

Kategorisering av fjärrvärmekunder utifrån användarmönster

Christoffer Nilsson
Henrik Tengqvist

Thesis for the Degree of Master of Science

Division of Efficient Energy Systems
Department of Energy Sciences
Faculty of Engineering, LTH
Lund University
P.O. Box 118
SE-221 00 Lund
Sweden



Abstract

The possibility to analyze district heating customers has increased in recent times. This is mainly because of the fact that hourly measured values for each customer now are available for the energy companies. This master thesis aims to categorize Lunds Energi's district heat customers according to their consumption patterns. The result should be presented in such a way that all the categories could be easily recognized and also contribute to further dynamic network analysis.

The result is accessible in the form of 48 different customer categories, each more or less with unique characteristics. In addition, all the categories are further arranged into four seasons, each including twelve categories. This arrangement is primarily done due to the fact that the heat consumption varies over the seasons of the year. The outdoor temperature and the diversity of the customer's behavior are other factors that affect the heat consumption greatly. A few methods for categorizing the customers are evaluated and an artificial neural network-method called self-organizing maps is chosen to identify customers with similar consumption patterns and place them in the same category. Due to the fact that customers during the winter season consume more heat related to physical needs and have more continuous heat consumption, the categories found within this season are more accurate than the ones during the summer. With the information gained from the presented categories, small houses clearly stands out as the one type of customer that varies most when it comes to consumption patterns. Customer types like apartment blocks, public administrations and offices fit in to fewer categories in general. All the results are made available for Lunds Energi by a Microsoft Excel file containing data useful for further network analysis.

Keywords: district heating, self-organizing maps, consumption pattern, heat consumption, categorization.

Sammanfattning

På senare tid har möjligheten att analysera fjärrvärmekunders värmeanvändning ökat. Anledning till detta är att mätvärden för varje timme och kund numera är tillgängliga för energibolagen. Detta examensarbete syftar till att kategorisera Lunds Energis fjärrvärmekunder utifrån deras användarmönster. Resultatet ska presenteras på ett sätt där alla kategorier enkelt kan överskådas samt vara till grund för vidare dynamiska nätberäkningar.

Resultatet redovisas i form av 48 olika kundkategorier som, mer eller mindre, har unika karaktärsdrag. Alla kategorier är indelade i fyra säsonger med tolv kategorier i varje. Denna indelning görs på grund av fjärrvärmeanvändningens starka variation över de olika årstiderna. Utomhustemperaturen och olika kunders beteende har också stor inverkan på fjärrvärmeanvändningen. Några intressanta kategoriseringsmetoder utvärderas och ett artificiellt neuralt nätverk vid namn self-organizing maps utses för att identifiera kunder med liknande användarmönster för att sedan placera dem i samma kategori. På grund av att kunder under vinterhalvåret har ett större fysiskt värmebehov och en mer kontinuerlig värmeanvändning är kategorierna under denna säsong mer tillförlitliga. Utifrån de färdigställda kategorierna framstår småhus som den kundtyp som varierar mest i användarmönster. Kundtyper som flerbostadshus, offentliga förvaltningar och kontor passar generellt in i färre kategorier. Alla resultat efterlämnas till Lunds Energi i form av en framarbetad Microsoft Excel-fil som innehåller de indata som är nödvändiga för dynamiska nätberäkningar.

Nyckelord: fjärrvärme, self-organizing maps, användarmönster, värmeanvändning, kategorisering.

Förord

Detta examensarbete har genomförts i samverkan med Lunds Energi och avslutar vår femåriga utbildning på maskinteknik vid Lunds Tekniska Högskola.

Idén till examensarbetet har arbetats fram av Holger Feurstein, Lunds Energi. Grundstenen i examensarbetet har varit att kategorisera Lunds Energis fjärrvärmekunder utifrån deras användarmönster med avseende tid på dygnet och utomhustemperatur. Kategorierna som framkommit ska sedan vara till grund för dynamiska nätberäkningar som ska genomföras av annan part.

Vi vill härmed tacka alla anställda på Lunds Energi, speciellt vår handledare Holger Feurstein som har varit mycket hjälpsam och tillmötesgående. Det har gett oss bra förutsättningar för att genomföra vårt examensarbete. Vi vill också tacka vår handledare på LTH, Patrick Lauenburg, som varit mycket flexibel och kommit med bra feedback under arbetets gång. Ett tack riktas även till Andreas Jakobsson och Ted Kronvall, matematisk statistik, LTH och Simon Burgess, matematik, LTH som varit ett stöd under arbetet med kategoriseringen.

Christoffer Nilsson och Henrik Tengqvist

Lund, juli 2013

Innehåll

1. Inledning	1
1.1. Bakgrund	1
1.2. Syfte och mål.....	2
1.3. Metodik.....	2
1.4. Antaganden.....	3
1.5. Avgränsningar	3
1.6. Disposition	3
2. Teknisk översikt.....	5
2.1. Fjärrvärme.....	5
2.1.1. Historia.....	5
2.1.2. Produktion	6
2.1.3. Fjärrvärmenät	7
2.1.4. Fjärrvärmecentral	7
2.1.5. Kundens fjärrvärmeanvändning	9
2.2. Analys av Lunds Energis fjärrvärmenät.....	12
3. Utförande.....	18
3.1. Datahantering	18
3.1.1. Insamling av data	18
3.1.2. Inläsning av data till Matlab.....	19
3.2. Kategorisering	20
3.2.1. Säsongindelning.....	20
3.2.2. Val av kategoriseringsmetod	20
3.2.3. Self-organizing maps.....	21
3.2.4. Övriga utvärderade kategoriseringsmetoder	24
4. Resultat	26
4.1. Kundkategorier	26
4.1.1. Vinter	29
4.1.2. Mars-april & oktober-november.....	33
4.1.3. Maj & september	35
4.1.4. Sommar.....	37
4.2. Indata till dynamiska nätberäkningar	40
4.3. Trovärdighetsanalys.....	40
5. Diskussion	44

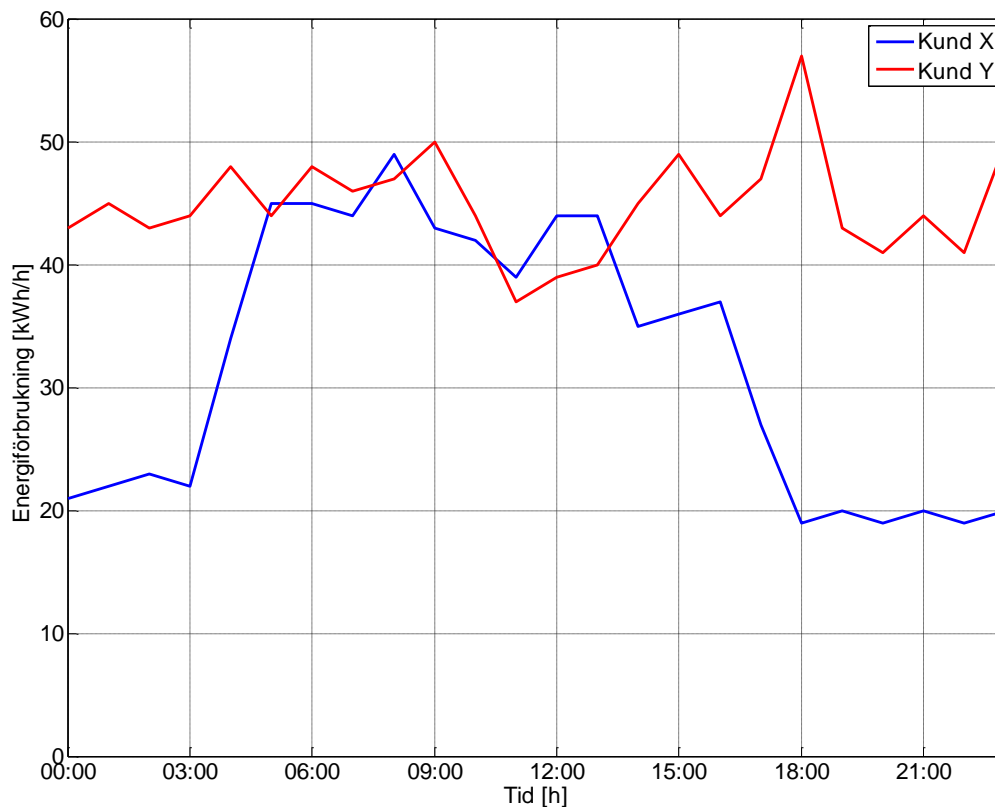
6. Slutsats	46
6.1. Vidare arbete	46
7. Referenser.....	48
Bilaga	50
Vinter.....	50
Mars- april & oktober-november	54
Maj & september	58
Sommar	62

1. Inledning

1.1. Bakgrund

Alla fjärrvärmenät påverkas av hur dess anslutna fjärrvärmekunder använder värmen vid olika tidpunkter. För att optimera värmeproduktionen, både ekonomiskt och miljömässigt, måste denna anpassas till kundernas varierande värmeanvändning.

Ponera att det i ett fjärrvärmenät finns Kund X och Kund Y. Båda dessa kunder använder relativt mycket värme från fjärrvärmenätet. Det som tydligt skiljer dem åt är hur och när de använder värmen. I figur 1 visas Kund X:s och Kund Y:s värmeanvändning under samma dygn. Kund X har en relativt jämn värmeanvändning mellan kl. 05:00 och 16:00 medan Kund Y har en tydlig minskning av värmeanvändning runt lunchtid och en kraftig ökning runt 18:00. Kund Y har även en relativt jämn värmeanvändning sett till alla dygnets timmar.



FIGUR 1. VÄRMEANVÄNDNING FÖR KUND X OCH KUND Y UNDER ETT DYGN.

Hade alla kunder haft en värmeanvändningsprofil liknande Kund Y hade det varit tämligen lätt att anpassa fjärrvärmeproduktionen därefter. Det hade dock krävts en installerad effekt som hade klarat av att tillgodose kundernas värmebehov vid kl. 18:00. En stor del av denna installerade effekt hade inte använts under dygnets resterande timmar. Detta scenario är självfallet inte optimalt, även om det ofta kan finnas kunder som har ännu större variationer än vad Kund Y har. För fjärrvärmebolaget vore det önskvärt att kunna hålla så jämn produktion som möjligt under hela dygnet.

I verkligheten är det inte realistiskt att uppnå en värmeanvändningskurva, för samtliga anslutna kunder, som är jämn och stabil. Det finns flera fördelar med att veta hur och när fjärrvärmekunder använder sin värme:

- Ökade möjligheter för bättre prognostisering av fjärrvärmeproduktion
- Underlag för framtida investeringar/utbyggnationer av fjärrvärmenät
- Ekonomiska och miljömässiga besparingar genom exempelvis sänkt framledningstemperatur

I över 20 år har det funnits kommersiella system för automatiserad avläsning av mätdata för varje fjärrvärmekund. Anledningen till att fjärrvärmebolagen inte valt att investera i detta tidigare är att det är först på senare år som det har blivit ekonomiskt försvarbart. Denna tillgång till mätdata öppnar upp stora möjligheter för att kunna optimera fjärrvärmeproduktionen. [1]

1.2. Syfte och mål

Syftet med detta examensarbete är att kategorisera Lunds Energis fjärrvärmekunder utifrån deras uppmätta timvärden för värmeanvändning under 2012, med lämplig metod. Resultatet ska presenteras så att det med lätthet går att betrakta vilken inverkan utomhustemperaturen och tid på dygnet har på värmeanvändningen för kunderna i varje kategori. För en så objektiv kategoriseringsprocess som möjligt har Lunds Energi inte utlämnat någon information om deras kunder, bortsett från identiteten för deras mätcentral. På detta sätt finns det heller ingen vetskap om vilken typ av kund som tilldelats en given kategori. Endast i efterhand har adresser utlämnats för varje kund.

Vidare ska även kategorierna studeras för att klargöra vilka typer av kunder det finns i varje kategori. Finns det typiska användarmönster för olika typer av kunder?

Resultatet ska även vara till grund för vidare dynamiska nätberäkningar för Lunds Energi. Därför ska kategorierna presenteras på ett lättöverskådligt sätt samt att det enkelt ska gå att använda informationen vidare.

1.3. Metodik

Examensarbetet involverar en litteraturstudie som resulterar i en beskrivning av fjärrvärme i sin helhet och dess tekniska aspekter. Rapporter, artiklar, undervisningslitteratur och intervjuer har varit grunden för materialet som presenteras. Även data från Svensk Fjärrvärme har kommit till användning.

För att bearbeta den stora mängd mätdata har datorprogrammen Programmer's File Editor, Microsoft Excel och Matlab använts. Samtliga beräkningar och kategoriseringar har genomförts i Matlab.

Rapporter och litteratur har till stor del bidragit till de kategoriseringsmetoder som utvärderats.

Matlab har även använts för att presentera resultatet på ett lättöverskådligt sätt. Vid namngivningen av kategorierna har Excel använts för att lätt få en översikt av olika kunder och vilka adresser de har.

1.4. Antaganden

De utomhustemperaturer som används är uppmätta i norra Lund. Dessa temperaturer antags vara samma för varje timme i alla delar av Lund samt Lomma och Eslöv. Detta antagande har gjorts eftersom en kategorisering av kunderna annars vore omöjlig.

Vid benämning av energi och värme i sammanhang som förbrukning och användning görs detta med full vetskap om att energi inte kan försvinna eller skapas. Dessa benämningar görs endast för att underlätta skrivandet och förståelsen.

Samma kund antas vara ansluten till samma fjärrvärmecentral under den tid då all värmeanvändning uppmätts. Det tas alltså ingen hänsyn till eventuella byten av verksamhet eller boende.

Vid de fall då det fallit bort mätdata under några enstaka timmar för någon kund, har dessa mätvärden interpolerats fram för att få fram en så trovärdig värmeanvändning som möjligt.

Vid benämning av Lunds Energis fjärrvärmekunder menas de kunder som ligger i Lund, Lomma och Eslöv. Detta gäller dock inte för figur 8 som visar bränsle som använts vid tillförd energi för Lunds Energis totala fjärrvärmenät. Informationen som ligger till grund för figur 8 finns endast tillgänglig för samtliga Lunds Energis kunder. Denna benämning görs för att förenkla läsandet och skrivandet.

Benämningar av ordet kluster innebär en generell beskrivning av indelningar gjorda av kategoriseringsmetoder. Ordet kategori används för att beskriva de grupper av kunder som kan utläsas av de kluster som fås från kategoriseringsmetoden.

1.5. Avgränsningar

Eftersom examensarbetet berör kunder från Lunds Energis fjärrvärmenät utgår rapporten från svenska fjärrvärmeförhållanden.

De fjärrvärmekunder som kategoriseras ligger i Lund, Lomma och Eslöv och baseras på mätdata som är uppmätta under år 2012.

Vid samtliga kategoriseringar har ingen hänsyn tagits till yttre faktorer som kan påverka fjärrvärmekundernas värmeanvändning. Vindkylningseffekter, solstrålning och geografiska skillnader är exempel på sådana faktorer.

I resultatet redovisas inte alla unika kunder för varje kategori eftersom det är oerhört tidskrävande. Då detta arbete skulle utförts manuellt skulle det också innebära en stor osäkerhet eftersom det är svårt att veta exakt vilken typ av kund som representerar en viss mätcentral. Endast adressen för varje kund har tillhandahållits efter kategoriseringen. I resultatet presenteras istället antalet kunder för varje kategori samt vilka kundertyper som tydligt framkommer i dessa.

1.6. Disposition

Inledning – Kapitlet innefattar en kort bakgrund med information om olika fjärrvärmekunders användarmönster samt redogör för vilka fördelar kunskapen om detta medför. Syftet med examensarbetet, metodiken som använts, antaganden som gjorts och avgränsningar presenteras också.

Teknisk översikt – Kapitlet beskriver konceptet med fjärrvärme och ger en grundlig genomgång av fjärrvärmecentralen. Tydliga förväntade kundtyper presenteras också. Ytterligare redovisas en analys av läget i Lunds Energis fjärrvärmenät för 2012.

Utförande – Under detta kapitel framförs tillvägagångssättet för att bearbeta mätdata, vilka val som gjorts för att kategorisera fjärrvärmekunderna. Alla utvärderade kategoriseringsmetoder, med fokus på self-organizing maps, presenteras också.

Resultat – Den färdiga kategoriseringen redovisas i detta kapitel. Några intressanta kategorier används som underlag för att klargöra tydliga skillnader i användarmönster och vilka typer av kunder som förekommer i dessa. Indata till vidare dynamiska nätberäkningar presenteras med stöd av ett urklipp från Excel. En trovärdighetsanalys av resultatet framförs också.

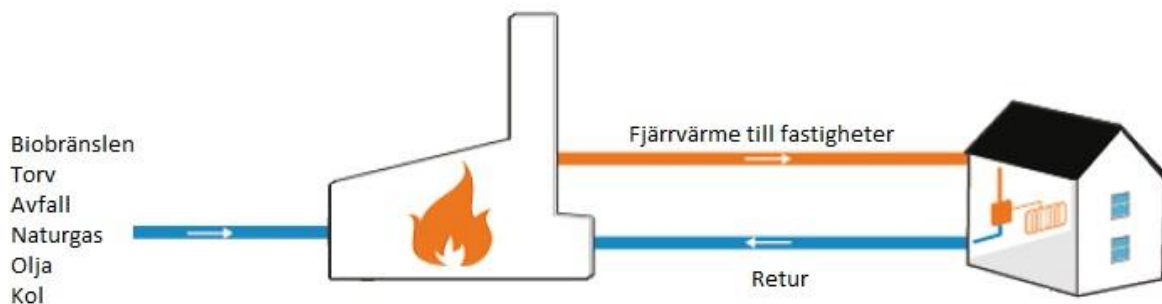
Diskussion – Intressanta iakttagelser och observationer från resultatet diskuteras. Även nyttan av resultatet tas upp.

Slutsats – Med syftet av examensarbetet som stöd presenteras här de slutsatser som gjorts. Förslag på vidare arbete avhandlas också.

2. Teknisk översikt

2.1. Fjärrvärme

Fjärrvärme bygger på idén att värme distribueras till byggnader i form av upphettat vatten via ett nät [2]. Varje enskild byggnad utnyttjar värmen, genom en egen fjärrvärmecentral som normalt inkluderar en eller flera värmeväxlare och en rad andra komponenter, för uppvärmning och tappvarmvatten. Olika nät använder sig av olika metoder för att värma upp vattnet i nätet. I figur 2 kan hela fjärrvärmesystemet beskådas, från produktion via nät till kund. [3],[4]



FIGUR 2. ÖVERSIKTSBILD SOM STEG FÖR STEG VISAR PRINCIPEN VID PRODUKTION OCH DISTRIBUTION AV FJÄRRVÄRME [5] (EGEN BEARBETNING).

2.1.1. Historia

Redan i slutet av 1800-talet började man i USA och Tyskland installera fjärrvärme. Vid den tiden var det ånga som användes som distributionsmedium. Även i Sverige blev man intresserad av fjärrvärme och i början av 1900-talet lanserades ett flertal projekt som senare rann ut i sanden. Ett av de största argumenten mot fjärrvärme var att det då fanns ett stort överskott på vattenkraft.

Efter andra världskriget förändrades Sverige snabbt och det skedde en urbanisering vilket gav bra förutsättningar för fjärrvärme. Det första kommunala fjärrvärmesystemet i Sverige installerades 1948 i Karlstad. Då var det ett kraftvärmeverk som levererade både el och värme till ett gjuteri. Två år senare anslöts även 120 lägenheter till nätet.

Under 60-talet byggdes flera kraftvärmeverk i Sverige och försäljningen av fjärrvärme fördubblades på fem år från 5 till 10 TWh men det var inte förrän efter oljekrisen 1973 som det stora genombrottet kom. Det var även då bostäderna från miljonprogrammet blev klara och de kunde direkt anpassas och anslutas till fjärrvärmerna. [6]

I Lund anslöts de första byggnaderna till fjärrvärmenätet 1963. De första åren fanns det bara några öar med separata värmeverk. I mitten av 70-talet började fjärrvärmenätet i Lund expandera ordentligt i och med byggandet av ett större värmeverk samt att de tidigare öarna länkades samman för att bilda ett gemensamt nät. [7]

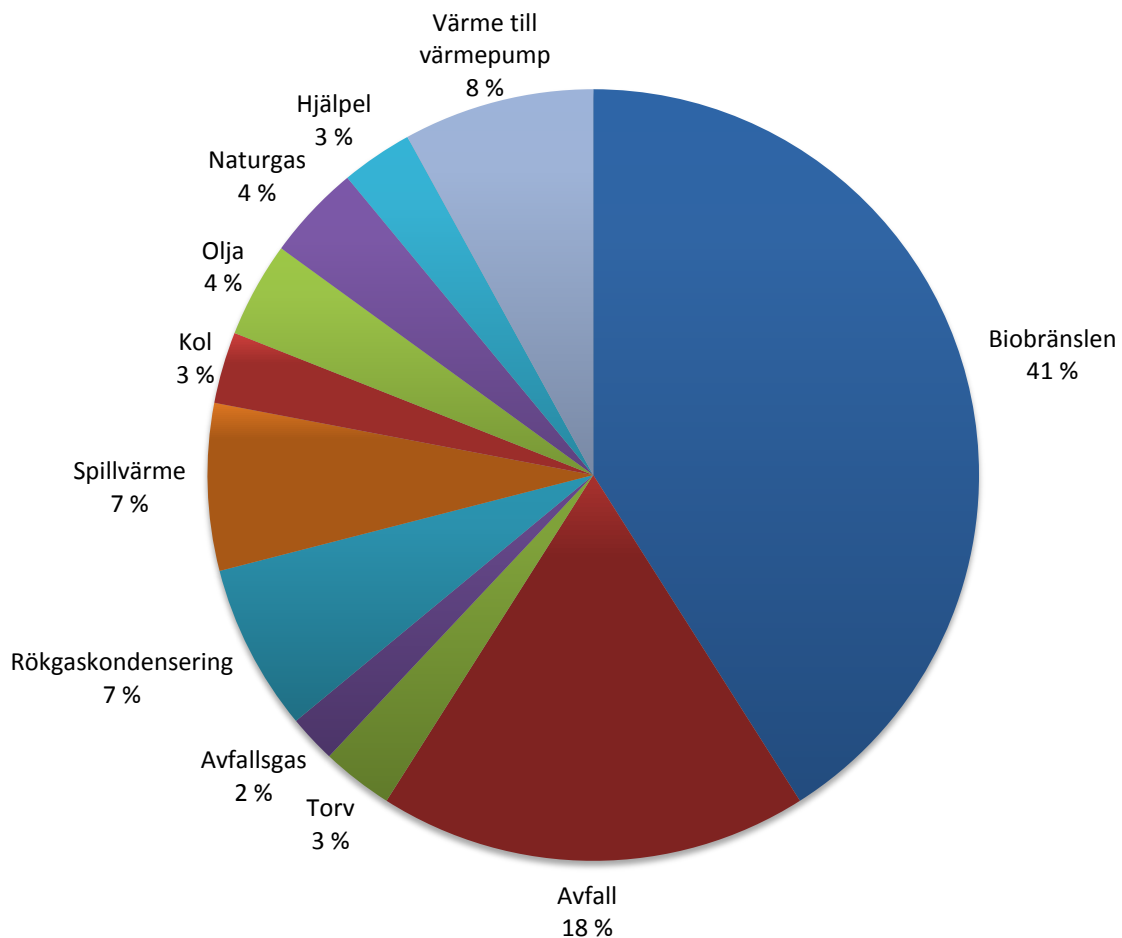
År 2011 producerades 60 TWh fjärrvärme i Sverige och hela 93 % av flerbostadshusen och 83 % av lokaler använder sig av tekniken. På småhusmarknaden hade fjärrvärmerna en andel på 12 %. [4]

2.1.2. Produktion

De energikällor som lämpar sig bäst för dagens fjärrvärmebruk är enligt Frederiksen och Werner [2]:

- Värme från kraftvärmeverk
- Värme från avfallsförbränning
- Värme från processindustrier
- Värme genom förbränning av förnybara bränslen
- Värme från geotermisk energi

Genom värmeväxling överförs värmen mellan de olika systemen för att slutligen kunna användas som värme och tappvarmvatten av kunden.



FIGUR 3. TILLFÖRD ENERGI TILL VÄRMEPRODUKTION FÖR SVENSKA FJÄRRVÄRMENÄT 2011 [8] (EGEN BEARBETNING).

Som figur 3 visar kommer 59 % av all tillförd energi för svenska fjärrvärmenät från avfall och biobränslen tillsammans. Andelen tillförd förnybar energi är nästan 90 %. Vissa produktionsanläggningar lämpar sig bäst för kontinuerligt bruk och används som baslast i fjärrvärmenät. När nätet är högt belastat måste kapaciteten förstärkas med en topplast som används mer sporadiskt än baslasten. Anläggningar som används för baslast respektive topplast skiljer sig stort i fråga om kapitalkostnad, rörlig kostnad, uppstartskostnad samt reglertekniska egenskaper. Valet av vilken anläggning som ska användas utgår från en kostnadsoptimering som baseras på nätlasten. Lastprognoser används för att åstadkomma framförhållning som kan vara nödvändig vid idrifttagning av olika produktionsanläggningar.

2.1.3. Fjärrvärmenät

Gemensamt för alla fjärrvärmenät är att de har som uppgift att transportera uppvärmt vatten till anslutna kunder. Framledningen levererar det upphettade vattnet till kunder och returledningen transporterar avkyllt vatten, vars värme utnyttjats av kunder, tillbaka till källan för uppvärmningen av vattnet. För att vattnet ska kunna transporteras runt i hela fjärrvärmenätet finns pumpstationer vid produktionsanläggningarna och på andra platser i nätet där det behövs en tryckhöjning. Pumparna är nödvändiga för att få ett tillräckligt högt flöde av fjärrvärmevattnet i hela nätet. Det är oftast områden i utkanten av näten, en bit bort från produktionsanläggningarna, som är i störst behov av lokala tryckhöjningspumpar. Hur fjärrvärmenäten är strukturerade beror på en rad olika faktorer. Storlek, avstånd, antal kunder och stadens geografi är exempel på bidragande orsaker för eventuella variationer i olika fjärrvärmenätstrukturer. Fjärrvärmenätens hydrauliska egenskaper övervakas genom omfattande datainsamling, ofta i kombination med termohydrauliska datasimuleringar. [2]

2.1.4. Fjärrvärmecentral

Hos varje fjärrvärmekund finns en installerad fjärrvärmecentral. I flerbostadshus är det vanligast att det finns en gemensam central för hela huset medan villakunder förfogar över sin egen. I nuläget finns det många olika typer av fjärrvärmecentraler men trenden går mot en internationell standardisering av fjärrvärmecentraler. [2]

En fjärrvärmecentral består av många komponenter för att kunna utföra de uppgifter den har. Grundkomponenterna är värmeväxlare, reglercentral, reglerventil, cirkulationspump, flödesgivare, temperaturgivare och expansionskärl. En schematisk bild över en fjärrvärmecentral presenteras i figur 4.

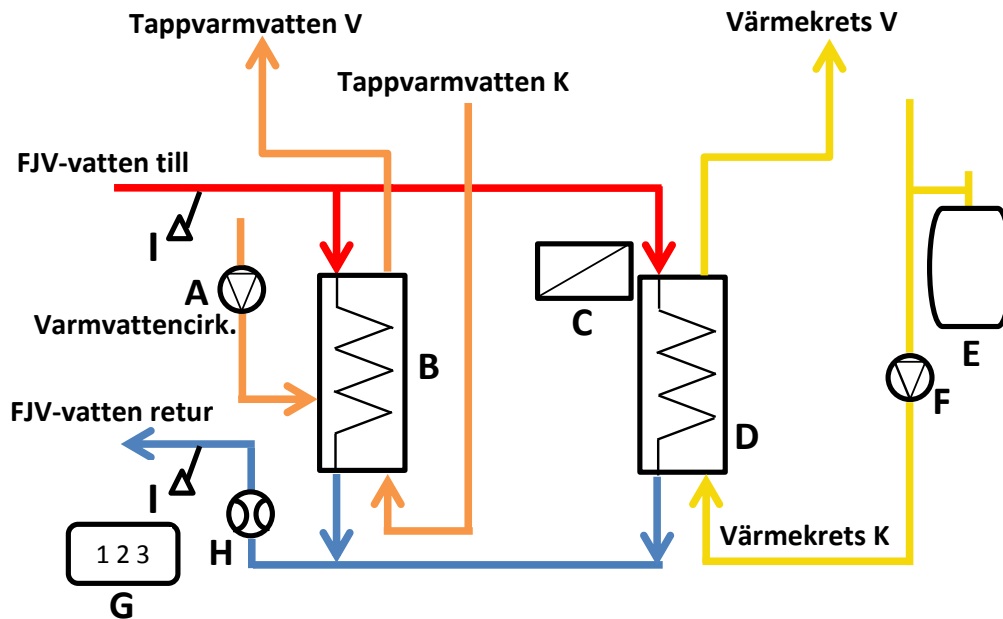
Fjärrvärmecentralen består av två värmeväxlare, en för värme i bostaden (D) och en för tappvarmvatten (B). Vanligtvis eftersträvas en temperatur på 55 °C för tappvarmvatten på grund av risken för legionärssjuka.

I reglercentralen (C) ställs den önskade temperaturen för värmesystemet in. Denna temperatur baseras på temperaturgivare som mäter inom- och utomhustemperaturen. Reglerventilen har som uppgift att anpassa flödet så att den eftersträvide temperaturen uppnås.

Cirkulationspumparna (A & F) har som uppgift att cirkulera vattnet, både till radiatorerna och till tappvarmvattnet. Mindre anläggningar har inte alltid en cirkulationspump för tappvarmvattnet. Cirkulationspumpen för tappvarmvattnet har som uppgift att cirkulera varmvattnet i systemet via värmeväxlaren så att man får varmt vatten direkt när man sätter på tappvattenkranen.

För att fjärrvärmebolaget ska kunna debitera kunden måste de veta hur mycket värme kunden använder. Till detta ändamål används en värmemätare (G). Värmemätaren består av en flödesgivare (H), två temperaturgivare (I) och ett integreringsverk (J). Temperaturgivarna mäter både framledningstemperatur och returtemperatur. Med dessa parametrar kan man, med hjälp av integreringsverket, mäta mängden värme som tagits ut i bostaden. Temperaturgivarna sitter vid in- och utloppet hos kunden. [9]

Expansionskärl (E) används för att hantera den volymökning som sker vid en ökning av temperaturen av fjärrvärmevattnet. Alternativet hade varit en tryckökning i systemet. [10]



FIGUR 4. FÖRENKLAD SCHEMATISK BILD ÖVER EN TYPISK FJÄRRVÄRMECENTRAL MED INDIREKT KOPPLING OCH DESS INGÅENDE KOMPONENTER.

TABELL 1. TABELL ÖVER ALLA INGÅENDE KOMPONENTER I FIGUR 4.

A	Cirkulationspump för tappvarmvatten
B	Värmeväxlare för tappvarmvatten
C	Reglercentral
D	Värmeväxlare för värmekrets
E	Expansionskärl
F	Cirkulationspump för värmekrets
G	Energimätare
H	Flödesgivare
I	Temperaturgivare

Den rekommenderade temperaturen för genomströmningsberedare är 55 °C och det är också genomströmningsberedare som är den vanligaste typen i fjärrvärmecentraler. Det finns även förrådsberedare med varmvattencirkulation men de kräver en temperatur på 60 °C eftersom varmvattencirkulationen inte ska understiga 50 °C. [11]

Vid överföringen av värme från fjärrvärmenätet till kund är den dominerande kopplingstypen i Sverige en indirekt koppling, likt den som illustreras i figur 4. Fördelarna med denna kopplingstyp är att fjärrvärmevattnets värmeöverföring sker i fjärrvärmecentralen och inte direkt i radiatorerna. Denna kopplingstyp förknippas med hög tillförlitlighet men med en högre kostnad än direktkoppling. Ett system med direktkoppling saknar värmeväxlare, vilket innebär att fjärrvärmevattnet cirkulerar direkt i värmesystemet. [2]

2.1.4.1. Mätutrustning

Det finns fyra vanligt förekommande typer av flödesgivare för mätning av vattenflöde i fjärrvärmecentraler. Två av flödesgivarna är till modellen något äldre och fungerar på liknande sätt. De använder sig av en roterande impeller som roterar med en hastighet som är proportionell mot

vattnets hastighet genom givaren. Typen av impeller varierar beroende på ledningens dimension. Detta resulterar i två olika typer av flödesgivare. De andra två flödesgivartyperna har inga rörliga delar utan använder sig av elektromagnetisk induktion eller ultraljud. Den flödesgivare som är vanligast vid nyinstallationer av fjärrvärmecentraler är den som mäter flödet med ultraljudsteknik.

Vid mätning av vattentemperaturer i mätcentraler har temperatursensorer, som med hjälp av varierande elektrisk resistans vid varierande temperaturer, använts i många år. Temperatursensorerna är ofta tillverkade av platina som är ett mycket tidsstabilt material. Det finns många utbredda tekniker för att automatiskt avläsa mätdata från samtliga kunders fjärrvärmecentraler. Signaler från mätcentraler kan exempelvis överföras via internet, GSM-nät, elektriska nät och radiovågor. I och med att mätutrustning har blivit billigare med åren och att det numera finns många alternativa möjligheter att automatisera avläsning från kundernas fjärrvärmecentraler, får fjärrvärmebolagen större möjligheter att kartlägga olika kunders värmeanvändning och vilken effekt det har på fjärrvärmenäten. [2]

2.1.5. Kunders fjärrvärmeanvändning

Kunder som är anslutna till fjärrvärmenät använder värme på olika sätt vid olika tillfällen beroende på en rad olika parametrar. Tid på dygnet, veckodag, årstid, utomhustemperatur, solstrålning och beteendemönster är bara några av många faktorer som påverkar hur mycket värme en specifik kund använder sig av vid en viss tidpunkt. För energibolag är det av stort intresse att sträva mot en så optimal fjärrvärmeproduktion som möjligt. Mängden värme som fjärrvärmekunder är i behov av vid någon tid på dygnet kan variera. Genom att kategorisera kunderna och deras fjärrvärmeanvändning skulle det bli lättare att prognostisera värmeproduktionen.

Kunders fjärrvärmebehov delas upp som sociala och fysiska. Värmebehov som kan anknytas till människors sätt att leva klassas som sociala medan fysiska värmebehov associeras med fysiska värmeflöden. Ett exempel på fysiska värmeflöden kan vara värmeöverföring mellan insidan och utsidan på husväggen till följd av skillnaden i utom- och inomhustemperaturer.

Fysiska värmebehov är oftast relativt enkla att förutspå. De är starkt beroende av årets säsonger och utomhustemperaturer. De fysiska värmebehoven är även starkt synkroniserade i samma fjärrvärmenät eftersom de oftast täcker en stad eller ett mindre geografiskt område. Ett antagande att ungefär samma väderförhållanden råder över ett helt fjärrvärmenäts utsträckning är högst motiverat.

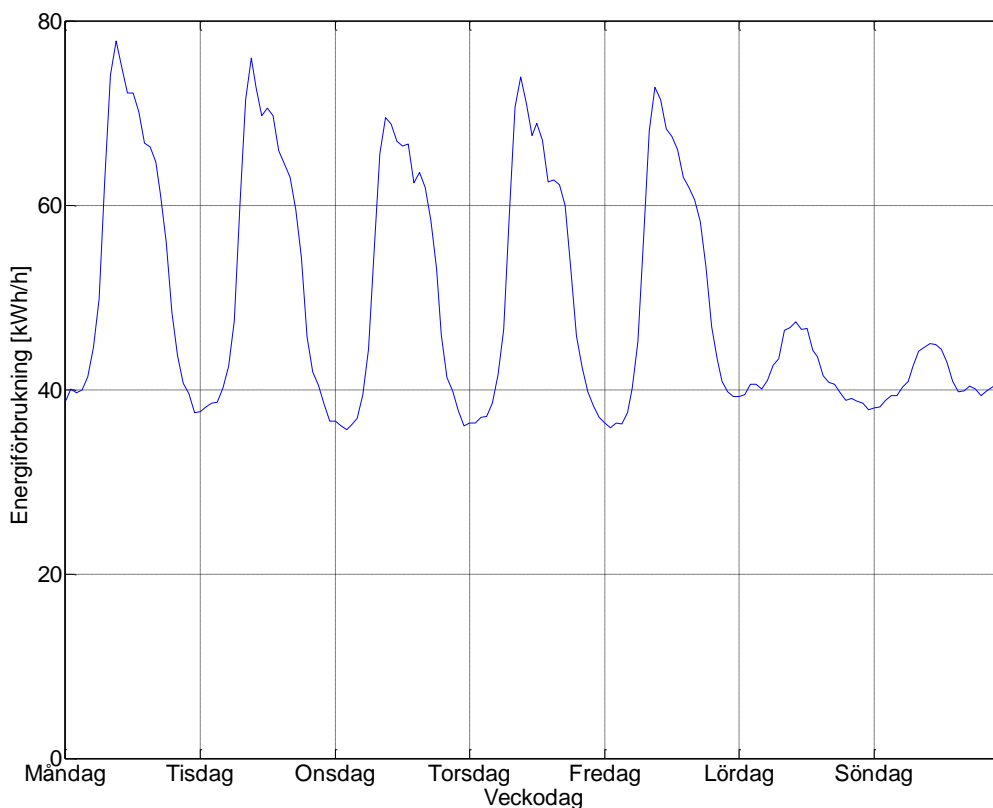
Sociala värmebehov är å andra sidan osynkroniserade och därmed svårare att förutspå. Alla fjärrvärmekunder har olika beteenden och livsstilar, vilket resulterar i varierande värmebehov. Det är framförallt tappvärmevattenanvändningen som förknippas med sociala värmebehov. Matlagning och aktiviteter som främjar personlig hygien är båda exempel där tappvärmevatten kommer till användning. I och med att mätdata för fjärrvärmekunder de senaste decennierna har blivit lättillgänglig är det numera lättare att få en uppfattning om hur de sociala värmebehoven påverkar fjärrvärmenäten. [2]

Att fjärrvärmeanvändning varierar starkt beroende på säsong är allmänt vedertaget. Gadd [1] och Frederiksen och Werner [2] presenterar olika karaktärsdrag för de olika säsongerna under ett år. (Dessa beskrivningar av varje säsong baseras på en total fjärrvärmelast. Som tidigare nämnts så förekommer det stora variationer mellan fjärrvärmenätets olika kunder):

- För vintermånaderna är värmelasten ofta högre under dagen men i vissa fall tenderar den att minska vid lunchtid. Det lägsta värmebehovet infinner sig oftast under nätterna.
- Under tidig vår och sen höst får man mer solstrålning under dagtid vilket bidrar till dubbeltoppar under dagen, en på morgonen och en tidigt på kvällen. Dagstopparna är oftast lägre under helgerna.
- Vid sen vår och tidig höst finner man oftast endast en topp på morgonen och knappt någon variation under helgen. Den lägsta fjärrvärmeanvändningen ligger på eftermiddagen.
- Under sommaren finns knappt några skillnader i värmelasten.

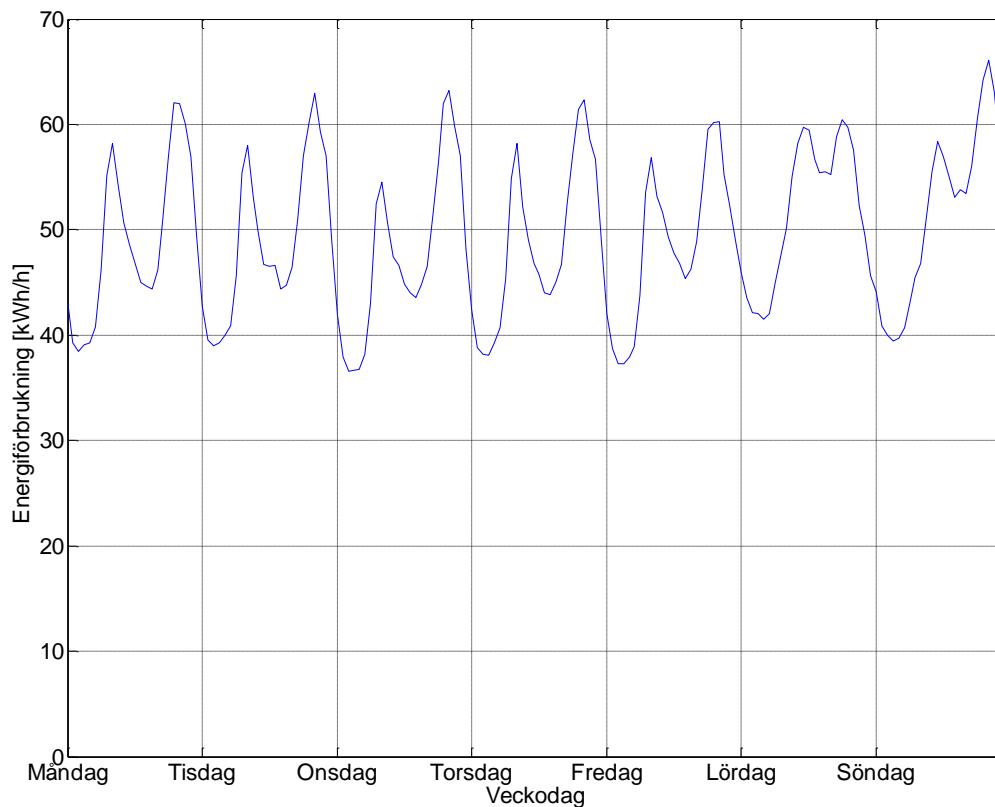
Enligt Gadd [1] är det svårt att kategorisera ett stort antal kunder utan att det blir en märkbar spridning i varje kategori. Det är viktigt att påpeka att varje kund är unik vad det gäller användarmönster. Frånsett detta finns det ändå ett antal allmänt vedertagna kategorier som framkommer i Frederiksen och Werner [2].

Kunder som har ett användarmönster som liknar den i figur 5 antas ofta vara kontorsbyggnader eller byggnader inom servicesektorn. Vid varje vardagsmorgon förekommer en kraftig ökning av värmeanvändning som sedan hålls relativt konstant fram till slutet av eftermiddagen, då det sker en relativt plötslig minskning. Värmeanvändningen under helgen är liten jämfört med vardagarna. Det kan dock mycket väl vara så att andra typer av fjärrvärmekunder har liknande användarmönster och därmed skulle bli tilldelad samma kategori.



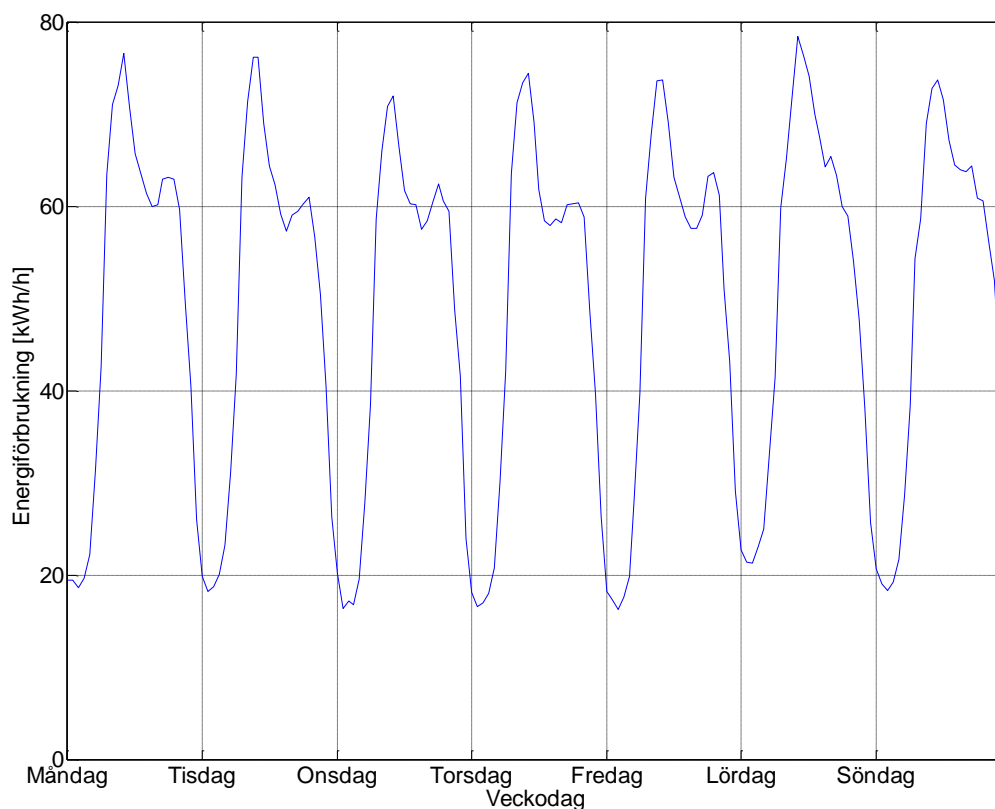
FIGUR 5. VÄRMEANVÄNDARMÖNSTER FÖR ETT TYPISKT KONTOR UNDER VINTERSÄSONEN.

En annan övergripande kategori som förväntas förekomma är flerbostadshus. Figur 6 visar ett användarmönster som är typiskt för en sådan kategori. Kunder i denna kategori använder värme mest under några få timmar på morgonen och på kvällen. Den minsta värmeanvändningen förekommer mitt på dagen och under natten. Till skillnad från figur 5 är det ingen större skillnad i användning över helgen.



FIGUR 6. VÄRMEANVÄNDARMÖNSTER FÖR ETT TYPISKT FLERBOSTADSHUS.

Ytterligare en kategori som bör uppkomma är en kategori som använder värme likt figur 5 men fortfarande har en liknande användning under helgen. Kunder som använder värme på detta sätt antas vara offentliga byggnader såsom sjukhus, köpcenter eller helt enkelt kontor där verksamhet även fortgår under helgen. Ett sådant användarmönster presenteras i figur 7.

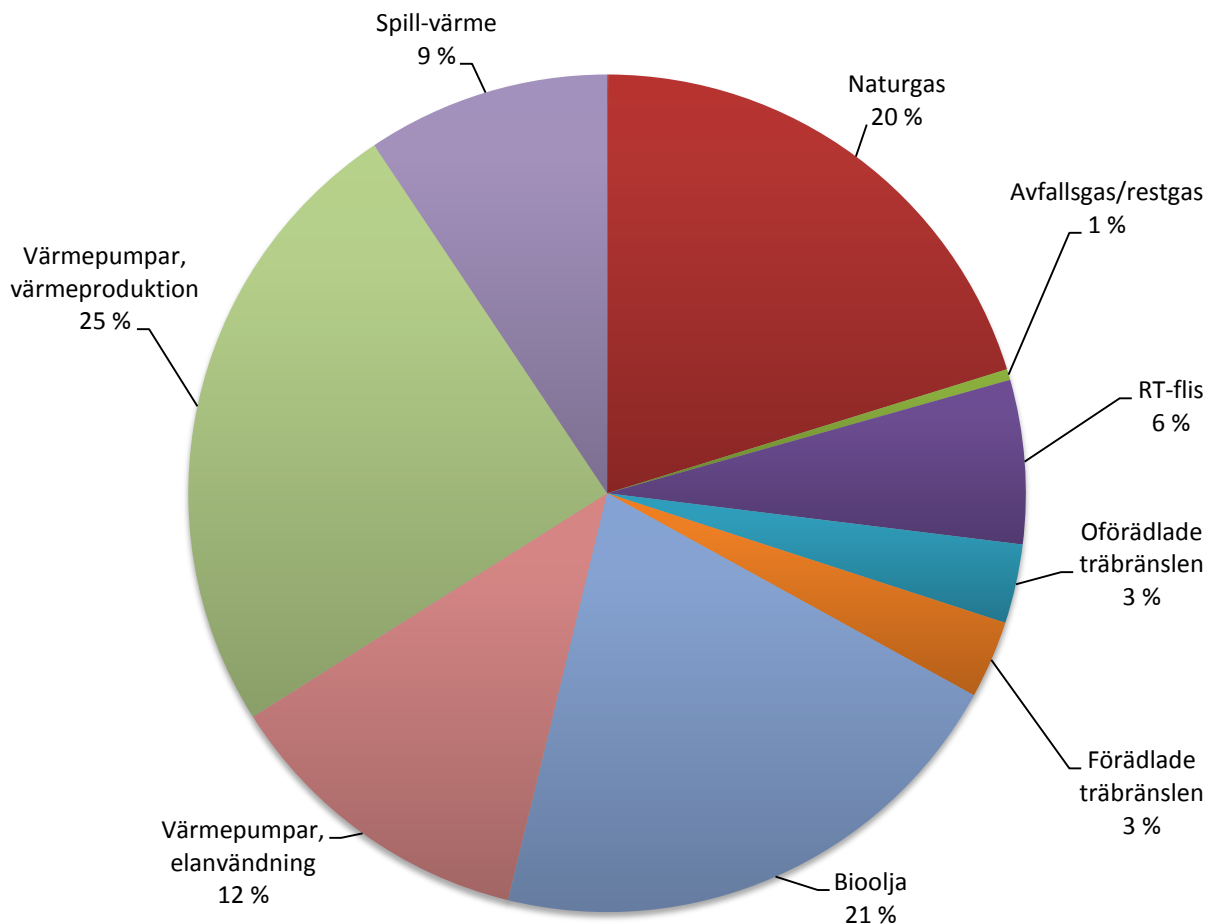


FIGUR 7. VÄRMEANVÄNDARMÖNSTER FÖR EN TYPISK OFFENTLIG BYGGNAD MED HELGAKTIVITET

Det finns förvisso fler potentiella kategorier som kan presenteras men de ovanstående är övergripande och påvisar att det faktiskt finns en påtaglig skillnad i värmeanvändning bland fjärrvärmekunder.

2.2. Analys av Lunds Energis fjärrvärmenät

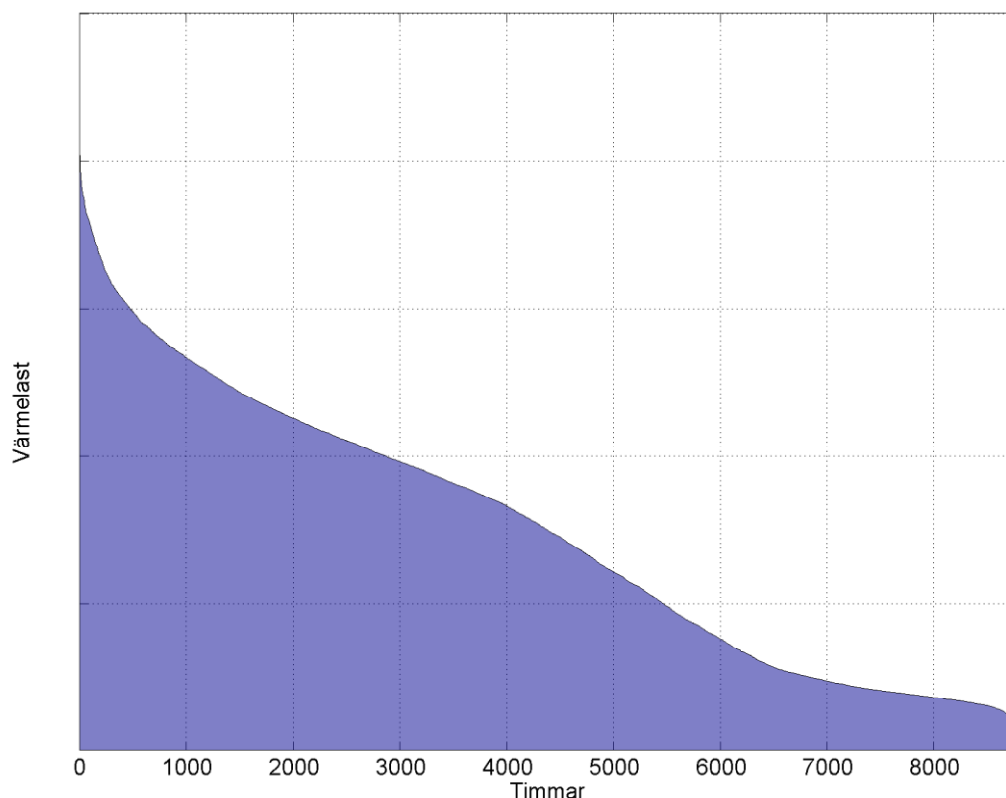
Lunds Energis fjärrvärmedistribution under år 2011 uppgick till 1 055 GWh [12]. Den energin som användes för att möjliggöra detta fördelas enligt figur 8. Noterbart är att den tillförda energin till Lunds fjärrvärmenät skiljer sig en del från den totala tillförda energin i alla Sveriges fjärrvärmenät, figur 3. Andelarna naturgas och värmepumpar hade en betydligt större andel av den tillförda energin i Lunds fjärrvärmenät än i de svenska näten totalt under år 2011.



FIGUR 8. TILLFÖRD ENERGI TILL VÄRMEPRODUKTION FÖR LUNDS ENERGIS FJÄRRVÄRMENÄT 2011 [8] (EGEN BEARBETNING).

I januari 2012 uppgick antalet mätcentraler i Lunds Energis fjärrvärmennät till 6301. Vid årets slut hade antalet ökat till 6756. Det är viktigt att poängtera att antalet mätcentraler inte överensstämmer med antalet hushåll. Ett lägenhetskomplex, som består av flera hushåll, kan till exempel endast ha en mätcentral.

En summering av värmelasten under år 2012 för alla fjärrvärmekunder i Lunds Energis fjärrvärmennät ger ett varaktighetsdiagram enligt figur 9.

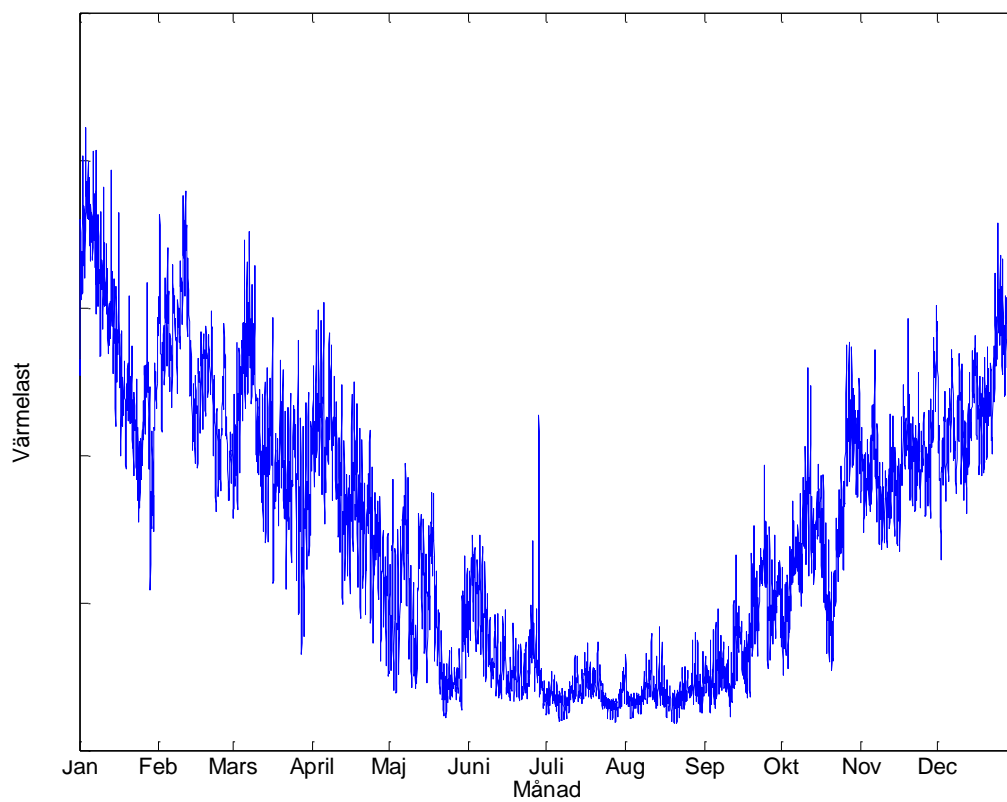


FIGUR 9. VARAKTIGHETSDIAGRAM ÖVER LUNDS ENERGIS FJÄRRVÄRMENÄT ÅR 2012

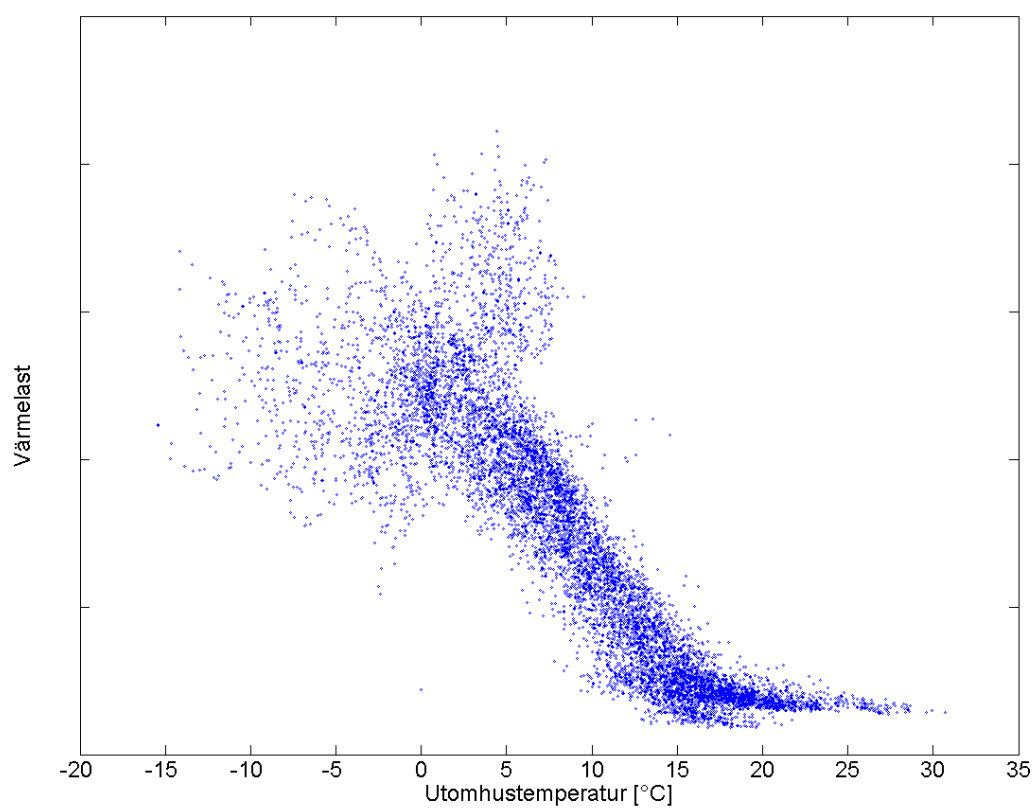
Figur 10 ger en tydlig bild över hur värmelasten varierar över årets månader. Skillnaderna över de dagliga variationerna av värmelasten beror framförallt på varierande utomhustemperatur. Som väntat innebär en kallare utomhustemperatur en högre värmelast.

För att få en uppfattning om hur mycket utomhustemperaturen påverkar värmebehovet hos fjärrvärmekunderna har alla fjärrvärmekunders effektbehov summerats under alla timmar under 2012. Resultatet av detta kan skådas i figur 11. När utomhustemperaturen överstiger 17 °C förefaller värmebehovet vara tämligen konstant. Detta är ett tecken på att fjärrvärmens nästan enbart används för tappvarmvatten vid dessa förhållanden.

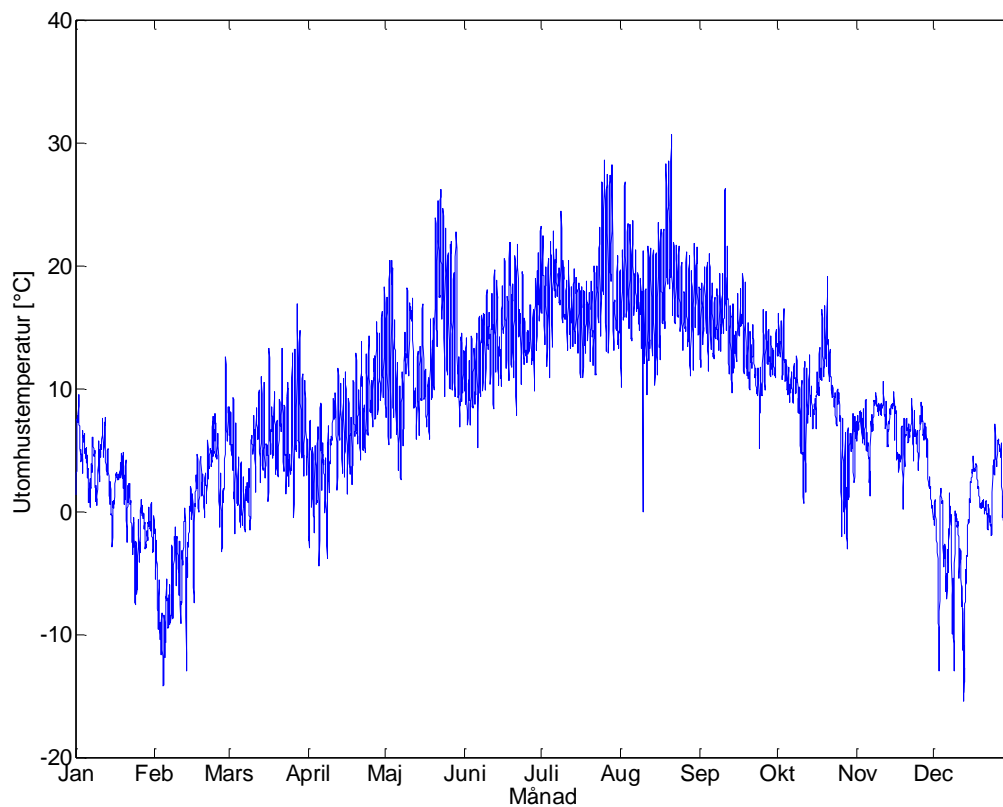
Som stöd till dessa slutsatser presenteras även utomhustemperaturer i Lund för varje timme under år 2012 i figur 12. Medeltemperaturen under hela år 2012 för Lund var en knapp grad högre än det normala. Något mildare somrar vägdes upp av ett relativt varmt vinterhalvår [13].



FIGUR 10. VÄRMELAST I LUNDS ENERGIS FJÄRRVÄRMENÄT ÅR 2012



FIGUR 11. VÄRMELAST I LUNDS ENERGIS FJÄRRVÄRMENÄT MOT UTMOHUSTEMPERATUR UNDER ÅR 2012. DEN STORA SPRIDNINGEN DÅ TEMPERATUREN UNDERSTIGER 0°C BEROR TROLIGTVIS PÅ ATT SAMMA TEMPERATUR ANTAGITS I BÅDE LUND, LOMMA OCH ESLÖV.

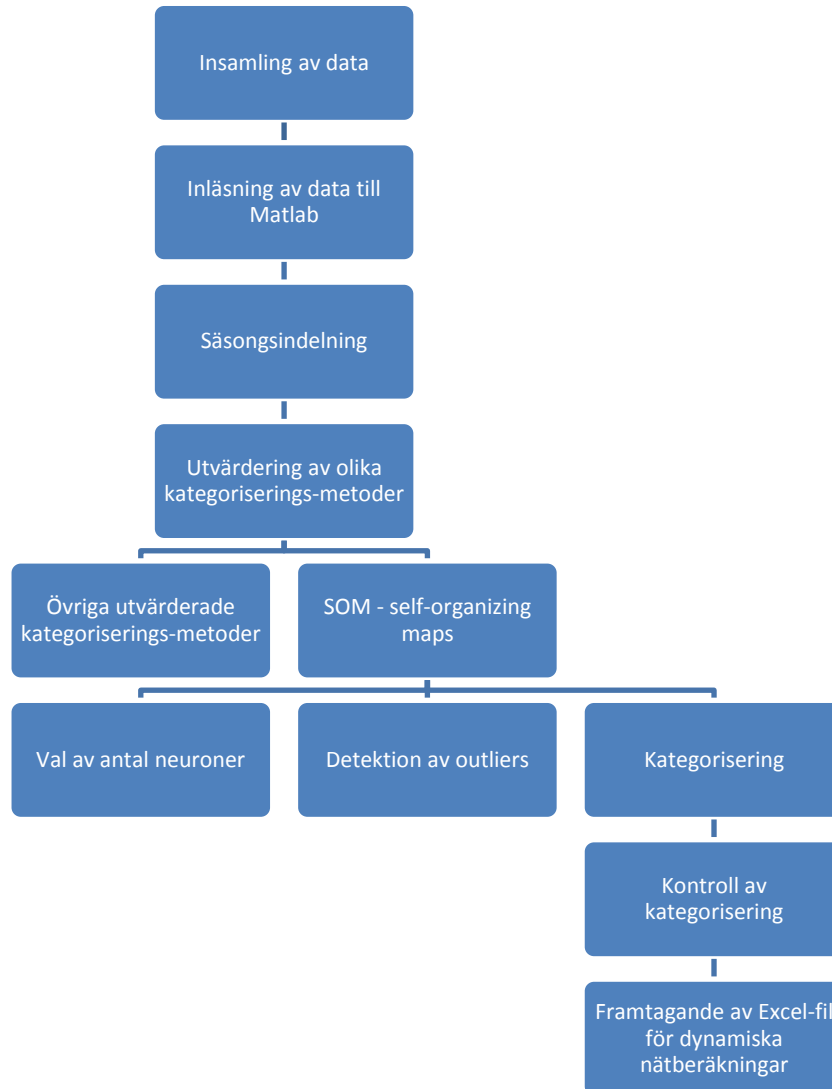


FIGUR 12. UTMOMHUSTEMPERATUR I LUND ÅR 2012.

Dynamiska nätberäkningar i fjärrvärmesammanhang görs för att hitta styrkor och svagheter i nätet. Svagheter är ofta förknippade med områden som har för låga tryck och temperaturer. Områden med högre tryck och temperaturer behövs exempelvis inte förstärkas vid eventuella utbyggningar av nätet. För Lunds Energis tidigare nätberäkningar har ett gammalt kategoriseringssystem använts. Detta system bygger på antagna användarmönster för olika typer av kunder. Man har exempelvis antagit att byggnader som liknar varandra har haft samma användarmönster. Detta antagande innebär stora osäkerheter i hur varje specifik kund använder sin värme. En större vetskap om varje kunds användarmönster medför möjligheter att genom nätberäkningar identifiera styrkor och svagheter i nätet och var dessa uppkommer. [14]

3. Utförande

Arbetsprocessen i figur 13 har varit till grund för att nå slutresultatet. Figur 13 överensstämmer till stora delar med dispositionen i kapitel 3. Skillnaden är att övriga utvärderade kategoriseringsmetoder, i rapporten, presenteras sist tillsammans med en utvärdering av dessa.



FIGUR 13. TILLVÄGAGÅNGSSÄTT FÖR ATT NÅ SLUTLIGA KUNDKATEGORIER.

3.1. Datahantering

3.1.1. Insamling av data

All mätdata som varit till underlag för kategoriseringsprocessen har levererats från Prometera i Helsingborg. Informationen har levererats digitalt i form av tolv textfiler. Varje textfil har inkluderat alla Lunds Energis fjärrvärmekunders värmeanvändning under en månad, med ett intervall på en timme. All mätdata representeras av fyra kolumner innehållande tid, plats för mätcentralen, mätarstatus samt värmeanvändning. Alla mätvärden är ordnade efter platsen för mätcentralen. Detta innebär att alla mätvärden under en månad, för en viss mätcentral, kan avläsas vertikalt. Därefter följer nästa mätcentrals mätvärden för hela denna månad. En mätcentrals mätvärden för ett helt år är alltså inte möjligt att överskåda i och med att de är utspridda över tolv textfiler. Figur 14 visar ett utdrag från textfilerna som tillhandahållits.

735999153000079173	31.01.12	19:00	2	0,032
735999153000079173	31.01.12	20:00	2	0,027
735999153000079173	31.01.12	21:00	2	0,028
735999153000079173	31.01.12	22:00	2	0,023
735999153000079173	31.01.12	23:00	2	0,023
735999153000075595	01.01.12	00:00	2	0,003
735999153000075595	01.01.12	01:00	2	0,004
735999153000075595	01.01.12	02:00	2	0,003
735999153000075595	01.01.12	03:00	2	0,003
735999153000075595	01.01.12	04:00	2	0,002
735999153000075595	01.01.12	05:00	2	0,003

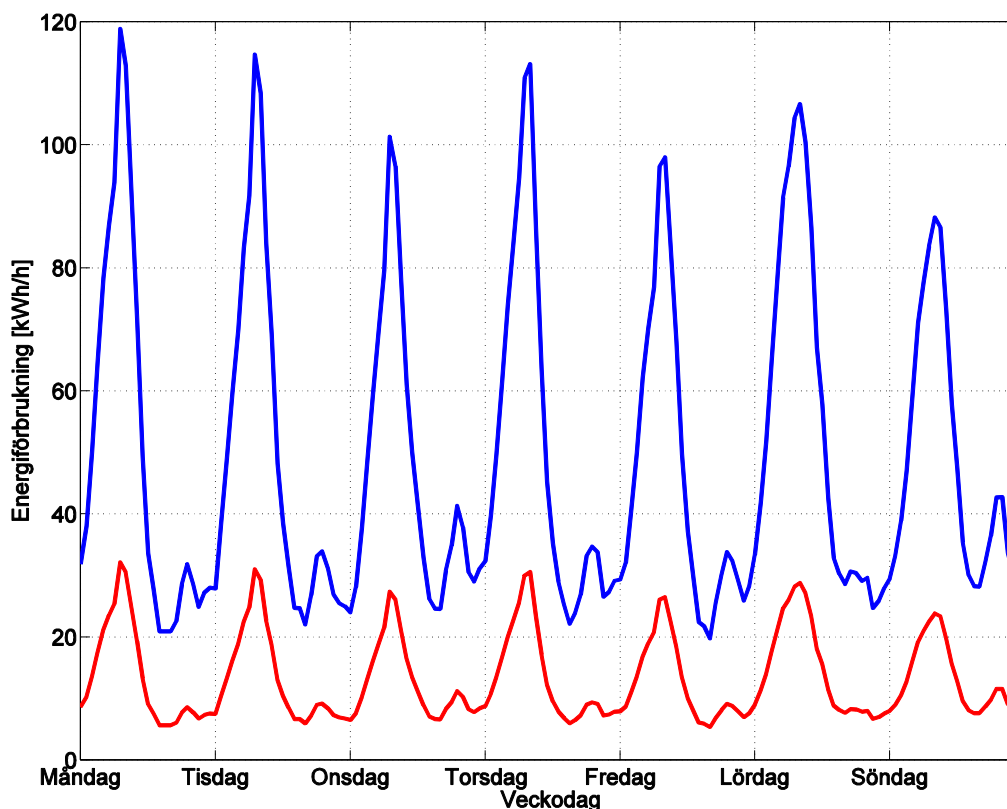
FIGUR 14. ETT UTDRAG FRÅN EN AV TEXTFILERNA SOM LEVERERATS. INFORMATION OM PLATS FÖR MÄTCENTRAL, DATUM, TIDPUNKT, MÄTARSTATUS OCH VÄRMEANVÄNDNING KAN UTLÄSAS.

3.1.2. Inläsning av data till Matlab

För att fortskrida med hanteringen av alla kunders mätvärde utvärderades olika datorprogram för att se vilket som lämpade sig bäst. Den stora mängd data som hade tillhandahållits visade sig vara för omfattande för datorprogram som Microsoft Excel. Istället konverterades textfilerna med hjälp av datorprogrammet Matlab, som används för matematiska och tekniska beräkningar.

Endast kunder med komplett mätdata har använts för kategorisering. De kunder som inte har varit anslutna till fjärrvärmenätet under en hel säsong (mer information om säsonger kan läsas i avsnitt 3.2) har inte komplett mätdata. Detta berör även kunder med mätfel som sträcker sig över längre perioder. De kunder som har uppenbara mätfel i mindre skala (några enstaka timmar) har tilldelats mätvärden genom interpolering mellan de senaste bakom- och framförliggande korrekta mätvärdena. Kunder som har så pass liten fjärrvärmeanvändning att en stor del av deras uppmätta mätvärden tyder på obefintlig värmeanvändning, har också plockats bort från den första kategoriseringsprocessen eftersom de skiljer sig så pass mycket i karaktäristik att de skulle påverka resultatet i oproportionerligt stor utsträckning jämfört med de kunder som har en mer kontinuerlig värmeanvändning. Under sommarmånaderna förekommer detta beteendet oftare än vad det gör under vintermånaderna. För att hitta outliers skapades ett stort 8 x 8 neuralt nätverk. Kunder vars mätdata som skiljde sig från övriga kunders hamnade då i enskilda grupper som var lätta att lokalisera.

För att kategorisera kunderna utifrån deras användarmönster, snarare än deras faktiska användningsvolym, normaliserades alla kunders uppmätta värmeanvändning. Detta innebär att två kunder som har ett snarlikt användarmönster teoretiskt borde ha en större chans att tilldelas samma kategori än om de inte varit normaliserade. Figur 15 visar två kunder med mycket likt användarmönster men med relativt olik användningsvolym. Dessa kunder skulle högst sannolikt tilldelas samma kategori ifall de båda normaliserades. Det hade dock varit en överhängande risk att de inte hade gjort det ifall en kategorisering genomförts utan en normalisering.



FIGUR 15. VÄRMEANVÄNDARMÖNSTER FÖR TVÅ TEORETISKA FJÄRRVÄRMEKUNDER MED LIKANDE ANVÄNDARMÖNSTER.

3.2. Kategorisering

3.2.1. Säsongindelning

För att genomföra en så optimal kategorisering som möjligt av Lunds Energis fjärrvärmekunder är det rimligt att anta att en kategoriseringsprocess som också tar hänsyn till säsongsbeteende är mer noggrann. Vilken säsongindelning som är lämpligast kan dock diskuteras. En indelning där varje månad hade varit en enskild säsong hade förmodligen varit mer rättvisande än en indelning med endast några få säsonger. Resultatet av en sådan säsongindelning innebär å andra sidan betydligt fler kategorigrupper. En säsongindelning av strukturen december- februari, mars-april & oktober-november, maj & september och juni-augusti stöds av Frederiksen och Werner [2]. Denna säsongindelning tar hänsyn till bl.a. eventuella semesterbeteenden under sommaren och varierande solstrålning, marktemperatur och vindkylningseffekter. Ett rimligt substitut för denna indelning hade varit en indelning där alla säsonger hade haft tre månader. Då hade första halvan av april månad och sista halvan av oktober månad tilldelats en säsongindelning som hade representerat tidig vår/sen höst. Problemet med denna indelning är att all mätdata som har varit till underlag för kategoriseringsprocessen har levererats i filer separat för varje månad.

3.2.2. Val av kategoriseringsmetod

För att kategorisera Lunds Energis alla fjärrvärmekunder krävdes inte bara en metod som genomför kategoriseringsprocessen på ett bra sätt utan som även kunde hantera den omfattande mängden data. Det stod snabbt klart att det skulle bli svårt att utvärdera vilken eller vilka kategoriseringsmetoder som lämpar sig bäst eftersom en stor del av de tidigare arbeten som gjorts

inom området har inneburit kategorisering med färre kunder [15]-[17]. Med flera tusen kunder blir det otroligt tidskrävande, och i vissa fall omöjligt, att manuellt kontrollera ifall en kategoriseringsprocess har gett ett resultat där de kunder som har ett liknande användarmönster har hamnat i samma kategori. Vissa kategoriseringsmetoder som utvärderats har erbjudit bristande bekräftelse på hur väl kategoriseringen genomförts. Detta har inneburit en stor osäkerhet kring resultatet. Vid valet av kategoriseringsmetod har stor vikt lagts på just möjligheten att kunna kontrollera och utvärdera resultatet.

En metod som framstår som ett bra alternativ, utifrån en önskan om ett så bra resultat som möjligt kombinerat med ett lättöverskådligt resultat, kallas self-organizing maps (SOM). Det är denna metod som använts för att presentera samtliga slutgiltiga kategorier. I Räsänen et al. [18] presenteras en till synes lyckad kategorisering av elanvändning i hushåll i Salo, Finland m.h.a. SOM. Detta styrker valet av SOM som kategoriseringsmetod. Teorin bakom denna metod samt dess svagheter och styrkor presenteras i avsnitt 3.2.3.

Det kan tilläggas att det inte finns något korrekt sätt att fastställa vilken metod som lämpar sig bäst för detta specifika fall eftersom det inte finns något sätt att konkret jämföra resultaten från olika metoder med varandra. Att jämföra olika kategoriseringsmetoder utifrån resultat kan kännas väldigt diffust eftersom det inte finns något rätt eller fel gällande vilka kunder som hamnar i olika kategorier. Vissa kunder kommer att ha väldigt liknande användarmönster medan vissa inte kommer att ha det. En stor del av kunderna förväntas dock ha användarmönster som liknar flera olika kategorier på något sätt. Problematiken med detta innebär att det möjligtvis finns flera "lämpliga" kategorier för många kunder. Det kan också innebära att det inte finns någon "lämplig" kategori för många kunder. Den bästa teoretiska kategoriseringen är att tilldela varje kund en egen kategori. En sådan kategorisering skulle självklart inte vara speciellt användbar. Med detta sagt fastslås att varje kund har ett unikt användarmönster. Det intressanta är att fånga de huvudsakliga karaktäristiska dragen hos varje kund och utifrån detta göra en så bra kategorisering som möjligt.

3.2.3. Self-organizing maps

Self-organizing maps är en typ av artificiellt nätverk (ANN) som introducerades 1988 av Teuvo Kohonen i [19] och det är den vanligaste metoden för kompetitiv inlärning. SOM skiljer sig från många andra artificiella nätverk då det använder sig av "nearest neighbor"-funktioner som bevarar dimensionen på insignalerna. I vårt fall är varje timvärde en dimension och därför kan mätdata från en säsong vara upp till 2 900 dimensioner. Kohonen hade ett stort intresse för hur hjärnan och minnet fungerade hos människor och hur det går till när signaler lagras med en speciell ordning och position i hjärnbarken. Exempelvis när det gäller ljud så är det ljudbarken som behandlar de ljud vi hör. Neuroner i hjärnan attraheras av ljud som är lika dem själva och därför placeras de nära varandra i minneslagringen. Ljud som skiljer sig mycket placeras långt ifrån varandra. På ett liknade sätt fungerar SOM.

Artificiella neurala nätverk byggs upp med hjälp av bevakad och obevakad träning. Vid bevakad träning ställs villkor där man har önskemål om vilken utsignal man vill få för varje insignal och därefter lär sig nätverket att koppla ihop varje insignal med en utsignal. Detta kan exempelvis användas vid tydning av handstil eller vid skräppostdetektion. När man däremot använder sig av obevakad träning klassificeras insignalerna utan några externa villkor. Klassificeringen baseras på gemensamma mönster och egenskaper på insignalerna.

Ett SOM-nätverk består av flera neuroner. Varje neuron skapar sitt eget kluster av insignaler. Till varje neuron tilldelas en viktvektor som har samma dimension som insignalerna. Viktvektoreorna representerar karaktäristiken av insignalerna i varje kluster. Neuronerna följer ett visst mönster när de delar upp sig i ett SOM-nät. Viktvektorn uppdateras varje gång neuronerna tilldelas en ny insignal. Anledningen till att SOM är en metod som klassas som kompetitiv inlärning är att neuronerna tävlar om att bli tilldelad varje insignal. Neuronen vars egenskaper stämmer bäst överens med insignalen vinner och blir tilldelad insignalen. På detta sätt organiserar klustren sig själva, därav namnet self-organizing maps. Medelvektorn (viktvektorn) baseras på samtliga insignaler i klustret och ändras över tiden. Detta gör SOM till en iterativ process som behöver upprepas många gånger för att få ett bra resultat.

Algoritmen för ett SOM-nätverk består av två huvudsteg, initiering och lärande. Vid initieringen väljs antalet neuroner. Antalet neuroner skiljer sig stort beroende på vad ändamålet är. Här sätts även ett slumpmässigt värde på viktvektorn (w_j).

Lärandet är den iterativa processen och den består av fyra delsteg:

- Processen då en insignal tilldelas en plats i nätverket fungerar på följande sätt: Insignalen har D dimensioner och kan beskrivas som $x = \{x_i: i = 1, \dots, D\}$ och kontakten mellan insignaler och neuronerna j kan beskrivas som viktvektorn $w_j = \{w_{ji}: j = 1, \dots, N; i = 1, \dots, D\}$ där N är det totala antalet neuroner. Därefter jämförs avståndet mellan neuronens viktvektor och insignalen på följande sätt:

$$d_j(x) = \sum_{i=1}^D (x_i - w_{ji})^2$$

$d_j(x)$ kallas för det euklidiska avståndet i kvadrat och neuronet där avståndet till insignalen är minst blir tilldelad insignalen och förklarad till vinnare.

- Viktvektorn uppdateras efter den vinnande insignalen:

$$w_j^T \leftarrow w_j^T + \eta(t)(x - w_j)^T$$

där $\eta(t)$ är inlärningshastigheten, $\eta(t) \rightarrow \infty$ då $t \rightarrow 0$. Ett litet värde gör att inlärningen går långsamt. Ett stort värde gör inlärningen snabb men då är risken större att den blir svängig eller instabil.

- Uppdatera viktvektorn för samtliga neuroner i nätverket:

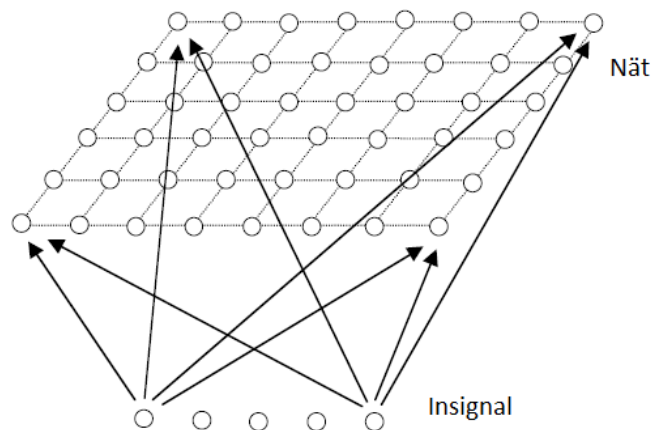
$$w_j^T \leftarrow w_j^T + \eta_\eta(t)h(\eta_b, t)(x - w_j)^T,$$

där $\eta_\eta(t)$ är inlärningshastigheten hos de närliggande neuronerna (grannarna) och $h(\eta_b, t)$ är grannfunktionen som beskriver hur mycket ett närliggande neuron ska attraheras av det vinnande neuronet. Denna attraktion blir större ju mer lika neuronerna är.

- Minska inlärningshastigheten och justera grannfunktionerna, oftast med

$$\eta(t+1) = \alpha \eta(t)^{\frac{k}{k_{max}}}$$

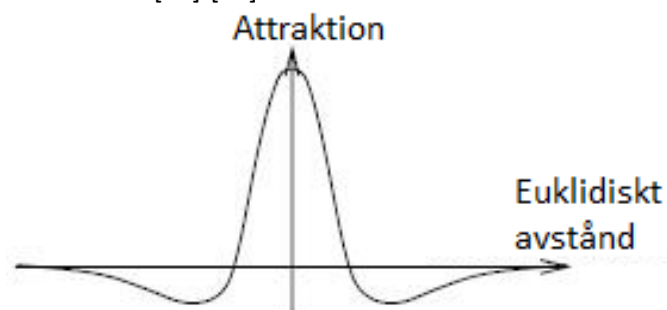
där $0 \leq \alpha \leq 1$ bestämmer hur snabbt storleken på ett kluster kan minskas, k är antalet itereringar algoritmen har pågått och k_{max} är antalet iterationer man vill att inlärningen ska pågå. Samma ekvation används både för inlärningshastigheterna η och η_n samt grannfunktionen $h(\eta_b, t)$. Inlärningen i nätet kommer att fortgå tills antalet itereringar uppnått k_{max} eller tills SOM-kartan har stagnerat.



FIGUR 16. SOM-NÄTVERK. LIKNANDE INSIGNALER PLACERAS NÄRA VARANDRA I NÄTVERKET [20] (EGEN BEARBETNING).

Utsignalen vid SOM är ofta tvådimensionell där man ser en bild över signaler som samlats i olika kluster. Ju längre avståndet är mellan två kluster desto större är skillnaden mellan dem. Fördelen med SOM är användandet av "nearest neighbor" vilket innebär att man beaktar hela dimensionen på signalen.

För att neuroner ska attraheras och skapa kluster respektive repelleras av varandra används olika typer av anslutning mellan dem. Sambandet mellan neuroner som attraheras respektive repelleras av varandra kallas "den mexikanska hatten" som illustreras i figur 17. Ju mer lika signalerna är desto större är attraktionen mellan dem. [20]-[22]



FIGUR 17. "DEN MEXIKANSKA HATTEN" BESKRIVER STYRKAN PÅ ANSLUTNINGEN TILL ANDRA NEURONER I FÖRHÅLLANDE TILL HUR LIKA DE ÄR VARANDRA [23] (EGEN BEARBETNING).

3.2.4. Övriga utvärderade kategoriseringsmetoder

Alternativa kategoriseringsmetoder har studerats och utvärderats för att säkerställa lämpligheten för den valda kategoriseringsmetoden. För att inte låta datorkapacitet begränsa valet av kategoriseringsmetod har även dimensionsreducerande modeller övervägts.

3.2.4.1. *K-means med och utan PCA*

En av kategoriseringsmetoderna som utvärderats och jämförts med SOM är k-means. Denna metod har en väldigt snarlik algoritmstruktur och kan klassas som en nära släkting till SOM. Båda metoderna arbetar iterativt med all data för att hitta ett "vinnande" kluster (kategori i vårt fall) för varje insignal (kund i vårt fall) och kräver ett förutbestämt antal kluster.

Algoritmen för k-means är som följer:

- Ett värde, k väljs. Detta värde motsvarar antal kluster
- Samma antal, k slumpmässiga positioner definieras i rummet för indata
- Tilldela ett centrum för varje kluster, μ_j till dessa positioner
- Återupprepa:
 - o För varje datapunkt x_i :
 - Beräkna avståndet till varje centrum för varje kluster
 - Tilldela datapunkten till det närmsta klustret med avståndet:

$$d_i = \min_j d(x_i, \mu_j)$$

- o För varje centrum för varje kluster:
 - Centrum för ett kluster flyttas till medelvärdet av alla datapunkter i det klustret (där N_j är antalet datapunkter i kluster j):

$$\mu_j = \frac{1}{N_j} \sum_{i=1}^{N_j} x_j$$

- o Tills centrum för varje kluster stabiliseras

Till skillnad från SOM reducerar inte k-means antalet dimensioner vid en presentation av resultatet. Detta innebär att när ett resultat är uppnått, är dimensionen densamma som antal datapunkter. I och med att antal dimensioner i vårt fall uppgår till flera tusen, försvårar detta en överskådlig bild av resultatet. Ett sätt att komma runt detta problem är att använda sig av dimensionsreducering, såsom principal component analysis (PCA). Utan att gå in för mycket i detalj på teorin bakom denna dimensionsreducering, kan det sägas att denna metod möjliggör ett överskådligt resultat av tre dimensioner eller mindre. Kluster som uppkommit kan på så sätt analyseras och utvärderas lättare. Nackdelen med detta är att resultatet som visas inte ger en rättvis bild över hur datapunkterna förhåller sig till sitt kluster, eller till andra kluster för den delen, i och med den stora dimensionsreducering som gjorts. Det kan tilläggas att man med hjälp av exempelvis PCA kan reducera antalet dimensioner direkt på alla datapunkter och därmed erhålla ett resultat som presenterar kluster i samma dimension som beräkningarna genomförts. Att reducera antalet dimensioner på detta sätt kan också vara nödvändigt på grund av datorkapacitetsmässiga skäl. [21]

Styrkor och svagheter som uppkommer vid jämförelser av SOM och k-means presenteras i Bacao et al. [24], Mingoti et al. [25] och Abbas [26]. Sammanfattningsvis är kvaliteten på kategoriseringen starkt beroende av vilken typ av datapunkter som ska jämföras, hur många kluster som önskas uppnås och på vilket sätt man önskar betrakta resultatet. I Abbas [26] framställs SOM som ett sämre alternativ för många kluster jämfört med k-means medan SOM erbjuder en större säkerhet i att rätt datapunkt hamnar i rätt kluster. Både SOM och k-means har svagheter när olika datapunkter har varierande dimensioner [27]. Detta problem uppstår dock inte för datapunkter i vårt fall eftersom alla fjärrvärmekunder har samma dimension. Med andra ord är antalet uppmätta värden samma för varje kund.

3.2.4.2. ARMA-modell i kombination med klusteranalys

Eftersom datorkapacitet har varit en begränsning undersöktes möjligheter att kategorisera fjärrvärmekunderna med mindre indata. Som tidigare nämnts är PCA användbart när det gäller att reducera antalet dimensioner. En annan metod som också reducerar antalet dimensioner men behåller en stor andel "unik information" från de högre dimensionerna är ARMA-modeller (Autoregressive-Moving-Average). Genom att identifiera de karaktäristiska perioder som finns för varje kunds användning fås ett antal parametrar som uttrycker de mest framträdande kännetecknen. Dessa parametrar kan sedan användas vidare för kategorisering med någon lämplig metod. [28]

Den uppenbara nackdelen med detta arbetsätt är att det oundvikligen "försvinner" information från datapunkterna vid en dimensionsreducering. Styrkan med att jobba med färre datapunkter är att kategoriseringen tar kortare tid samt blir mer lätthanterlig. En annan stor fördel med denna metod är att kunder med olika många datapunkter med lätthet kan uttryckas med samma antal parametrar. Denna fördel påverkar inte bedömningen i detta fall eftersom alla kunder, som tidigare nämnt, har lika många uppmätta värden. Att kategorisering med data framtagen genom ARMA-modeller är försvarbart stöds av Bagnall och Janacek [29].

Att valet att kategorisera fjärrvärmekunder inte föll på en metod som involverar en ARMA-modell beror främst på att en kategorisering med SOM förefaller behändigare och mer säker. Att först reducera antalet dimensioner med en ARMA-modell och sedan utföra en kategorisering utifrån de parametrar som erhållits innebär två tidskrävande steg som dessutom ökar risken för en felaktig kategorisering.

3.2.4.3. Egenkonstruerad kategoriseringsmetod

En annan kategoriseringsmetod som övervägts är en egenkonstruerad sådan, med en algoritm som bygger på att jämföra varje kunds mätvärde med varandra och sedan införa ett villkor som räknar antalet mätvärden som är tillräckligt nära en referenskund. Om summan av detta antal är större än ett visst gränsvärde tilldelas dessa kunder samma kategori. Tillvägagångssättet påminner en del om de kategoriseringsmetoder som utvärderats tidigare.

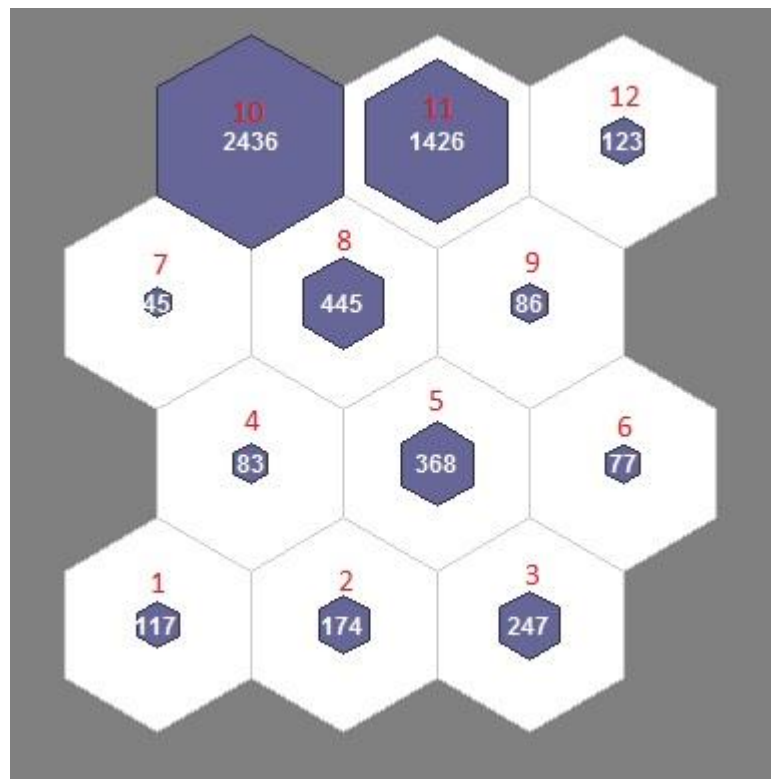
Anledningen till att en egenkonstruerad metod inte har använts är att det redan finns ett stort antal väl beprövade och fungerande metoder tillgängliga. Det vore ytterst svårt att försvara ett val av en egenkonstruerad kategoriseringsmetod utifrån dessa grunder.

4. Resultat

4.1. Kundkategorier

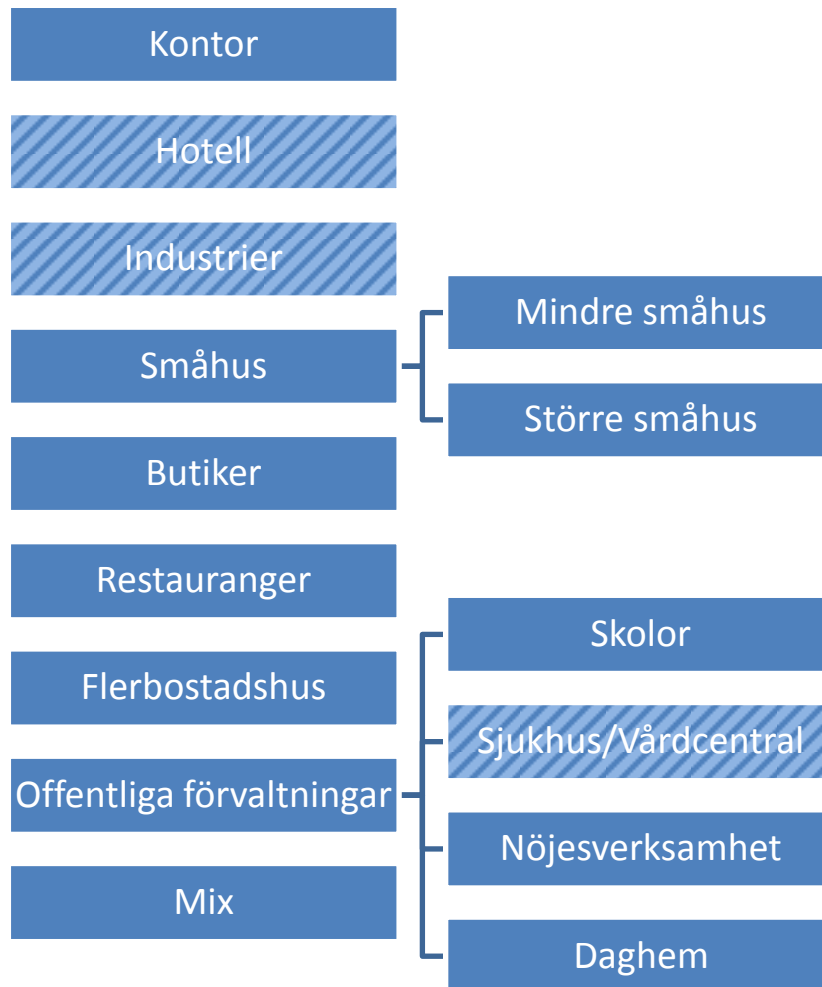
I detta kapitel presenteras endast ett urval av alla kategorier som tagits fram. Gemensamt för de presenterade kategorierna är att alla är representativa, övergripande och intressanta. Ingen vikt har lagts vid valet av antal kategorier som presenteras för varje säsong. Alla framtagna kundkategorier finns tillgängliga i Bilaga.

Kategoriseringen presenteras också i form av en SOM-överblick för varje säsong. Ur dessa kan antalet kunder i varje kategori samt vilka kategorier som "ligger nära varandra" utläsas. I figur 18 visas numreringen för de olika kategorigrupperna. Som synes har kategori 1 mer likheter med kategori 4, än vad den har med kategori 6. För mer läsning om teorin bakom detta hänvisas läsaren till avsnitt 3.2.3.



FIGUR 18. ÖVERSIKTSBILD FÖR KATEGORISERING GENOMFÖRD MED SOM. JU FLER KUNDER I VARJE KATEGORI, DESTO STÖRRE ÄR HEXAGONEN.

Varje kategori har, utöver kategorinumret, tilldelats ett namn som beskriver vilka typer av kunder som är tongivande för kategorin i fråga. Namnen utgår ifrån de kundtyper som presenteras i figur 19. Dessa kundtyper förväntas innefatta samtliga fjärrvärmekunder i Lunds Energis fjärrvärmenät. Namngivningen har möjliggjorts genom tillgång till adresser för samtliga mätcentraler i nätet. Vissa kundtyper är mer omfattande än andra och innehåller ytterligare kundtyper som har kunnat identifieras. De kundtyper som har gett namn åt varje kategori återfinns i figurtexten för dessa.



FIGUR 19. SCHEMATISK BILD ÖVER STRUKTUREN FÖR OLIKA KUNDTYPER. DE KUNDTYPER SOM ÄR STRECKADE ÄR KUNDTYPER SOM FÖREKOMMER I FLERA KATEGORIER MEN SOM INTE TYDLIGT ÄR KONCENTRERADE TILL NÅGON SPECIFIK KATEGORI OCH DÄRMEJ INTE FÖREKOMMER VID NAMNGIVNINGEN. MIX ÄR EN BLANDNING AV FLERA KUNDTYPER. MED MINDRE SMÅHUS MENAS GENERELLT RADHUS OCH MINDRE VILLOR. STÖRRE SMÅHUS INNEFATTAR STÖRRE VILLOR.

Det är värt att tillägga att då det inte förekommer lika många skolor som småhus bland fjärrvärmekunderna, kommer förmodligen inte skolor vara en stor andel av någon kategori. Om det dock finns en stor andel av alla skolor i någon kategori, får detta tolkas som att användarmönstret passar för en majoritet av alla skolor. Då har denna kategori tilldelats ett namn med "Skolor" i sig. Utan detta resonemang hade troligen de flesta kategorier döpts till "Småhus" eller "Flerbostadshus" eftersom de står för den största kundandelen. "Mindre småhus" och "Större småhus" kan ses som underkategorier till "Småhus". Detsamma gäller för "Offentliga förvaltningar".

Lunds Energi har i dagsläget endast haft beskrivningar på varje kund som baserats på Statistiska Centralbyråns bostadsklasser. Det har visat sig att dessa har varit väldigt inaktuella och i många fall inte alls överensstämmer med vilken typ av byggnad som förekommer på en given adress.

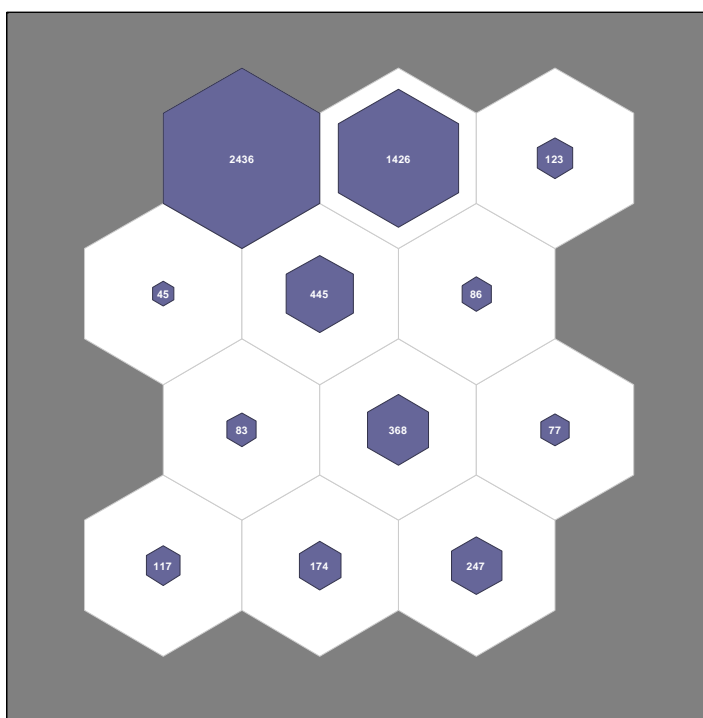
I effektfaktorfigurerna står vänster ordinata för utomhustemperatur. Abskissan står för tid på dygnet och på höger ordinata finns effektfaktorn. Effektfaktorn är den faktor som multipliceras med hela kundens totala värmeanvändning över säsongen i fråga. Effektfaktorn är framtagen med hjälp av samtliga kunder i respektive kategori. Det är ett medelvärde på kundens användning vid ett visst klockslag och utomhustemperatur dividerat med kundens totala användning för hela säsongen. För

att estimeras en kunds användning vid någon tidpunkt och utomhustemperatur multiplicerar man kundens totala användning med effektfaktorn för dessa förhållanden. En hög effektfaktor (röd) innebär en hög värmeanvändning. Låga värmeanvändningar innebär en låg effektfaktor (blå). "Tomma element" (vit) är ett resultat av att en viss temperatur inte inträffat under den angivna timmen, för hela säsongen under 2012. En vit effektfaktor klockan 09:00 vid -10 °C under vintersäsongen innebär med andra ord att det inte finns något uppmätt data för detta fall.

För att få en bättre bild över hur kunderna i varje kategori använder sin värme presenteras även deras användarmönster över en vecka. Denna vecka är en genomsnittlig vecka som är baserad på användningen över hela säsongen. Användarmönstret är även det ett genomsnitt av alla ingående kunders användning i respektive kategori. Användarmönstret kan alltså tolkas som ett "centrum" för varje kategori.

Energiförbrukningsandelen som representerar ordinaten på användarmönsterfigurerna är enhetslös och tolkas som en normalisering av energianvändningen. Som tidigare nämnts har kundernas användning normaliserats för att kategoriseringen inte ska vara volymberoende. På så sätt är det lämpligt att presentera resultatet med avseende på detta.

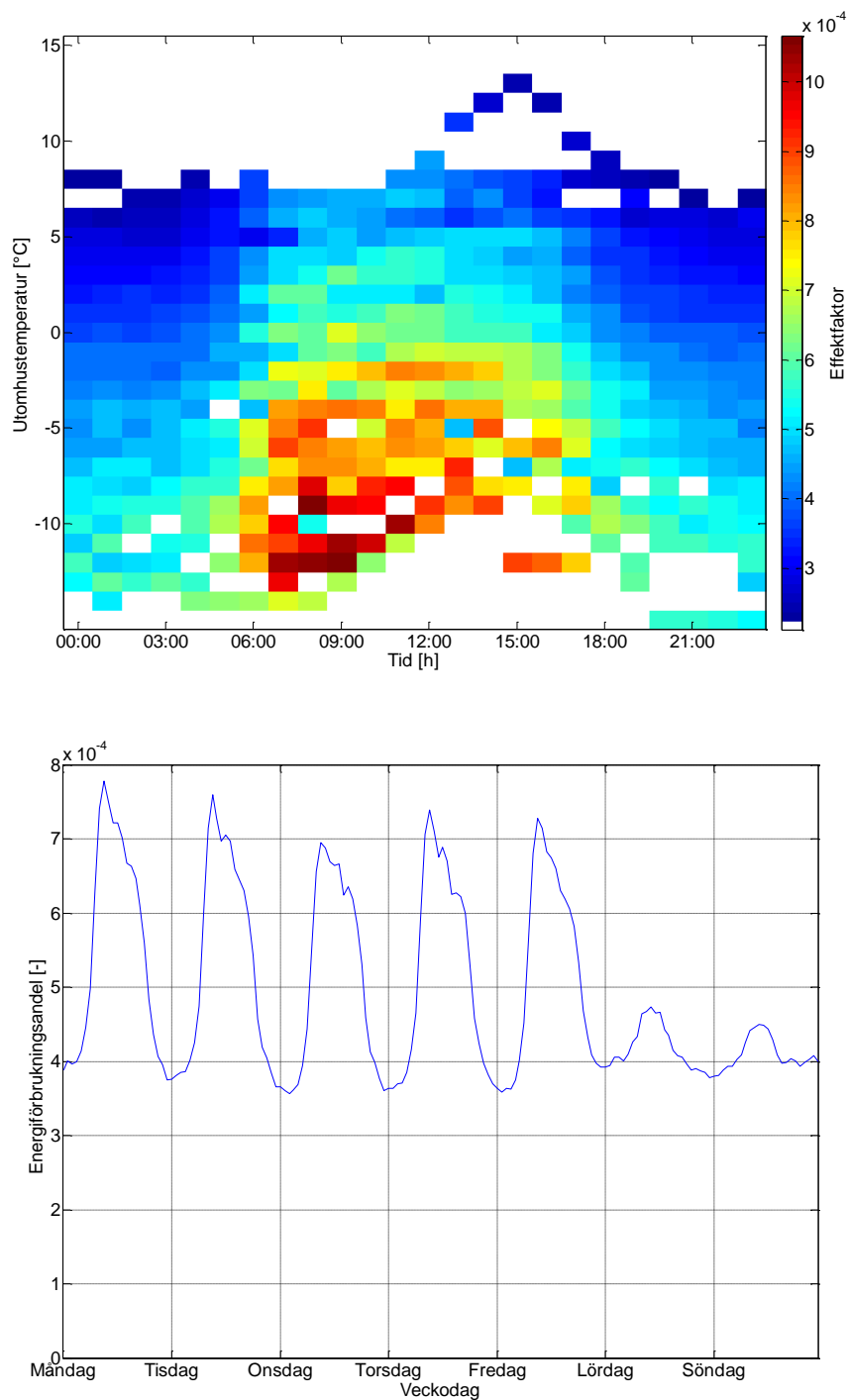
4.1.1. Vinter



FIGUR 20. KATEGORISERINGSBILD FÖR VINTERSÄSONGEN.

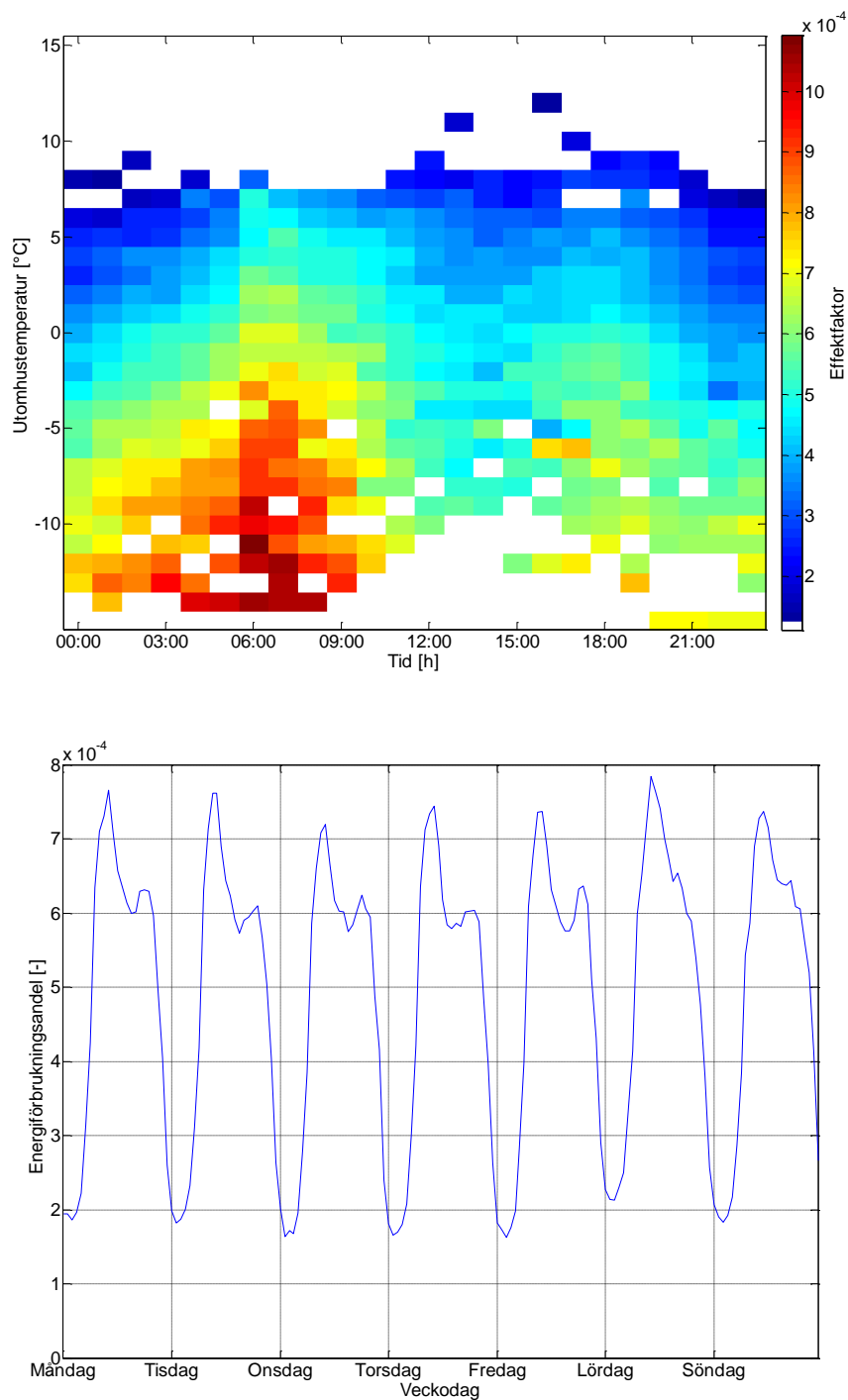
Tabell 2. Resultatöversikt för kategorierna under vintern.

		Namn	Antal
Kategori	1	Skolor/daghem/kontor	117
	2	Mindre småhus	174
	3	Mindre småhus	247
	4	Butiker/kontor	83
	5	Småhus	368
	6	Småhus	77
	7	Kontor/offentliga förvaltningar/butiker	45
	8	Flerbostadshus	445
	9	Småhus	86
	10	Flerbostadshus/småhus	2436
	11	Större småhus	1426
	12	Mix	123



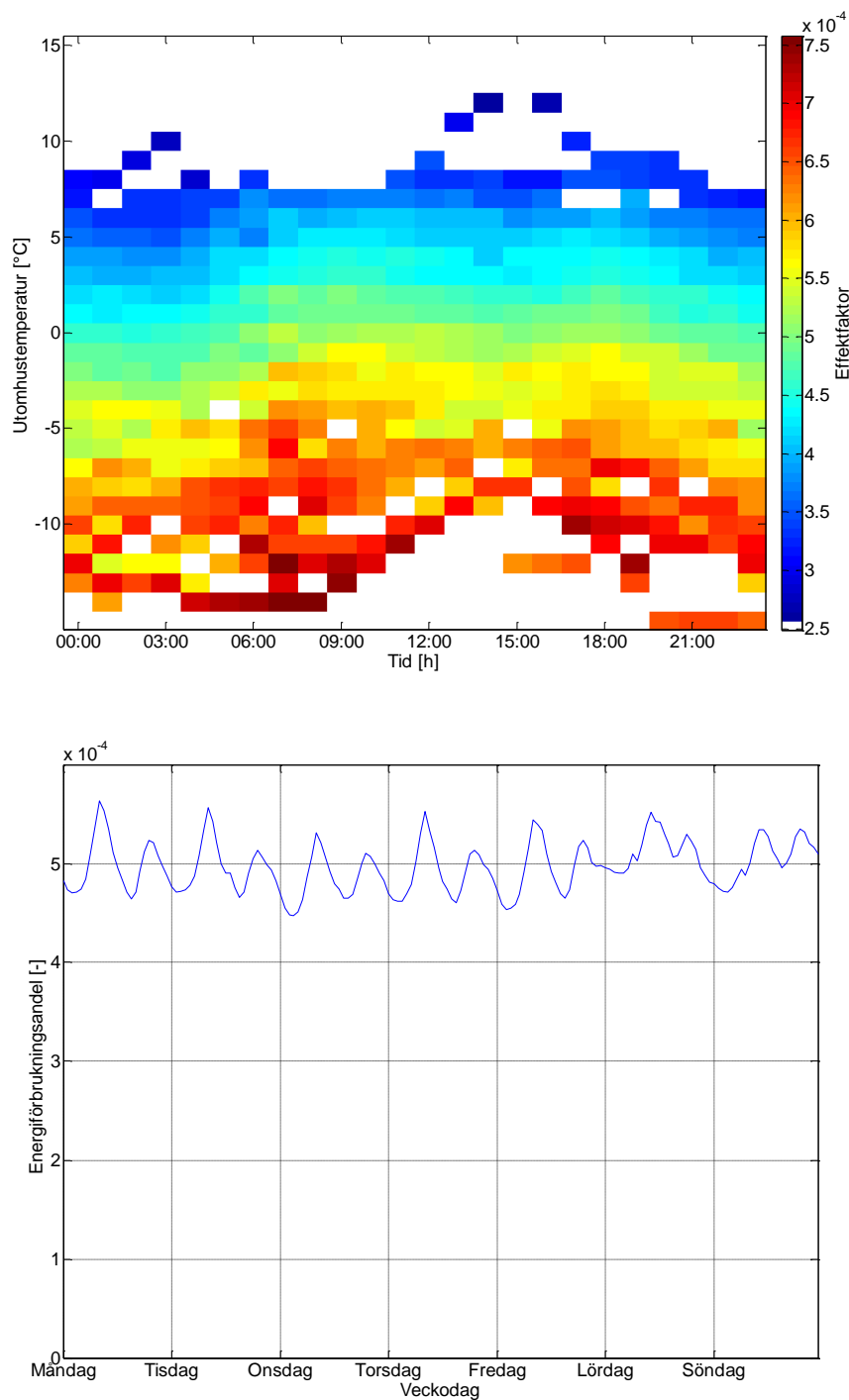
FIGUR 21. KATEGORI 1 - SKOLOR/DAGHEM/KONTOR. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 117 STYCKEN.

I kategorin som presenteras i figur 21 ingår framförallt skolor och daghem men även kontor. Värmeanvändningen ökar långsamt från klockan 03:00 för att nå sin topp klockan 09:00. Därefter är användningen relativt jämn under dagen för att sedan minska på eftermiddagen. Uttaget är som lägst kring midnatt och under helgen är värmeuttaget lågt, detta eftersom det inte vistas några personer i lokalerna vid dessa tider.



FIGUR 22. KATEGORI 4 - BUTIKER/KONTOR. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 83 STYCKEN.

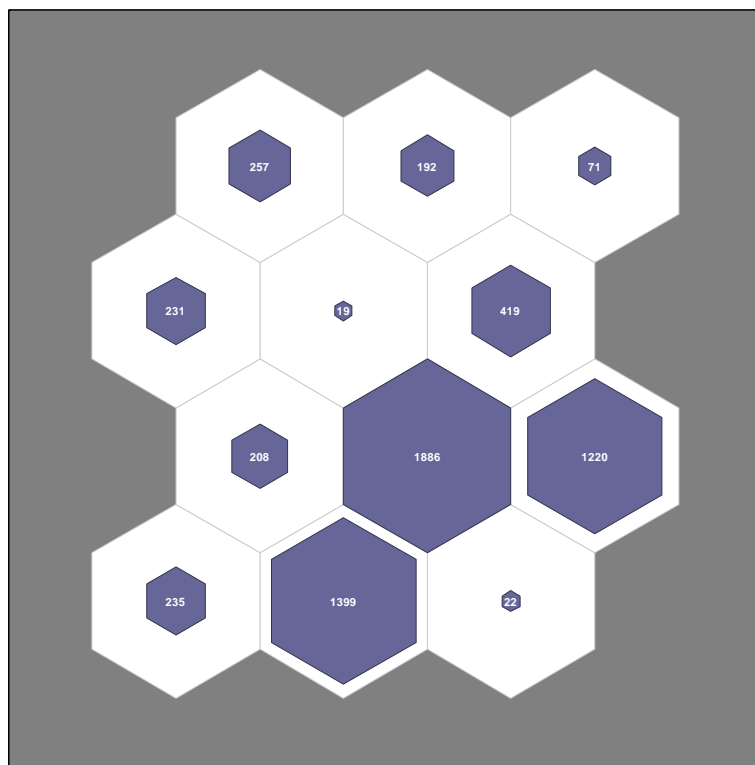
Butiker och kontor utgör till stor del kategorin som framställs i figur 22. Värmeanvändningen ökar stadigt från klockan 04:00 för att nå sin topp klockan 10:00. Därefter är användningen relativt jämn under dagen fram till klockan 19:00, sedan minskar den och har sin lägstanivå vid midnatt. I denna kategori är värmeanvändningen liknande under helger och vardagar. Angående temperaturberoendet kan man se att effektfaktorn är hög på morgonen nästan oavsett vilken utomhustemperatur det är.



FIGUR 23. KATEGORI 10 - FLERBOSTADSHUS/SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 2436 STYCKEN.

Figur 23 visar en kategori med många kunder där en stor del är flerbostadshus och mindre småhus. Överlag är värmeanvändningen ganska jämnt fördelad över dygnet men det finns en något starkare morgontopp än kvällstopp i denna kategori. Detta tyder på att en stor del av värmeanvändningen är associerad med fysiska laster. Morgon- respektive kvällstoppen infaller klockan 08:00 och 19:00. Under helgen förekommer inte samma tydliga mönster som för vardagarna på grund av större variation i sociala värmebehov.

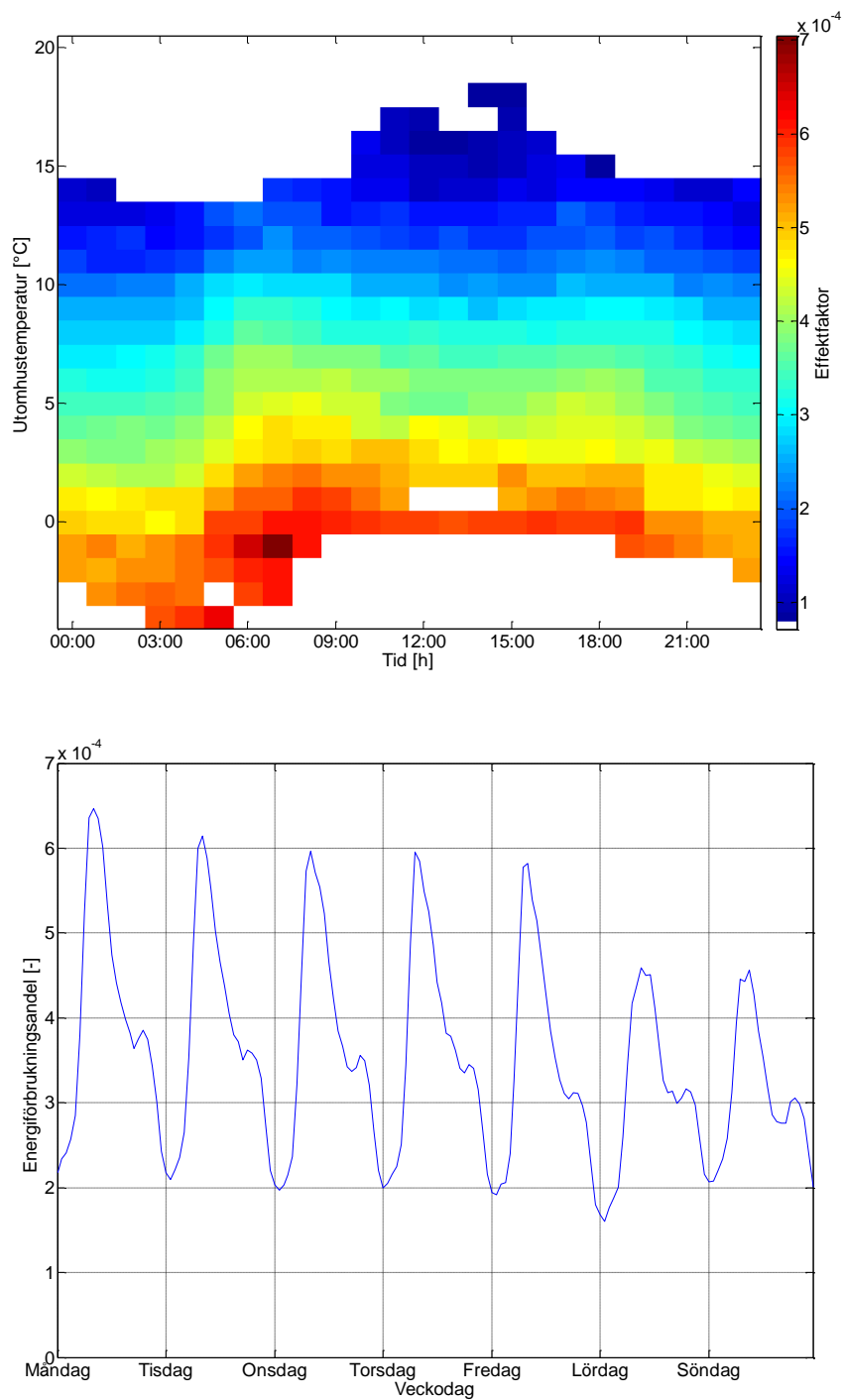
4.1.2. Mars-april & oktober-november



FIGUR 24. KATEGORISERINGSBILD FÖR MARS-APRIL & OKTOBER-NOVEMBER-SÄSONGEN.

TABELL 3. RESULTATÖVERSIKT FÖR KATEGORIerna UNDER MARS-APRIL & OKTOBER-NOVEMBER.

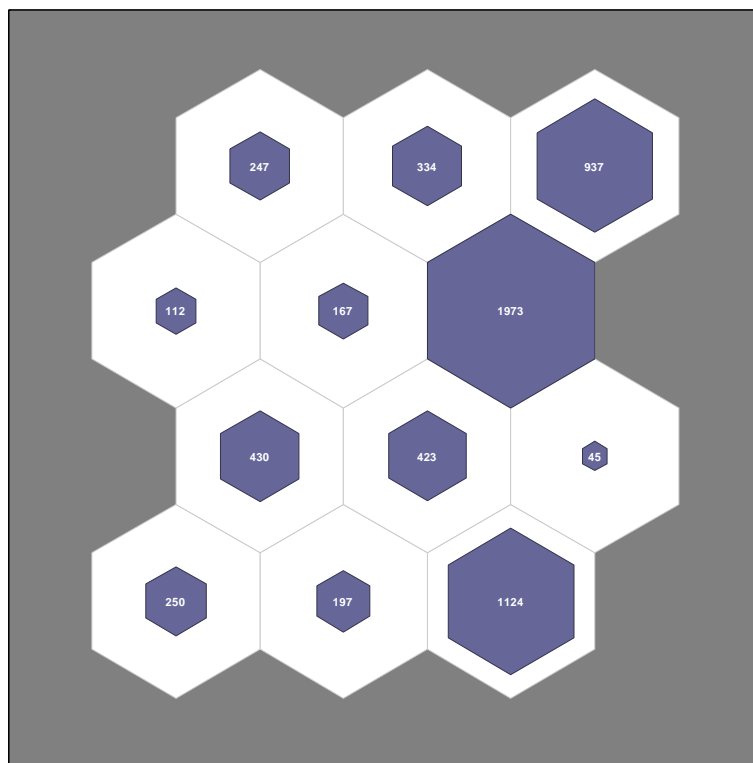
	Namn	Antal	
Kategori	1	Mindre småhus	235
	2	Flerbostadshus/större småhus	1399
	3	Mix	22
	4	Småhus	208
	5	Flerbostadshus	1886
	6	Småhus	1220
	7	Skolor/daghem/kontor	231
	8	Mix	19
	9	Småhus	419
	10	Småhus	257
	11	Småhus	192
	12	Småhus	71



FIGUR 25. KATEGORI 7 - SKOLOR/DAGHEM/KONTOR. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 231 STYCKEN.

Kategorin i figur 25 innehåller mycket skolor, daghem samt kontor. En ökning av värmeanvändningen börjar vid 04:00 och når sin topp klockan 09:00. Användningen är relativt jämn under dagen för att sedan minska på kvällen och den är som lägst vid midnatt. På helgen är morgontoppen lägre men för övrigt är dygnsnyckeln av liknande karaktär. Från effekt faktorn ser man att värmeuttaget påverkas mycket av utomhustemperaturen.

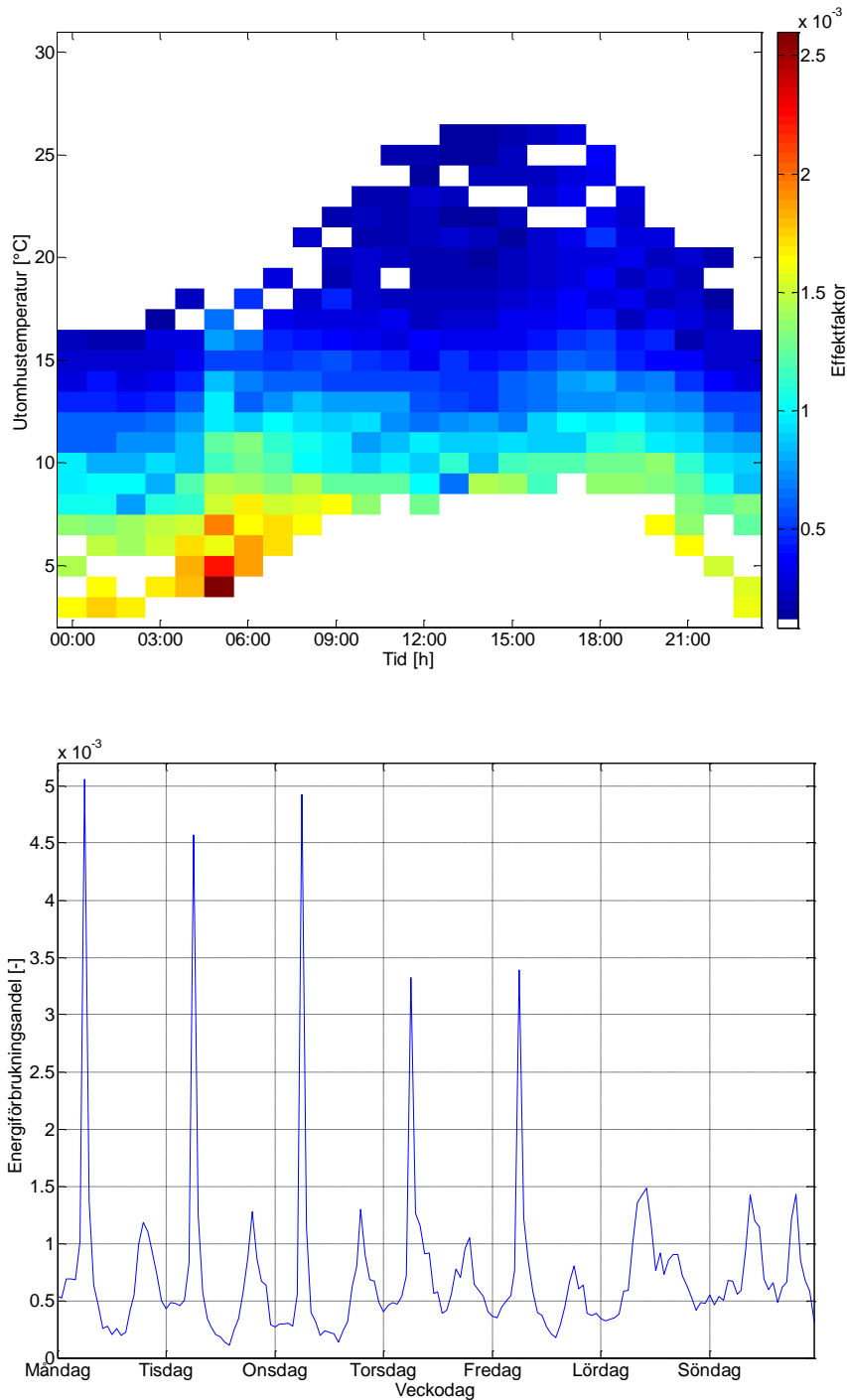
4.1.3. Maj & september



FIGUR 26. KATEGORISERINGSBILD FÖR MAJ & SEPTEMBER-SÄSONGEN.

TABELL 4. RESULTATÖVERSIKT FÖR KATEGORIerna UNDER MAJ & SEPTEMBER.

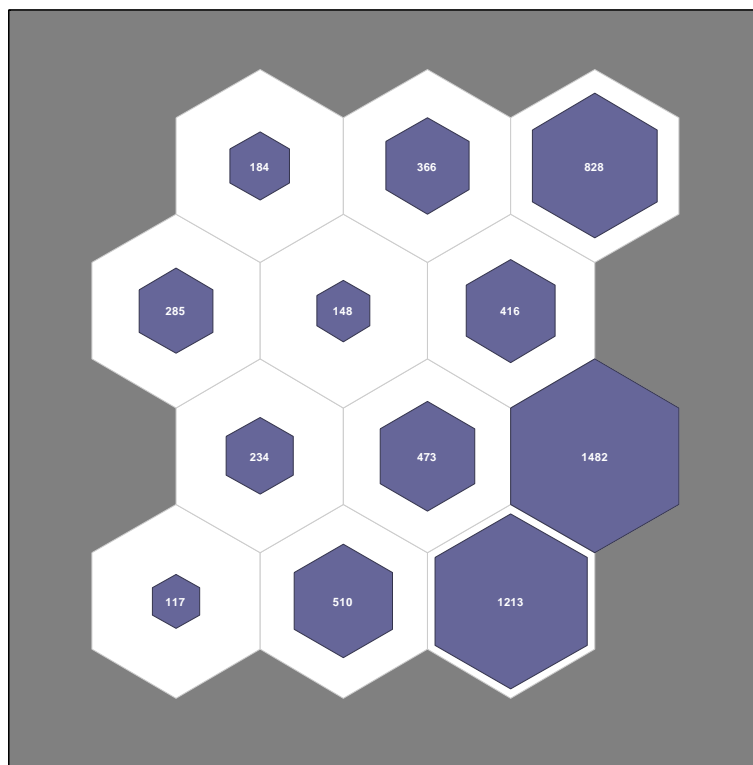
	Namn	Antal	
Kategori	1	Småhus/offentliga förvaltningar	250
	2	Butiker/kontor	197
	3	Offentliga förvaltningar/butiker/småhus	1124
	4	Småhus	430
	5	Flerbostadshus/skolor/daghem	423
	6	Flerbostadshus i Lund, Väster/mix	45
	7	Mindre småhus	112
	8	Småhus	167
	9	Flerbostadshus/skola/daghem	1973
	10	Mindre småhus	247
	11	Småhus/mix	334
	12	Flerbostadshus/större småhus	937



FIGUR 27. KATEGORI 7 - MINDRE SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 112 STYCKEN.

Kategorin som framställs i figur 27 består av småhus. Det finns ett tydligt socialt beteendemönster på vardagsmorgnar klockan 06:00 då de boende förmodligen duschar. Eftersom detta är under maj och september ser man detta extra tydligt då andelen värme för fysiska behov är lägre på grund av högre utomhustemperaturer. Under dagen är värmebehovet lågt för att sedan öka igen under kvällen. Under helgerna ändras beteendet hos de boende och morgontoppen är bredare och förflyttad framåt med start klockan 08:00 och pågår fram till 11:00.

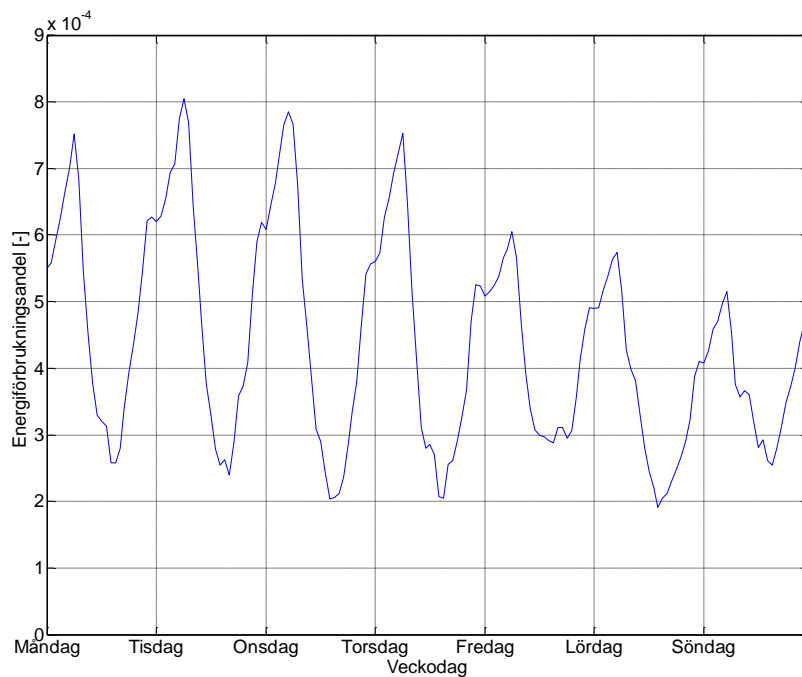
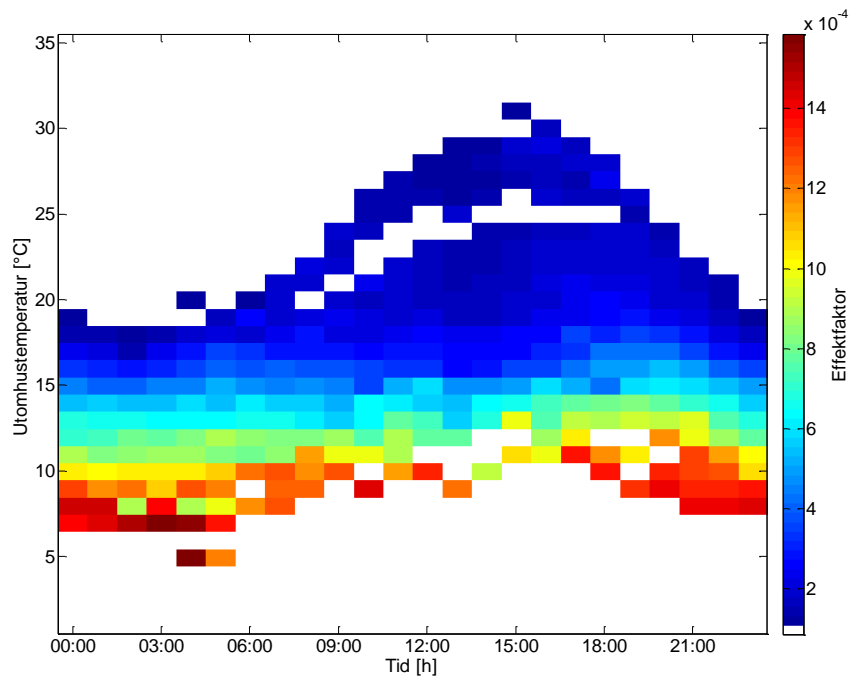
4.1.4. Sommar



FIGUR 28. KATEGORISERINGSBILD FÖR SOMMARSÄSONGEN.

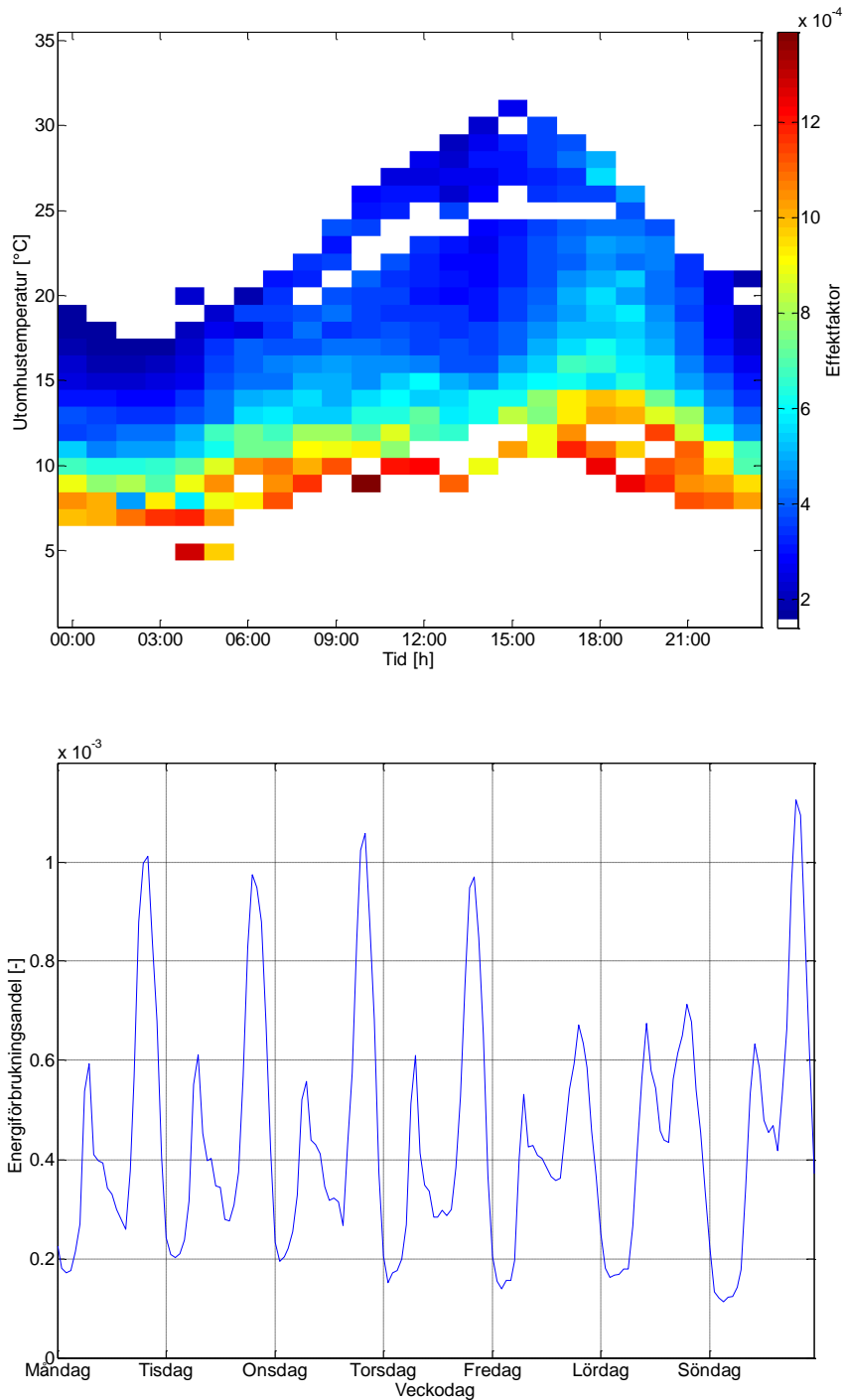
TABELL 5. RESULTATÖVERSIKT FÖR KATEGORIerna UNDER SOMMAREN.

		Namn	Antal
Kategori	1	Offentliga förvaltningar/mix	117
	2	Offentliga förvaltningar/kontor	510
	3	Flerbostadshus/större småhus	1213
	4	Småhus i Lomma	234
	5	Småhus/mix	473
	6	Flerbostadshus/restauranger	1482
	7	Småhus	285
	8	Småhus	148
	9	Småhus/flerbostadshus	416
	10	Mindre småhus	184
	11	Mindre småhus	366
	12	Kontor/butiker/nöjesverksamhet	828



FIGUR 29. KATEGORI 3 - FLERBOSTADSHUS/STÖRRE SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 1213 STYCKEN.

I kategorin i figur 29 finns det många flerbostadshus och större småhus. Värmeanvändningen är lägst under eftermiddagen och relativt jämn runt midnatt. På morgonen vid 06:00 finner vi den högsta värmeanvändningen. Effektfaktorn påvisar att kategorin är starkt beroende av utomhustemperaturen.



FIGUR 30. KATEGORI 11 - MINDRE SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 366 STYCKEN.

Majoriteten av kunderna som presenteras i figur 30 är mindre småhus. Den största värmeanvändningen sker på kvällen och når sin topp 19:00. Det finns även antydning till en morgontopp vid 07:00. Under dagen är användningen jämn och den är som lägst under natten. Precis som för kunderna i figur 29 har utomhustemperaturen en stark inverkan på värmeanvändningen. Den förvånansvärt höga värmeanvändningen under söndagskvällen är också värd att notera.

4.2. Indata till dynamiska nätberäkningar

En stor del av arbetet bygger på att ta fram indata för dynamiska nätberäkningar. Resultatet har presenterats i en Excel-fil innehållande samtliga säsonger och dess kategorier. Till varje kategori presenteras vilka kunder som ingår, kundens förväntade maximala användning för given säsong samt effektfaktormatrisen. I figur 31 kan man få en överskådlig bild över hur layouten på Excel-filen ser ut. Effektfaktormatrisen är unik för varje kategori och baseras på ett genomsnitt av alla kunder för respektive kategori. Som tidigare förklarats så kan man utläsa utomhustemperatur och tid på dygnet från effektfaktormatrisen. I effektfaktormatrisen för indata är färgskalan utbytt till numeriska värden.

För att estimeras en kunds värmeanvändning vid en given utomhustemperatur och klockslag multipliceras kundens förväntade totala användning med effektfaktorn som återfinns i matrisen. Genom att summera samtliga kunders värmeanvändning vid samma tidpunkt och utomhustemperatur blir lastprognosen för fjärrvärmenätet mer verklighetstroget.

Kategori 1																											
Kundnr.	Förväntad total förbrukning [MWh]	Temperatur [°C]																									
672	278310	-15																									
689	48727	-14	0,0005																		0,0006	0,0006	0,0006	0,0005			
771	539230	-13	0,0005	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0007	0,0007	0,0007													0,0005				
1099	3700	-12	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0006	0,0008	0,001	0,001	0,0011	0,0007								0,0009	0,0009	0,0008	0,0006				
2812	118590	-11	0,0005	0,0006	0,0005	0,0006	0,0009	0,0009	0,001	0,001	0,001	0,0007									0,0006	0,0006	0,0005	0,0006			
2829	551310	-10	0,0006	0,0005	0,0006	0,0006	0,0007	0,0008	0,0009	0,0005		0,001	0,0008								0,0006	0,0006	0,0005	0,0005			
6162	23571	-9	0,0005	0,0005	0,0006	0,0006	0,0006	0,0007	0,0008	0,0011	0,001	0,001	0,0009	0,0008	0,0009						0,0007	0,0008	0,0007	0,0006			
6582	5338	-8	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0006	0,0006	0,0008	0,001	0,0008	0,0009	0,001	0,0009	0,0008	0,0008					0,0007	0,0008	0,0007	0,0006			
16741	90324	-7	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0006	0,0006	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0009	0,0005	0,0007	0,0005	0,0005	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005			
17144	47070	-6	0,0004	0,0004	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0007	0,0009	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0007	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005			
17168	43518	-5	0,0004	0,0005	0,0004	0,0005	0,0005	0,0006	0,0007	0,0008	0,0009	0,0007	0,0008	0,0008	0,0005	0,0009	0,0007	0,0007	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004			
17281	39094	-4	0,0004	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0005	0,0008	0,0008	0,0009	0,0008	0,0007	0,0009	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004			
18721	13285	-3	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0005	0,0005	0,0006	0,0006	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0006	0,0007	0,0007	0,0007	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004			
23244	44808	-2	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0007	0,0007	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004			
30464	129110	-1	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0005	0,0005	0,0005	0,0006	0,0006	0,0006	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0006	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004			
30563	587300	0	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0005	0,0006	0,0007	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004			
30648	473580	1	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0005	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004			
30884	42005	2	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0004	0,0004	0,0005	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003			
31546	65290	3	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0004	0,0004	0,0005	0,0005	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003			
31560	571300	4	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0004	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003			
31935	157930	5	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0005	0,0005	0,0004	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003			
32314	61190	6	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0004	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003			
32437	122650	7	0,0002		0,0002	0,0003	0,0003	0,0003	0,0004	0,0004	0,0004	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003			0,0003		0,0002	0,0002			
32697	177300	8	0,0002	0,0002		0,0002		0,0004					0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0002		0,0002	0,0002			
32772	140120	9												0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003		0,0003	0,0002	0,0002				
33403	151040	10			0,0002																0,0003	0,0002	0,0002				
34158	466610	11																	0,0003								
34547	29110	12																			0,0003						
36480	979060	13															0,0002	0,0002									
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
																											Tid

FIGUR 31. UTKLIPP FRÅN EXCEL SOM VISAR HUR INDATA TILL DYNAMISKA NÄTBERÄKNINGAR SER UT. EFFEKTFAKTORMATRISEN ÄR UPP- OCH NERVÄND JÄMFÖRT MED DE EFFEKTFAKTORGRAFER SOM ANVÄNDS FÖR ATT REDOVISA RESULTATET FÖR KATEGORIerna.

4.3. Trovärdighetsanalys

Ett genomsnittligt euklidiskt avstånd,

$$d(p, q) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} \text{ där } i \text{ är antalet mätpunkter,}$$

mellan medelvektorn (genomsnittsanvändningen baserat på samtliga kunder i en kategori) och alla kunders användningsvektorer ger en bild över hur pass mycket spridning det finns inom varje kategori.

TABELL 6. SAMTLIGA KATEGORIERS SPRIDNING OCH SÄSONGERNAS GENOMSNISSLIGA SPRIDNING

		Säsong			
		Vinter	Mar-Apr & Okt-Nov	Maj & Sep	Sommar
Kategori	1	0,006	0,016	0,038	0,047
	2	0,011	0,007	0,036	0,028
	3	0,011	0,020	0,021	0,021
	4	0,011	0,015	0,033	0,042
	5	0,010	0,005	0,028	0,037
	6	0,018	0,008	0,033	0,022
	7	0,009	0,011	0,047	0,044
	8	0,010	0,019	0,043	0,052
	9	0,014	0,012	0,016	0,036
	10	0,004	0,013	0,048	0,050
	11	0,006	0,015	0,034	0,053
	12	0,008	0,029	0,023	0,036
Medelvärde		0,010	0,014	0,033	0,039

Tabell 6 visar endast hur spridningen förhåller sig mellan varje säsong. I och med att det inte finns någon annan referenspunkt än just de säsonger som presenteras kan resultatet inte användas för att ge en bild över hur god kategoriseringen är i allmänhet. Värt att notera är att den säsong som har kategorier med minst intern spridning är vintern. Kategorier med mest spridning finns under sommarsäsongen.

Faktorer som kan haft inverkan på resultatet är exempelvis sociala beteenden som är svårare att förutspå. Semester och påtagliga förändringar i livsstil, såsom pension och förändringar i familjestruktur är exempel på situationer som förmodligen ger utslag på en viss kunds användarmönster.

Kunder som använt väldigt små mängder värme under långa perioder har varit svårare att kategorisera eftersom en ökning av värmeanvändningen under en viss timme ger en större procentuell ökning jämfört med en höganvändningskund. Användningar av denna typ förekommer främst under sommarmånaderna. Dessutom har det funnits en betydande andel kunder som har haft obefintlig användning under många av somrardygns timmar. Resultatet av detta blir att kategoriseringen blir något osäkrare, vilket även kan ses i tabell 6.

Som tidigare nämnt har de utomhustemperaturer som använts för att uppnå resultatet antagits vara samma för varje timme under 2012 för Lund, Lomma och Eslöv. Detta antagande har gjorts för att möjliggöra en gemensam kategorisering för samtliga kunder. Det är dock värt att påpeka att detta antagande inte stämmer helt överens med de temperaturer som faktiskt uppmätts. Lomma ligger vid Skånes västkust och har därför något mer av ett kustklimat än vad Eslöv och till viss del Lund har. Lund och Eslöv ligger även högre beläget än vad Lomma gör.

Värt att nämna är också att kvaliteten på resultatet är beroende av kvaliteten på de data som tillhandahållits. Även ifall den största andelen mätvärden varit tillfredsställande, har det funnits mätvärden som fallit bort, eller varit felaktiga. Det är ingen garanti att all data, som varit till grund för

kategoriseringen, har varit helt fri från oönskade mätvärden. En kategorisering kan med andra ord inte göras bättre än vad kvaliteten på insamlade data tillåter.

Den del av resultatet som ska användas som indata för dynamiska nätberäkningar presenteras som en förväntad dygnsanvändning (se figur 31). Nackdelen med detta är att de kategorier som har stora skillnader i användarmönster över helgerna blir missgynnade. Konsekvenserna blir att effektfaktorerna påverkas av vilken veckodag en viss temperatur och tidpunkt registrerades. Fördelen med att presentera effektfaktorerna på detta sätt och inte över en vecka är att det blir betydligt lättare att använda som indata för dynamiska nätberäkningar, samtidigt som det resulterar i färre "tomma element". Med tomma element menas att en viss temperatur och tidpunkt inte sammanföll under 2012.

5. Diskussion

De 48 kategorierna som tagits fram skiljer sig tydligt från varandra, vilket tyder på en väl fungerande kategoriseringsmetod. I varje kategori finns en varierande spridning. Den säsongen som innehåller de kategorier med minst spridning är vintern. Anledningen till det är att majoriteten av kundernas användning under vintern utgörs av fysiska värmebehov. Under sommarhalvåret är det istället de sociala värmebehoven som dominerar och då är det svårare att förutspå kundens värmeanvändning. Utifrån resultatet är det tydligt att utomhustemperaturen har en stark inverkan på fjärrvärmekundernas användning. Under sommarmånaderna har de flesta kundkategorierna knappt någon värmeanvändning vid temperaturer över 15°C.

Utifrån de kategorier som tagits fram kan det konstateras att småhus har en större variation av användarmönster. Dessa typer av kunder förekommer i nästan varje kategori, i olika utsträckning. Detta tros främst bero på att småhus varierar mycket i storlek, utformning, antal boende och deras aktiviteter, inomhustemperatur och familjestruktur. I ett flerbostadshus förekommer en större mångfald och sammanlagring, vilket ger en jämnare och mer förutsägbar värmeanvändning. Det förekommer dock även skillnader för denna typ av bostäder.

Genom att studera kategorierna kan mycket intressant information utläsas. Ett tydligt exempel på detta är Kategori 4 - Småhus i Lomma som presenteras under Bilaga i figur 71, för sommaren. Denna kategori innehåller uteslutande småhus från Lomma. Eftersom kategoriseringsmetoden endast tagit hänsyn till kundernas användarmönster kan man fundera på vad det är som skiljer dessa småhus i Lomma från andra småhus i Lund och Eslöv. Enligt tabell 6 är det heller ingen märkbart större spridning på dessa kunder jämfört med andra sommarkategorier. Detta utesluter ett scenario där det skulle vara en kategori för kunder med uppenbara mätfel. Ett liknande fall återfinns i Kategori 6 - Flerbostadshus Lund, Väster/Mix i figur 61 under maj & september. En stor del av kunderna i denna kategori är flerbostadshus. Dessa flerbostadshus är alla belägna i en stadsdel i västra Lund som kallas Väster. Återigen kan det tyckas märkligt att inga andra flerbostadshus har ett så pass likt användarmönster, att de inte hamnar i samma kategori. I denna kategori finns dock andra kundtyper, såsom småhus, butiker och offentliga förvaltningar, som har ett liknande användarmönster som de utmärkande flerbostadshusen på Väster.

En närmre studie av Kategori 7 - Skolor/Daghem/Kontor i figur 50 under säsongen mars-april & oktober-november, leder till slutsatsen att användarmönstret närmast är en kombination av Kategori 1 - Skolor/Daghem/Kontor i figur 32 och Kategori 4 - Butiker/Kontor i figur 35 under vintersäsongen. En addition av antalet kunder för de båda sistnämnda kategorierna ger en summa som ligger väldigt nära det totala antalet kunder för av Kategori 7 - Skolor/Daghem/Kontor under mars-april & oktober-november. De kundtyper som förekommer i de olika kategorierna stämmer också väl överens med varandra. Med denna information är det lockande att dra slutsatsen att de kunder som finns i de båda vinterkategorierna återfinns i Kategori 7 - Skolor/Daghem/Kontor under mars-april & oktober-november. Man kan tycka att det möjligtvis borde finnas två kategorier under mars-april & oktober-november, som motsvarar de under vintersäsongen. En möjlig anledning till varför detta inte förekommer kan vara en större spridning i användarmönster bland övriga kundtyper under denna säsong. På så sätt är kunderna från de båda vintersäsongerna inte tillräckligt olika, vilket gör att de hamnar i samma kategori under säsongen mars-april & oktober-november. Detta stöds av tabell 6

där det tydligt framkommer att det är en liten spridning på kunderna i Kategori 1 - Skolor/Daghem/Kontor och Kategori 4 - Butiker/Kontor.

Det finns mycket information bland alla kategorier och dess kunder som kan vara till nytta för Lunds Energi. Genom kategoriseringen av fjärrvärmekunderna finns det förhoppningar om att Lunds Energi kan lära känna sina kunder bättre. De dynamiska nätberäkningar som ska genomföras, med effektfaktorerna som indata, kommer förhoppningsvis leda till en större kunskap om Lunds Energis fjärrvärmenäts styrkor och svagheter.

6. Slutsats

Från rapporten kan följande slutsatser dras:

- Det artificiella neurala nätverket, self-organizing maps, är en bra metod för att kategorisera fjärrvärmekunder utifrån deras användarmönster.
- Kategorisering med metoden SOM kan även tillämpas på andra typer av användarprofiler som exempelvis el och gas.
- Hos alla kategorier påverkar utomhustemperaturen värmeanvändningen men man kan under vissa tider på dygnet, framförallt morgnar, se en annorlunda trend bland vissa kategorier. Hos dessa spelar den sociala användningen en stor roll vilket medför en hög effektfaktor nästan oberoende av utomhustemperatur.
- Det finns inget entydigt beteende hos en viss typ av kund men vissa kundtyper har mer gemensamt än andra. Speciellt svårt att förutspå är beteendet hos småhus eftersom det finns så många olika faktorer som spelar in. Verksamheter som har ett tydligt dygnsberoende är ofta lättare att kategorisera. Det kan röra sig om offentliga verksamheter, butiker, kontor och flerbostadshus men även här finns en påtaglig variation.
- Den bästa kategoriseringen får man under vintersäsongen där den sociala användningen utgör en mindre del av den totala användningen och fjärrvärmenätet är som mest belastat.
- De indata som efterlämnats för de dynamiska nätberäkningarna består av en Excel-fil där varje kategori under samtliga säsonger finns samlade. Till varje kategori representeras vilka kunder som ingår, deras förväntade maximala användning och deras gemensamma medelsnittliga effektfaktor. Med den information som tagits fram om kunderna finns det tillräckligt med underlag för att vidare förbättra och optimera Lunds Energis fjärrvärmenät.

6.1. Vidare arbete

Att kategorisera så pass många kunder utifrån deras användarmönster är relativt utforskad mark. I och med att det idag finns mycket mätdata tillgänglig hos energiförtegen, finns det stora möjligheter att utöka förståelsen för hur olika kunders beteenden påverkar fjärrvärmenäten. Liknande kategorisering som genomförts i detta examensarbete skulle med lätthet även kunna genomföras på exempelvis fjärrvärmekunders returtemperaturer och elkunders energianvändning.

Det finns många kategoriseringsmetoder som lämpar sig för mönsterigenkänning. Detta examensarbete behandlar endast en bråkdel av alla tänkbara metoder som finns tillgängliga. Vidare studier i vilken/vilka metoder som lämpar sig för just den typ av data som behandlats i detta examensarbete hade gett tydligare riktlinjer för alternativa tillvägagångssätt.

Vidare hade det också varit intressant att få mer information om fjärrvärmekunderna. Med uppgifter som antal boende, familjestruktur, arbetstider, öppnings- och stängningstider, nattaktivitet och kompletterande uppvärmningsalternativ kan Lunds Energi undersöka kategoriseringen mer grundligt.

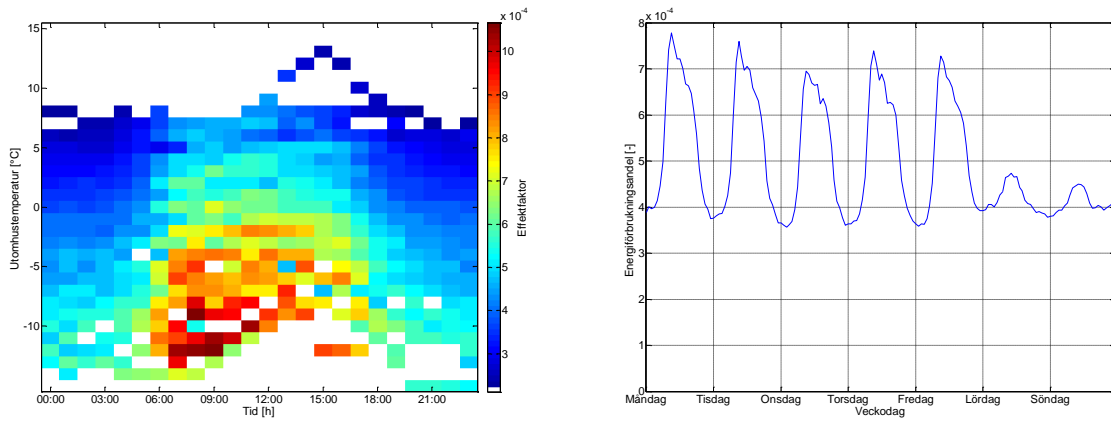
7. Referenser

1. Gadd H. To Measure is to Know!. Lund University. Rapportnummer: 0282-1990, 2012.
2. Frederiksen S, Werner S. District Heating and Cooling, 6th ed. Holte (Denmark), Steninge (Sweden): Studentlitteratur; 2012.
3. Svensk Fjärrvärme. Så funkar fjärrvärme. <http://www.svenskfjarrvarme.se/Fjarrvarme/Sa-funkar-fjarrvarme/> (hämtad 2013-01-23).
4. Lundkvist B, Persson T, Nilsson L, Pers Gustafsson A, Svensson E, Dahlberg A, et al.. *Energiläget 2012*. Energimyndigheten. Rapportnummer: 34, 2012.
5. SOPNO. Miljövärden för fjärrvärme under 2011. http://www.landskronaenergi.se/wp-content/uploads/2012/12/Översikt_fjärrvärme.png (hämtad 2013-01-23).
6. Svensk Fjärrvärme. Fjärrvärme - A Real Success Story. http://www.svenskfjarrvarme.se/Global/Rapporter%20och%20dokument%20INTE%20Fj%c3%a4rrsyn/Ovriga_rapporter/Fjarrvarmens_historia/Fj%c3%a4rrv%c3%a4rme_story.pdf (hämtad 2013-01-23).
7. Nilsson L-G. Intervjuad av: Nilsson C. 2013-05-29
8. Svensk Fjärrvärme. Tillförd Energi. <http://www.svenskfjarrvarme.se/Statistik--Pris/Fjarrvarme/Energitillforsel/> (hämtad 2013-03-12).
9. Fortum. Utbildning på Fjärrvärmecentral. <http://www.fortum.com/countries/se/foretag/fjarrvarme/energieffektivisering/fjarrvarmece ntral/pages/default.aspx> (hämtad 2013-02-01).
10. Boles MA, Cengel YA. Thermodynamics - An Engineering Approach, 6th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill; 2007.
11. Olsson D. Tappvarmvatten i Flerbostadshus. Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut. Rapportnummer: 04, 2003.
12. Lunds Energi. Fakta om bolaget. <http://www.lundsenergi.se/Privat/Om-oss/Om-oss/Fakta-om-bolaget/> (hämtad 2013-03-12).
13. SMHI. Året 2012 - Mycket nederbördsrikt med nya rekord i nordöstra Norrland. <http://www.smhi.se/klimatdata/Arssammanställningar/aret-2012-mycket-nederbordsrikt-med-nya-rekord-i-nordostra-norrland-1.28148> (hämtad 2013-05-15).
14. Edlund G. Intervjuad av: Nilsson C. 2013-06-04.
15. Santamouris M, Mihalakakou G, Patargias P, Gaitani N, Sfakianaki K, Papaglastra M, et al.. Using intelligent clustering techniques to classify the energy performance of school buildings. *Energy and Buildings* 2007; 39(1): 45-51.
16. Piao M, Park H, Kim K, Ryu K.H. Comparison of Subspace Projection Method with Traditional Clustering Algorithms for Clustering Electricity Consumption Data . Chungbuk Nation University. Report number: 978-1-61208-247-9, 2013.
17. Neto L.B, Coelho P.H.G. Self-Organizing Maps for Classification of the Rio de Janeiro State Cities Based on Electrical Energy Consumption. *Proceedings of the Ninth International Conference on Enterprise Information Systems - AIDSS 2007*; 1(1): 447-450.
18. Räsänen T, Ruuskanen J, Kolehmainen M. Reducing energy consumption by using self-organizing maps to create more personalized electricity use information. *Applied Energy* 2008; 85(1): 830-840.
19. Kohonen T. *Self-Organizing Maps*, 3rd ed. Berlin: Springer; 2001.

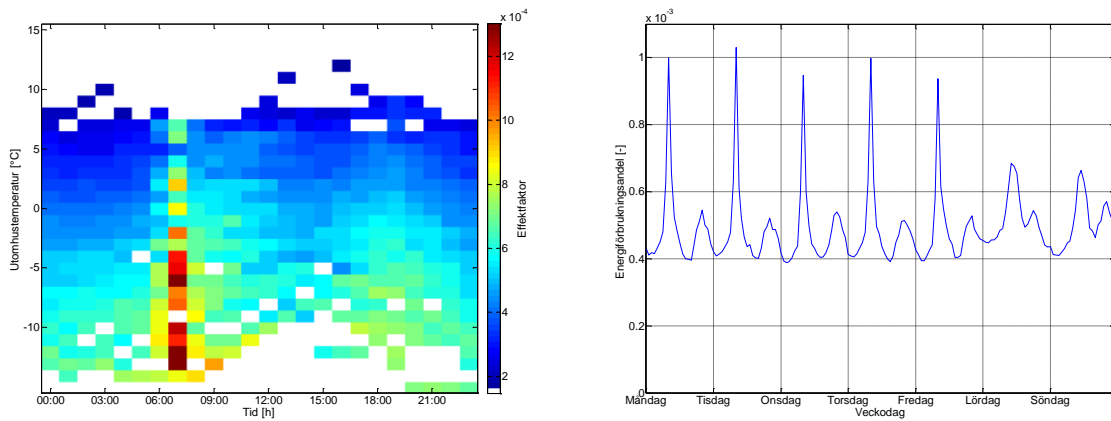
20. Bullinaria J.A. Introduction to Neural Networks: Revision Lectures.
<http://www.cs.bham.ac.uk/~jxb/NN/IR.pdf> (hämtad 2013-04-15).
21. Marsland S. Machine Learning - An Algorithmic Perspective. Boca Raton: Taylor & Francis Group; 2009.
22. Thomas B. Framtidens Intelligens, 10th ed. Lund: Studentlitteratur; 2003.
23. NeuroAI. Kohonen Self-Organizing Maps.
<http://www.learnartificialneuralnetworks.com/kohonen.html> (hämtad 2013-04-15).
24. Bacao F, Lobo V, Painho M. Self-organizing Maps as Substitutes for K-Means Clustering. ISEGI/UNL, Portugese Naval Academy. Rapportnummer: 3516, 2005.
25. Mingoti S.A, Lima J.O. Comparing SOM neural network with Fuzzy c-means, K-means and traditional hierarchical clustering algorithms. Universidade Federal de Minas Gerais. Rapportnummer: 174, 2005.
26. Abbas O.A. Comparison Between Data Clustering Algorithms. The International Arab Journal of Information Technology 2008; 5(3): 320-325.
27. Liao T.W. Clustering of time series data - a survey. Louisiana State University. Rapportnummer: 38, 2005.
28. Jakobsson A. Time Series Analysis and Signal Modeling. Lund: ; 2012.
29. Bagnall A.J, Janacek G.J. Clustering Time Series from ARMA Models with Clipped Data. University of East Anglia. Rapportnummer: 1-58113-888-1/04/0008, 2004.

Bilaga

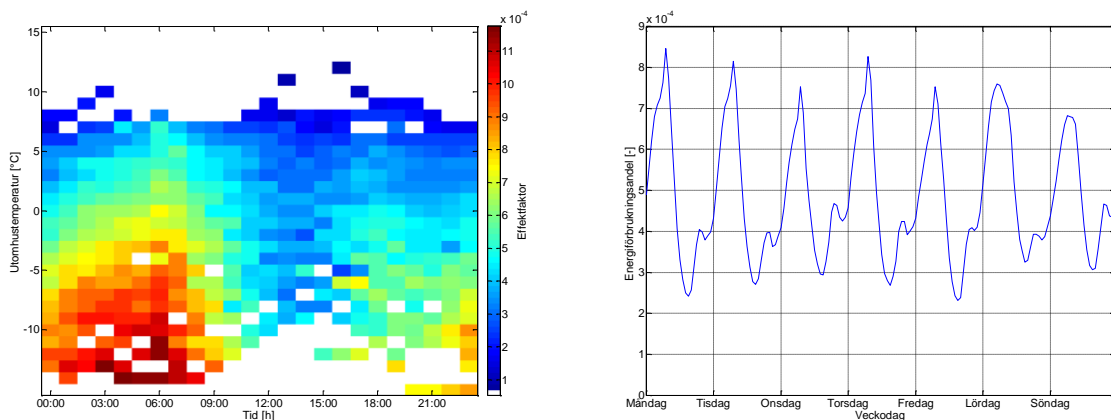
Vinter



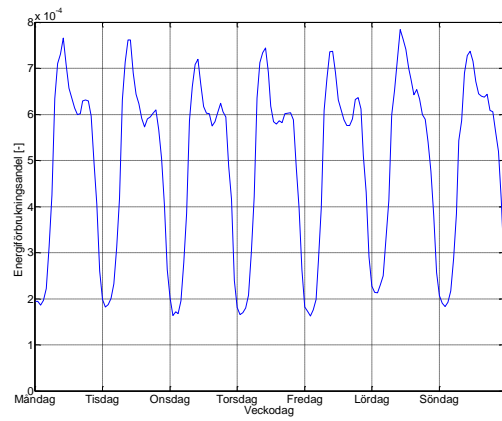
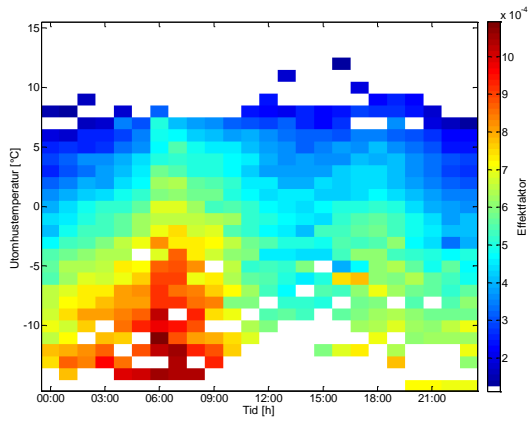
FIGUR 32. KATEGORI 1 - SKOLOR/DAGHEM/KONTOR. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 117 STYCKEN.



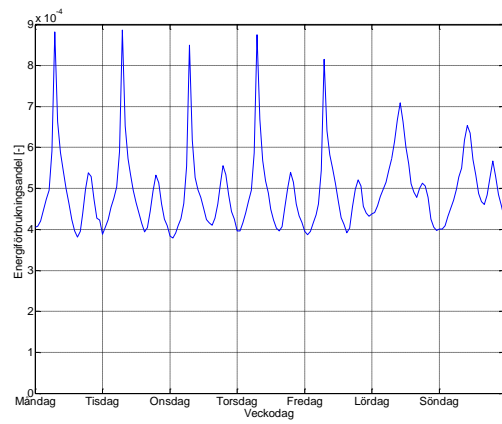
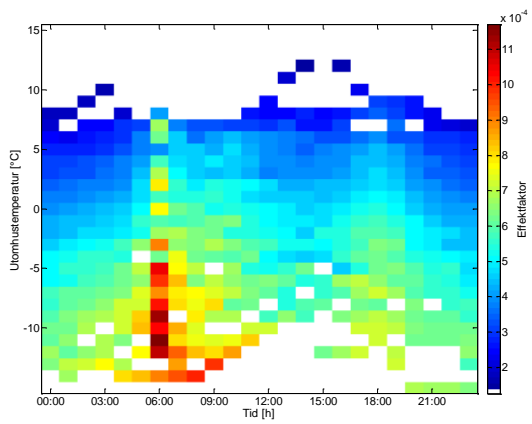
FIGUR 33. KATEGORI 2 - MINDRE SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 174 STYCKEN.



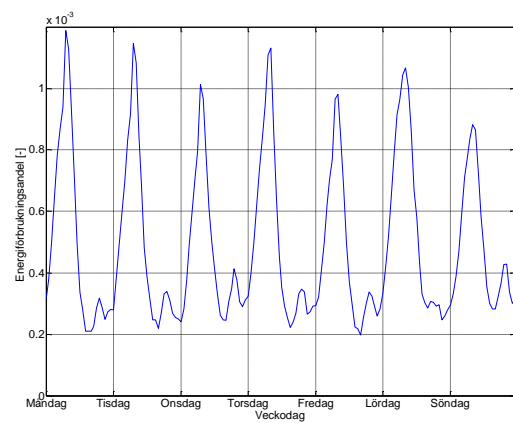
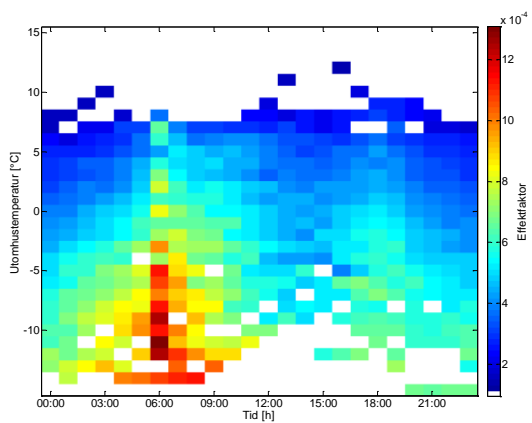
FIGUR 34. KATEGORI 3 - MINDRE SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 247 STYCKEN.



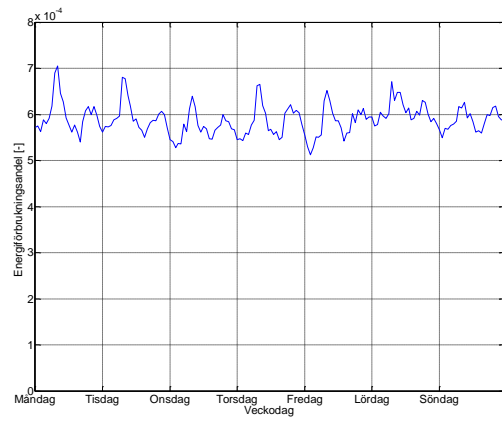
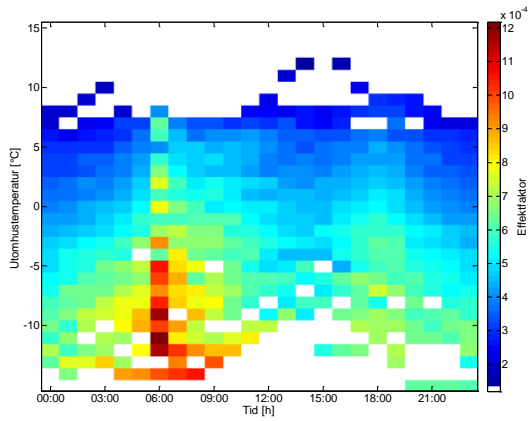
FIGUR 35. KATEGORI 4 - BUTIKER/KONTOR. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 83 STYCKEN.



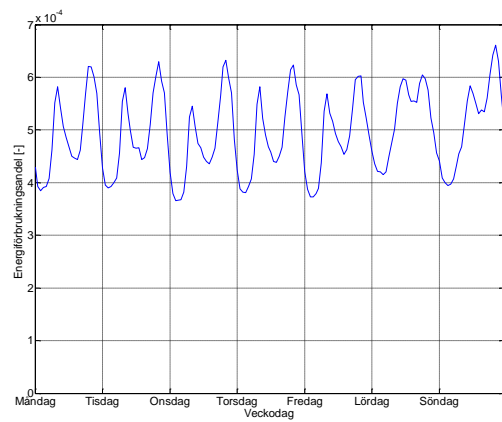
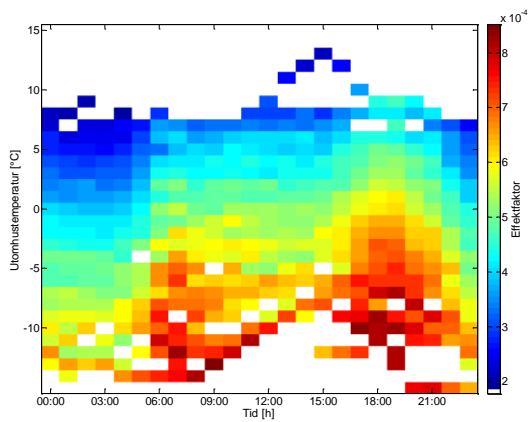
FIGUR 36. KATEGORI 5 - SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 368 STYCKEN.



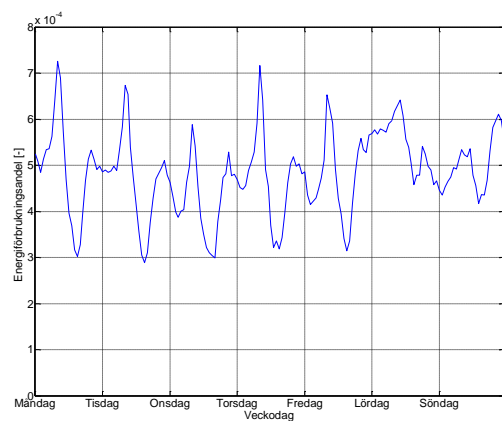
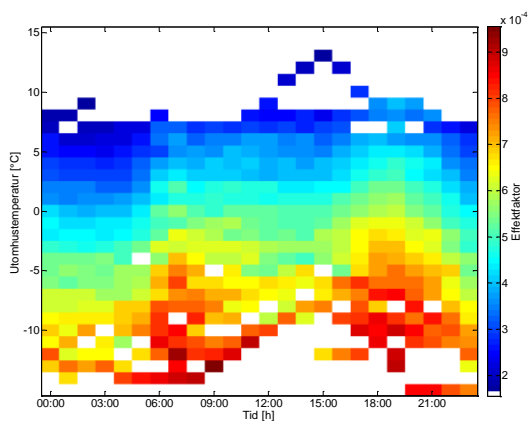
FIGUR 37. KATEGORI 6 - SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 77 STYCKEN.



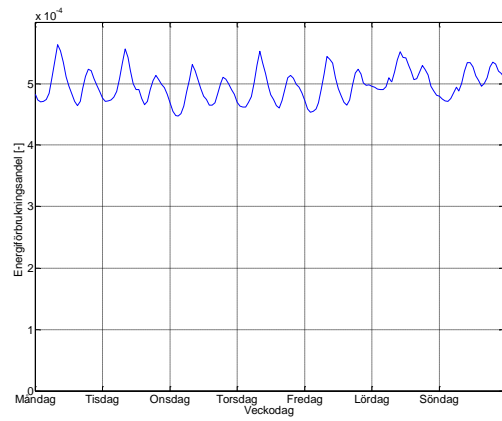
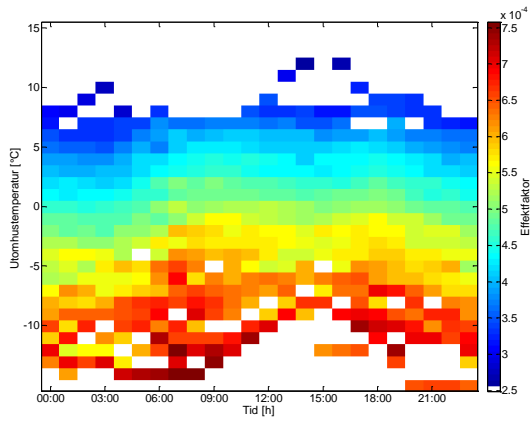
FIGUR 38. KATEGORI 7 - KONTOR/OFFENTLIGA FÖRVALTNINGAR/BUTIKER. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 45 STYCKEN.



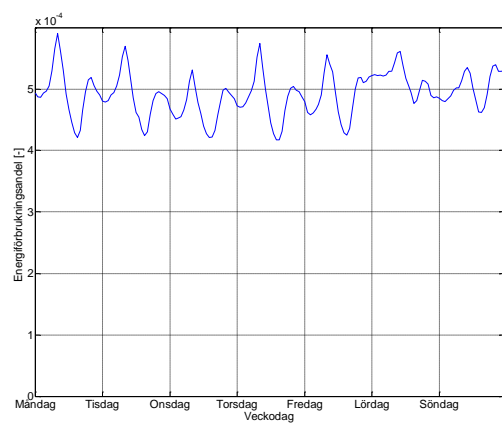
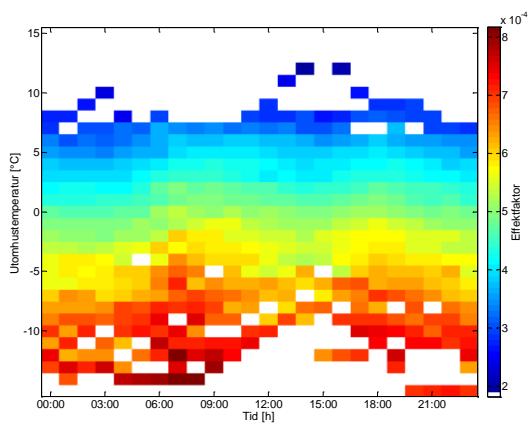
FIGUR 39. KATEGORI 8 - FLERBOSTADSHUS ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 445 STYCKEN.



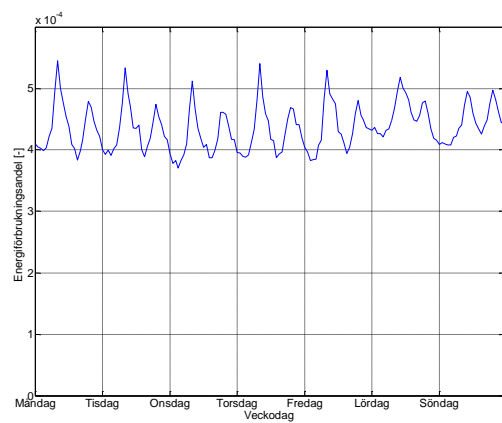
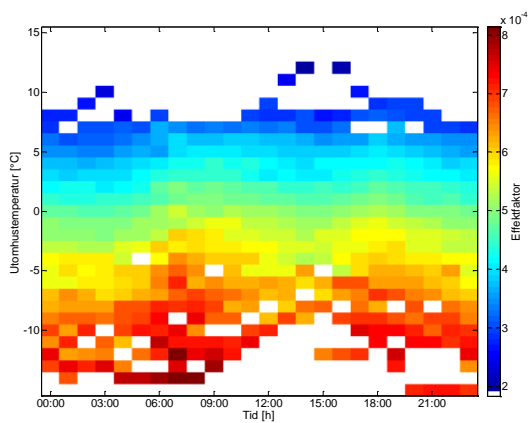
FIGUR 40. KATEGORI 9 - SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 86 STYCKEN.



FIGUR 41. KATEGORI 10 - FLERBOSTADSHUS/SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 2436 STYCKEN.

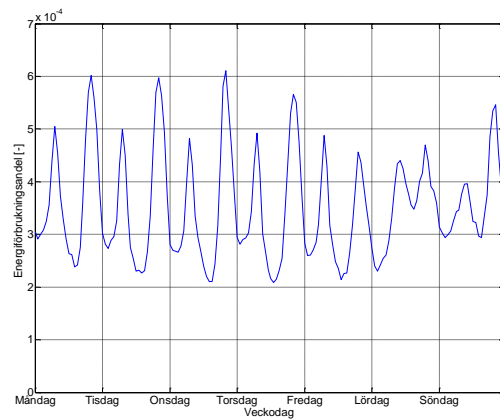
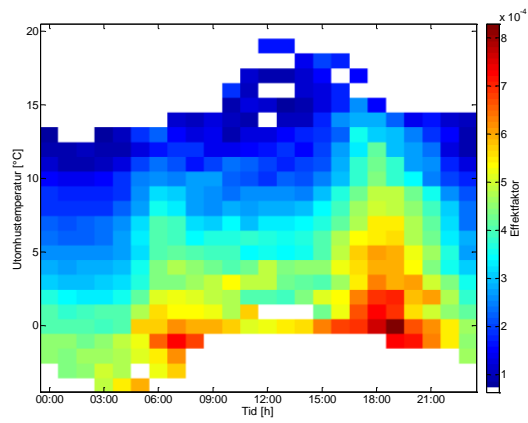


FIGUR 42. KATEGORI 11 - STÖRRE SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 1426 STYCKEN.

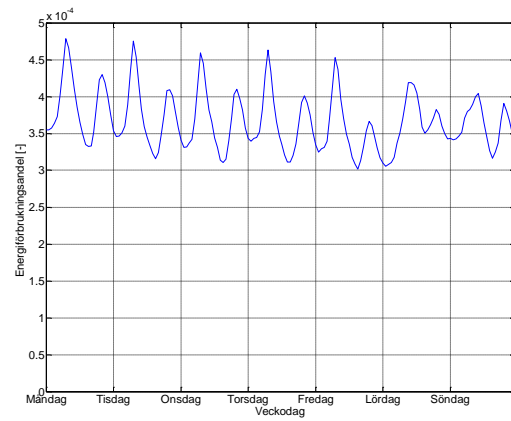
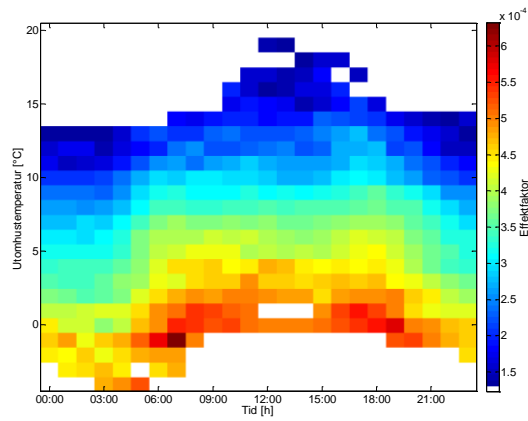


FIGUR 43. KATEGORI 12 - MIX. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 123 STYCKEN.

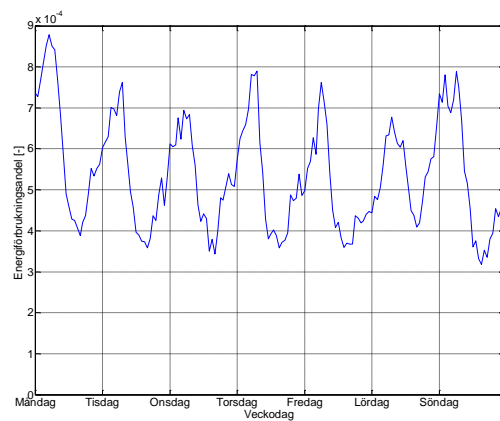
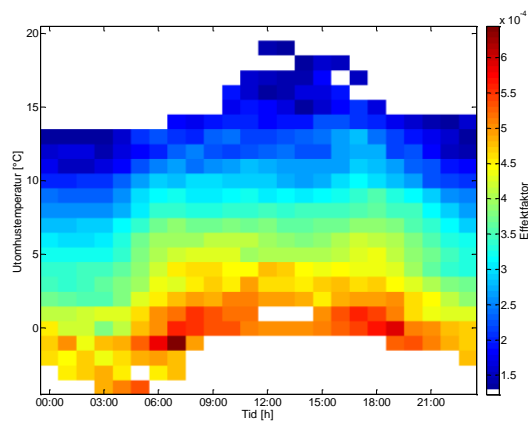
Mars- april & oktober-november



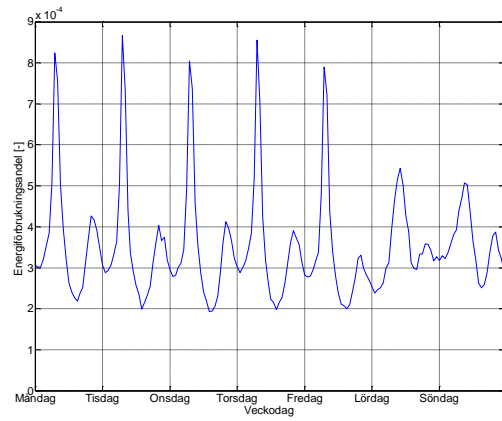
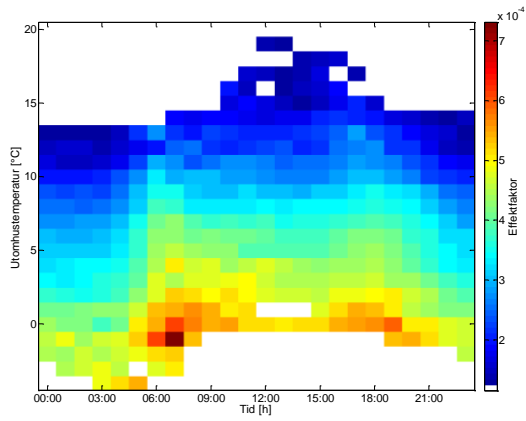
FIGUR 44. KATEGORI 1 - MINDRE SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 235 STYCKEN.



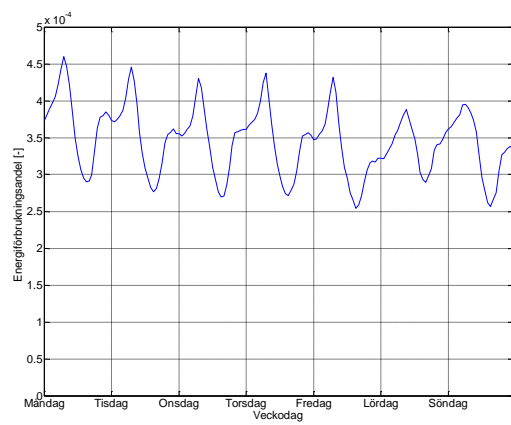
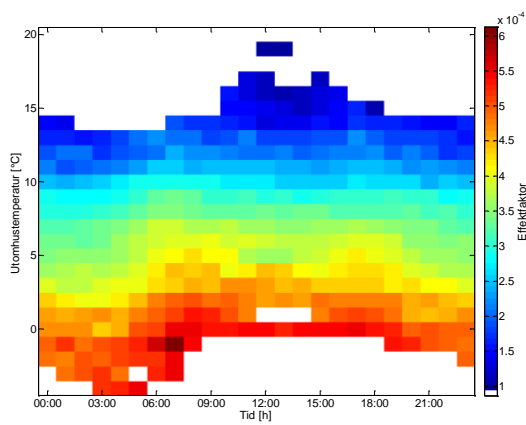
FIGUR 45. KATEGORI 2 - FLERBOSTADSHUS/STÖRRE SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 1399 STYCKEN.



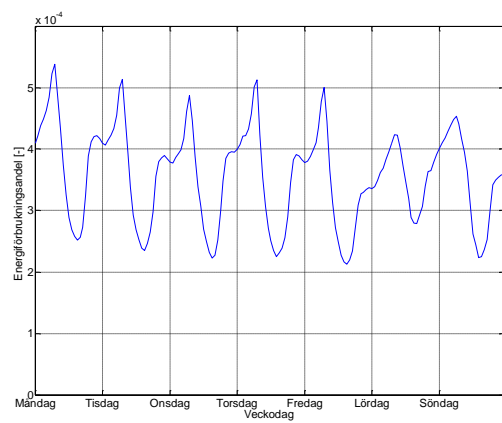
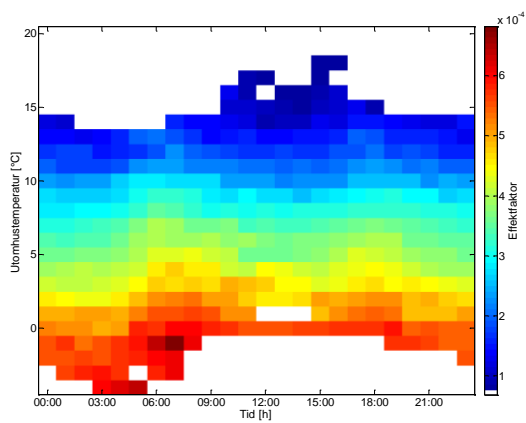
FIGUR 46. KATEGORI 3 - MIX. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 22 STYCKEN.



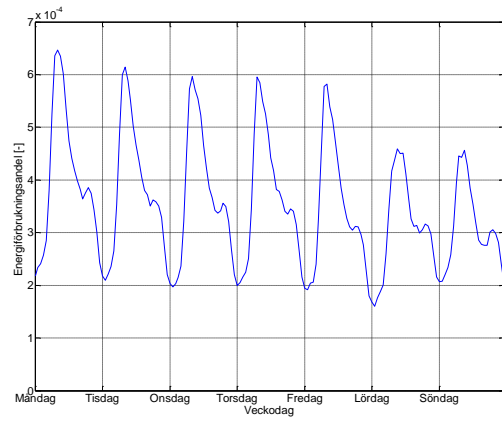
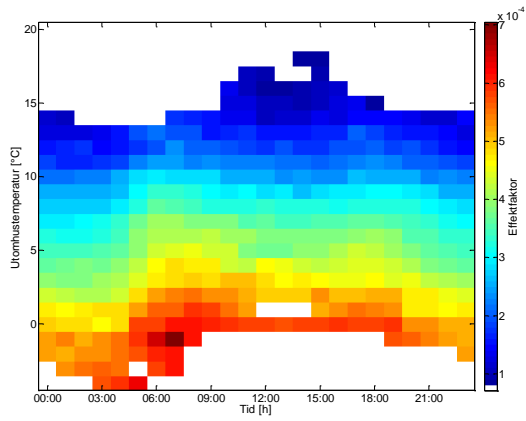
FIGUR 47. KATEGORI 4 - SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 208 STYCKEN.



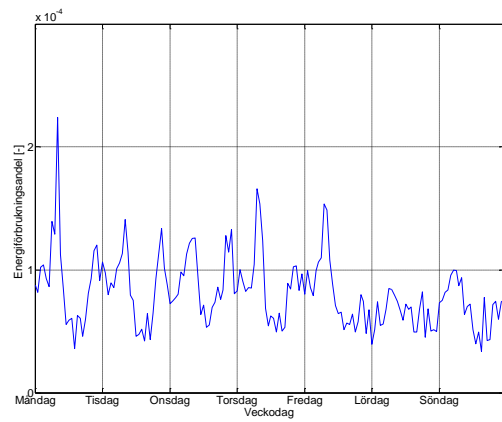
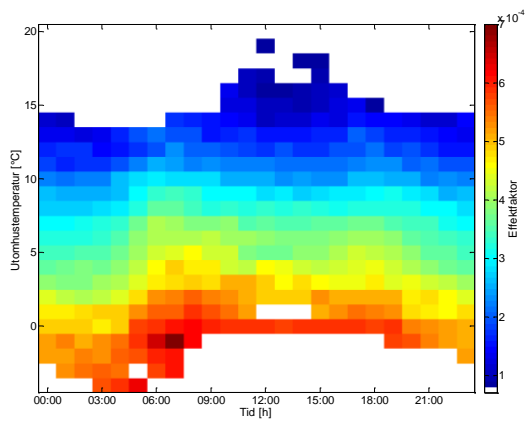
FIGUR 48. KATEGORI 5 - FLERBOSTADSHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 1886 STYCKEN.



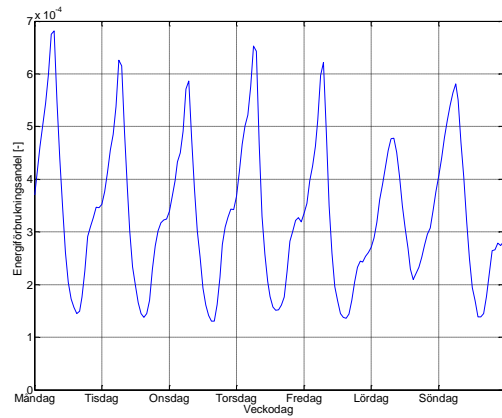
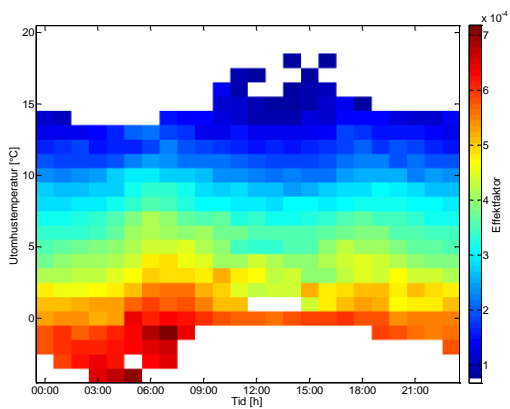
FIGUR 49. KATEGORI 6 - SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 1220 STYCKEN.



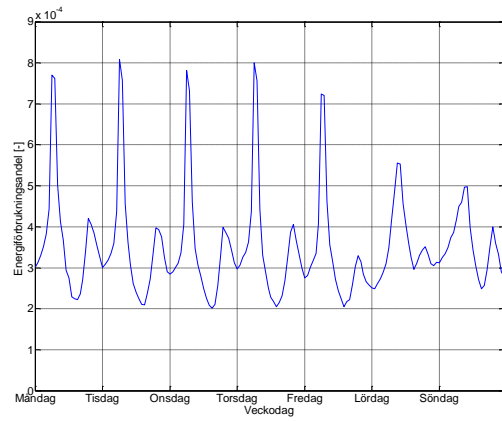
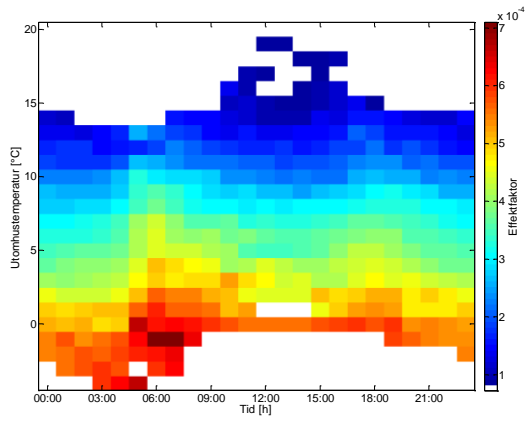
FIGUR 50. KATEGORI 7 - SKOLOR/DAGHEM/KONTOR. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 231 STYCKEN.



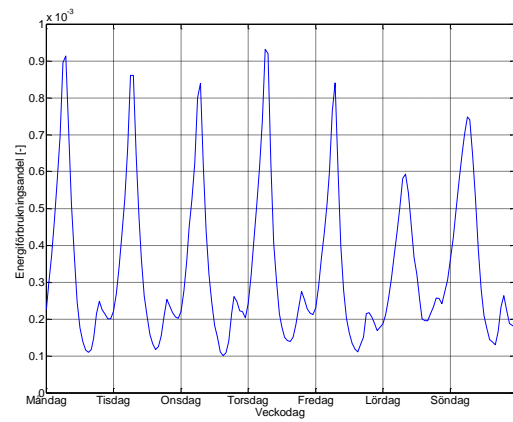
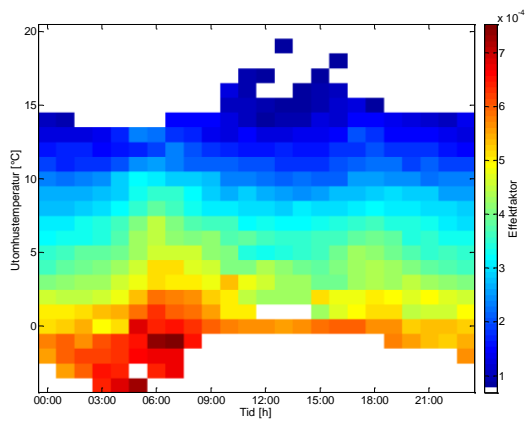
FIGUR 51. KATEGORI 8 - MIX. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 19 STYCKEN.



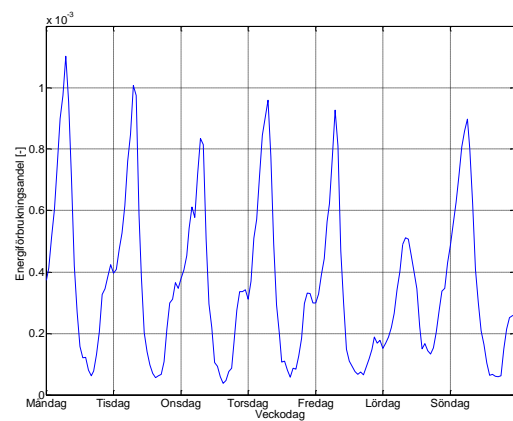
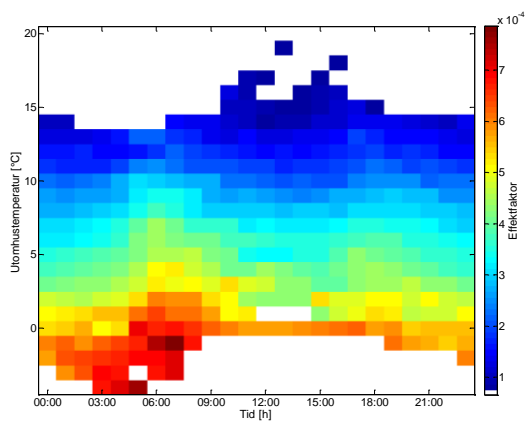
FIGUR 52. KATEGORI 9 - SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 419 STYCKEN.



FIGUR 53. KATEGORI 10 - SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 257 STYCKEN.

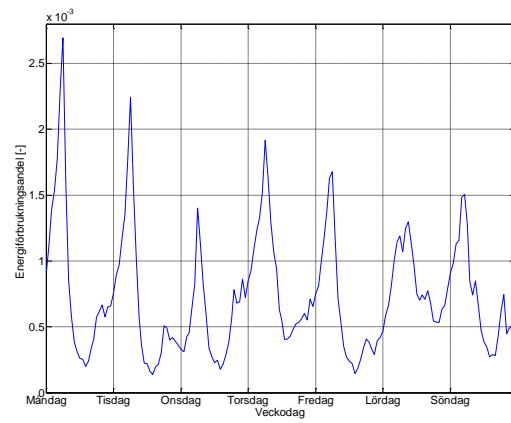
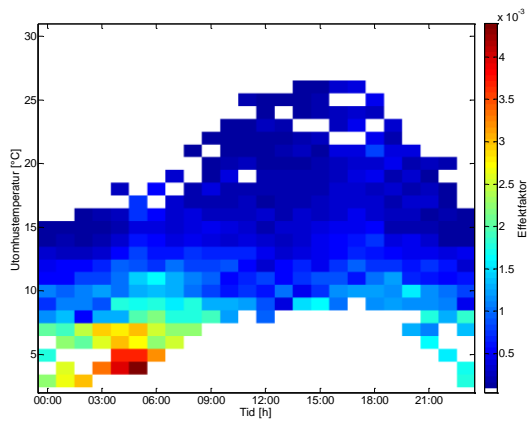


FIGUR 54. KATEGORI 11 - SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 192 STYCKEN.

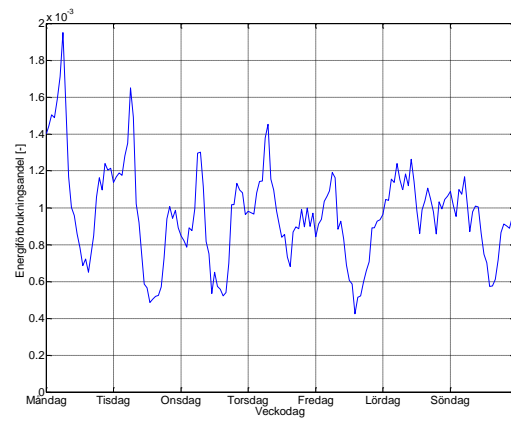
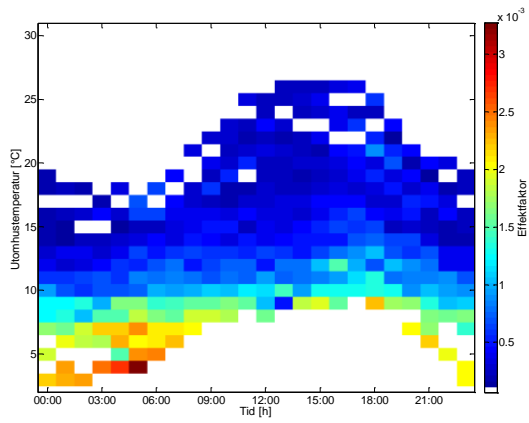


FIGUR 55. KATEGORI 12 - SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 71 STYCKEN.

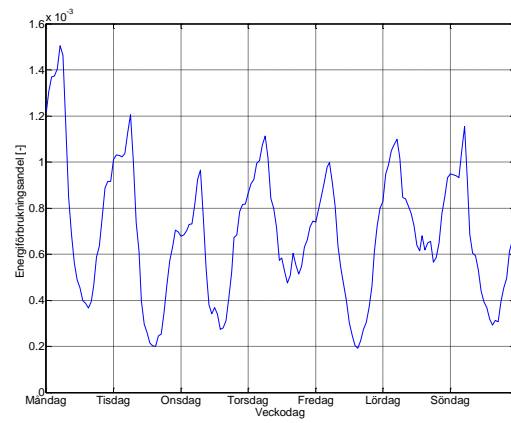
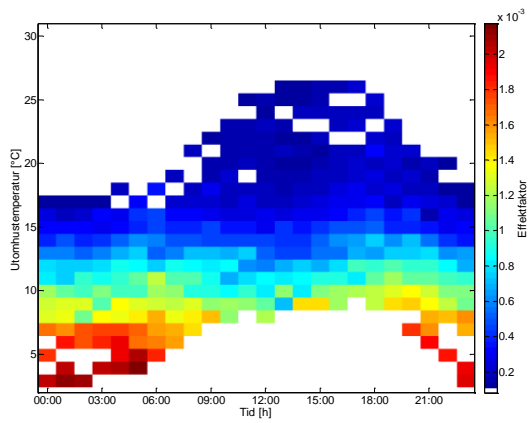
Maj & september



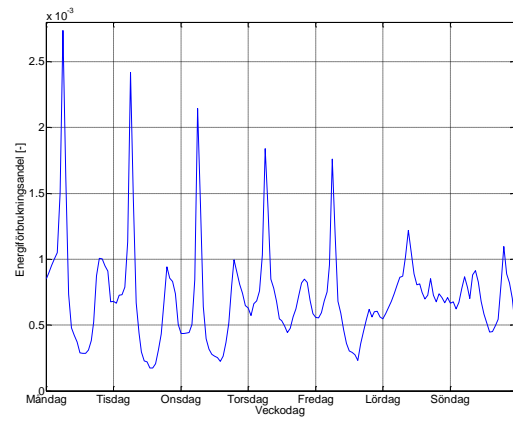
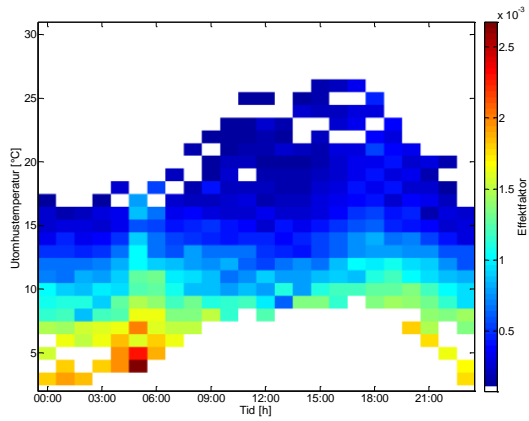
FIGUR 56. KATEGORI 1 - SMÅHUS/OFFENTLIGA FÖRVALTNINGAR. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 250 STYCKEN.



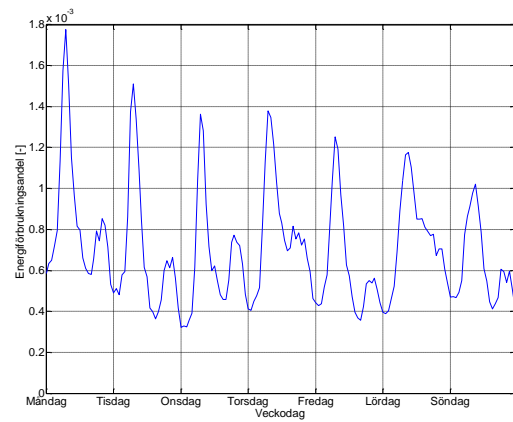
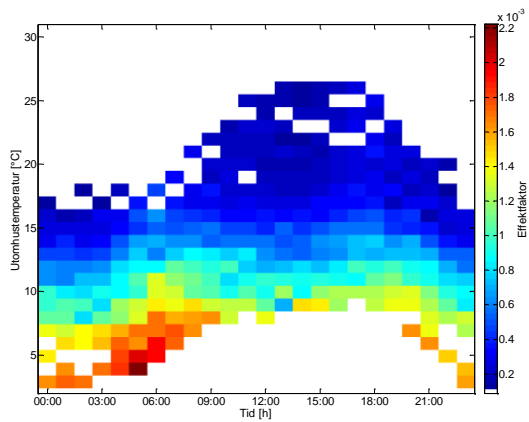
FIGUR 57. KATEGORI 2 - BUTIKER/KONTOR. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 197 STYCKEN.



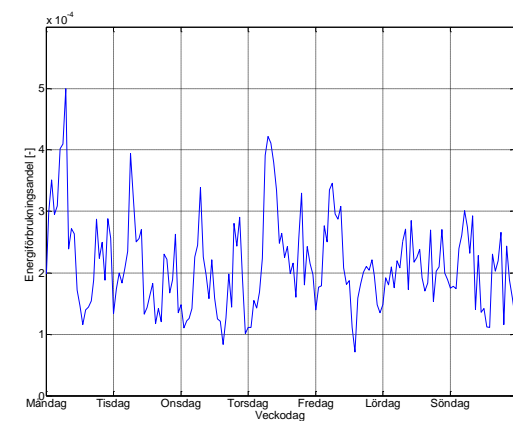
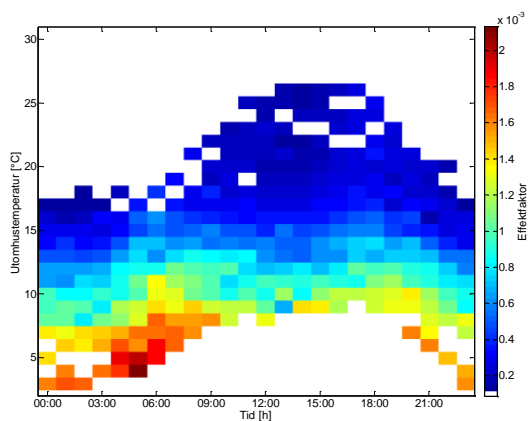
FIGUR 58. KATEGORI 3 - OFFENTLIGA FÖRVALTNINGAR/BUTIKER/SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 1124 STYCKEN.



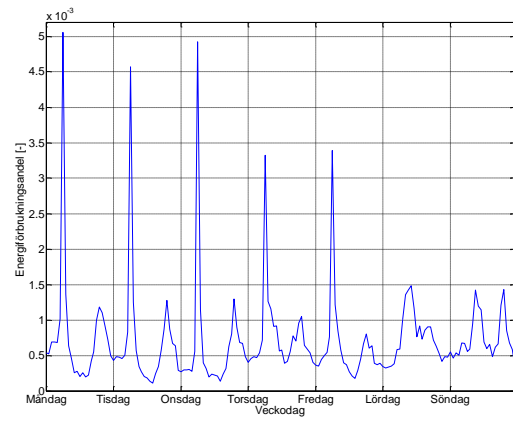
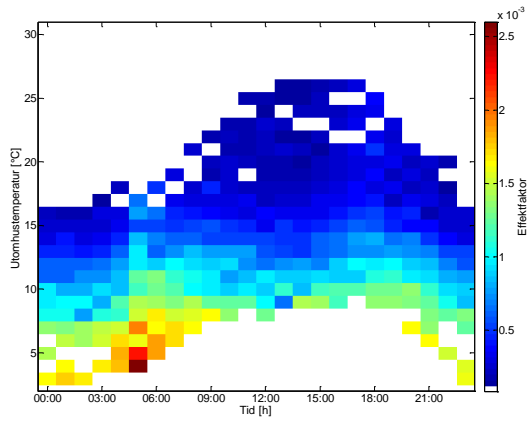
FIGUR 59. KATEGORI 4 - SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 430 STYCKEN.



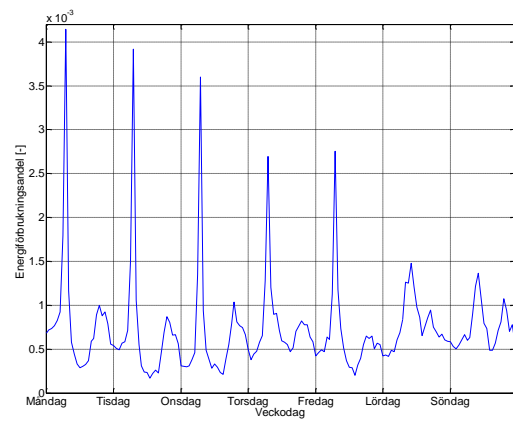
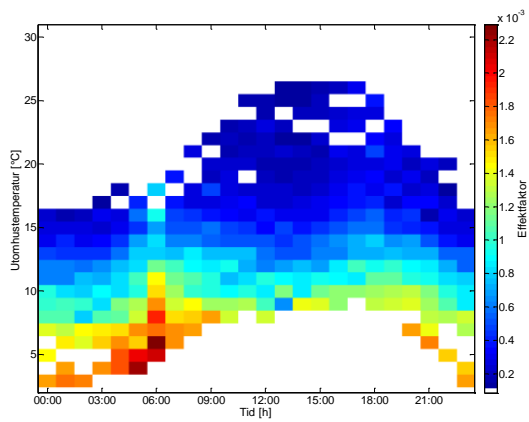
FIGUR 60. KATEGORI 5 - FLERBOSTADSHUS/SKOLOR/DAGHEM. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 423 STYCKEN.



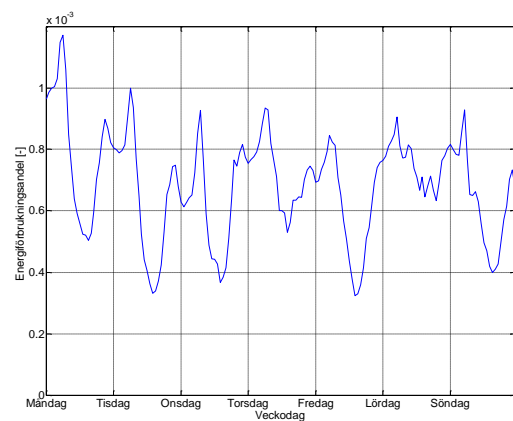
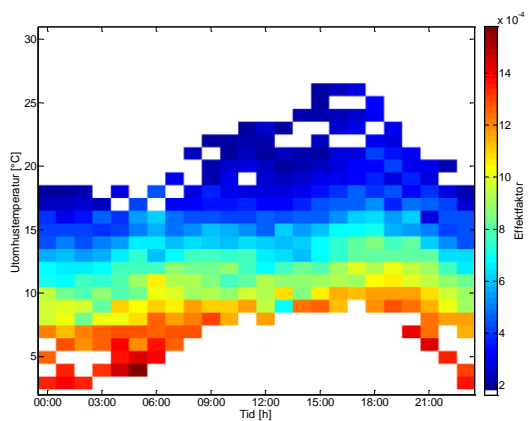
FIGUR 61. KATEGORI 6 – FLERBOSTADSHUS I LUND, VÄSTER/MIX. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 45 STYCKEN.



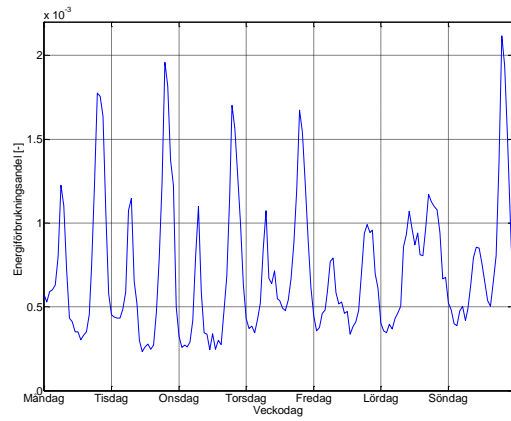
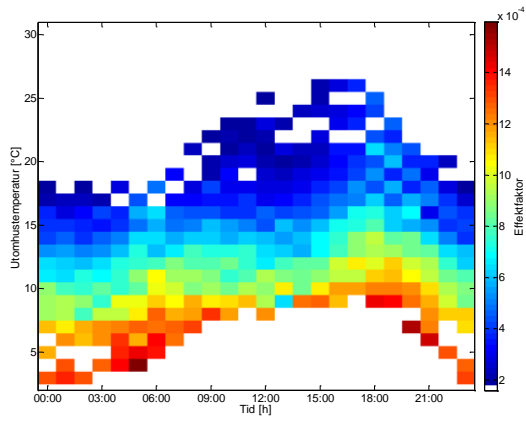
FIGUR 62. KATEGORI 7 - MINDRE SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 112 STYCKEN.



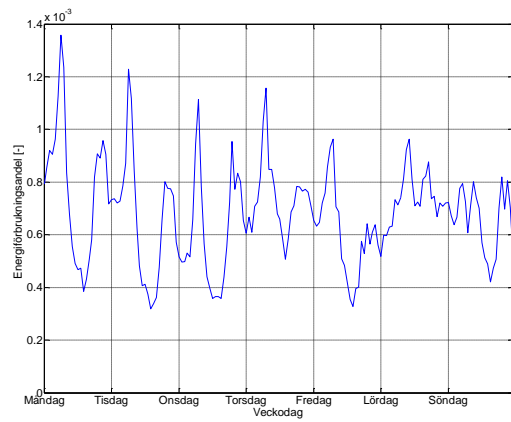
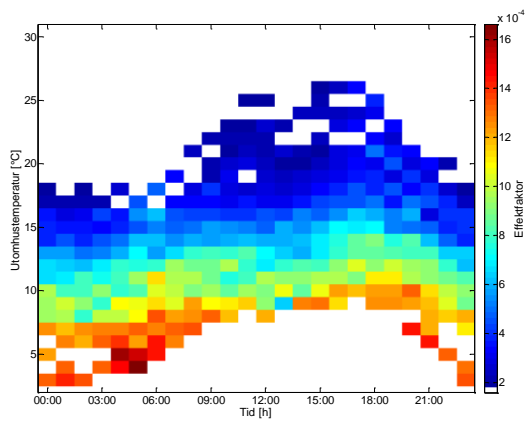
FIGUR 63. KATEGORI 8 - SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 167 STYCKEN.



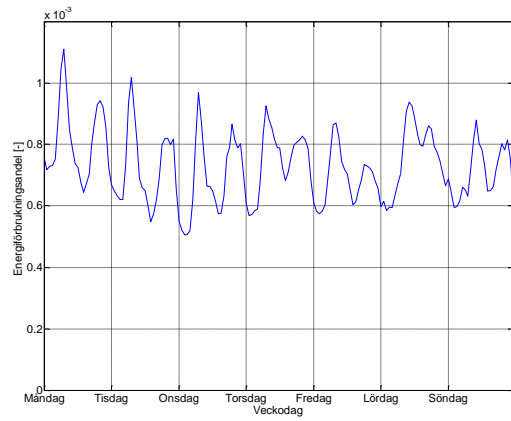
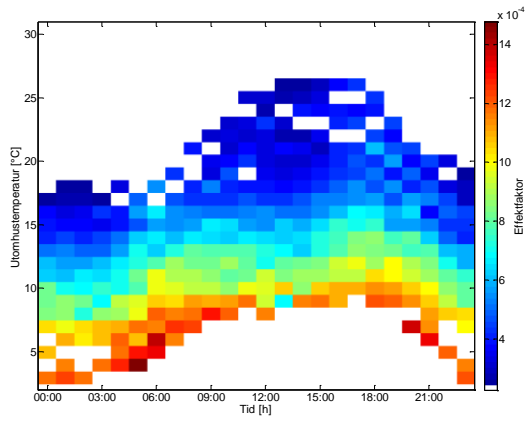
FIGUR 64. KATEGORI 9 - FLERBOSTADSHUS/SKOLA/DAGHEM/MIX. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 1973 STYCKEN.



FIGUR 65. KATEGORI 10 - MINDRE SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 247 STYCKEN.

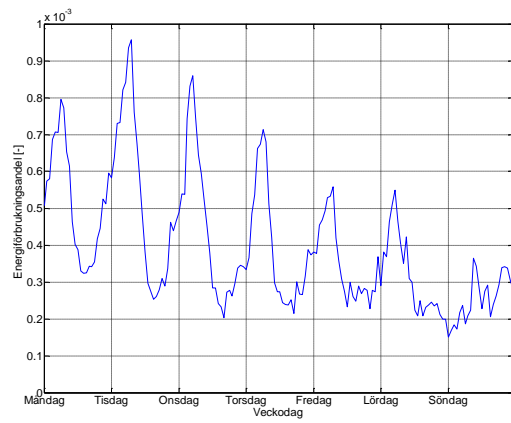
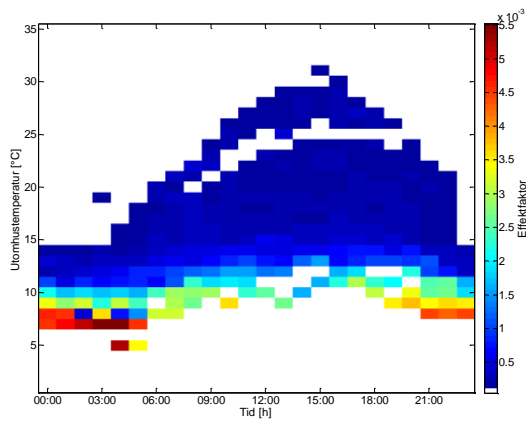


FIGUR 66. KATEGORI 11 - SMÅHUS/MIX. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 334 STYCKEN.

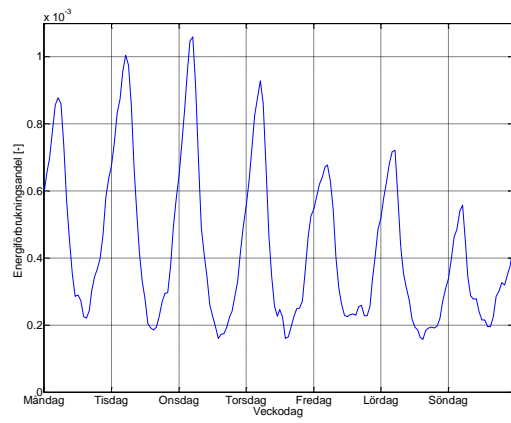
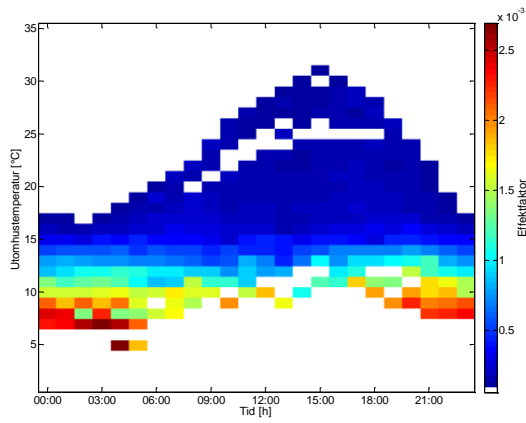


FIGUR 67. KATEGORI 12 - FLERBOSTADSHUS/STÖRRE SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 937 STYCKEN.

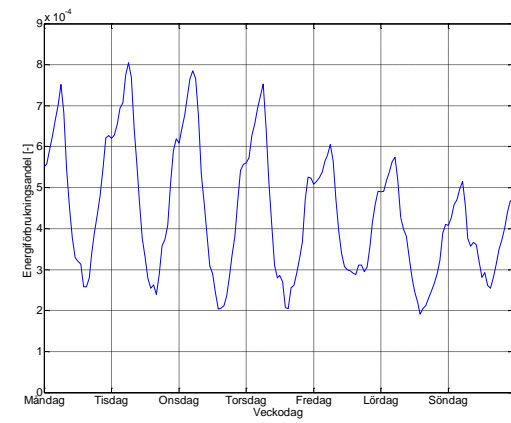
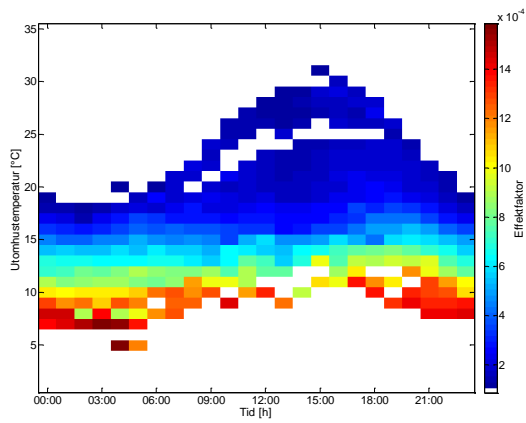
Sommar



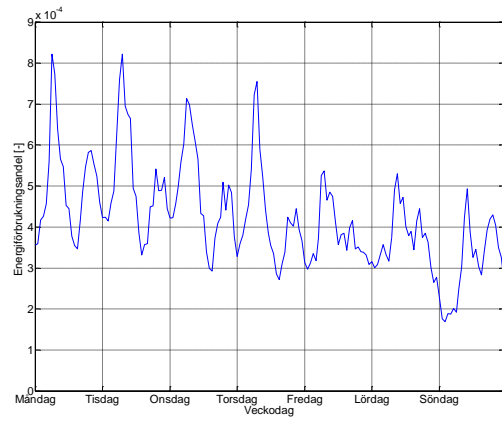
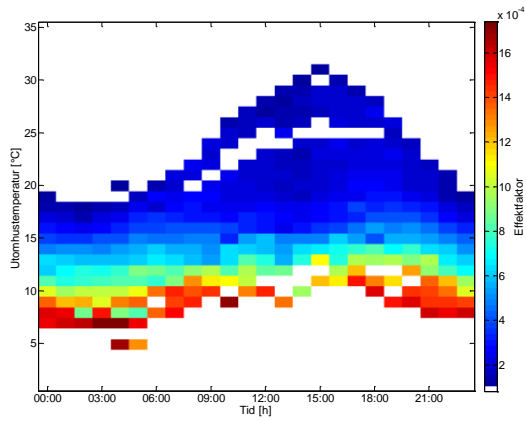
FIGUR 68. KATEGORI 1 - OFFENTLIGA FÖRVALTNINGAR/MIX. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 117 STYCKEN.



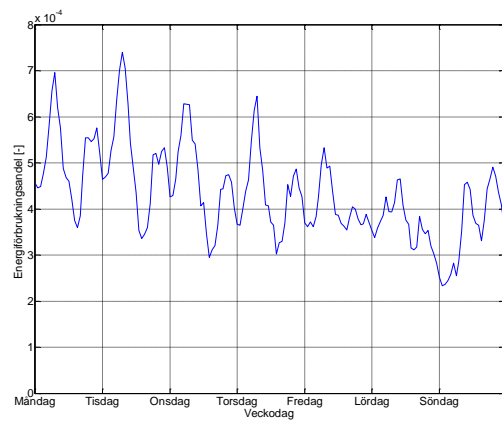
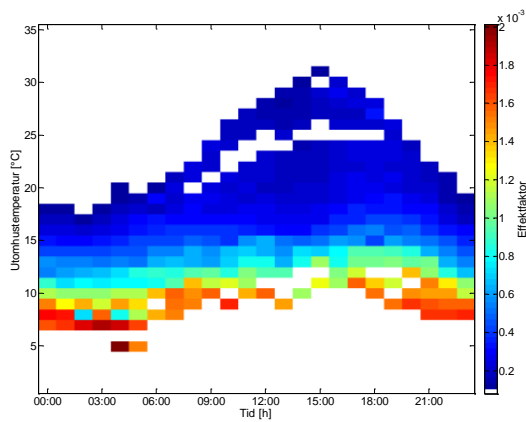
FIGUR 69. KATEGORI 2 - OFFENTLIGA FÖRVALTNINGAR/KONTOR. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 510 STYCKEN.



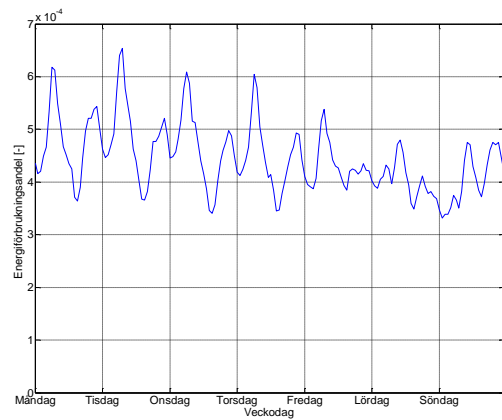
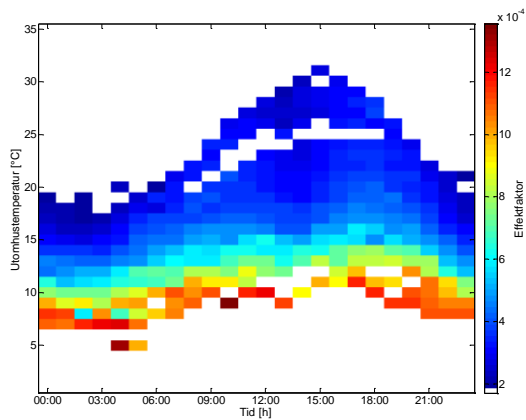
FIGUR 70. KATEGORI 3 - FLERBOSTADSHUS/STÖRRE SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 1213 STYCKEN.



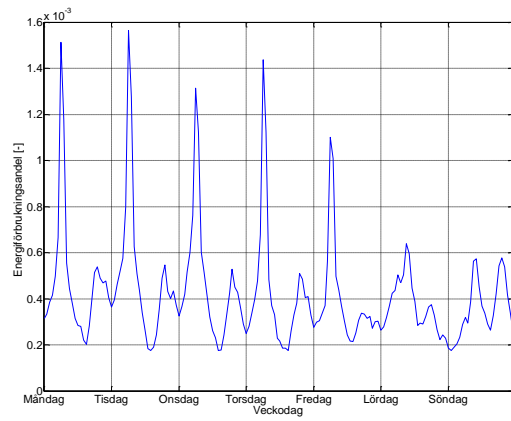
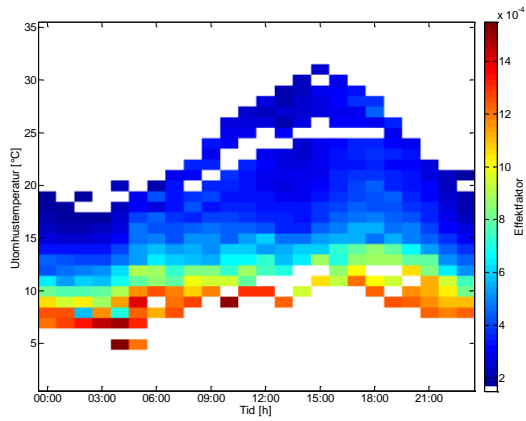
FIGUR 71. KATEGORI 4 - SMÅHUS I LOMMA. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 234 STYCKEN.



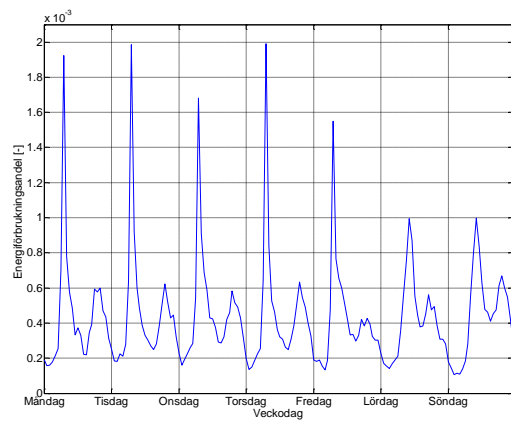
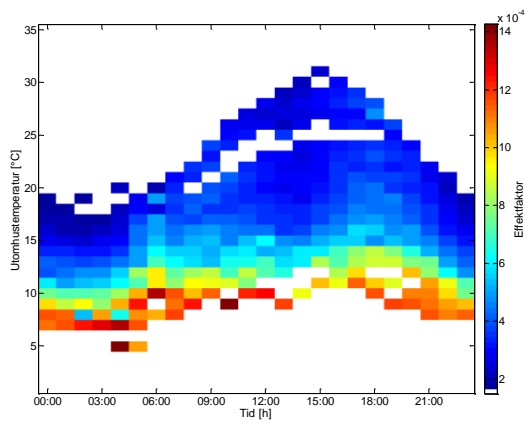
FIGUR 72. KATEGORI 5 - SMÅHUS/MIX. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 473 STYCKEN.



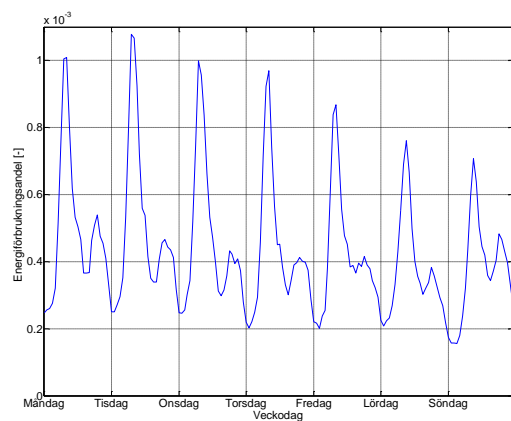
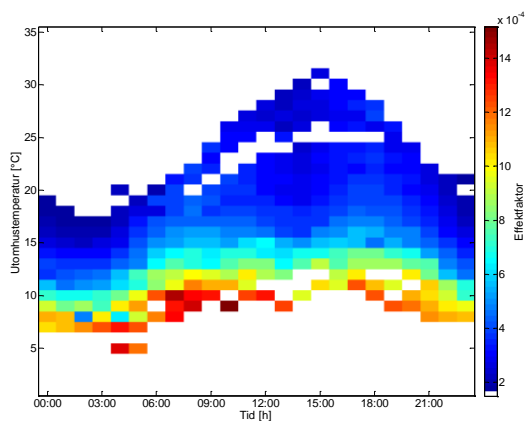
FIGUR 73. KATEGORI 6 - FLERBOSTADSHUS/RESTAURANGER. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 1482 STYCKEN.



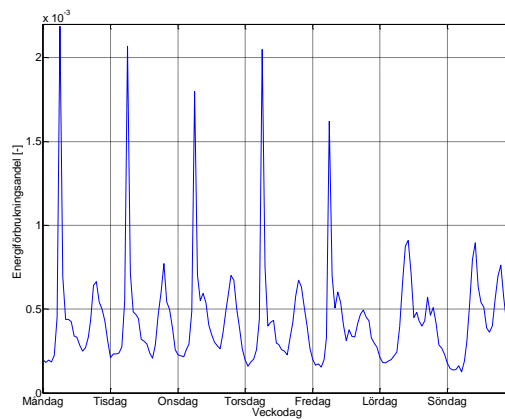
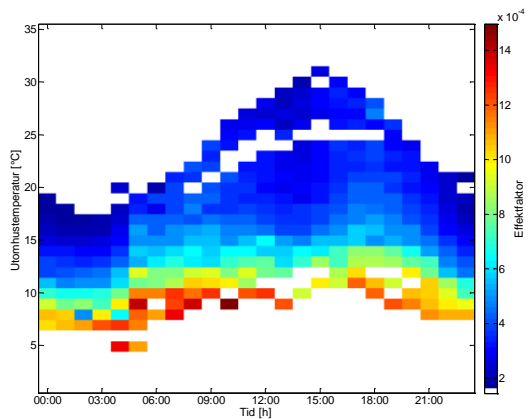
FIGUR 74. KATEGORI 7 - SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 285 STYCKEN.



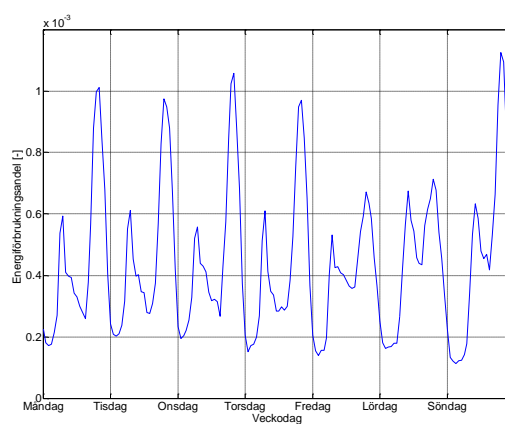
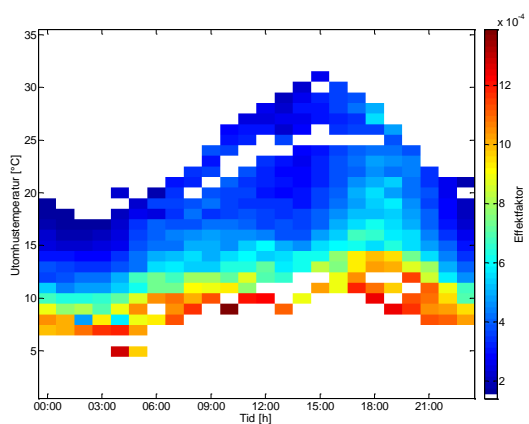
FIGUR 75. KATEGORI 8 - SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 148 STYCKEN.



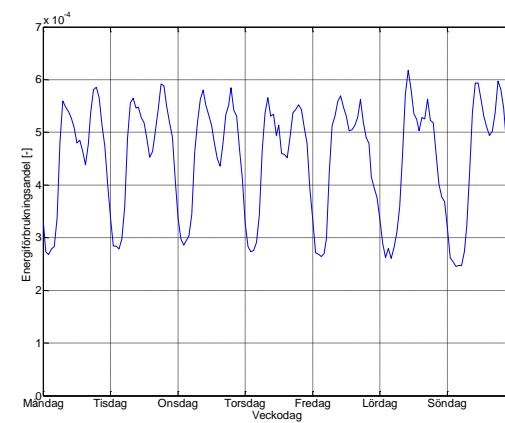
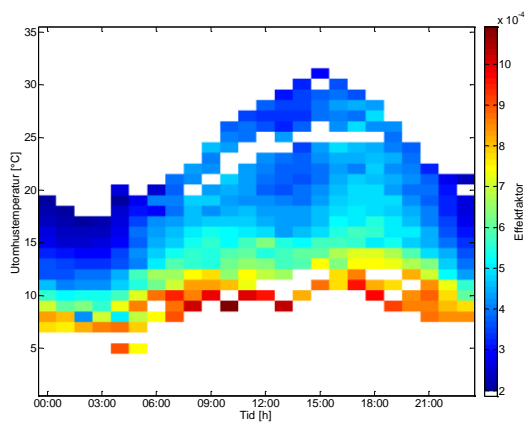
FIGUR 76. KATEGORI 9 - SMÅHUS/FLERBOSTADSHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 416 STYCKEN.



FIGUR 77. KATEGORI 10 - MINDRE SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 184 STYCKEN.



FIGUR 78. KATEGORI 11 - MINDRE SMÅHUS. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 366 STYCKEN.



FIGUR 79. KATEGORI 12 - KONTOR/BUTIKER/NÖJESVERKSAMHET. ANTALET KUNDER I KATEGORIN UPPGÅR TILL 828 STYCKEN.