20-40 timmars tidskonstant. Vid $T_{ute} = 5^\circ\text{C}$, $T_{rum,0} = 22^\circ\text{C}$ och $\Delta T = 3^\circ\text{C}$ blir responstiden för betonghuset cirka 39 timmar och för trähuset cirka 8 timmar. Detta är alltså tiden det tar för inomhustemperaturen att sjunka 3°C om värmeförseln upphör. Då det skulle innebära ett alltför omfattande och inte särskilt givande

arbete att ta reda på alla storheter som behövs för varje byggnad valdes ett betydligt enklare sätt att hantera responstiden. För att undersöka och eventuellt försöka finna denna har två diagram gjorts med utetemperatur och fjärrvärmeeffekten under ett antal timmar respektive dygn för en godtycklig byggnad, se exempel på detta i **Diagram 8** och **Diagram 9**. Om responstiden inte var noll skulle en förskjutning av effektkurvan erhållas och det skulle bli nödvändigt att justera för detta i det fortsatta arbetet.

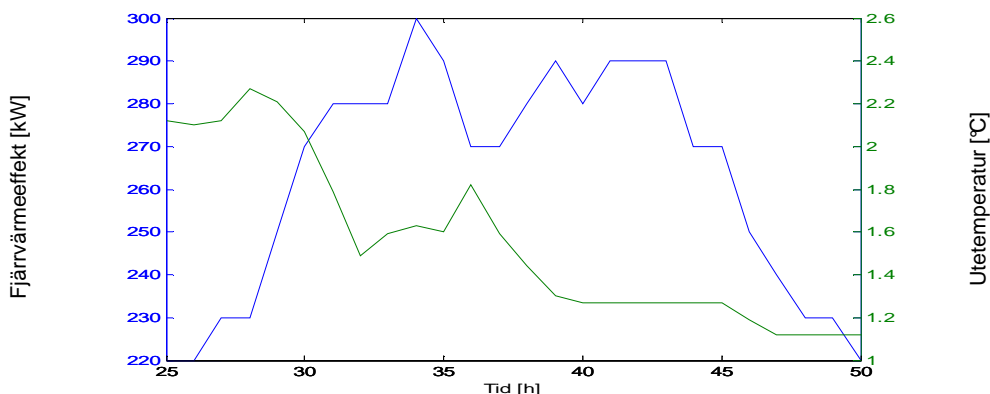


Diagram 8: Fjärrvärmeeffekten och utetemperaturen under 26 timmar hos en byggnad.

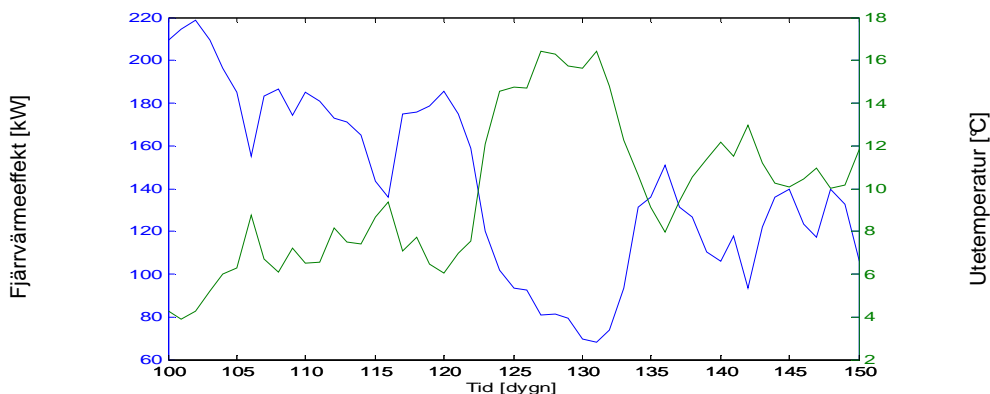
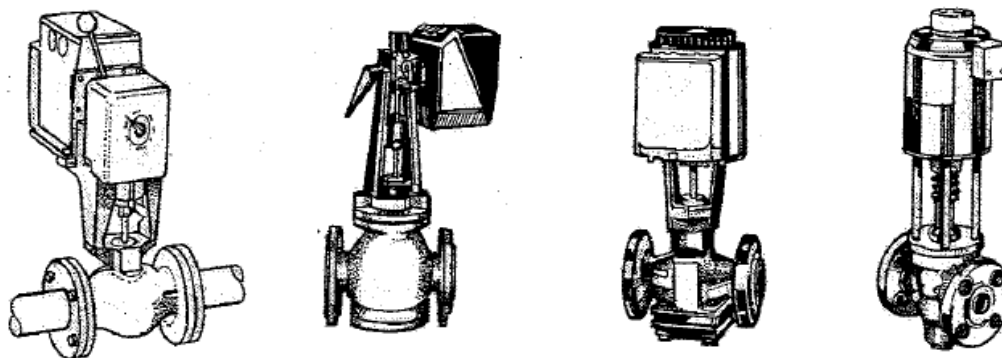


Diagram 9: Fjärrvärmeeffekten och utetemperaturen under 51 dygn hos en byggnad.

Den slutsats som kan dras ur just dessa två diagram är att det är i princip omöjligt att visuellt upptäcka responstiden vid undersökning av timvärden, men när dygnsvärden undersöks verkar effektlinjen vara en nästan direkt spegelbild av utetemperaturens linje, och responstiden på dygnsbasis är här alltså noll. Ytterligare exempel finns i Appendix A. Exempelen är slumpvis utvalda och samtliga visar upp en responstid på noll dygn.

5.7 Styrventilen och värmeväxlaren

I kundcentralen sitter styrventiler som har till uppgift att reglera rätt varmvattenflöde in i uppvärmnings- och tappvarmvattenkretsarna i byggnaderna. Det förekommer ett antal olika utföranden och tillverkare av styrventiler varav några visas i **Figur 3**.



Figur 3: Fyra exempel på styrventiler. [9]

Förr var styrventilerna reglerade mekaniskt, och mekaniska fel var det vanligaste förekommande. För cirka tio år sedan dök elektroniskt reglerade don upp och ersatte de gamla vid byte av styrventil i kundcentralerna, och idag används i princip endast elektroniska styrventiler med viss nackdel, då de är känsliga för strömspikar i elnätet. Annars utsätts styrventilerna sällan för avbrott med undantag då t.ex. rörsystemet i byggnaden inte blivit urspolat efter installation eller underhåll och någon svetsloppa kommer och sätter sig i ventilen. Uppstår ett fel i styrventilen kan delar bytas ut i de flesta fall, men vissa fabriker kräver att hela anordningen byts ut. [9]

Styrventilernas öppningsgrad kan vara en anledning till att många byggnader har lägre effektuttag än förväntat vid lägre utetemperaturer, vilket gör att effektkurvans lutning minskar i detta låga temperaturintervall. En typisk byggnad med detta beteende visas i **Diagram 10**.

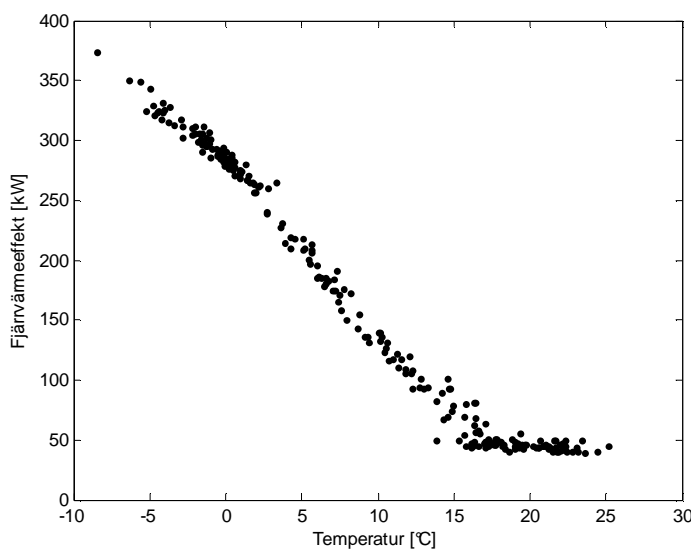


Diagram 10: Effektsignatur med minskad lutning vid lägre utetemperatur samt hysteres.

Detta kan vara en effekt av att produktionsanläggningarna inte kan leverera tillräckligt med fjärrvärme till kunderna samtidigt som efterfrågan på tappvarmvatten och uppvärmningseffekt är stor. Vid sådana tillfällen står styrventilerna fullt öppna hos både producenterna och kunderna, vilket ger ett lägre flöde p.g.a. minskat differensstryck över fjärrvärmenätet, och alla kunder får inte den energimängd de önskar använda. Detta ger

ett mönster i effektsignaturen som visar en avvikelse från det linjära sambandet som ofta förekommer mellan 0 till 12°C. Samtidigt är kanske påverkan liten hos kunderna eftersom temperaturskillnaden mellan ute- och innetemperaturen fortfarande är relativt stor. Därför upplevs inomhusklimatet fortfarande som varmt och någon notis tas inte. [9]

Ett annat fenomen som beror på öppningsgraden hos styrventilen är hystereser. Dessa uppstår ofta hos byggnaderna precis när utetemperaturen sjunker förbi brytpunkten där uppvärmning startar. Denna visar sig genom stora skillnader i effektuttag under uppstartningsfasen av uppvärmningen, vilket även kan ses i **Diagram 10** ovan. Detta kan bero på att styrventilen endast öppnas lite för att ge ett lågt flöde, men flödet som uppstår blir för högt och byggnaden värms upp för mycket. Som lösning stängs ventilen senare av helt och ger istället inget effektuttag alls för uppvärmning. På grund av detta fenomen uppstår svängningar i effektuttagen ända tills styrventilen kommit över gränsen där flödet följer öppningsgraden mer linjärt. [9]

Utöver styrventilens arbetsförmåga kan även försmutsning och beläggning på värmeväxlarytorna påverka mängden överförd värme till byggnadernas sekundärsida. Detta uppstår ofta p.g.a. underhållsarbete på distributionsnätet. Filter som ska ta hand om eventuella partiklar finns vid fjärrvärmens inlopp till kundcentralen, men slitage och ålder hos filtren kan påverka filtrets kvalitet. En annan påverkande faktor är vattnets hårdhet och kalkinnehåll, som kan ge beläggningar i värmeväxlaren och försämra dess verkningsgrad. [9]

6 Brytpunkten

Brytpunkten ger information om byggnadens klimatskal. Ett vanligt sätt att ta fram den är att plotta sina mätdata och dra en rät linje som motsvarar sommaranvändningen och en rät linje för övriga året. Vid den temperatur där linjerna skär varandra återfinns brytpunkten. [10]

För att kunna göra detta utan att behöva plotta 3700 bostäders effektkurvor har tre olika lösningar med varierande resultat och ökande svårighetsgrad testats. De bygger på linjär regression, multipel regression och slutligen genom en stegmetod från 20°C. Att y-axeln är dimensionslös beror på att det lättare ger en uppfattning om spridningen i y- och x-led är stor eller liten. Det underlättar även i den tredje testade metoden. Anledningen till att flera metoder presenteras är att ingen metod gett ett resultat som författarna anser sig nöjda med till 100 %.

Helg- och vardagsbeteende

Det första som görs är kontroll av eventuellt helg- och vardagsberoende beteende, eftersom byggnader med sådant beteende behöver en modifierad arbetsgång i brytpunktsmetoderna. Detta görs genom att först använda den tidigare skapade vektorn med information om vilka dagar som är helg- eller vardag för att upptäcka helgdagar mitt i veckan. Dessa utesluts i beräkningarna eftersom de i byggnader med nattsänkning kan ge missvisande resultat i metoderna. Sedan görs fyra linjära regressioner av effektuttaget på helg- och vardagar, nämligen två mellan den lägsta uppmätta utetemperaturen och 2°C och två mellan 2-12°C. Anledningen till uppdelning i två temperaturintervall under brytpunkten är att flera byggnaders effektsignaturer inte uppvisar tydligt linjärt beteende för mätpunkter under brytpunkten. Därefter kontrolleras hur andelen av vardagsmätpunkterna som ligger över helgens regressionslinjer och vice versa. Helg- och vardagskurvan tenderar att gå samman till en gemensam kurva runt 12-13°C, så för att detta inte skall påverka resultatet kontrolleras endast punkterna under 10°C. Om mer än 96 % av mätpunkterna mellan lägsta dygnsmedeltemperaturen och 10°C för helgdagar ligger under vardagslinjerna och 96 % av punkterna för vardagar ligger över helglinjerna antas ett helg- och vardagsberoende beteende. Exempel på en byggnad med helg- och vardagsbeteende visas i **Diagram 11** nedan.

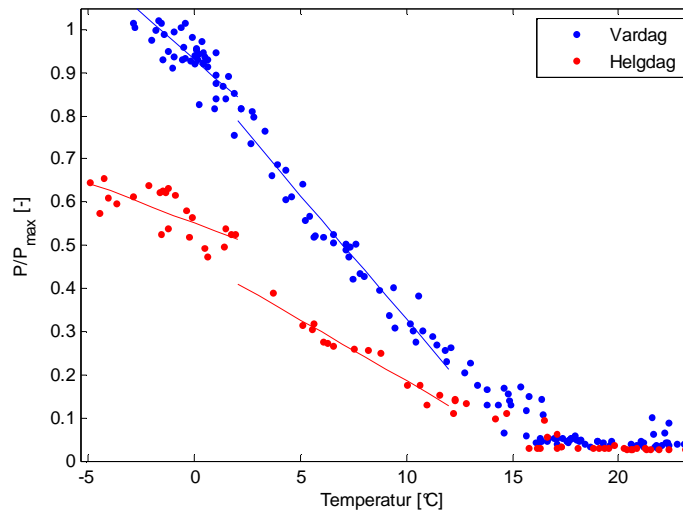


Diagram 11: Exempel på effektsignatur för en byggnad med helg- och vardagsberoende beteende och dess fyra regressionslinjer.

Nedan följer beskrivande text av beräkningsgång och resultat för tre metoder för beräkning av brytpunkten. Om ett helg- och vardagsbeteende upptäcks hos en byggnad används endast vardagspunkterna i beräkningarna av brytpunkten. Om inget annat anges så används dygnsmedelvärde i beräkningarna.

6.1 Metod 1, linjär regression

Denna metod bygger på två enkla antaganden:

- Effektsigaturen har ett linjärt beteende ($y=a \cdot x+b$) före brytpunkten
- Brytpunkten ligger någonstans mellan 12-20°C

För att undkomma störningar som kan uppstå under noll grader görs en linjär regression för alla mätpunkter mellan 0-12°C. Hos mätvärden över 20°C tas medianvärdet av effekten och detta får representera effektuttaget sommartid, vilket i rapporten benämns som medianlinjen. Att medianvärdet väljs istället för medelvärdet beror på att flera byggnader har punkter som kraftigt avviker från övriga och detta kan påverka medelvärdet på ett icke önskvärt sätt. Som första brytpunkt, $btemp_1$ väljs sedan den utetemperatur där regressionslinjen skär medianlinjen. För att beräkna en noggrannare brytpunkt görs sedan ännu en linjär regression, denna gång på alla punkter från $(btemp_1 - 10)^\circ\text{C}$ till $btemp_1^\circ\text{C}$, och $btemp_2$ beräknas på samma sätt som $btemp_1$. Detta görs eftersom det första antagandet inte är riktigt sant, i princip alla byggnader uppvisar ett mer eller mindre olinjärt beteende före brytpunkten. Ett exempel på hur detta kan se ut samt förklaring av metoden visas i **Diagram 12** nedan. Där visas hur ett linjärt beteende kan antas i det tiogradarsintervall strax under $btemp_1$.

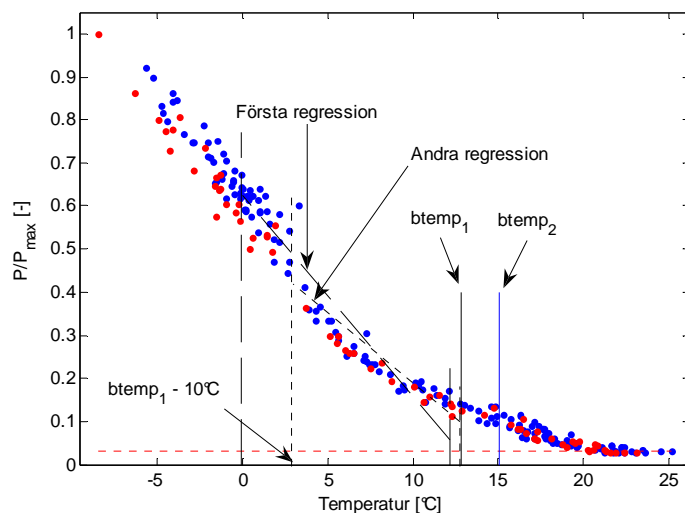


Diagram 12: Förklaring av brytpunktsmetod 1..

Efter att ha använt metoden på alla byggnaderna i urvalet har resultatens fördelning kunnat redovisas på histogramform, se **Diagram 13** nedan. Brytpunktens fördelning antar en form som liknar en normalfördelning runt 16-17°C, med undantag för de fyra byggnader som får brytpunkten runt 0°C. Beräkningskoden kan inte bestämma deras $btemp_1$ och därmed får de värdet noll för att i efterhand kunna se antalet byggnader vars $btemp_1$ inte kunde bestämmas. En visuell kontroll av de övriga 362 byggnaderna visade att flertalet av deras beräknade brytpunkter låg bra, medan de fyra obestämda byggnaderna inte hade någon utmärkande brytpunkt.

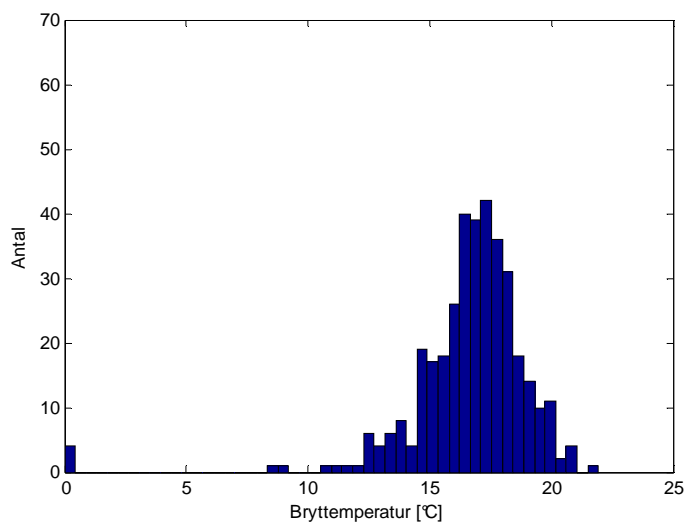


Diagram 13: Histogram över brytpunkter framtagna med linjär regression.

Vad författarna anser vara bra och dåligt visas i **Diagram 14**. Den streckade röda linjen visar medianlinjen, den svarta och den blå vågräta linjen visar brytpunkten framtagen efter första respektive andra regressionen. Den blå linjen med lutning är en linjär regres-

sion på alla punkter till vänster om den andra brytpunkten. Denna borde rimligen skära medianlinjen i närheten av den blåa brytpunkten om denna är bra. Diagrammet till höger får inget bra resultat med metoden eftersom den vid lägre utetemperaturer avviker kraftigt från det förväntade linjära beteendet, vilket inte det vänstra diagrammet gör.

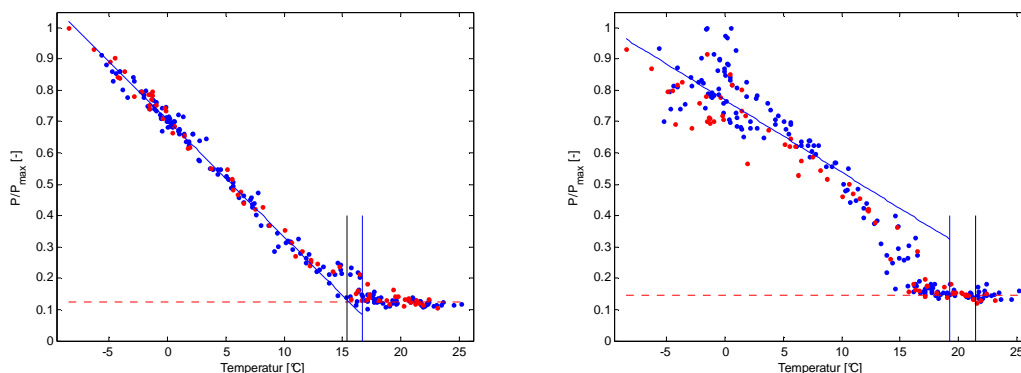


Diagram 14: Till vänster, en byggnad där metoden anses fungera bra. Till höger, en byggnad där metoden fungerar mindre bra.

Figuren till höger visar också att för vissa byggnader är en linjär regression inte representativ alls, varför nästa metod testats.

6.2 Metod 2, multipel regression

Denna metod bygger på två enkla antaganden:

- Brytpunkten bör ligga där effektsignaturens lutning accelererar mest
- Brytpunkten ligger någonstans mellan 5-20°C

Logiskt borde brytpunkten ligga där kurvan ändrar sin lutning maximalt, ofta i närheten av 16-17°C. Med detta som utgångspunkt konstruerades ett sjättegradspolynom för att beskriva effektsignaturen. Detta polynom deriveras sedan två gånger, vilket ger effektsignaturens acceleration i polynomform. Den utetemperatur mellan 5-20°C vid vilken kurvan når sitt max sätts sedan till brytpunkten. Att anta 5-20°C görs för att ha god marginal.

Brytpunkten redovisas för de 366 byggnaderna i **Diagram 15**. Spridningen är här mycket större än för den första metoden. Detta beror bl.a. på att flera kurvor har sin största acceleration utanför vårt valda temperaturintervall, eftersom de vid maxtemperaturen sticker i princip rakt ner eller rakt upp. I dessa fall väljer metoden 20°C som brytpunkt vilket är en svaghet. En annan svaghet är att sjättegradspolynomet följer effektsignaturen så pass bra att den lätt påverkas av avvikelser hos mätpunkterna, vilket gör att accelerationens max ofta inte inträffar vid den punkt där ögat säger att brytpunkten ligger. T.ex. för byggnaden vars effektsignatur visas i **Diagram 12** ger denna metod en bryttemperatur på 8.2°C medan den första metoden ger 15.0°C.

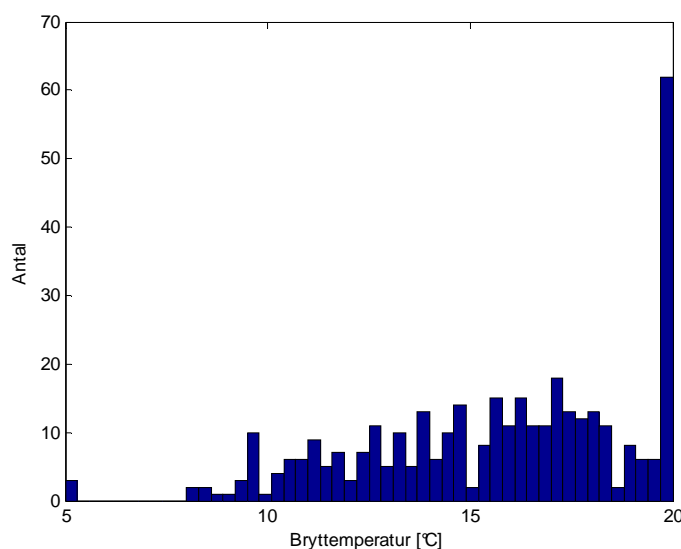


Diagram 15: Histogram över brytpunkter framtagna med multipel regression.

6.3 Metod 3, stega från 20°C

Den sista testade metoden utgår från det enda som i princip säkert går att säga om en byggnad, att brytpunkten inte ligger över 20°C. Enligt tidigare resonemang får medianlinjen representera sommaranvändningen. Sedan görs kontroller nedåt i utetemperaturskalan i steg om 0.5°C där medelvärdet av tillförd effekt beräknas i intervallet $t \pm 0.5^\circ\text{C}$. Denna medeffekt får representera tillförd effekt vid temperaturen t . Sedan sätts brytpunkten vid den utetemperatur där den tillförda effekten är en faktor k större än medianlinjen. Fördelen med denna metod är att den utgår från ett antagande som stämmer mycket väl överens med verkligheten, nämligen att brytpunkten inte ligger över 20°C. Nackdelen är att olika byggnader har extremt individuell energianvändning, se exempel på detta i **Diagram 16**. Hur mycket andelen uppvärmningsenergi för tappvarmvatten varierar påverkar i stor utsträckning mätpunkternas spridning i effektsignaturen, och medianlinjens effektvärde kan variera mycket byggnader emellan. Medianlinjens effektvärde går att kompensera för genom att anpassa faktorn k , men det medför ännu en nackdel. För medianlinjer med lågt effektvärde måste k väljas i storleksordningen 1.2-1.4. För medianlinjer med högre effektvärde måste k minskas för att inte den beräknade brytpunkten skall bli alldeles för låg. Metoden blir väldigt känslig för högre medianlinjer, och den beräknade brytpunkten blir för hög jämfört med den som ögat ser p.g.a. att avvikande mätpunkter ofta förekommer.

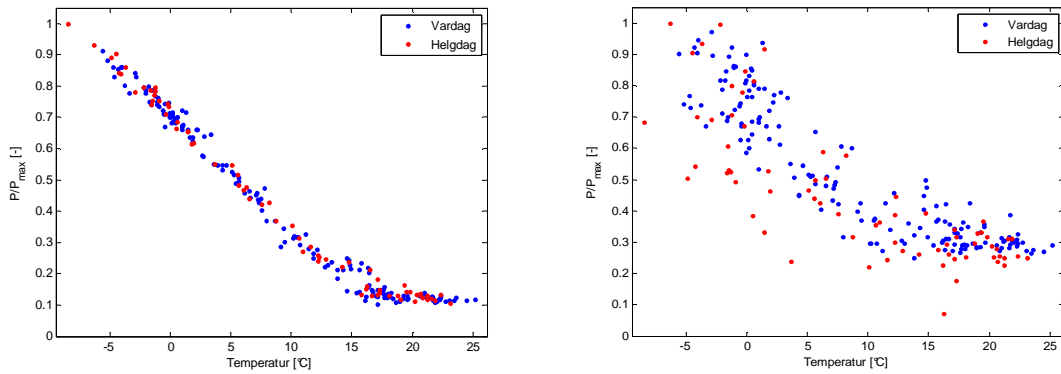
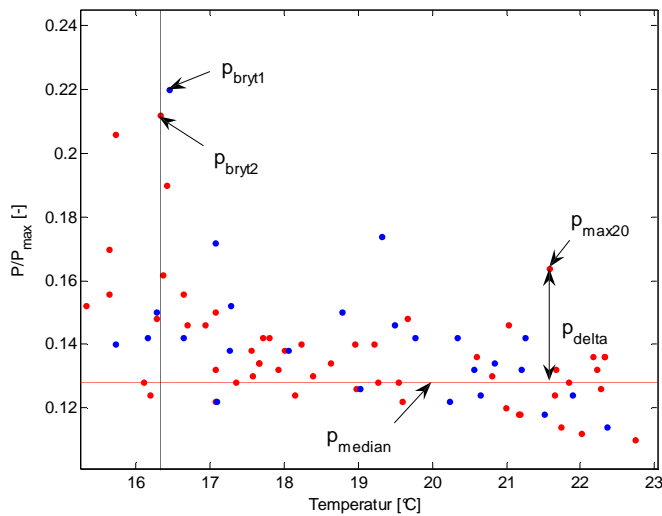


Diagram 16: Exempel på effektsignaturer med liten och stor spridning, samt låg och hög sommaranvändning.

För att försöka undkomma de nyss beskrivna problemen testades istället en metod som går nedåt från 20°C och undersöker mätpunkt för mätpunkt. Istället för att jämföra mätpunkternas förhållande till medianlinjen jämförs nu skillnaden mellan punkten p och ett visst värde. Detta värde sätts lika med den största effekten som är uppmätt över 20°C, $p_{\max20}$, adderat med skillnaden mellan denna effekt och medianlinjen, p_{delta} . När detta värde ($p_{\max20} + p_{\text{delta}}$) överträffas för andra gången antas brytpunkten funnen. Allt detta går att beskåda förstorat i **Figur 4**.



Figur 4: Förstoring av området kring brytpunkten för en byggnad.

Genom att låta värdet överträffas två gånger undviks alltför stort inflytande av avvikande mätpunkter. Additionen av p_{delta} och $p_{\max20}$ görs för att ta hänsyn till att spridningen är mycket olika för olika byggnader. En visuell kontroll bekräftar att denna metod ger hyfsat resultat, och hur brytpunkten fördelas redovisas till vänster i **Diagram 17**.

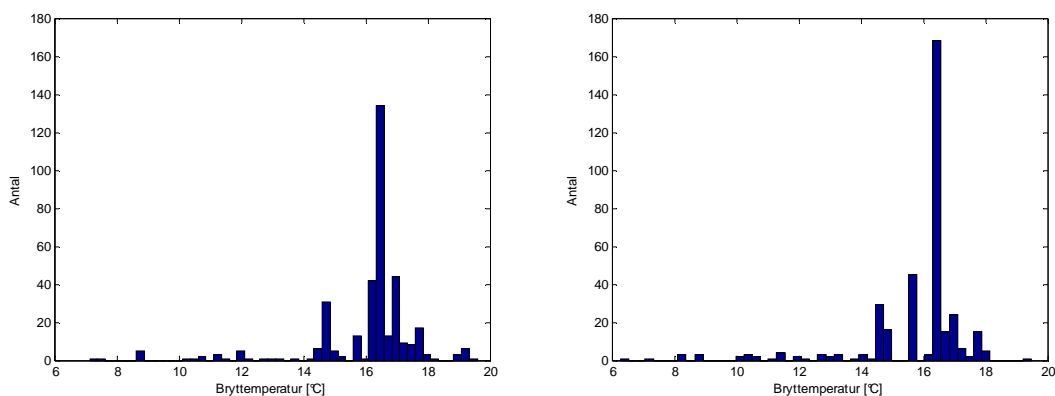


Diagram 17: Histogram över brytpunkter framtagna med stegmetoden.

Resultat liknar det från metod 1 i det avseendet att de flesta brytpunkterna hamnar kring 16-17°C. Som synes hamnar dock ett flertal brytpunkter relativt lågt. Dessa tillhör kurvor som ”smyger” igång uppvärmningen, utan riktigt tydlig brytpunkt. Till höger i **Diagram 17** visas hur brytpunkten fördelas om man låter $p_{\text{delta}} + p_{\text{max20}}$ överträffas tre gånger istället för två. Resultat blir som synes mycket likt resultatet till vänster.

Fördelen med stegmetoden är att byggnader med låg brytpunkt fångas upp på ett relativt bra sätt. Om sedan byggnaden har ett bra klimatskal eller egenproduktion av värme går inte att säga. Det är mycket svårt att hitta ett generellt villkor för när brytpunkten är funnen och därför är inte denna metod tillämpbar på alla byggnader. Ett alternativ kan vara att dela in byggnaderna i kategorier efter vilket villkor som passar byggnaden bäst. Detta är ett tidsödande arbete som inte ligger inom ramarna för denna rapport, som försöker hålla en så generell nivå som möjligt.

6.4 Kontroll av brytpunkten

För att på något sätt kunna bekräfta att den beräknade brytpunkten är rimlig behöver en kontroll av något slag utföras. Problemet är att brytpunkten ofta stämmer bäst överens hos de byggnader som uppvisar ett linjärt beteende under densamma, medan övriga som uppvisar ett mycket individuellt beteende är svårare att hitta en gemensam kontroll för.

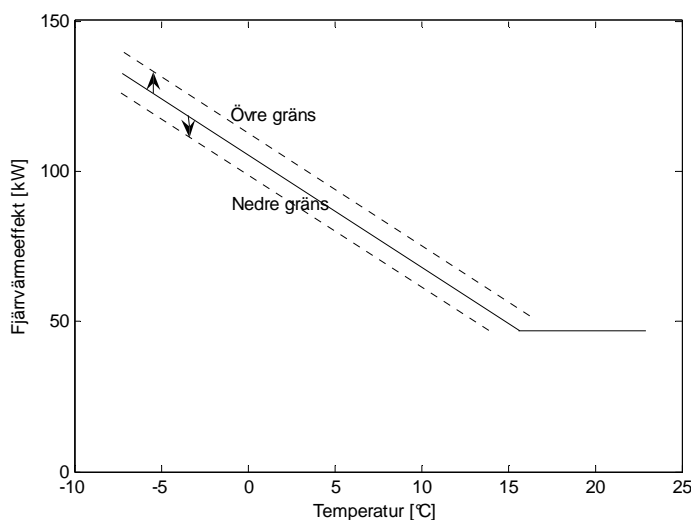
Efter utförda test har speciellt brytpunktsmetod 1 och 2 visat sig lämpliga, men den tredje metoden anses för känslig för störningar i mätpunkterna. Därför kontrolleras brytpunkterna framtagna med dessa metoder. Det enklaste sättet är helt enkelt att jämföra svaren från de tre testade metoderna och se hur pass väl de stämmer överens. Om det bara skiljer ett par grader upp eller ner borde det kunna vara ganska säkert att brytpunkten är funnen. Om brytpunkten skiljer sig mycket åt för de olika metoderna rekommenderas att lita på de två resultaten som ligger närmast varandra. Om det inte går att dra någon slutsats alls får brytpunkten tas fram genom visuell kontroll och bedömning.

I **Tabell 3** redovisas hur många byggnader som har temperaturskillnader inom $\pm 1^\circ\text{C}$, $\pm 2^\circ\text{C}$, $\pm 3^\circ\text{C}$ respektive utanför $\pm 3^\circ\text{C}$.

Tabell 3: Skillnaden mellan bryttemperaturerna från brytpunktsmetod 1 och 2.

Temperaturskillnad:	$\pm 1^\circ\text{C}$	$\pm 2^\circ\text{C}$	$\pm 3^\circ\text{C}$	$< -3^\circ\text{C}$ och $> 3^\circ\text{C}$
Antal byggnader:	156	238	295	74

Detta visar att det oftast endast skiljer cirka $\pm 1-3^\circ\text{C}$ mellan resultaten från de två första brytpunktsmetoderna. För att försöka få en bättre bild av hur bra bryttemperaturerna är testas en annan kontroll. Genom att ansätta det linjära sambandet angivet i rapportens mål kontrolleras hur väl punkterna ligger intill den lutande linjen. Detta utförs genom linjär regression på de dygnsmedelpunkterna med utetemperaturer lägre än byggnadens bryttemperatur. Därefter läggs en övre och en undre gräns på hur mycket punkterna får skilja från regressionslinjen m.h.a. en viss procent av byggnadens maximala fjärrvärmeeffekt, se **Figur 5**. Dessa gränser tillåts variera mellan 5 och 20 %. Därefter räknas andelen punkter som ligger innanför gränserna.



Figur 5: Gränsintervall inom vilka andelen punkter räknas.

Hur många byggnader som har en viss andel av sina punkter inom respektive intervall kring regressionslinjen redovisas i **Tabell 4** och **Tabell 5** nedan.

Tabell 4: Resultat av brytpunktskontrollen för Metod 1.

Andel punkter [%]	Intervall kring regressionslinjen [% av maxeffekt]			
	± 5 %	± 10 %	± 15 %	± 20 %
0-10	0	0	0	0
10-20	0	0	0	0
20-30	2	0	0	0
30-40	5	0	0	0
40-50	14	0	0	0
50-60	17	4	0	0
60-70	41	1	2	0
70-80	100	9	1	2
80-90	98	22	5	2
90-100	72	313	341	345

Tabell 5: Resultat av brytpunktskontrollen för Metod 2.

Andel punkter [%]	Intervall kring regressionslinjen [% av maxeffekt]			
	± 5 %	± 10 %	± 15 %	± 20 %
0-10	0	0	0	0
10-20	0	0	0	0
20-30	4	0	0	0
30-40	7	0	0	0
40-50	14	1	0	0
50-60	12	2	1	0
60-70	39	2	1	1
70-80	94	14	0	0
80-90	111	24	8	2
90-100	68	306	339	346

Skillnaden mellan resultaten från de båda brytpunktsmetoderna är ringa. Det är förvånansvärt många byggnader som har mer än 70 % av sina dygnsmedelpunkter redan inom intervallet ± 5 %. Detta får anses som bra med tanke på att dygnsmedelvärden har använts, vilkas värden på fjärrvärmeeffekten oftast ligger med större spridning. Medelvärdesbildade punkter med längre tidsintervall såsom veckor och månader har sina punkter mer samlade, se **Diagram 2** i kapitel 4.3. Samma kontroll som beskriven ovan har även utförts på vecko- och månadsmedelvärden, och dessa resultat redovisas i Appendix B.

Med brytpunkten beräknad går nu att redovisa lutningen på regressionslinjen hos varje byggnad. Lutningen ger ett mått på effektbehovet/grad. För att det skall vara jämförbart byggnader sinsemellan behövs även den uppvärmda arean, lutningen anger då effektbehov/grad och kvadratmeter.

7 Tappvarmvatten

Att utöver total fjärrvärmeenergi även mäta uppvärmningsenergin för tappvarmvatten innebär en stor extrakostnad p.g.a. att det kräver mer fjärravläsning av data, mer utrustning och arbete samt utrymme för datalagring. Därför mäts idag endast den totala uppvärmningsenergin, men mätning av tappvarmvattenenergin kan kanske vara en möjlig tjänst som kunderna kan beställa och betala för i framtiden om de önskar få en riktigt noggrann bild av energianvändningen i sina byggnader. Att avskilja tappvarmvattenenergin från den insamlade totala fjärrvärmeenergin är mycket svårt, då den till största del beror på de boendes varmvattenvanor. Detta finns beskrivet i kapitel 5.4. Det finns även skillnader beroende på vilken typ av verksamhet som råder i byggnaderna såsom kontor och flerbostadshus, men även typen av uppvärmningssystem t.ex. radiator- och varmluftssystem.

7.1 Metod 1, kallvattnets inverkan

Här görs samma ansats som i föregående kapitel, nämligen att medianvärdet för effekterna över 20°C antas vara fjärrvärmeeffekt för endast tappvarmvatten eftersom det vid sådana utetemperaturer inte åtgår någon effekt för lokaluppvärmning. Då denna metod använder sig av månadsmedelvärden sätts medianlinjen till medeleffekten under juli månad eftersom detta är den månad med högst medeltemperatur utomhus. I **Diagram 18** visar den röda streckade linjen just denna medianlinje, och allt under den anger effekten för uppvärmning av tappvarmvatten. De svarta punkterna visar alla åtta månadsmedelvärden för byggnaden, och den heldragna röda linjen visar effekten för tappvarmvatten viktat med hänsyn tagen till variationen hos kallvattentemperaturen in i byggnaden. Denna viktning använder sig av de viktningkoefficienter som är framtagna i **Tabell 2**.

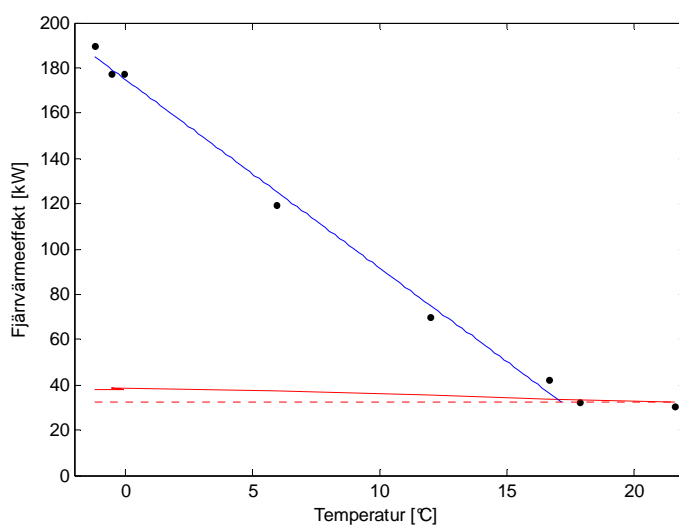


Diagram 18: Exempel på hur total fjärrvärmeeffekt och effekt för tappvarmvatten förhåller sig.

När utetemperaturen sjunker ökar andelen fjärrvärmeeffekt till uppvärmning av tappvarmvatten. Som mest är andelen cirka 20 % större än under sommarmånaderna. Detta p.g.a. att kallvattentemperaturen är lägre under de kallare månaderna. I de röda linjerna ingår även effekt för VVC.

Denna metod visar endast hur medianlinjen borde ändras när kallvattentemperaturen ändras. Förutsatt att vattenanvändningen är konstant under året ger detta en rättvis bild av verkligheten. Enligt både [1] och [5] är dock så inte fallet utan vattenanvändningen ökar under årets kallare månader. Vad den här metoden visar är alltså mediananvändningen av tappvarmvatten under sommaren, och en något lägre beräknad användning än den verkliga under den kallare delen av året.

7.2 Metod 2, undersökning av timvärden

Ett rimligt antagande som har använts tidigare i forskningsarbete, men som ändå är en förenkling, är att lokaluppvärmningen är konstant över dygnet. Genom att identifiera hur stor uppvärmningen är kan tappvarmvatteneffekten sedan avskiljas. [11] Författarna har valt att inte ta med de byggnader där tydligt helg- och vardagsbeteende tidigare har upptäckts, vilket rör sig om 19 byggnader. Även dygnen med en medeltemperatur högre än den erhållen från den första brytpunktsmetoden med linjär regression, har filtrerats bort eftersom dessa punkter redan är representerade i medianlinjen.

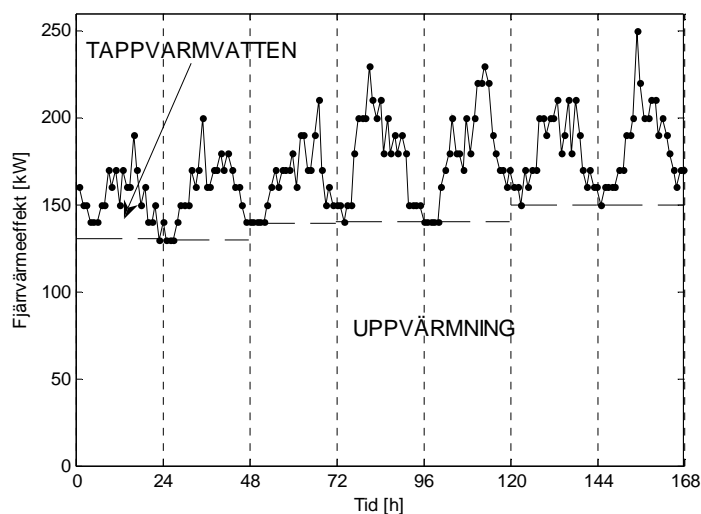


Diagram 19: Total fjärrvärmeeffekt under en vecka för en byggnad.

Här i arbetets andra tappvarmvattenmetod har dygnens allra lägsta respektive ett genomsnitt på dygnens tio lägsta effektuttag beräknats, vilka antas representera uppvärmningseffekten. Därefter får dygnens timvärden, som är högre än den antagna uppvärmningseffekten, medelvärdesbildas och representera effekten för tappvarmvatten och VVC. **Diagram 19** åskådliggör denna princip, där arean mellan dygnens uppvärmningseffekt och total fjärrvärmeeffekt visar effekten för tappvarmvatten. För att kontrollera om beräkningen är god beräknas även hur många procent av dygnens effektuttag för tappvarmvatten och VVC som ligger under den tidigare antagna medianlinjen. I **Tabell 6** nedan visas resultatet där kolumn A anger andelen punkter under medianlinjen och ko-

lumn B antalet byggnader inom respektive andels intervall. Kolumn C visar antalet inom respektive andels intervall med antagandet att uppvärmningseffekten representeras av dygnens allra lägsta uttag.

Tabell 6: Resultat av byggnadernas tappvarmvattenspridning.

A [%]	B [antal]	C [antal]
0-30	57	141
30-70	75	102
70-100	217	106

Det kan ses i **Tabell 6** att antagandet med dygnens lägsta effektuttag satta till uppvärmningseffekten har ett större antal byggnader med 70 % eller lägre andel punkter under medianlinjen. Detta anses bättre eftersom punkterna då antingen är mer jämnt fördelade kring medianlinjen eller fördelade med ett flertal över densamma. Att fler punkter ligger över medianlinjen styrks av teorin om kallvattnets inverkan på energianvändningen för tappvarmvatten och VVC då det är kallare utetemperatur. **Diagram 20** visar resultatet för de två antagandena för en byggnad. De svarta och röda punkterna visar tappvarmvatteneffekten med antagandet att dygnens lägsta effektuttag respektive antagandet att medelvärdet på dygnens tio lägsta uttag representerar uppvärmningseffekten.

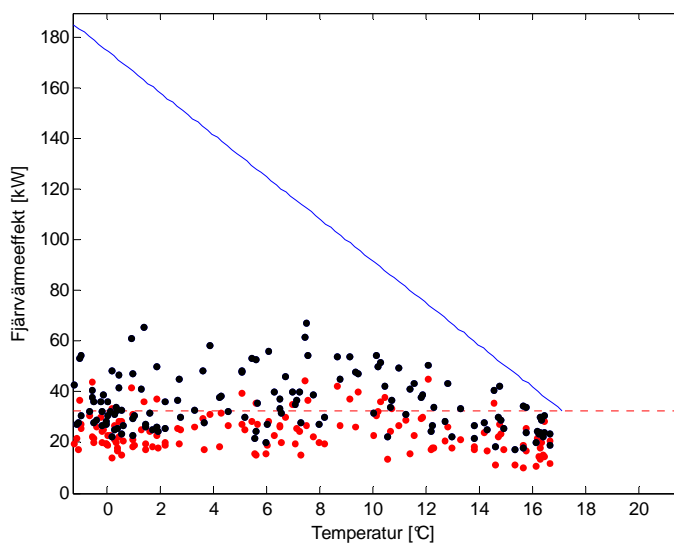


Diagram 20: Effekten för tappvarmvatten, både med medelvärdesbildning och dygnens lägsta uttag, hos en byggnad.

Samtidigt ger metoden ett stort fel för byggnader med luftburen värme och/eller med stor nattsänkning på vardagar och helgdagar. Dessa kan få värden på tappvarmvatteneffekten som är nästan lika stor som dygnsmedeleffekten, se **Diagram 21** nedan. Då har egentligen inte bara tappvarmvatteneffekten beräknats, utan nattsänkningen ingår också. Skillnaden i effektuttag mellan dag och natt tenderar också att bli större ju kallare det är ute vilket får genomslag i metoden, och ger en större andel energianvändning till uppvärmning av tappvarmvatten.

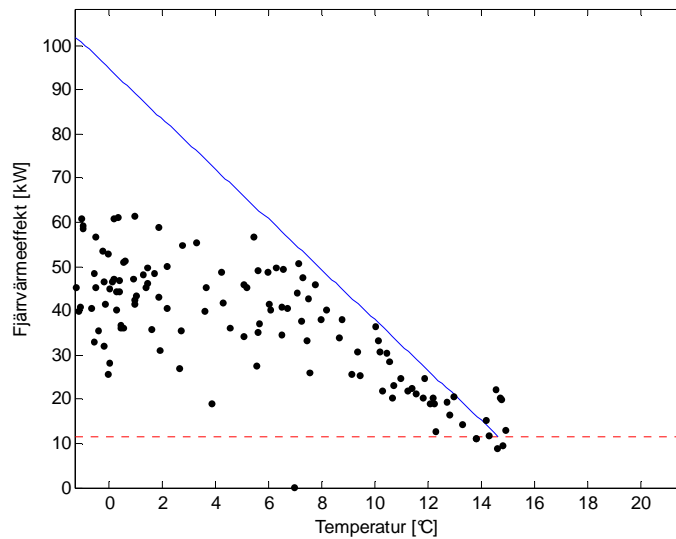


Diagram 21: Effekten för tappvarmvatten hos en byggnad med nattsänkning.

Resultatet i **Tabell 6** visar att antagandet att dygnets lägsta totala fjärrvärmeeffekt bäst representerar lokaluppvärmningen. För att ytterligare kontrollera att antagandet är rimligt beräknas hur stor andel av fjärrvärmeenergin som går åt för uppvärmning av tappvarmvatten under årets åtta första månader. Fördelningen presenteras i **Diagram 22** nedan där diagrammet till vänster använder bryttemperaturen framtagen med brytpunktsmetod 1 och till höger brytpunktsmetod 2.

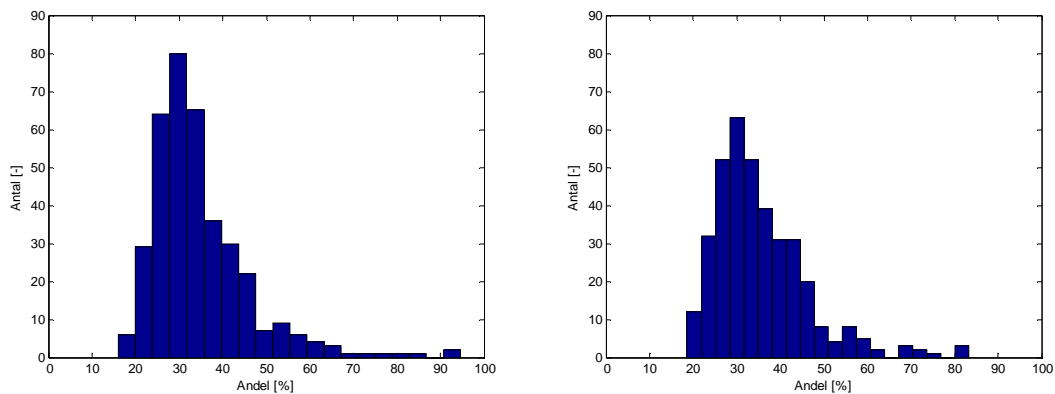


Diagram 22: Histogram över andelen tappvarmvattenenergi.

I beräkningarna har månadsmedelvärden använts. Då medeltemperaturen under månaden var lägre än bryttemperaturen beräknades energin till tappvarmvatten enligt beskrivna metoden. Annars sattes den till månadens totala energianvändning. De båda histogrammen uppvisar rimliga resultat, då andelen tappvarmvattenenergi per år ligger runt 30 % enligt bl.a. [1] och [5]. Byggnaderna som har nattsänkning får högre och direkt missvisande andelar tappvarmvattenenergi.

8 Verifiering av tappvarmvattenmetoderna

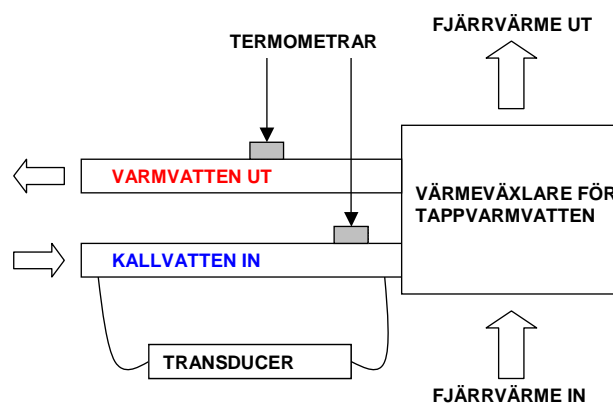
I detta kapitel görs försök till verifiering av tappvarmvattenmetoderna genom att använda två insamlingar av mätdata. Den första gjordes under en vecka i december i ett flerbostadshus för studenter, och den andra kommer ifrån ett fastighetsbolags egna energi- och vattenmätningar på deras bostadsområden.

8.1 Kontroll 1, loggning av studentboende

Eftersom data för andelen tappvarmvatten som används hos byggnaderna saknas har en mindre studie för endast en byggnad genomförts. Byggnaden representerar ett flerbostadshus med studenter inneboende och tros kunna ge en fingervisning om hur mycket tappvarmvatten som används. Byggnaden har en totalt uppvärmd yta på 9812 m² och inrymmer 144 lägenheter. Anledningen till att denna byggnad valdes är att dess kundcentral är relativt ny, har gott om arbetsyta och p.g.a. säkerhetsskäl. Efter samtal med fastighetsskötaren framgick att byggnaden varit under renovering under 2006 fram till augusti och inte varit fullbelagd under den perioden.

Mätaruppställning och utförande

M.h.a. en ultraljudsmätare (transducer) loggas tappvarmvattnets flöde i kundcentralen. Flödesmätaren monterades på utsidan av kallvattnets tillopprör precis före värmväxlaren för tappvarmvatten, och mäter flödet genom att skicka ultraljudvågor mellan sin sändare och mottagare. Uppställningen visas i **Figur 6**.



Figur 6: Mätupställning i studentboendets kundcentral.

Ett försök gjordes även med att mäta tillopps- och returtemperatur på vattnet som flödet mättes på, men p.g.a. problem i mjuk- och hårdvara hos mätutrustningen var detta inte möjligt. Istället avlästes temperaturerna på termometrar som var monterade på de aktuella rörledningarna i kundcentralen. Kall- och varmvattnet visade 4 respektive 56°C. Dessa temperaturvärden varierar och är tyvärr inte konstanta, men för denna studie antas de vara det.

Under cirka en vecka loggades energimätarställningen med intervall om sex minuter i ultraljudmätaren som efter slutförd loggning överfördes till en dator. Data har omvandlats till timmedelvärden. Dessa värden jämfördes sedan med de lagrade mätarställningarna i SAP för samma period. Mätningarna påbörjades cirka kl. 11.00 den 30:e november och avslutades cirka kl. 07.00 den 8:e december.

Mätresultat

Datan presenteras i **Diagram 23** nedan. De streckade svarta linjerna markerar dygnens lägsta totala effektuttag.

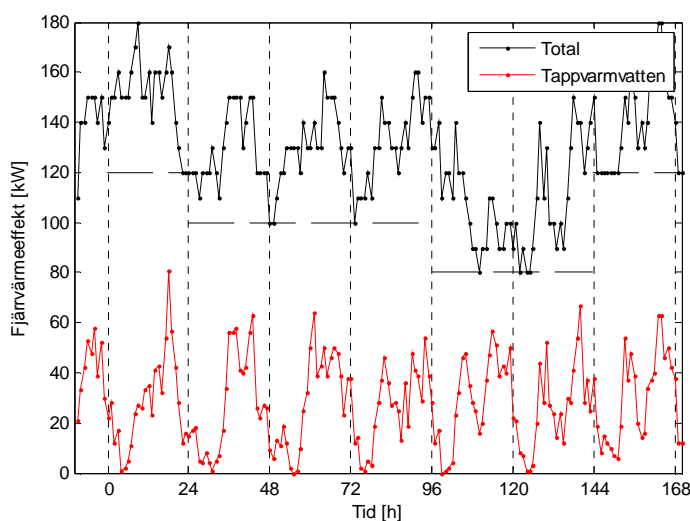


Diagram 23: Tappvarmvattenanvändning i studentboendet under en vecka.

Nolluttag av tappvarmvatten inträffar endast två gånger under veckan, övriga dygns lägsta uttag är från 1 kW upp till cirka 7 kW. Detta styrker den teori om att det värde från SAP som visar dygnets lägsta fjärrvärmeuttag är det värde som bäst visar byggnadens uppvärmning, även om det i de flesta fall även innehåller en viss del tappvarmvatten. Samtidigt är den studerade byggnaden inte särskilt stor, den har cirka 140 boende och ändå finns knappt någon timme utan tappvarmvattenuttag. Att dra någon bra generell slutsats av detta går dock inte då författarna av egen erfarenhet vet att studenter har nattliga vanor, och troligen också är hemma på dagarna i större utsträckning än vad andra samhällsgrupper är. I litteraturstudien, se Appendix C, visas flera gånger att tappvarmvattenanvändningen är mycket individuell. I genomsnitt för studentboendet stod tappvarmvattenanvändningen för cirka 20 % av den tillförda effekten under veckan, vilket motsvarar 28 kW. Tappvarmvattenanvändningen var dessutom ungefär lika stor varje dag, oberoende om det rörde sig om hel- eller vardag, med endast någon procents skillnad sinsemellan.

Test av tappvarmvattenmetoderna

Enligt **Ekvation 1** i den första metoden skall effekten för tappvarmvatten vara 1.2 gånger större under den loggade veckan än under augusti månad. Eftersom byggnaden inte

varit fullbelagd under augusti valdes medianlinjen ur data från någon gång i september månad och den blir 27.5 kW. Beräknad effekt för tappvarmvatten under veckan blir då 32.5 kW. Beräkningen jämförs med metod 2 och uppmätta värden i **Diagram 24**.

Den andra beskrivna metoden för beräkning av tappvarmvatteneffekten appliceras på mätdata för den loggade veckan enligt antagandet att dygnets lägsta totala effektuttag representerar uppvärmningen. Den då uppskattade tappvarmvatteneffekten jämförs i **Diagram 24** med metod 1 samt den loggade dygnsmedeleffekten för tappvarmvatten.

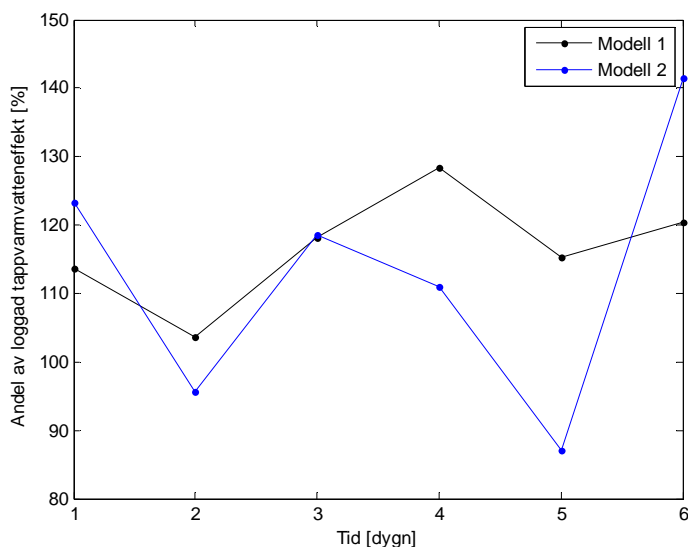


Diagram 24: Beräknad jämfört med uppmätt tappvarmvatteneffekt.

Linjen framtagen med metod 1 är ständigt högre än det uppmätta värdet, medan den andra metodens linje ligger både över, under och oftare närmre de uppmätta värdena. Metod 1 och 2 ligger i genomsnitt under veckan 16.6 respektive 12.9 % högre än det uppmätta medelvärdet. P.g.a. den korta loggningsperioden på endast sex dygn kan inga definitiva slutsatser dras ur detta resultat. Båda metoderna ger dock en fingervisning av hur det kan se ut.

8.2 Kontroll 2, loggning av bostadsområde

För att kunna jämföra och verifiera de skapade tappvarmvattenmetoderna har författarna fått tillgång till mätdata från ett fastighetsbolag i Malmö. Denna består av total uppmätt vattenanvändning [m^3] och fjärrvärmeenergi [MWh] för ett tjugotal av deras byggnader som ingår i arbetets 366 studerade byggnader. Av praktiska skäl valdes åtta av dessa ut för vidare studie.

Inledande analys

Data är behandlad av Lange [12], genom att han ansatt att av den totala vattenanvändningen är 40 % varmvatten. Vidare beräknas energiåtgången för uppvärmning av en kubikmeter vatten uppgå till 65 kWh. Siffran är framtagen m.h.a. **Ekvation 1** med anta-

gandet att kallvattnet värms från 10 till 55°C vilket ger energin 52 kWh/m³. På detta har 13 kWh för VVC adderats.

Enligt Lange kan antagandet att varmvatten står för 40 % av den totala vattenanvändningen diskuteras. För användare med hög användning av vatten är 40 % en underskattning medan det för användare med låg användning är det en överskattning. Detta kontrollerades på de utvalda åtta byggnaderna genom att dividera juli månads totala användning av fjärrvärmeenergi med 40 % av den totala vattenanvändningen. Juli valdes med antagandet att ingen lokaluppvärmning sker. Energianvändningen hos de åtta byggnaderna redovisas i **Tabell 7**. Det kontrolleras även hur stor andelen varmvatten är av den totala vattenanvändningen med antagandet att uppvärmningen uppgår till 65 kWh/m³. Detta görs genom att dividera juli månads fjärrvärmeenergi med 65, vilket ger använd varmvattenvolym. Denna divideras sedan med total volym använt vatten vilket ger andelen varmvatten, se **Tabell 7**.

Tabell 7: Jämförelse mellan byggnaderna.

Byggnad [-]	Energianvändning [kWh/m ³]	Andel varmvatten [%]
1	89	55
2	227	140
3	72	44
4	70	43
5	113	69
6	72	45
7	159	98
8	63	39

Dessa resultat visar markanta avvikelser för byggnad 2, 5 och 7. En möjlig anledning till detta är att mätaravläsningarna görs manuellt, vilket vid en del tillfällen kan innebära att avläsningen kan ske några dagar före eller efter månadsskiftena. Det gör att månads fjärrvärme- och vattenmätarställning inte representerar helt korrekt tidsintervall. Det kan möjligen även bero på att varmvattenanvändningen är högre i byggnaden under månaden eller att fjärrvärmecentralen eller mätinstrumenten fungerar sämre. P.g.a. dessa stora avvikelser används dessa tre byggnader inte för vidare analys.

Test av tappvarmvattenmetoderna

I **Tabell 8** presenteras resultatet från jämförelsen av de skapade tappvarmvattenmetoderna och uppmätt data. Andelarna är medelvärden beräknade för årets första åtta månader. De värden som redovisas i kolumnen "Kund" är beräknade med antagandet att 40 % av den totala vattenanvändningen värms upp till tappvarmvatten och dess energibehov är 65 kWh/m³. I jämförelsen kontrolleras varje månad dygnvis där ett dygn med medeltemperatur högre än byggnadens bryttemperatur enligt brytpunktsmetod 1 får tappvarmvattenandelen 100 %. För de dygn med utetemperatur lägre än bryttemperaturen har tappvarmvattenandelen tagits fram med metod 1 respektive 2. För metod 1 har antagits att varje månads tappvarmvatteneffekt är konstant, och är beräknad m.h.a. viktningkoefficienten ur **Tabell 2**. Sedan har varje månads medelvärde för respektive byggnad beräknats. I Appendix D redovisas mer detaljerat

nad beräknats. I Appendix D redovisas mer detaljerat tappvarmvattenandelarna för byggnaderna.

Tabell 8: Andel tappvarmvattenenergi för byggnaderna.

Byggnad	Metod 1 [%]	Metod 2 [%]	Kund [%]
1	50	52	34
3	50	44	46
4	58	51	40
6	59	40	54
8	48	46	49

Som synes ger metoderna ganska lika men något högre resultat än de som data från kunden genererat. Att resultaten är i samma storleksordning gör att det via metoderna går att skapa en uppfattning om tappvarmvattenanvändningen hos en byggnad. Samtidigt måste det påpekas att värdena beräknade med kundens data och antaganden inte är absolut faktum. Det går alltså inte att säkerställa vad som egentligen är riktigt då detta kräver tillgång till mätningar av tappvarmvattnets energianvändning.

9 Slutsatser och diskussion

Målen för arbetet anses uppfyllda, och här nedan beskrivs resultaten och slutsatserna mer noggrant.

9.1 Mätdata

Insamlad mätdata med upplösning på en timme är inte speciellt användbar utan dygnsmedel eller längre tidshorisont är mer passande p.g.a. stora variationer hos fjärrvärmeeffekten under dygnen. Anledningen till variationerna är, som beskrivet i kapitlet om påverkande omständigheter, till viss del en följd av t.ex. de boendes beteende och nattsänkning. Att använda dygnsmedel eller längre tidshorisont gör inte att de stora variationerna försvinner utan de finns hela tiden med, men mindre synliga. Studier av alla de 366 byggnadernas effektsignaturer säger att det egentligen inte finns någonting som kan klassas som ett standardbeteende, alla byggnader har avvikelser och de är olika från byggnad till byggnad.

Utetemperaturens mätdata genererar ett mindre fel i de framtagna metoderna p.g.a. att utetemperaturen uppmätt vid Heleneholmsverket tillåts representera utetemperaturen i hela Malmö. Som undersökts i kapitel 4.2 kan det dock skilja ett par grader mellan utetemperaturen vid Heleneholmsverket och i Västra hamnen. Påverkan som detta har på arbetets resultat får anses knappt märkbart med tanke på de övriga approximationerna som används. Detta gäller även mätdata för kallvattnets temperatur in i byggnaderna. För de framtagna tappvarmvattenmetoderna användes genomsnittliga värden för kallvattentemperaturen, när den i själva fallet varierar mellan 4 och 20°C runt om i Malmö under hela mätperioden.

9.2 Brytpunktsmetoder

Brytpunktsmetoderna är tämligen enkla och kan behöva en visuell kontroll för verifiering, men författarnas erfarenhet från många timmar av tester och undersökningar av mönster i diagram säger att den första metoden är bättre än de övriga två. Förutom de visuella kontrollerna visar **Diagram 13** i rapporten på att den första metoden ger bra resultat med ett flertal brytpunkter omkring 17°C. Detta kan jämföras med histogrammen gjorda för de övriga två metoderna, vilka inte påvisar något normalfördelat mönster som första metoden gör.

Metoden där multipel regression används är enklast att tillämpa, eftersom den gör multipel regression på alla mätpunkter och sedan antar att brytpunkten där accelerationen är maximal ligger mellan 5 och 20°C. Något som inträffade för många byggnader var att metoden gav dem en bryttemperatur högre än 20°C, vilket inte är rimligt. Detta styrker relevansen hos den första metoden. Orsaken till den erhållna höga bryttemperaturen ligger i effektsignaturens mönster, vilket kan skilja mycket byggnader emellan. Exempel på en byggnad, som kan få felbedömd brytpunkt med den andra metoden, kan ha en effektsignatur som i **Diagram 12**.

Den tredje metoden som stegar från 20°C visade sig inte vara speciellt bra. Den var svår att generalisera då den visade sig vara känslig mot avvikande mätpunkter. Även då försök med veckomedelvärden istället för dygnsmedelvärden gjordes, lyckades inte metoden ge tillfredsställande resultat. Brytpunkterna spreds ut över ett stort temperaturintervall förutom vid 16-17°C där en majoritet hamnade. Denna majoritet är troligen byggnader med tydliga mönster och med få avvikande mätpunkter.

9.3 Tappvarmvattenmetoder

Metod 1 för att uppskatta energianvändningen till uppvärmning av tappvarmvatten ger en bra bild av medelandelens energi. Troligen ger metoden ett fel under perioden höst till vår då vattenanvändningen enligt flera referenser är större. För att bestämma i vilken storleksordning vattenanvändningen varierar krävs mätning av denna, eftersom metoden inte ger någon direkt information om hur användningsmönstret ser ut. Då det finns skäl att leta efter energisparåtgärder är det intressant att undersöka andelens storlek för att jämföra denna med den totala energianvändningen. Detta för att veta om man skall satsa på minskad vattenanvändning istället för t.ex. tilläggsisolering eller fönsterbyte.

Den andra metoden för att uppskatta energianvändningen till uppvärmning av tappvarmvatten fungerar inte för byggnader med nattsänkning utan den första metoden får användas på dessa istället. Detta gäller även för byggnader med helg- och vardagsbetende. Den andra metoden ger ett resultat som liknar det från den första metoden vad gäller andelen energi till tappvarmvatten. Resultatet visar att andelen vanligen hamnar kring 30-40 % av den totala energianvändningen. Efter bryttemperaturen gäller inte denna metod eftersom ingen lokaluppvärmning förekommer, vilket metoden bygger på. Då representerar istället mätarställningarna från SAP tappvarmvatteneffekten.

10 Förslag på fortsatt arbete

Detta arbete skrapar bara på ytan av den potential som finns hos fjärravläst fjärrvärmedata. Det finns ytterligare förbättringar som tros kunna göras för att nyttja dessa data, av vilka några nämns i kommande kapitel. Nämnas bör att detta endast är författarnas spekulationer, och därmed inte fakta.

10.1 Varningssystem

Ett system som, när en byggnads energianvändning avviker mycket från den användning byggnaden borde ha, utfärdar varningar skulle kunna implementeras. M.h.a. byggnadernas framtagna effektsignaturer skulle tre olika gränser kunna sättas med vissa intervall över respektive under den linjära regressionslinjen. Dessa gränser skulle då få representera olika varningsnivåer där den första nivån ger en liten varning, och den andra och tredje ger skarpare varningar. Gränserna skulle kunna bygga på tidigare uppmätt spridning i effektsignaturerna, t.ex. m.h.a. standardavvikelser. Alltså skulle systemet upptäcka om energianvändningen upphör under ett dygn och då automatiskt meddela kunden som skulle kunna undersöka vad som är fel eller meddela E.ON om att det eventuellt pågår något underhållsarbete i byggnaden. Skulle den lägsta varningsnivån visas under en längre period kan E.ON ta kontakt med kunden och kontrollera om denna har utfört någon energieffektiviserande åtgärd eller om något annan förändring har skett. De tre ytterligare storheterna som fjärravläses skulle kunna ingå i varningssystemet för att kunna meddela om mätaren hängt sig eller något annat fel uppstått.

10.2 Kategorisering

E.ON använder idag en grov kategorisering av sina företagskunders byggnader, där olika tal anger vilken typ av byggnad det rör sig om t.ex. flerbostadshus, industri eller offentliga lokaler. Denna nuvarande kategorisering är inte helt fullständig och behöver en uppdatering eftersom en del byggnader saknar uppgifter om vilken typ av byggnad det rör sig om eller har fel uppgift angiven.

Denna kategorisering skulle kunna utvidgas genom att tillföra information om byggnadens maximala energianvändning. Detta för att t.ex. ett flerbostadshus med högre maximal energianvändning, där har ett hushålls energianvändning mindre genomslag på den totala användningen. Däremot har ett hushåll i en mindre byggnad stor påverkan på energianvändningen. Detta skulle kunna bidra till varningssystemet beskrivet ovan, och bestämningen av storleken på varningsnivåerna. Ett flerbostadshus med låg maximal energianvändning skulle då tillåtas variera mer kring den linjära regressionslinjen medan en större byggnad inte skulle tillåtas göra detta innan en varning utfärdas.

Ytterligare skulle information om byggnadernas uppvärmningsareor, byggår, antal lägenheter och eventuell andel som är kontor eller bostad kunna anges för varje byggnad. Arean som värms upp i byggnaderna är en mycket användbar parameter eftersom kunderna då skulle kunna jämföra byggnader sinsemellan genom att normera fjärrvärmeef-

fekten med arean och då erhålla enheten energianvändning per kvadratmeter. Med denna enhet ger lutningen på linjen i effektsignaturen en god bild på hur pass bra byggnadernas klimatskal är. Byggåret för byggnaden skulle kunna visa på eventuella samband mellan byggnader byggda under samma period, men samtidigt påverkar de byggnadsfysiska parametrarna mycket eftersom byggnader byggda ett visst år kan vara byggda med t.ex. betong eller trä och då ha helt olika egenskaper i respektive klimatskal.

10.3 Energideklarationen

Den kommande energideklarationen är ett område som E.ON skulle kunna medverka inom genom att erbjuda sina kunder tjänsten att erhålla en detaljerad effektsignatur. Detaljer som skulle kunna inkluderas i tjänsten är t.ex. energianvändning per kvadratmeter och andelen energianvändning för uppvärmning av tappvarmvatten, men också förändringar hos effektsignaturen som visar hur eventuella energisparande åtgärder i byggnaden påverkat denna. Detta kan ge värdefull återkoppling och kunskap till kunden som då kan se hur byggnaden sänkt sin energianvändning, eller upptäcka att användningen inte har sjunkit och då ta reda på varför. Tillsammans med energideklarationen kan information om energiråd medfölja för att ge kunden upplysning om hur de kan effektivisera sin energianvändning.

När andelen tappvarmvatten är beräknad finns också möjlighet att räkna ut den normalårskorrigerade totala energianvändningen för byggnaden. I normala fall antas andelen energi för uppvärmning av tappvarmvatten till ett visst värde, vilket varierar från kund till kund beroende på vilka källor de använder. [10]

10.4 Statistiska modeller

Detta arbete är utfört med enkla och grova metoder vilket har genererat relativt bra resultat, men mer detaljerade och komplexa statistiska modeller skulle kanske generera noggrannare resultat. Nya effektivare modeller bör sannolikt kunna bidra till ett system som bättre hanterar de många varierande effektsignaturer och avvikande mätpunkter. I denna rapport har endast mätarställningen hos den sammanlagda energianvändningen analyserats, men det finns ytterligare tre storheter som avläses och som skulle kunna användas i modellerna. För att få fler parametrar till modellerna skulle byggnadernas totala vattenförbrukning kunna mätas. Något som även borde undersökas närmare är om stora sänkningar i returtemperaturen kan relateras till tappningar av varmvatten. Detta skulle kunna lämpa sig för ett kommande examensarbete för att vidare utveckla det arbete som författarna påbörjat.

Referenser

- [1] Frederiksen, S., Werner, S., *Fjärrvärme – Teori, teknik och funktion*, Studentlitteratur, Lund, 1993.
- [2] Svensk Fjärrvärme, *Din fjärrvärmecentral – en handbok för dig som sköter värmen i buset*, rapport 2004:1, Stockholm, 2004.
- [3] Wollerstrand, J., Janusz.Wollestrand@vok.lth.se (muntlig, 2006-09-13)
- [4] Olsson, D., *Tappvarmvatten i flerbostadsbus*, rapport 2003:04, EFFEKTIV, Borås, 2003.
- [5] Aronsson, S., *Fjärrvärmekunders värme- och effektbehov*, doktorsavhandling, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, 1996.
- [6] Boverket, *Ekologiskt byggande, en granskning ur miljö- och hälsoperspektiv*, Boverket, Karlskrona, 2006.
- [7] Kristiansson, P., Per.Kristiansson@malmo.se (muntlig, 2006-10-25)
- [8] Selinder, P., Zinko, H., *Marginaler i fjärrvärmesystem*, FOU 2003:85, ZW Energiteknik AB, 2003.
- [9] Monhart, E., Ernst.Monhart@eon.se (muntlig, 2006-12-04)
- [10] Schultz, L., *Normalårskorrigerering av energianvändningen i byggnader – en jämförelse av två metoder*, rapport 2003:01, EFFEKTIV, Borås, 2003.
- [11] Jonsson, GR., *A modelling technique for estimating hot water consumption in district heating systems*, Artikel 208:2, University of Iceland, Reykjavik, 1994.
- [12] Lange, E., Egon.Lange@mkbfastighet.se (muntlig, 2007-01-16)
- [13] Pyrko, J., *Effekthushållning i bostäder*, doktorsavhandling, Lunds Tekniska Högskola, 1991.
- [14] Arvastson, L., *Stochastic Modelling and Operational Optimization in District Heating Systems*, doktorsavhandling, Lunds Tekniska Högskola, 2001.

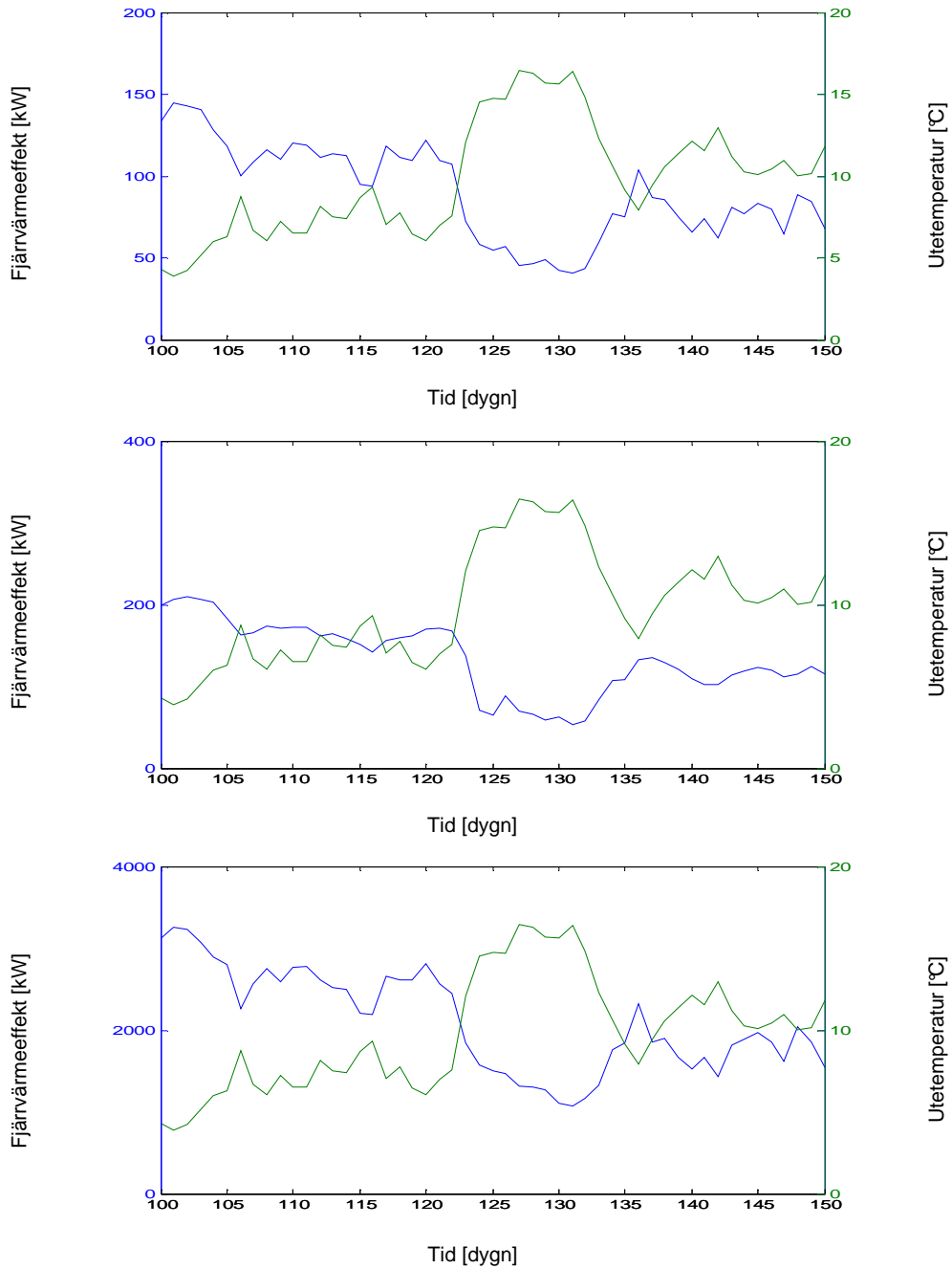
Appendix

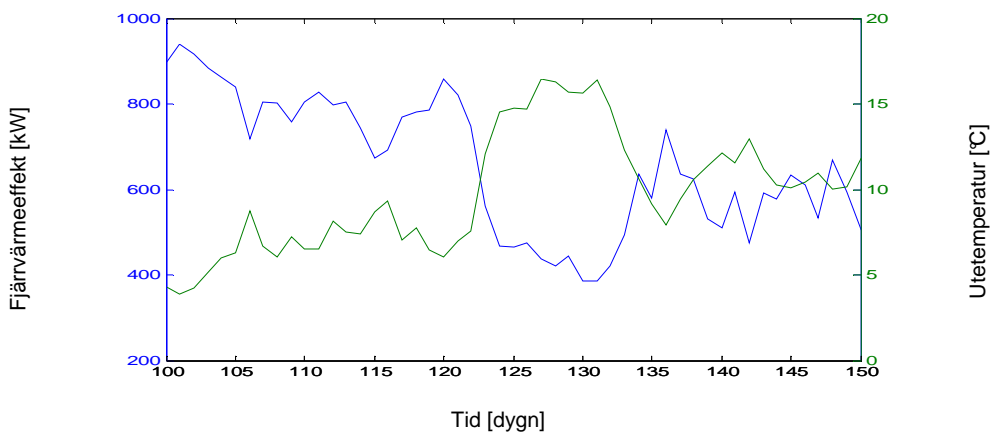
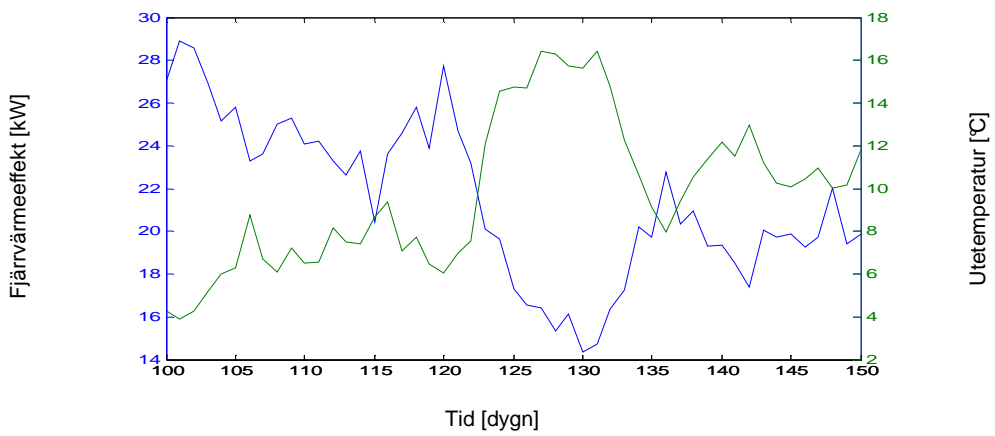
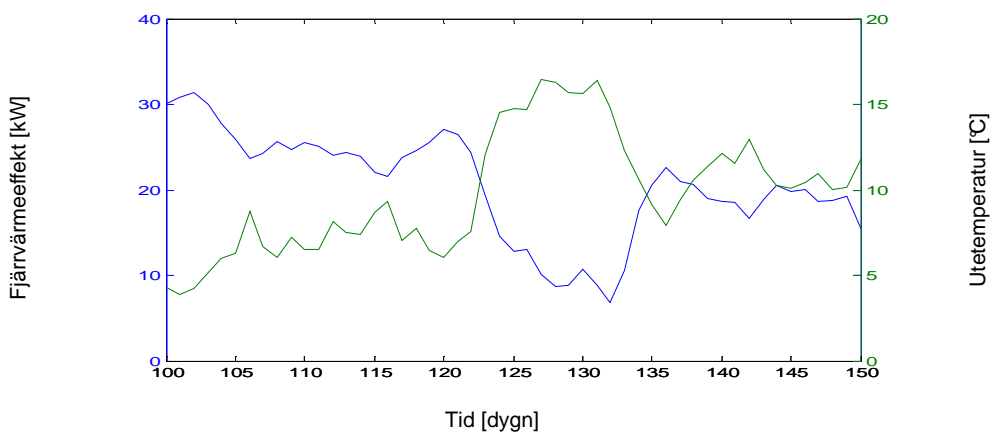
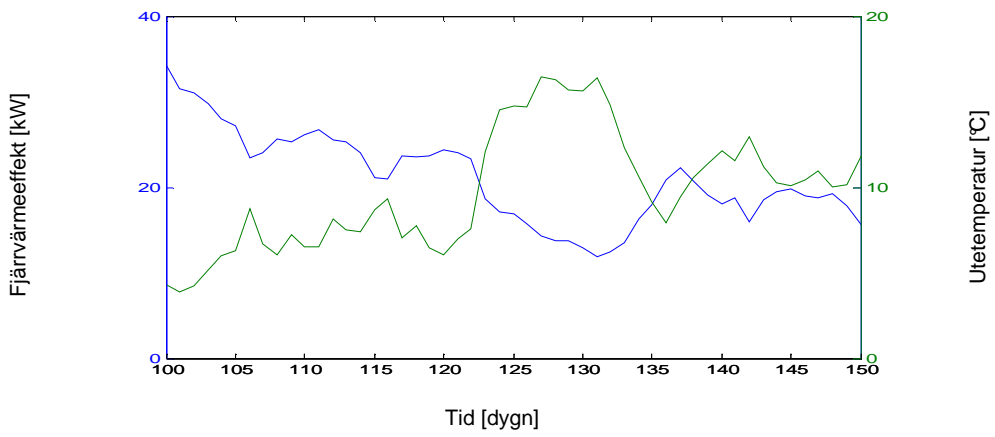
Appendixen för denna rapport består av följande:

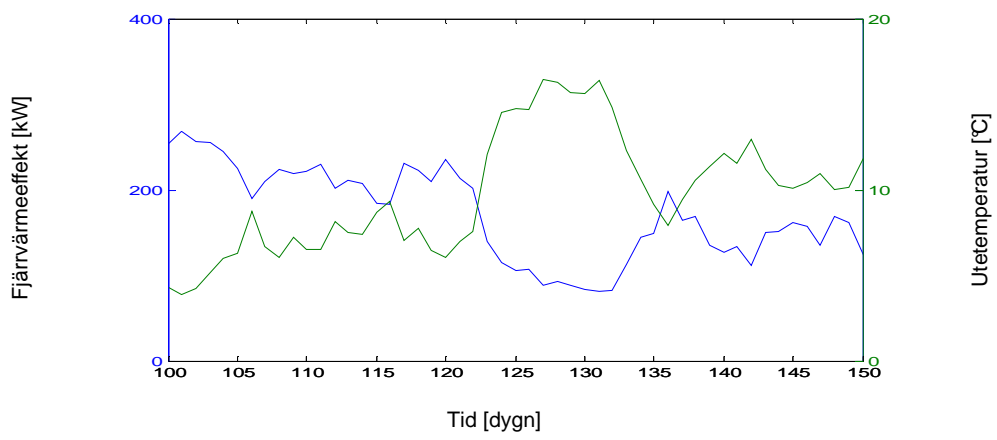
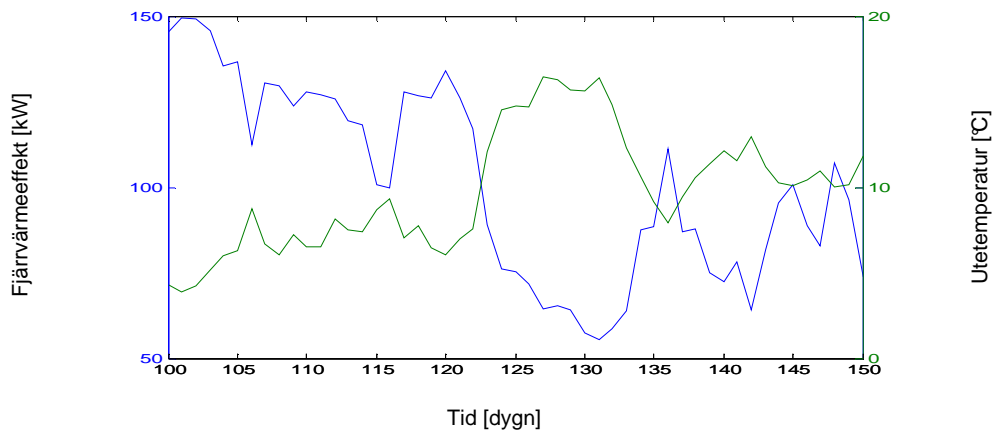
- Appendix A - Responstider
- Appendix B - Brytpunktskontroll
- Appendix C - Litteraturstudie
- Appendix D - Tappvarmvatten
- Appendix E - Effektsignaturer

Appendix A

Här presenteras ytterligare exempel på diagram där dygnsmedeleffekt och utetemperatur plottas mot tiden för att eventuellt kunna upptäcka responstiden.





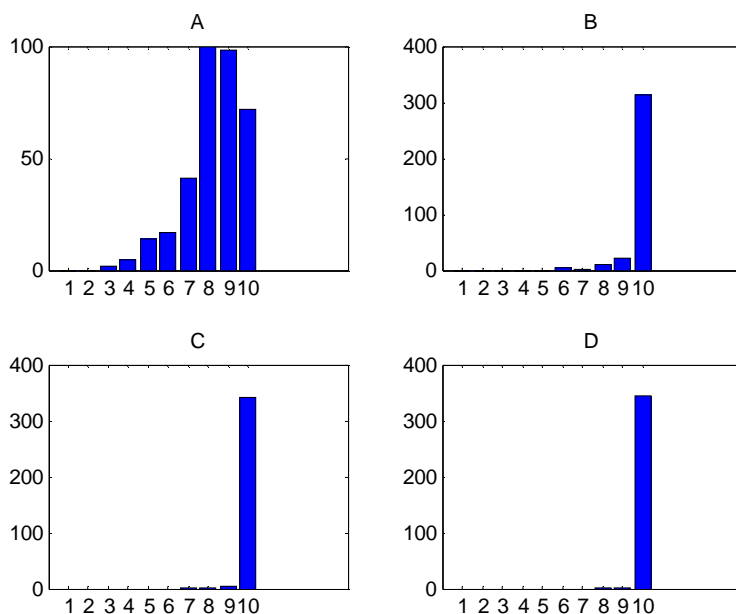


Appendix B

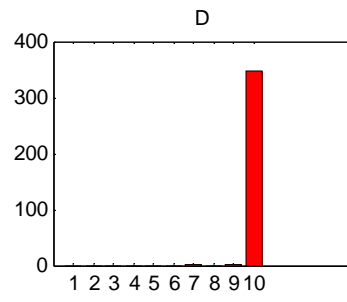
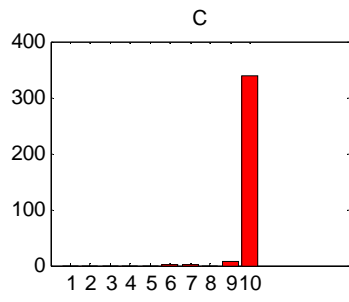
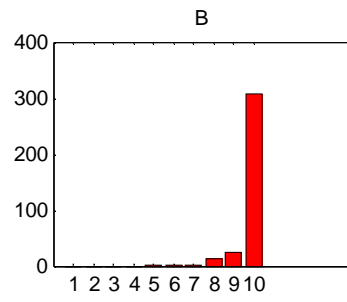
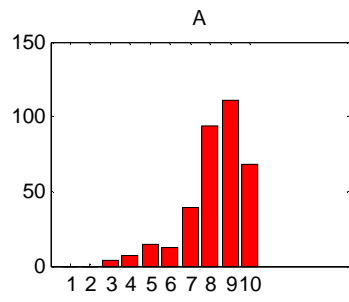
Här följer en sammanställning från kontrollen av brytpunkterna från de två första metoderna då det kontrolleras hur väl byggnadernas punkter ligger intill dess linjära regressionslinje. De blåa och röda diagrammen visar resultaten för bryttemperaturer framtagna med den första respektive andra brytpunktsmetoden. Notera A-plottarnas skala i y-led.

Diagramförklaringar:

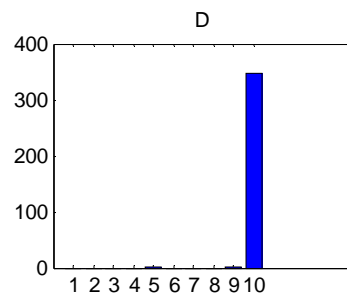
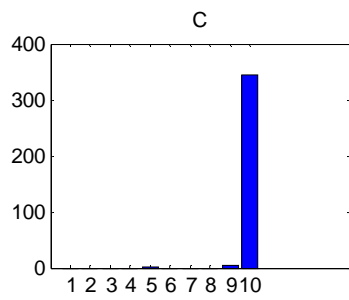
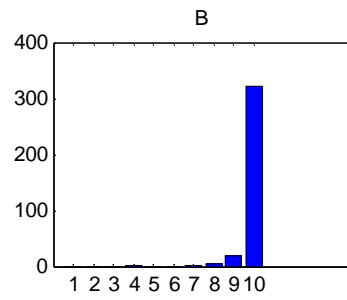
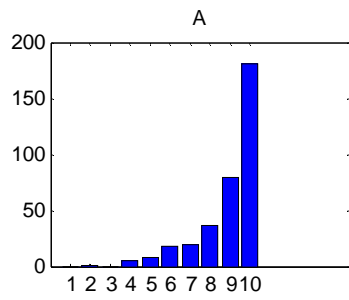
x-axel	Intervallen av andelen punkter innanför gränserna [%]
y-axel	Antal byggnader inom respektive gränsintervall
1	0-10 %
2	10-20 %
3	20-30 %
4	30-40 %
5	40-50 %
6	50-60 %
7	60-70 %
8	70-80 %
9	80-90 %
10	90-100 %
A	$\pm 5\%$ av byggnadernas maxeffekt som gränsintervall
B	$\pm 10\%$ av byggnadernas maxeffekt som gränsintervall
C	$\pm 15\%$ av byggnadernas maxeffekt som gränsintervall
D	$\pm 20\%$ av byggnadernas maxeffekt som gränsintervall



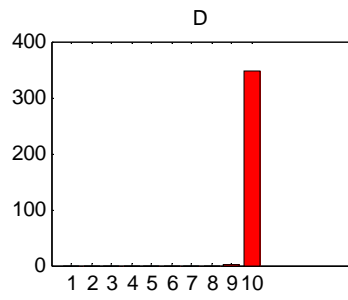
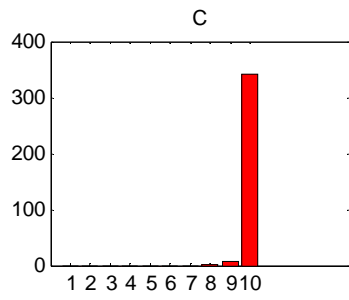
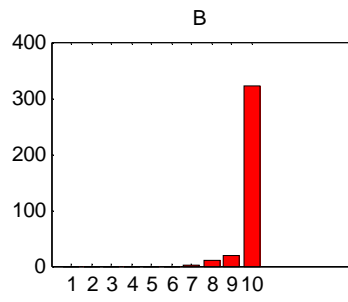
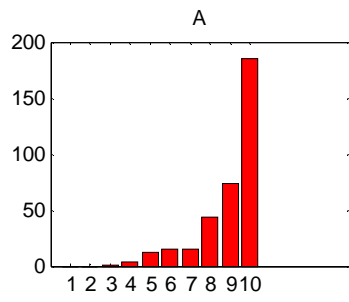
Metod 1, dygnsmedelvärden.



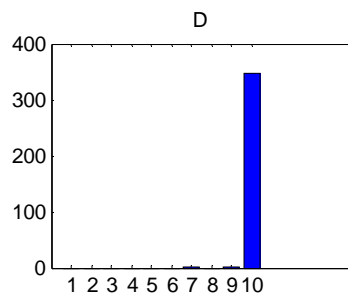
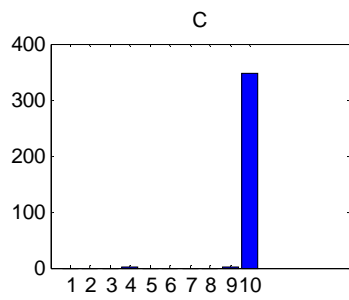
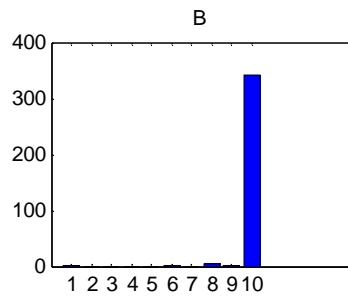
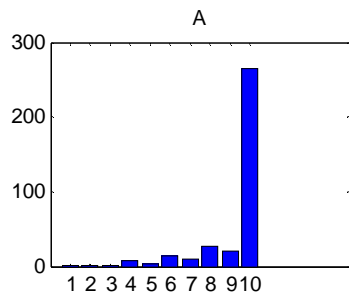
Metod 2, dygnsmedelvärden.



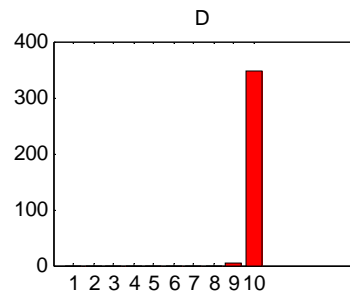
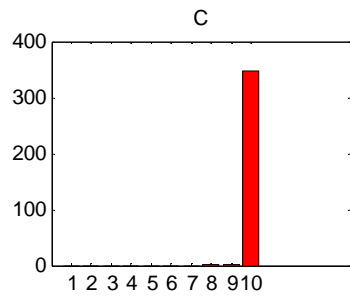
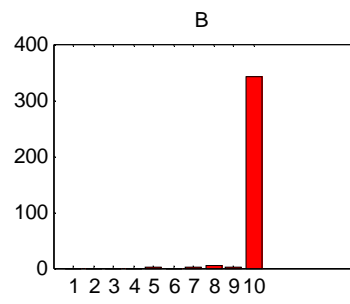
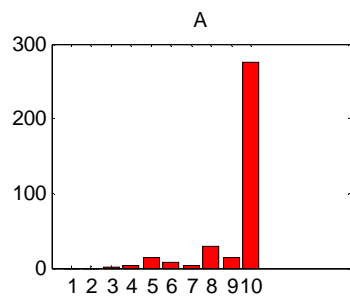
Metod 1, veckomedelvärden.



Metod 2, veckomedelvärden.



Metod 1, månadsmedelvärden.



Metod 2, månadsmedelvärden.

Appendix C

Visst arbete har gjorts tidigare som är relevant för detta examensarbete. Nedan följer en genomgång av och slutsatser från Pyrkos doktorsavhandling ”*Effekthushållning i bostäder*”, Aronssons doktorsavhandling ”*Fjärrvärmekunders värme- och effektbehov*” och Arvastsons doktorsavhandling ”*Stochastic modeling and optimization in district heating systems*”.

”Effekthushållning i bostäder”

Pyrko [13] har själv gjort en litteraturstudie där samband mellan utetemperatur och uppvärmningseffekt undersökts. Studien är indelad i tre kategorier, vilka beskrivs i kommande avsnitt. Både byggnader med elvärme och fjärrvärme ingår i studien.

Sambandet mellan utetemperatur och uppvärmningseffekt antas vara linjärt

Denna metod är mycket enkel och lösningen ansätts enligt **Ekvation 7**.

$$P = C_1 - C_2 \cdot T_{u \text{ dim}} \quad \text{Ekvation 7}$$

P är uppvärmningseffekten, C är konstanter och T är den dimensionerande utetemperaturen, som beror av husets läge och konstruktion. Konstanterna beräknas m.h.a. kända storheter, t.ex. uppvärmd volym, antal luftomsättningar per timme och väggarnas värmegenomgångskoefficient.

Sambandet mellan utetemperatur och uppvärmningseffekt är framtaget med hjälp av experimentella data

Pyrko beskriver en publikation där antagandet att sambandet mellan utetemperatur och uppvärmningseffekt är linjärt och där detta samband verifieras m.h.a. experimentella data. En energisignatur har konstruerats, vilken bygger på en energibalansmodell i form av **Ekvation 8**.

$$W = A + B(T_i - T_u) + \varepsilon \quad \text{Ekvation 8}$$

W är energianvändning, T är inne- respektive utetemperatur och ε är fel i modellen.

Pyrko nämner också en publikation där slutsatsen är att varmvattenberedningen har så stor betydelse för värmelasten att en beskrivning relaterad till utetemperaturen blir mindre relevant samt en annan publikation där de boendes vanor har stor inverkan på värmebehovet.

Sedan fortsätter Pyrko att beskriva referenser där beräkningsmodellerna även tagit hänsyn till vindhastighet, global solinstrålning och nederbörd. Utvärdering av sju linjära och

en icke linjär modell visar att sambandet mellan utetemperatur och uppvärmningseffekt inte kan beskrivas med ett linjärt samband.

Experimentella data och analys av denna visar att sambandet mellan utetemperatur och uppvärmningseffekt inte kan beskrivas linjärt

Pyrko visar i diagramform från en undersökning gjord i Finland hur uppvärmningseffekten varierar kraftigt i förhållande till utetemperatur och att i vissa fall kan det t.o.m. vara svårt att se åt vilket håll en regressionslinje skulle luta. Determinationskoefficienten r^2 , som är ett mått på hur stor del av värdena på y-axeln som beror av värdena på x-axeln, uppgår till 0.52 i den utvalda undersökningen, medan önskvärt r^2 ligger omkring 1. En liknande undersökning gjord i Norge resulterade i $r^2 = 0.28$.

Slutsatser ur avhandlingen

Pyrko drar ur sin litteraturstudie slutsatsen att uppvärmningseffekten starkast relateras till utetemperaturen, och att i vissa fall kan ett linjärt samband skönjas. Sedan visas med en egen undersökning av totalt 33 hushåll i Jönköping och Göteborg att relationen till utetemperaturen är stark, men att en enkel linjär modell inte kan beskriva uppvärmningseffekten på timbasis.

”Fjärrvärmekunders värme- och effektbehov”

Aronsson [5] har i sin doktorsavhandling undersökt 50 olika fjärrvärmekunder genom mätningar i deras respektive fjärrvärmecentraler. Aronssons mätningar liknar mätningarna i denna rapport, men med den viktiga skillnaden att Aronsson även utför mätning av tappvarmvatteneffekten. Aronsson har valt ut 39 bostadshus, 9 kontorshus och 2 sjukhem med byggår relativt jämt utspridda från 1940-talet och framåt.

Mätresultat

Mätningarna av tappvarmvatteneffekt redovisas i andel av totalt uppvärmningsbehov. För flerbostadshusen varierar behovet av tappvarmvatten med mellan 12-37 % av totalt uppvärmningsbehov. För kontoren varierar behovet mellan 1-11 % och för sjukhemmen mellan 10-16 %. Aronsson hittar ingen mätteknisk orsak till variationerna, men förklarar att en del skillnader i behov kan förklaras med åldern på huset då de äldre husen uppvisar ett mer jämnt fördelat behov än de nyare. För vissa byggnader ingår också effekt som åtgår för varmvattencirkulation. Aronssons slutsats är dock att till allra största del beror variationen på de boendes vanor.

Tappvarmvattenbehovet varierar också över året och når sitt maximum mellan oktober och februari, då behovet generellt visar sig vara cirka 2 gånger högre än under sommar-månaderna. Vissa byggnader avviker dock från det mönstret.

Databearbetning

I de fall värmemängdsdata saknas har Aronsson valt att ersätta denna med medelvärdet för samma månad, eller i de fall då en hel månads värden saknas, ersätta med medelvärdet från intilliggande månader. Detta ger ett tillförlitligt resultat anser Aronsson, med tillägget att bortfallet av mätdata sker både på natten och på dagen vilket medför att man inte behöver ta hänsyn till att tappvarmvattenbehovet varierar kraftigt under dygnet. När beräkningar har skett med högre upplösning har Aronsson ersatt bortfallen data med de periodiska förlopp som uppmätts före och efter bortfallet.

Aronsson har anpassat sitt mätresultat till normalår på två olika sätt, enligt graddagsmetoden och med en energisignatur. Graddagsmetoden bygger på att uppvärmning sker till en viss utetemperatur kallad eldningsgränsen. Antalet graddagar för uppvärmning beräknas som skillnaden mellan utetemperaturen och eldningsgränsen. Det antas även att uppvärmningen avbryts vid lägre temperatur under de varmare månaderna. Det normalårskorrigerade uppvärmningsbehovet beräknas sedan enligt **Ekvation 9**.

$$Q_{tot,norm} = Q_0 + (Q_{tot} - Q_0) \cdot \frac{G_n}{G_a} \quad \text{Ekvation 9}$$

$Q_{tot,norm}$ = byggnadens normalårskorrigerade värmebehov (MWh)

Q_{tot} = byggnadens totala uppmätta värmebehov (MWh)

Q_0 = byggnadens klimatberoende värmebehov (MWh)

G_a = antal graddagar under perioden ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{dag}$)

G_n = normalt antal graddagar under perioden ($^{\circ}\text{C} \cdot \text{dag}$)

Den klimatberoende delen i ekvationen består då av varmvattenberedning, och sätts ofta till ett värde enligt schablon. Svenska Fjärrvärmeföreningen har beräknat att varmvattenberedningen står för 32 % av uppvärmningen för fjärrvärmeansluten bebyggelse i Sverige.

Energisignaturen är helt enkelt **Ekvation 7**. I sin modell låter Aronsson effekten för varmvattenberedning ingå i den totala uppvärmningseffekten, för att sedan skapa energisignaturen med månadsmedelvärden. Det gör att de stora skillnaderna i varmvattenberedning jämnas ut. Byggnadens termiska tröghet får inte heller lika stort genomslag i modellen. Aronsson visar i figurer modellen stämmer mycket bra med de uppmätta värdena. Aronsson har då inte använt de tre varmaste månaderna då fjärrvärmeeffekten då inte går att relatera till utetemperaturen. Fördelarna med denna metod anser han vara dels att man inte behöver dela upp effekten på utetemperaturberoende och oberoende delar, och dels att man inte behöver bestämma rumstemperatur eller eldningsgränsen för byggnaden.

Tappvarmvattenbehov i bostäder

Aronsson undersöker hur tappvarmvattenförbrukningen påverkas av fyra olika faktorer, byggnadsår, uppvärmd golvarea, antal lägenheter och bostadsarea per lägenhet. Det visar sig bl.a. att de två byggnader som använder minst tappvarmvatten per kvadratmeter och år är relativt nybyggda och ligger i de centrala delarna av Göteborg, och att de äldre byggnaderna visar mindre skillnader i användning än övriga byggnader. Mest intressant är dock att användningen per uppvärmd golvarea varierar mycket kraftigt mellan de olika byggnaderna. Aronsson drar slutsatsen att de boendes vanor är den faktor som påverkar användningen mest. Samma resultat fås när Aronsson räknar på specifikt värmebehov (Q_m/Q_{tot}). Andelen effekt som åtgår till uppvärmning av tappvarmvatten under ett år varierar mellan 12-36 % av total uppvärmningseffekt i Aronssons studie.

För att undersöka hur tappvarmvattenanvändningen varierar under året har Aronsson räknat ut tappvarmvattenvärmen under årets medelmånad. Sedan har årets tolv månaders tappvarmvattenmedelvärme var för sig dividerats med denna medelmånad. Detta resulterar i att varje månad får en faktor mellan 0.62-1.28 och faktorn 1 motsvarar årets medelmånad. Sommarmånaderna har det lägsta relativa tappvarmvattenbehovet och vintermånaderna det högsta. Sedan beräknar Aronsson tappvarmvattenflödet med hjälp av tappvarmvattenvärmen, kallvattnets specifika densitet och värmekapacitet och skillnaden mellan 55°C och kallvattnets temperatur. Resultatet blir att det relativa tappvarmvattenflödet som högst blir 1.15 på vintern och som lägst 0.72 på sommaren. Aronsson refererar till en annan rapport som kommer fram till ett liknande resultat men med en något större säsongvariation.

Slutsatser

Aronsson drar slutsatsen att användningen av tappvarmvatten är bestämd av de boendes vanor, och dessa uppvisar både slumpmässigt beteende och vissa mönster. Dagtid är användningen slumpartad. Det momentana effektbehovet för tappvarmvattenberedning varierar mycket under dygnet, men uppvisar samtidigt stora tendenser till sammanlagring. Tappvarmvattenförbrukningen är även klart lägre på natten, och något högre under veckosluten. Att tappvarmvattenförbrukningen är säsongbetonad styrks också m.h.a. ytterligare två referenser.

”Stochastic modeling and operational optimization in district heating systems”

Arvastsons [14] doktorsavhandling behandlar egentligen optimerad styrning av distributionsnätet. Ett par, för detta arbete, intressanta poänger finns dock. Bl.a. påstås det att cirka 60 % av den totala lasten på fjärrvärmenätet kan förklaras av utetemperaturen. Global solinstrålning och vindhastigheter spelar en mindre, men inte obetydlig roll. Vinden beräknas kunna höja lasten på nätet med 1-4 % och solinstrålning beräknas kunna sänka lasten på nätet med 1-5 %. Arvastson hävdar också att i genomsnitt 30 % av lasten är uppvärmning av tappvarmvatten.

Arvastson bygger senare i avhandlingen en statistisk modell för att avskilja tappvarmvatteneffekten från den totala uppvärmningseffekten. Modellen beskriver helg- och vardagar för sig, och tar också hänsyn till att vattnet värms upp från lägre temperaturer under den kallare delen av året.

Modellen är generell, och inget egentligt resultat presenteras, utan modellen implementeras sedan i Arvastsons modell för styrning av distributionsnätet. Författarna anser ändå att det är av viss vikt att ta upp denna avhandling i litteraturstudien, då det styrker argumenten för att förutom utetemperatur även ta hänsyn till kallvattentemperatur, årstid samt om det är helg- eller vardag.

Appendix D

Nedan följer resultatet från beräkningarna från verifieringen av tappvarmvattenmetoderna. Metod 1 och 2 jämförs med värden beräknade med fastighetsbolagets data.

Värden beräknade med metod 1.

Byggnad	Andel tappvarmvattenanvändning för varje månad [%]								Medel [%]
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	
1	13	14	15	25	50	83	100	98	50
3	18	18	19	27	45	81	100	93	50
4	23	25	26	37	64	91	100	100	58
6	34	34	35	42	56	81	99	87	59
8	17	19	19	25	38	82	100	83	48

Värden beräknade med metod 2.

Byggnad	Andel tappvarmvattenanvändning för varje månad [%]								Medel [%]
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	
1	9	14	20	29	56	87	100	99	52
3	16	17	22	24	32	61	100	81	44
4	19	17	20	25	49	81	100	98	51
6	25	23	21	25	38	49	91	50	40
8	18	19	19	25	38	69	99	77	46

Värden från fastighetsbolaget.

Byggnad	Andel tappvarmvattenanvändning för varje månad [%]								Medel [%]
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	
1	10	10	10	17	33	50	73	69	34
3	17	17	19	25	30	71	91	95	46
4	17	15	17	24	42	62	93	52	40
6	32	31	30	38	54	74	90	83	54
8	17	19	19	27	40	65	103	99	49

Appendix E

Här följer åtta byggnaders effektsignaturer med varierande utseende. Alla visar dygnsmedeleffekt mot dygnsmedeltemperatur.

