



# Utvärdering av styrsystemet ECOFective för energieffektivisering

Enar Andersson

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

# Utvärdering av styrsystemet ECOFective för energieffektivisering

Enar Andersson

**SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut**  
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Arbetsrapport 2015:28  
ISBN 978-91-88001-57-3  
ISSN 0284-5172  
Borås 2015

# Innehållsförteckning

<b>Sammanfattning</b>	<b>6</b>
<b>1 Bakgrund</b>	<b>7</b>
<b>2 Syfte</b>	<b>8</b>
<b>3 Metod</b>	<b>8</b>
<b>4 Mål</b>	<b>8</b>
<b>5 Ecofective</b>	<b>9</b>
<b>5.1 Systemdelar</b>	<b>9</b>
5.1.1 Inomhustemperaturgivare	10
5.1.2 Väderstation	10
5.1.3 Temperaturkammare	11
5.1.4 BSU – Building Service Unit	11
5.1.5 BOC, Building Operating Center	12
5.1.6 Befintligt styr- och övervakningssystem	16
5.1.7 Sensorer direkt anslutna till EE2	16
<b>5.2 Installation</b>	<b>16</b>
5.2.1 Inomhustemperaturgivare	17
5.2.1.1 Renen	18
5.2.1.2 Klippan	18
5.2.1.3 Fasanen	19
5.2.2 Temperaturgivare på rör	19
5.2.3 Utomhustemperatur	20
5.2.4 Energi- och flödesmätare	20
5.2.5 Mjukvaran EE2	20
<b>6 Fastigheterna</b>	<b>22</b>
<b>6.1 Befintliga reglersystem i fastigheterna</b>	<b>22</b>
<b>6.2 Renen 2</b>	<b>23</b>
6.2.1 Åtgärder och händelser under utvärderingsperioden	24
6.2.1.1 Låg inomhustemperatur	24
6.2.1.2 Irrelevanta givarvärden	25
<b>6.3 Klippan 25</b>	<b>26</b>
6.3.1 Åtgärder och händelser under utvärderingsperioden	26
6.3.1.1 Nya uteluftsventiler och höga inomhustemperaturer	26
6.3.1.2 Byte av styrventil för varmvatten och VVC-pump	27
<b>6.4 Fasanen 3</b>	<b>28</b>
6.4.1 Åtgärder och händelser under utvärderingsperioden	28

6.4.1.1	Urkoppling av underliggande shuntgrupper	28
<b>6.5</b>	<b>Andra fastigheter för jämförelse</b>	<b>29</b>
<b>7</b>	<b>Energianvändning</b>	<b>30</b>
<b>7.1</b>	<b>Faktisk och normalårskorrigerad energianvändning</b>	<b>32</b>
<b>7.2</b>	<b>Energisignaturer</b>	<b>39</b>
<b>8</b>	<b>Slutsats</b>	<b>44</b>
<b>9</b>	<b>Referenser</b>	<b>45</b>
	<b>Bilaga energisignaturer</b>	<b>46</b>

## Sammanfattning

Syftet med rapporten är att beskriva hur systemet Ecofective EE2 kan påverka energianvändningen i flerbostadshus jämfört med en traditionell reglermetod. Arbetet har utförts av SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut genom granskningar och diskussioner med övriga parter i projektet: Fastighets AB Förvaltaren, Ecofective samt eGain.

Projektet har finansierats av Fastighets AB Förvaltaren tillsammans med BeBo - Energimyndighetens beställargrupp för energieffektiva flerbostadshus.

Ecofective är en av flera leverantörer av reglersystem för tekniska installationer i byggnader som säger sig kunna generera energibesparingar genom automatiserade funktioner som löpande anpassar styrning och reglering av värmesystem efter en byggnads typ och egenskaper.

Det finns idag få oberoende studier gjorda där denna typ av automatiserade system utvärderats och där utvärderingen gjorts av endast själva systemet. Detta eftersom flera leverantörer vid installation av sina system även genomför en injustering av berörda installationer, t.ex. värmesystemet i byggnaden. Det gör att en eventuell förändring i energianvändning och/eller ett förändrat inomhusklimat inte enbart kan härledas till det installerade systemets funktionalitet utan även är beroende av hur injusteringen genomförts.

I samband med installationen av Ecofective i Fastighets AB Förvaltarens byggnader genomförs inga injusteringar av de värmesystem som styrs och regleras. De åtgärder som genomförts i fastigheterna från det att Ecofective EE2 togs i drift hos Förvaltaren skall ha redovisats i loggböcker och dokumentation.

Befintliga styrsystem bibehålls också till så stor del som möjligt i samma utförande som före installation med skillnaden att en så kallad temperaturkammare installeras på den befintliga utetemperaturgivaren.

Några manuella korrigeringar i det befintliga styrsystemet eller i Ecofectives system, t.ex. börvärdesändringar, skall inte genomföras under utvärderingsperioden utan att detta rapporteras och dokumenteras. Detta gör att det är enbart funktionerna i Ecofective-systemet, kallat EE2, som skall utgöra skillnaden mot före installationen.

Det finns dock indikationer på att förändringar i de befintliga byggnaderna har skett under utvärderingsperioden som inte har dokumenterats men som kan ha haft påverkan på resultatet.

Resultatet visar på en relativt liten förändring i energianvändningen på årsbasis för samtliga tre studerade fastigheter efter installation av Ecofective.

På grund av att Ecofective EE2 har påverkat framledningstemperaturen för värmesystemet i fastigheterna är det dock rimligt att anta att andra förändringar har skett jämfört med tidigare, exempelvis avseende en jämnare inomhustemperatur [1].

Eftersom inomhustemperaturgivare installerades först i samband med att Ecofective-systemet installerades finns dock inte relevant historisk data avseende detta från tiden före installationen av Ecofective. Detta är också orsaken till att denna jämförelse heller inte har studerats i detta projekt.

# 1 Bakgrund

Fastighets AB Förvaltaren installerade under 2013 styrsystem från Ecofective i tre av sina fastigheter och är intresserade av att utvärdera systemets prestanda.

Det är av stort intresse för Fastighets AB Förvaltaren att kunna sänka sin energianvändning för att minska sina energikostnader och för att kunna uppnå sitt energieffektiviseringsmål till år 2020. Detta samtidigt som ställda krav på inneklimat måste bibehållas.

Att genomföra energibesparingsåtgärder kräver insatser från sakkunnig personal vilket är tid- och resurskrävande. Särskilt eftersom det i Fastighets AB Förvaltarens bestånd finns fastigheter av olika typ, uppförda från sent 1940-tal till pågående nybyggnationer.

Att ha personal som kontinuerligt injusterar och anpassar värmesystemen i fastigheterna efter omgivande faktorer och internlast i byggnaderna skulle innebära stora krav på tillgängliga resurser.

Ecofective påstår att deras system EE2 automatiskt gör just ovan nämnda anpassning av värmesystemet och att EE2 är lämpligt för majoriteten av byggnaderna i Fastighets AB Förvaltarens bestånd. Detta gör att Ecofective EE2 ur Fastighets AB Förvaltarens perspektiv skulle vara en intressant produkt.

Då byggnaderna som studerats i detta projekt kan anses representera en stor del byggnader även på andra platser är resultatet intressant att använda även för andra fastighetsägare än Fastighets AB Förvaltaren.

## 2 Syfte

Syftet med projektet är att utvärdera fjärrvärmeenergianvändningen före och efter installation av Ecofective EE2.

## 3 Metod

Ecofective EE2 togs i drift den 21 september 2013 i fastigheterna Renen, Klippan och Fasanen i centrala Sundbyberg.

Energimätningar har utförts i dessa fastigheter sedan ett flertal år tillbaka i tiden. I samband med idrifttagningen av Ecofective genomfördes inga andra åtgärder (injusteringar av värmesystemet eller liknande) än inkoppling av Ecofective EE2. Under de tidigare år som jämförs har heller inga andra större förändringar såsom ombyggnationer eller liknande skett. Likaså jämförs år med samma upplösning på mätdata, i detta fall dygnsvärden.

Från och med idrifttagningen av EE2 lades en dagbok ut i undercentralerna i vilken eventuella arbeten och ändringar som driftpersonal genomför i undercentralerna eller annat som kan påverka inomhusklimatet skall redovisas. Det avtalades att inga arbeten i undercentralerna skall göras utan att Erik Ollman eller Helena Durgé, energispecialister vid Förvaltaren Fastighets AB först kontaktas. All påverkan som EE2 gör på värmesystemen i byggnaderna sker alltså genom funktioner och inställningar i EE2.

Energianvändningen till uppvärmning i byggnaderna har följts upp med två metoder:

1. Genom att följa upp den köpta värmeenergin under driftperioden för att jämföra med samma period tidigare år, både i absoluta tal och normalårskorrigerat.
2. Genom att jämföra fastigheternas energisignaturer från driftperioden med EE2 mot tidigare energisignaturer utan EE2.

Energiåtgång till tappvarmvattnet i fastigheterna mäts inte utan avräknas genom en uppskattning av denna energiåtgång mot resultatet.

Utvärderingsperioden av Ecofective sträcker sig från idrifttagningen av EE2 den 21/9 2013 till och med den 31/12 2014.

## 4 Mål

Målet med projektet är att genomföra en oberoende utvärdering av funktionaliteten hos EE2, så att resultatet kan användas som beslutsunderlag för hur framtida energibesparingsprojekt i fler fastigheter genomförs.



## 5 Ecofective

Ecofective är ett system för automatiserad reglering av värmeförseln till byggnader. Här ges en beskrivning av systemet, dess ingående komponenter och förfarandet vid installation, konfigurering och drift.

Ecofective är namnet på företaget och på systemet som helhet. EE2 är programvaran ingående i Ecofectivesystemet.

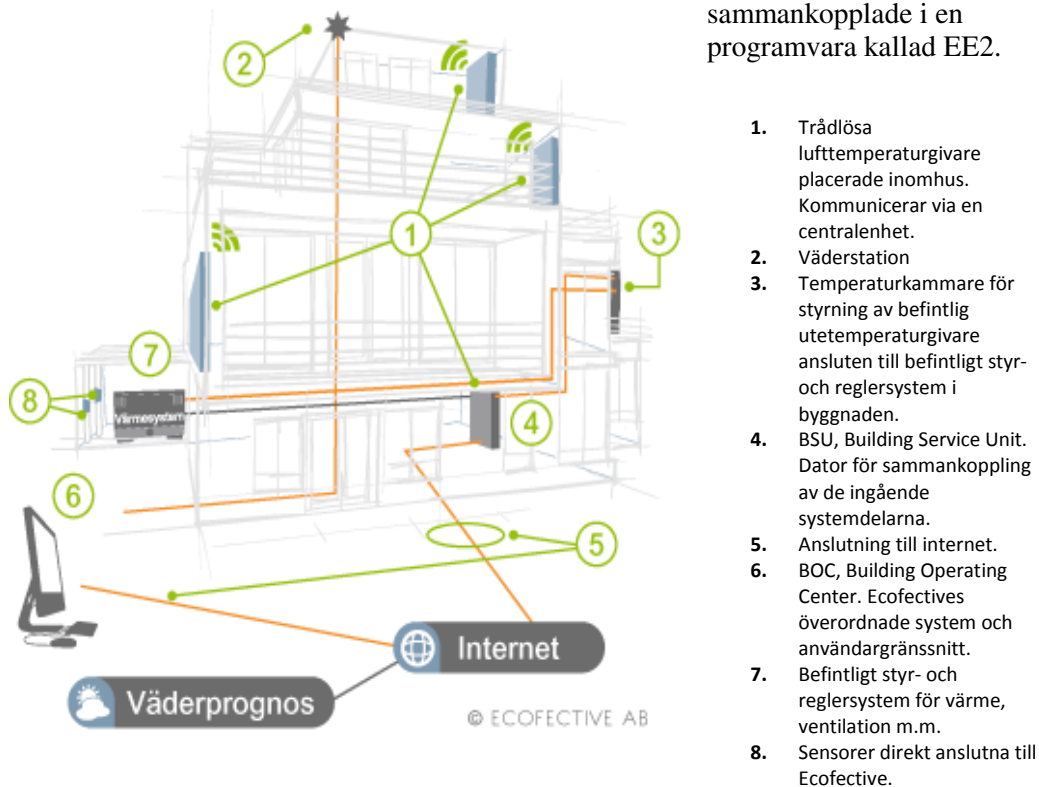
Genom reglering av värmeförseln till en byggnad finns möjlighet att påverka energianvändningen [2]. Ecofective är ett av flera system på marknaden som anpassar sin reglering av värmeförseln till byggnader efter byggnadsfysikaliska parametrar och omgivande faktorer d.v.s. fler parametrar än endast den momentana utomhustemperaturen.

Det finns teoretiska förutsättningar för att en sådan reglermetod ger en sänkt energianvändning [3].

EE2 arbetar i sin reglering med ett antal parametrar, både konstanta och variabla, vilka används för att generera en utsignal i form av en fiktiv utomhustemperatur till en fastighets befintliga system som reglerar framledningstemperaturen i värmesystemet.

### 5.1 Systemdelar

Ecofective har ett flertal ingående systemdelar och komponenter som alla är sammankopplade i en programvara kallad EE2.



Figur 1 Schematisk bild över ingående komponenter i en Ecofective-installation i en byggnad med förklaringar till siffrorna i figuren. [Bildkälla: Ecofective]

Väderprognos som omnämns i figuren kan användas av programvaran men har inte använts i byggnaderna ingående i denna studie.

### 5.1.1 Inomhustemperaturgivare

De givare som installeras för lufttemperaturmätning inomhus monteras på ett flertal olika ställen i byggnaden. Antal givare och placeringen av dessa väljs så att mätvärdena är representativa för olika lägen och förutsättningar relaterade till placeringen i byggnaden. Det kan exempelvis vara skillnader i väderstreck (som bland annat påverkar solinstrålning och vind), utrymmen med mer eller mindre fönsteryta, ytor längre ut eller längre in från fasaden i byggnaden, våningsplan m.m.

Givarna kommunicerar trådlöst med en centralenhet. Centralenheten för insamling av värden från temperaturgivarna placeras i ett trapphus eller på en liknande central plats i byggnaden. Centralenheten kommunicerar via mobilnätet med en databas.

Temperaturgivarna kan användas för att styra värmeförseln till byggnaden samt för att verifiera att ställda temperaturkrav i lokalerna uppnås, åtminstone vid mätställena.

Givarna används inte alltid till styrning av värmeförseln.

Vid styrning via temperaturgivarna kan medelvärdet väljas som styrande parameter.

Medelvärde, högsta och lägsta värde alternativt värdet från specifika givare kan tas fram och redovisas grafiskt i BOC samt exporteras till filer i csv-format.

### 5.1.2 Väderstation

Väderstationen som installeras används för att på byggnadens plats insamla väderdata. I de fall då installationer sker i närliggande byggnader inom samma område kan en väderstation användas för flera byggnader.

Från väderstationen hämtas data avseende:

- Temperatur
- Vindstyrka
- Vindriktning
- Vindkylfaktor
- Relativ luftfuktighet
- Regnmängd
- Lufttryck

Data från väderstationen överförs via internet till byggnadens BSU (se rubrik 5.1.4 för förklaring av BSU).

Den utetemperatur som inhämtas från väderstationen används i EE2 endast för referensmätning och är inte kopplad till någon reglering. Den utetemperatur som används av EE2 för reglering är utomhustemperaturen som mäts utanför temperaturkammaren.



Figur 2 Väderstation [Bildkälla: Davis Instruments]

### 5.1.3 Temperaturkammare

Temperaturkammaren består av en kapsling, i vilken ett peltierelement finns installerat. Peltierelementet är en yta som använder peltiereffekten, vilket innebär att ytan kan bli både varm och kall beroende av polariteten på den likström som flyter genom elementet [4].

En befintlig utetemperaturgivare monteras inne i temperaturkammaren, se Figur 3, och temperaturkammaren påverkar utetemperaturgivaren genom att temperaturen hos peltierelementet i temperaturkammaren regleras av EE2. På detta sätt påverkas den utomhustemperaturkompenserade framledningstemperaturen (se förklaring och exempel i kapitel 6 Fastigheterna) i byggnadens styr- och reglersystem utan att någon elektrisk sammankoppling mellan detta system och Ecofective-systemet finns.

Genom att höja värmen i temperaturkammaren relativt den verkliga utomhustemperaturen kan således värmesystemets framledningstemperatur sänkas jämfört med vad som vore fallet om den verkliga utomhustemperaturen använts av byggnadens styr- och reglersystem och vice versa genom att kyla i temperaturkammaren.

I byggnaderna ingående i denna rapport har dock ingen kylning av temperaturkammaren gjorts.

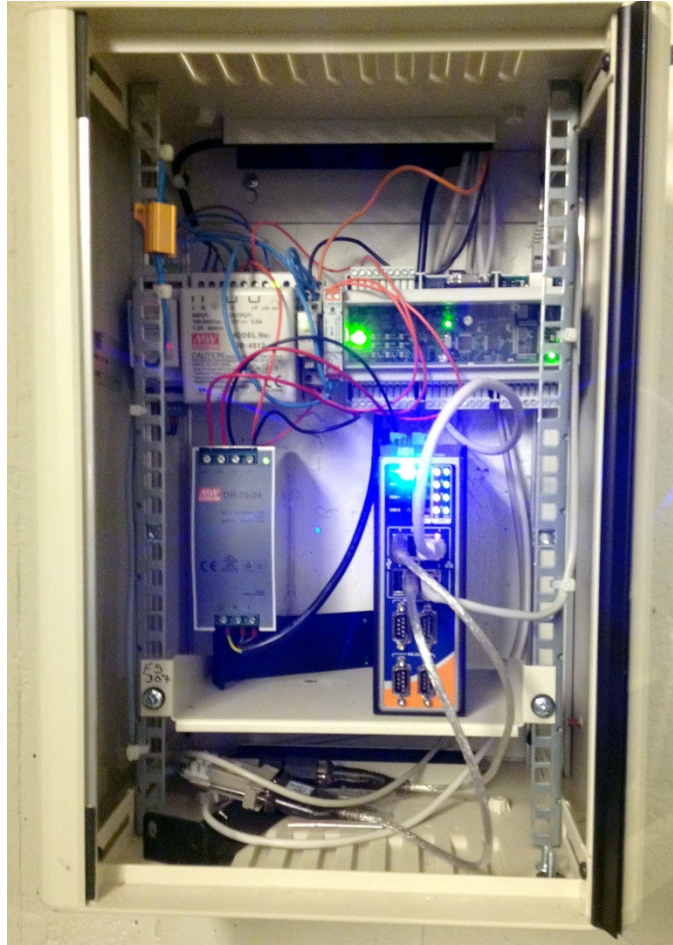


Figur 3 Temperaturkammare monterad på norrfasad utanpå en utetemperaturgivare

### 5.1.4 BSU – Building Service Unit

Building Service Unit eller BSU kallar Ecofective den dator som installeras i byggnaden och som sammankopplar de olika komponenterna ingående i systemet. Denna dator är passivt kyld (vilket gör den driftsäker då den är mindre känslig för smuts, t.ex. damm, som med en dator med fläktkylning riskerar att överhätta och skada komponenter) och på den körs operativsystemet Linux.

I BSU finns intelligensen och funktionaliteten för de beräkningar som görs och som genererar en utsignal till temperaturkammaren. Datorn har fjärråtkomst och kommunikation över internet med det överordnade systemet kallat Building Operation Center, BOC (för mer information se 5.1.5 BOC, Building Operating Center).



Figur 4 BSU monterad i apparatskåp. På bilden syns även transformator och andra komponenter ingående i installationen. BSU är enheten med blå lysande lampa. Eheten med grön lysande lampa används för styrning av temperaturkammaren.

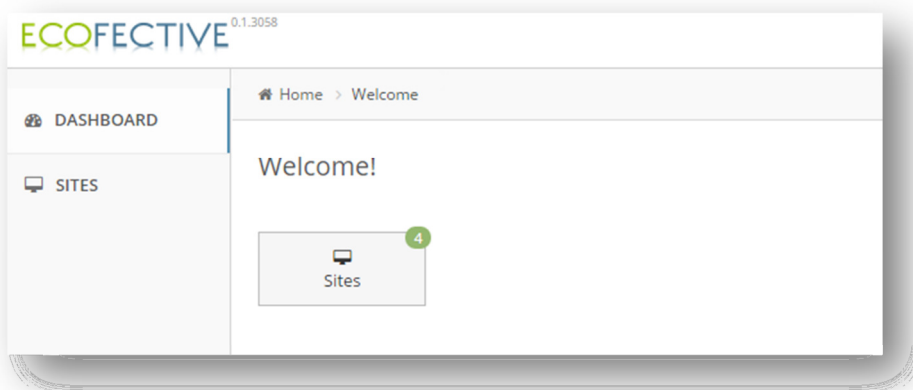
### 5.1.5 BOC, Building Operating Center

BOC är det överordnade systemet med databasen till vilken alla data som används av systemet laddas upp. Från och med version 2 presenteras även data i BOC. Från BOC ställs parametrarna in som sedan används i BSU för beräkningarna som görs där.

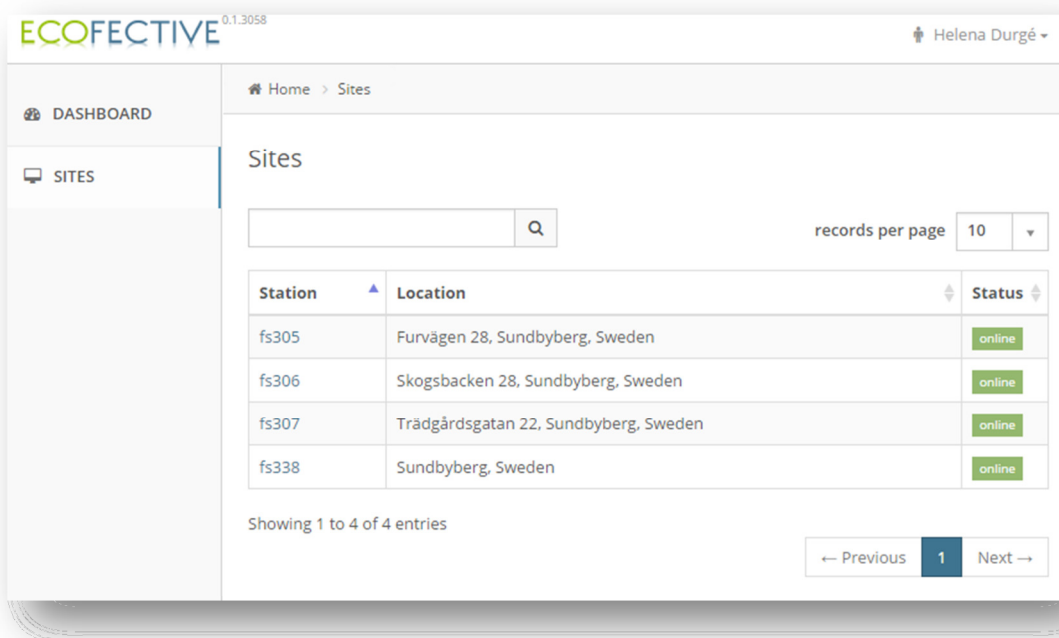
I BOC finns även det grafiska gränssnittet för mätdataanalys och övervakning av systemet. Grafer kan genereras direkt i webbgränssnittet och exporter till filer kan göras av specifika mätdata. Det finns möjlighet till egendefinierade intervall och plottning av värden såväl som ett antal fördefinierade grafer.

BOC nås via en webbläsare och kräver ingen installation av någon separat programvara på enheten som används.

Efter inloggning i systemet nås en startsida (se Figur 5). Från denna kan en lista med de byggnader som inloggningen gett rättigheter till tas fram (se Figur 6).



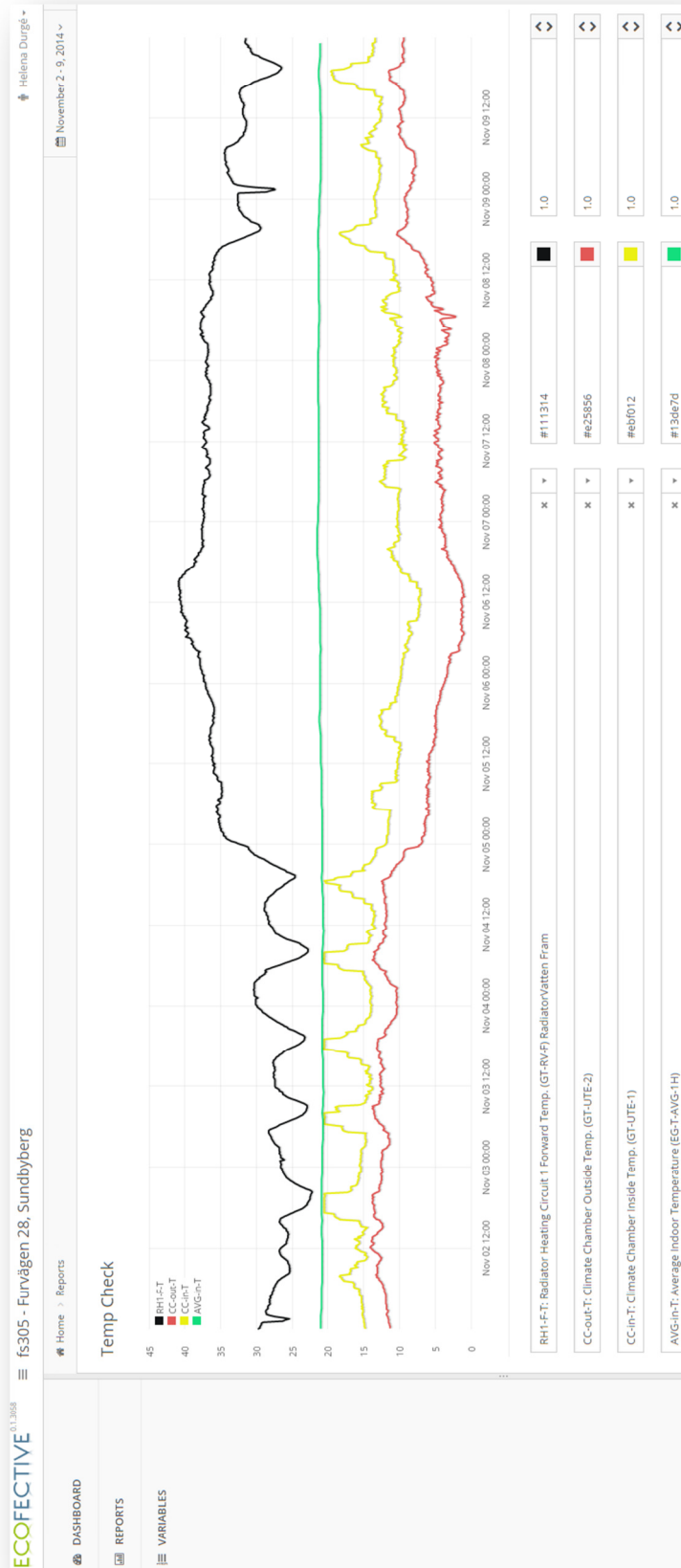
Figur 5 Startvyn som nås efter inloggning i systemet.



Figur 6 Lista över byggnader

Vid val av en byggnad nås en första sida specifik för just den valda byggnaden. Sidan visar den så kallade "Dashboard" (instrumentpanelen); ett diagram som visar 6 olika temperaturer och deras historiska värden en vecka bakåt i tiden från dagens datum.

Från denna vy kan rapporter och variabler nås. Dessa har, beroende på användarrättigheter, olika möjliga val, exempelvis läs- och skrivmöjligheter samt tillgång till att exportera data från systemet. Exporter av mätdata som görs från systemet sparas i filer i csv-format.

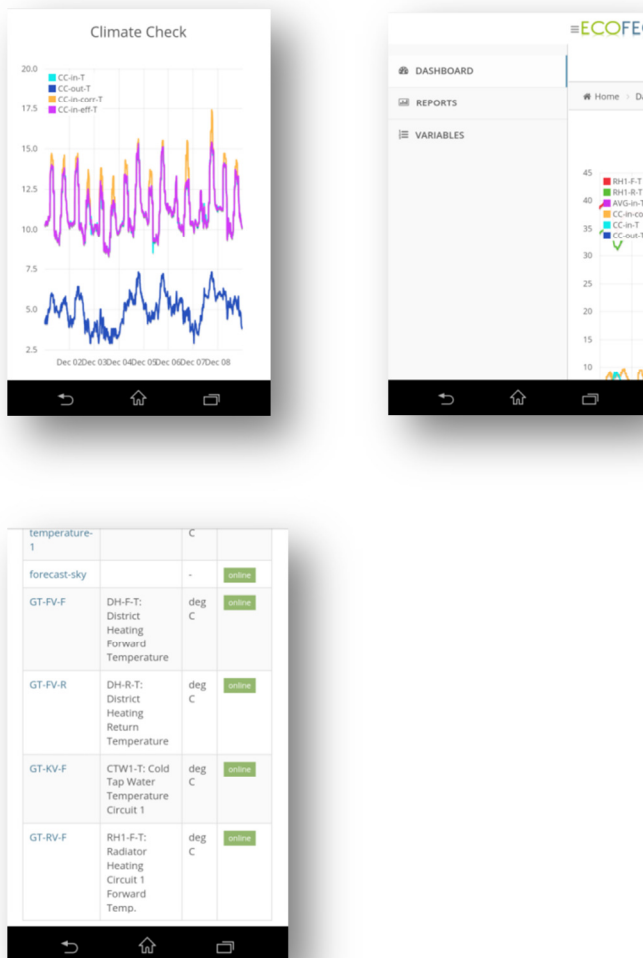


Figur 7 Det grafiska användargränssnittet i BOC. Här visas fastigheten Fasanen. I figuren ses framledningstemperaturen till radiatorsystemet (svart), utomhustemperaturen mätt utanför temperaturkammaren (röd), temperaturen inne i temperaturkammaren (gul), medelvärdet av inomhustemperaturen mätt i lägenheterna (grön).



Figur 8 Rapport-vyn. Nedtill i fönstret kan ytterligare kurvor läggas till diagramfönstret.

Webbgränssnittet är tillgängligt även från mobila enheter med mindre bildskärmar. Bilden skalas då ner och vissa val görs tillgängliga genom menyer i kanterna istället för att ständigt visas i fönstret.



Figur 9 Det grafiska gränssnittet som nås från mobila enheter.

### 5.1.6 Befintligt styr- och övervakningssystem

Det befintliga styr- och övervakningssystemet i en byggnad bibehålls i första hand i befintligt skick vid installation av EE2. Det ansluts inte till Ecofective-systemet på annat sätt än att utomhustemperaturgivaren monteras i temperaturkammaren.

I samband med att EE2 installeras kontrolleras kurvan och inställningarna för framledningstemperaturen i byggnadens reglersystem så att inga stora uppenbara problem föreligger med dessa inställningar. Det sker eftersom EE2 påverkar börvärdet för framledningstemperaturen i fastighetens styr- och reglersystem genom att en beräknad utetemperatur i temperaturkammaren. Då börvärdet för framledningstemperaturen i det befintliga styr- och reglersystemet ligger längs en kurva som är en funktion av utomhustemperaturen krävs en viss grundinställning för att den nya påverkan av kurvan ska fungera korrekt. Exempelvis kan kurvan, vid många brytpunkter och stor olinjäritet, komma att påverkas olika med samma utsignal från EE2 vid olika temperaturer vilket kan göra det svårt att justera parametrarna i EE2 [5].

### 5.1.7 Sensorer direkt anslutna till EE2

Temperaturgivare installeras på rörledningar så att framlednings- och returtemperaturer för värmesystemet kan utläsas i EE2.

Vid behov installeras även energimätare. Då befintliga debiteringsmätare finns är det vanligaste att energidata inhämtas från dessa och sparas i EE2. Denna hämtning kan ske antingen direkt från mätarna alternativt via energibolagets eller fastighetsägarens system för mätdatainsamling.

De temperaturgivare som installeras och används av Ecofective är av typ Dallas. Det är givare baserade på 1-wire teknik [6]. Dessa givare ansluts till BOC.

## 5.2 Installation

Här beskrivs dels generellt hur en installation av Ecofective går till samt mer specifikt hur den gått till i Förvaltarens fastigheter ingående i denna studie.

Vid installation av Ecofective och EE2 insamlas data om byggnaden som systemet ska installeras i. Denna information används sedan i EE2 som konstanter för anpassning av styr- och reglerparametrar i systemet efter respektive byggnads förutsättningar. Dessa konstanter justeras vid behov manuellt i Ecofective, då systemet är i drift för att optimera energianvändning och inomhusklimat i byggnaden.

Vidare görs en överenskommelse mellan fastighetsägaren och Ecofective avseende en måltemperatur inne i byggnaderna som minst skall uppnås.

Mellan Ecofective och Förvaltaren sattes måltemperaturen till 20,5°C i lägenheterna i samtliga tre fastigheter ingående i denna utvärdering. 20°C är den temperatur som Förvaltaren avtalat med sina hyresgäster att som lägst hålla inne i lägenheterna, d.v.s. måltemperaturen i EE2 är satt så att den avtalade temperaturen inte skall underskridas.

I EE2-systemet finns tre huvudsakliga grundförutsättningar som beaktas:

1. De byggnadsfysiska parametrarna
2. Byggnadens läge
3. Värmesystemets egenskaper



Utöver dessa grundförutsättningar finns sedan enskilda parametrar som används av EE2 för att optimalt kunna reglera värmeförseln till byggnaden.

De data som insamlades från Förvaltaren och som används som konstanter i EE2-systemet finns redovisade nedan. Viss data används för beräkning av variabler.

Exempelvis används byggnadens läge tillsammans med indata om solinstrålning för att beräkna solens påverkan på byggnaden vid en viss tidpunkt. Andra konstanter har en direkt koppling i systemet. Till exempel ger typ av byggnadsstomme en direkt påverkan på byggnadens tidskonstant i EE2.

Parameter	Konstanter/variabler kopplade till parametern	Kommentar
Byggnadstyp	Byggnadens tidskonstant	T.ex. bostadshus, kontor, typ av byggnadsstomme.
Byggnadsarea		
Byggnadens läge	Solinstrålning	Byggnadens koordinater i long/lat.
Fasader	Väderstreck, fönsterarea, U-värde.	Anges specifikt per fasad.
Radiatorer	Antal, storlek.	
Ventilation	Luftflöde	
Internlast	Antal brukare/boende, belysningseffekt, värmeavgivande elapparater	

Figur 10 Parametrar som insamlas från fastighetsägaren och hur de används i EE2.

Dessa parametrar viktas i EE2 så att olika hänsyn tas till olika parametrar i styralgoritmen beroende på deras påverkan på byggnaden. Denna viktning ställs initialt in av Ecofectives personal och baseras på indata som erhållits om byggnaden.

Från dessa parametrar görs också en beräkning av det totala U-värdet för byggnaden. Även detta värde används och viktas i EE2 enligt ovan.

### 5.2.1 Inomhustemperaturgivare

Eftersom Renen, Klippan och Fasanen alla är befintliga byggnader installerades trådlösa inomhustemperaturgivare i alla husen för att slippa utanpåliggande ledningsmontage samt för att underlätta installationen. Givarna som installerats i byggnaderna i detta projekt är av fabrikatet Ecoguard och är i de utvalda lägenheterna placerade i hallen.

Lägenheterna valdes ut av Förvaltaren för att vara representativa avseende olika lägen och förutsättningar relaterade till placeringen i byggnaden. Det kan exempelvis vara skillnader i väderstreck (som bland annat påverkar solinstrålning och vind), hörnlägenhet eller inte samt plan (som bland annat påverkar en viss lägenhets uppvärmning från andra lägenheter). Lägenheter ovanför tvättstuga har valts bort p.g.a. erfarenheter med förhöjd inomhustemperatur i dessa relativt andra lägenheter i byggnaden.

Antal givare per fastighet och byggnad samt deras översiktliga placering finns redovisade i följande tabeller.

### 5.2.1.1 Renen

Byggnad	Våningsplan
Skogsbacken 28	Markplan
Ateljévägen 3	2
Ateljévägen 3	3
Skogsbacken 30	3
Skogsbacken 28	2
Skogsbacken 28	3
Skogsbacken 30	1
Skogsbacken 30	2
Ateljévägen 1	1
Ateljévägen 1	2
Ateljévägen 1	3
Ateljévägen 3	1

Figur 11 Rumstemperaturgivare installerade i respektive byggnad i fastigheten Renen.

### 5.2.1.2 Klippan

Byggnad	Våningsplan
Trädgårdsgatan 22	Markplan
Trädgårdsgatan 22	3
Trädgårdsgatan 22	4
Trädgårdsgatan 22	6
Trädgårdsgatan 22	7
Trädgårdsgatan 22	8
Trädgårdsgatan 24	3
Trädgårdsgatan 24	4
Trädgårdsgatan 24	5
Trädgårdsgatan 24	7
Trädgårdsgatan 24	8
Trädgårdsgatan 26	Markplan
Trädgårdsgatan 26	2
Trädgårdsgatan 26	3
Trädgårdsgatan 26	4
Trädgårdsgatan 26	5
Trädgårdsgatan 26	6
Trädgårdsgatan 28	1
Trädgårdsgatan 28	4
Trädgårdsgatan 28	5
Trädgårdsgatan 28	5
Trädgårdsgatan 28	6

Figur 12 Rumstemperaturgivare installerade i respektive byggnad i fastigheten Klippan.

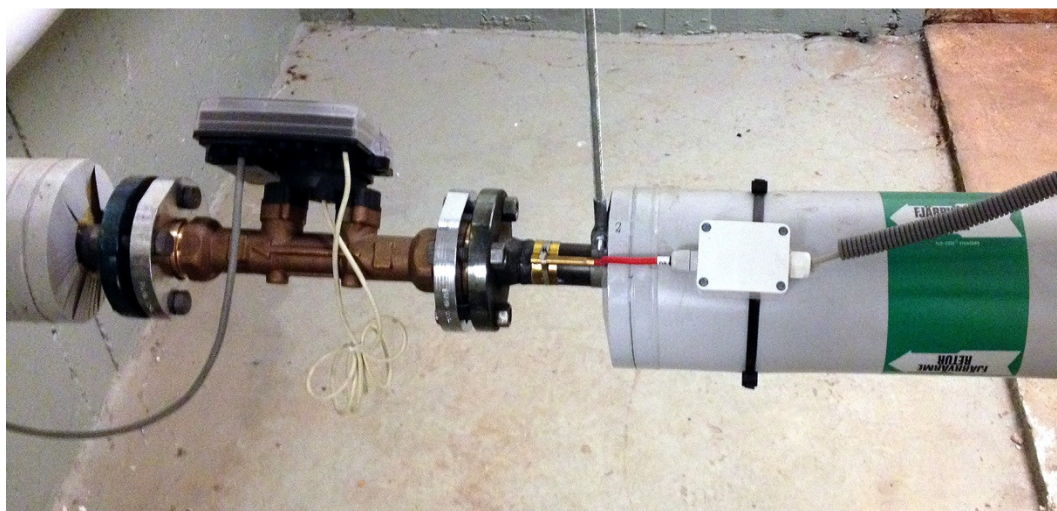
### 5.2.1.3 Fasanen

Byggnad	Våningsplan	Lägenhetens huvudsakliga orientering
Furuvägen 28	1	NO
Furuvägen 28	2	NO
Furuvägen 28	3	NO
Furuvägen 28	5	NO
Furuvägen 28	6	SV
Furuvägen 28	7	NV
Rensgatan 2	Markplan	Ingen uppgift
Rensgatan 2	1	NV
Rensgatan 2	2	NV
Rensgatan 2	3	SV
Rensgatan 2	4	SO
Rensgatan 2	5	NV
Stenbrottsgatan 4	Markplan	NV
Stenbrottsgatan 4	1	NO
Stenbrottsgatan 4	2	SO
Stenbrottsgatan 4	3	SV
Stenbrottsgatan 4	4	NV
Stenbrottsgatan 4	5	SV
Stenbrottsgatan 6	2	NV
Stenbrottsgatan 6	3	NO
Stenbrottsgatan 6	4	SO
Stenbrottsgatan 6	5	SO

Figur 13 Rumstemperaturgivare installerade i respektive byggnad i fastigheten Fasanen.

## 5.2.2 Temperaturgivare på rör

I undercentralerna i respektive byggnad installeras givare för mätning av temperaturen i framledning och returledning i byggnadens värmesystem. I Figur 14 ses ett exempel på installation.



Figur 14 En temperaturgivare för temperaturmätning i rörledning

Normalt installeras givare av anläggningstyp d.v.s. givarhuvudet har kontakt mot rörledningen med kontaktpasta eller dylikt och fästs med buntband. Att anläggningsgivare väljs gör att installationen blir enklare och mindre kostsam jämfört med en installation där givaren placeras i ett dykrör i rörledningen.

Mätosäkerheten påverkas vid användning av denna typ av givare mycket av utförandet av installationen. Exempelvis ska givaren isoleras väl då rörets temperatur ligger någonstans mellan temperaturen hos vattnet i röret och omgivningens temperatur [7].

### **5.2.3 Utomhustemperatur**

Den utomhustemperaturgivare som används av EE2 för aktuell utomhustemperatur mäts som tidigare nämnts på utsidan av temperaturkammaren. Det innebär att mätstället placeringsmässigt är detsamma som det befintliga styr- och övervakningssystemets utetemperaturgivare. På samtliga fastigheter i denna studie är utomhustemperaturgivaren placerad på fasad mot norr.

### **5.2.4 Energi- och flödesmätare**

I Förvaltarens fastigheter finns debiteringsmätare för inkommande fjärrvärme från vilka timvärden för energi, flöde samt temperaturer i tillopp- och returledning hämtas. Utrustningen ägs av energibolaget.

### **5.2.5 Mjukvaran EE2**

När EE2 installeras och injusteras i en byggnad delas arbetet in i tre faser som Ecofective kallar parametrering (parameterization), driftsättning (commissioning) och optimering (optimization) [5].

I parametreringsfasen görs inmatning, inställning och viktning av olika konstanter i EE2 baserat på den information som erhållits om byggnaden.

Inställningarna efter att parametreringen är klar motsvarar således den påverkan som EE2 gör på det befintliga reglersystemet, utan att någon anpassning gjorts baserat på hur byggnaden reagerar på en viss typ av reglering.

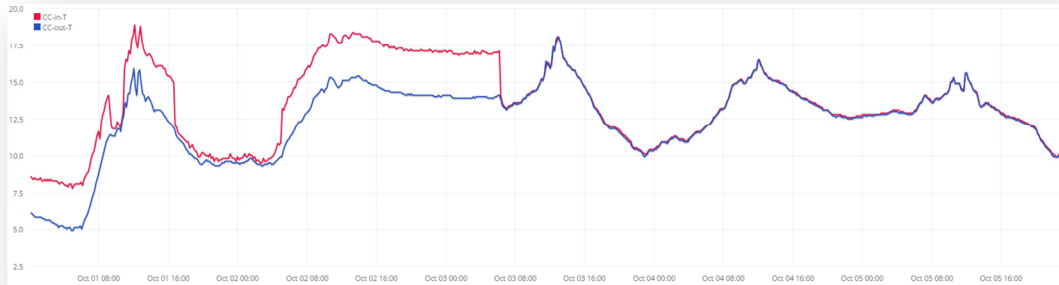
Efter att informationen om byggnaden lagts in en första gång, så påbörjas driftsättningsfasen.

Driftsättningsfasen fungerar så att personal hos Ecofective (likt driftpersonal hos en fastighetsägare) övervakar olika parametrar såsom energianvändning, temperaturer o.s.v. Här kontrolleras exempelvis att måltemperaturen uppnås och att den parametrering som ställts in verkar fungera korrekt avseende hur EE2 påverkar energianvändningen i byggnaden.

Vidare kan EE2-funktionaliteten slås av och på för att se hur värmesystemet påverkar byggnaden i ett normalt driftfall då byggnadens reglersystem reglerar värmetillförseln baserat på den verkliga utomhustemperaturen. Detta jämförs med ett driftfall då EE2 är aktiverat och temperaturkammaren påverkar det befintliga reglersystemets utomhustemperaturgivare.

En viktig parameter som här beaktas är byggnadens tidskonstant. Då EE2 är aktiverat och en viss utetemperatur simuleras i temperaturkammaren studeras hur lång tid en viss förändring i utomhustemperaturen, och således en förändring i framledningstemperaturen för värmesystemet, tar innan temperaturen inne i byggnaden påverkas.

I Figur 15 visas hur EE2 i driftsättningsfasen kan påverka eller inte påverka byggnadens reglersystem genom att ändra eller inte ändra temperaturen i temperaturkammaren relativt utomhustemperaturen. Då den verkliga utomhustemperaturen är densamma som temperaturen i kammaren sker alltså ingen påverkan från EE2. Då de skiljer sig åt är EE2 aktiverat.



Figur 15 Skillnaden mellan den verkliga utomhustemperaturen (blå kurva) och den i temperaturkammaren simulerade utomhustemperaturen (röd kurva) visar om EE2 är aktiverat eller inte. Där kurvorna ser ut att nästan överlappa varandra är skillnaden mellan temperaturerna 0,1°C.

Under optimeringsfasen är EE2 i drift kontinuerligt. Ecofectives personal bevakar eventuella larm och gör vid behov korrigeringar för exempelvis kraftiga väderomslag som kan förväntas orsaka störningar i inomhustemperaturen. Efter att optimeringsfasen pågått under ca sex månader görs eventuella justeringar av parametrarna baserat på erfarenheter från dessa månader.

I systemet görs ändringen av den fiktiva utomhustemperaturen, alltså temperaturen i temperaturkammaren, automatiskt. Inga andra parametrar ändras automatiskt av systemet. Konstanter ställs in och ändras manuellt i de fall systemet inte reglerar temperaturen i byggnaden på önskat sätt. Variabler som exempelvis väderdata, inomhustemperatur och framledningstemperatur påverkar tillsammans med konstanterna systemet kontinuerligt.

## 6 Fastigheterna

Byggnaderna i vilka Ecofective EE2 har installerats i detta projekt är uppförda mellan 1949 och 1962.

Samtliga är flerbostadshus med bostäder i största delen av byggnaderna. I några byggnader finns även andra verksamheter till liten del, dock aldrig överskridande 10% av total  $A_{temp}$ .

Alla byggnader har stomme av betong, är fjärrvärmda och har radiatorer som enda uppvärmningskälla i värmesystemet.

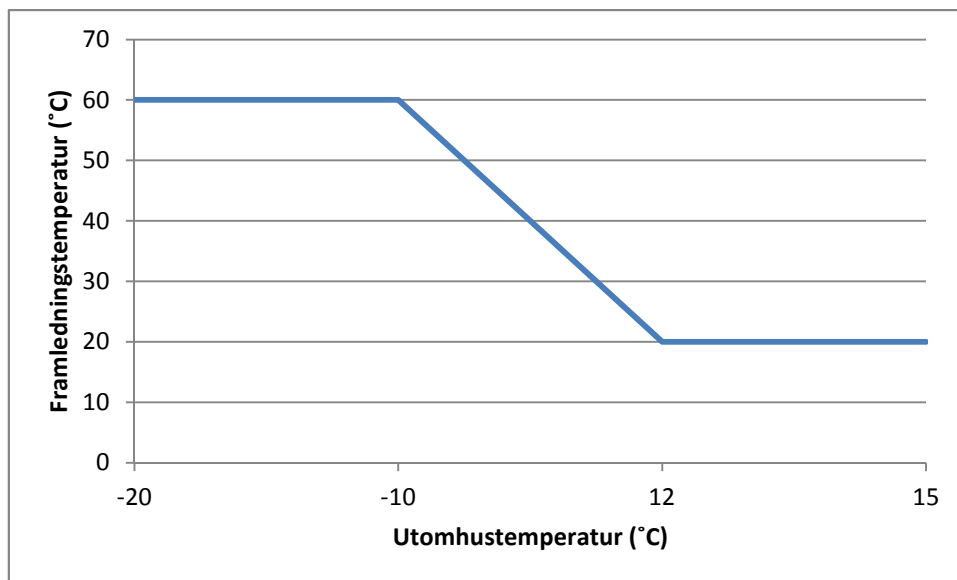
Under de följande rubrikerna redovisas information om respektive byggnad, några exempel på vad som skett i fastigheterna under utvärderingsperioden och hur arbetet med Ecofective har utförts i respektive fastighet baserat på dessa händelser.

### 6.1 Befintliga reglersystem i fastigheterna

Byggnaderna hade även innan installation av EE2 utrustning för reglering av värmesystemet. Denna reglering skedde i fastigheterna Renen och Klippan med momentan utetemperaturkompenserad framledningstemperatur.

I fastigheten Klippan reglerades framledningstemperaturen av utomhustemperaturen med en dämpning, innebärande en större tröghet i utsignalen till reglerventilen vid förändringar i utomhustemperaturen. Denna dämpning togs bort den 13 februari 2014.

Att framledningstemperaturen i värmesystemet kompenseras momentant av utomhustemperaturen innebär att för varje given utomhustemperatur finns ett börvärde för framledningstemperaturen som reglersystemet strävar efter att hålla. Då utomhustemperaturen överstiger ett visst värde, vanligen ca 15°C, under en given tid stoppas cirkulationspumpen i värmesystemet och ingen värme tillförs längre byggnaden via fjärrvärme.



Figur 16 Grafiskt åskådliggörande av en utetemperaturkompenserad framledningstemperaturkurva.

I samtliga lägenheter i de studerade fastigheterna finns termostatter på radiatorerna installerade. Detta gör att regleringen av framledningstemperaturen för värmesystemet i fjärrvärmecentralen inte ensam påverkar energianvändningen i systemet eftersom även radiatortermotstaterna reglerar temperaturen.

Den temperatur som regleras av Ecofective EE2 ger således en framledningstemperatur som längre ut i värmesystemet regleras av radiatortermotstaterna. På detta sätt påverkar framledningstemperaturen i undercentralen hur termostatterna reglerar. Hur de är inställda och därmed vilken temperatur de strävar efter att hålla, påverkas alltså inte direkt av EE2.

## 6.2 Renen 2

Fastigheten Renen 2 består av byggnaderna Skogsbacken 28-30 och Ateljévågen 1-3. Fjärrvärmeundercentral finns placerad i Skogsbacken 30 och båda huskropparna styrs från denna undercentral.



Figur 17 Skogsbacken 28-30 [Bildkälla: Google Maps]



Figur 18 Ateljévågen 1-3 [Bildkälla: Google Maps]

Byggnad	Nybygg- nadsår	$A_{temp}$ ( $m^2$ )	Ventilationssystem
Skocksbacken 28-30	1956	2752	FTX och FT
Ateljévägen 1-3	1956	2922	FTX och FT

Figur 19 Byggnader ingående i fastigheten Renen 2

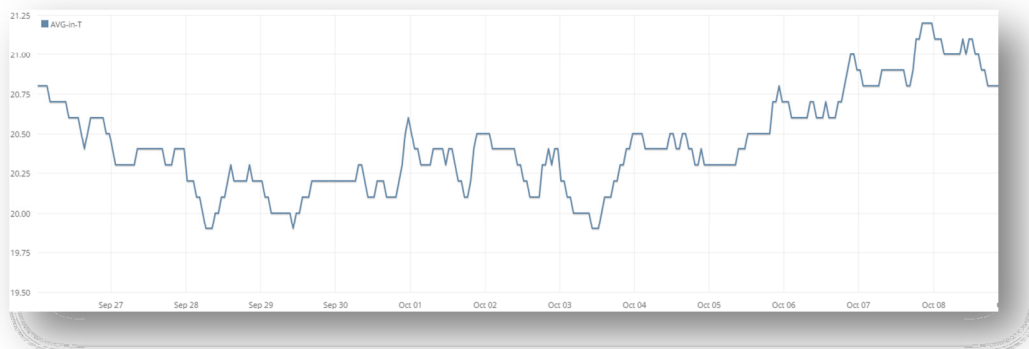
## 6.2.1 Åtgärder och händelser under utvärderingsperioden

### 6.2.1.1 Låg inomhustemperatur

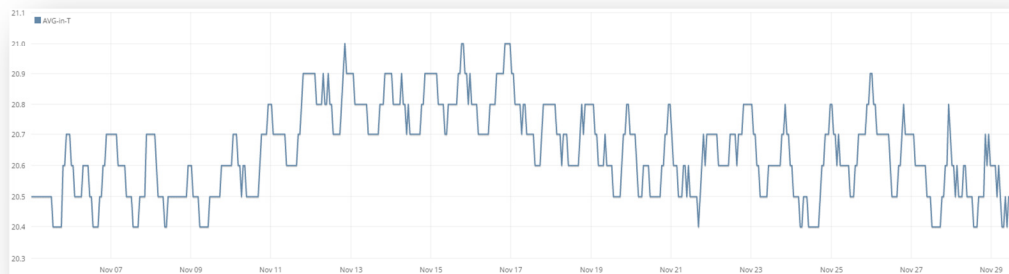
I slutet av september 2014 upptäcktes att inomhustemperaturerna i ett flertal lägenheter låg under den inställda gränsen. Likaså låg medelvärdet för inomhustemperaturen nära den satta gränsen på  $20,5^{\circ}\text{C}$  under några dagars tid, se Figur 20.

På morgonen den 3 oktober inaktiverades EE2 tillfälligt under några dagar och parameterinställningarna ändrades. Senare aktiverades EE2 igen med de nya inställningarna. I Figur 20 visas medeltemperaturen under denna period. Här ses hur temperaturen i byggnaden stiger när EE2 inaktiveras.

I Figur 21 visas hur EE2 påverkar medelvärdet av inomhustemperaturen under en treveckorsperiod efter det att ändringarna trätt i kraft.



Figur 20 Injustering av EE2 efter upptäckt låg inomhustemperatur. Grafen visar medelvärdet av inomhustemperaturerna.

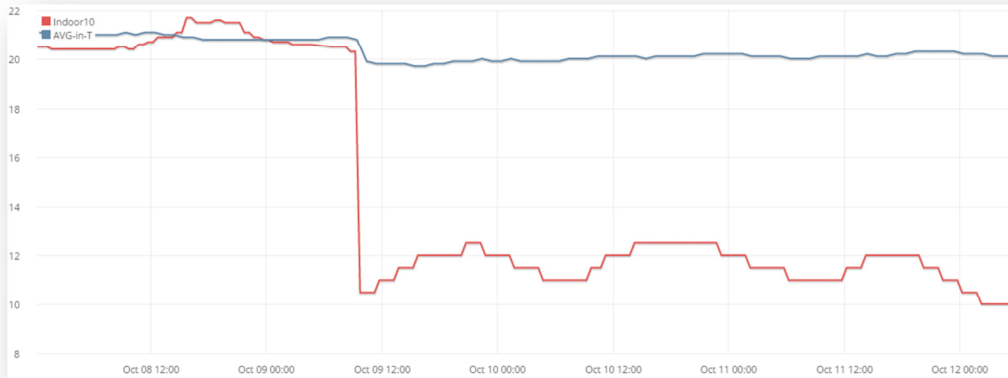


Figur 21 Inställningar har ändrats i EE2 och medelvärdet av inomhustemperaturen har åter stigit. Grafen visar medelvärdet av inomhustemperaturerna.

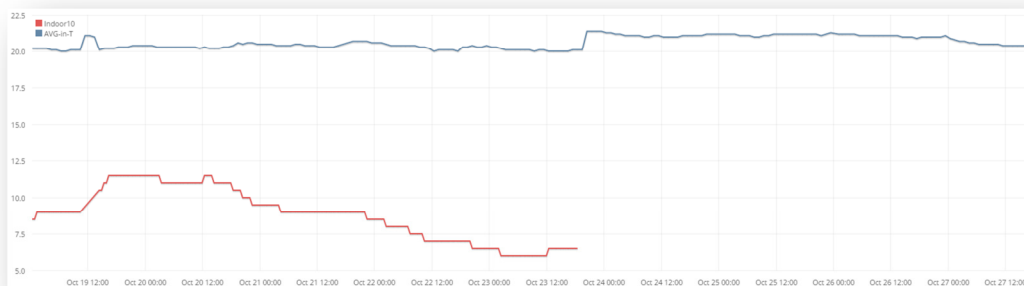


### 6.2.1.2 Irrelevanta givarvärden

I Figur 22 visas ett givarfel eller en flytt av en rumstemperaturgivare som lett till irrelevanta givarvärden. Felet inträffade den 9 oktober och åtgärdades det genom att givaren togs bort ur systemet. I Figur 22 och Figur 23 ses hur medelvärdet (blå kurva) påverkas av en felaktig givare och hur systemet åter höjer medeltemperaturen genom att framledningstemperaturen för värmen höjs.



Figur 22 Givarfel eller flytt av givare med snabb förändring i mätvärde som följd.



Figur 23 Borttagning av felaktig givare.

## 6.3 Klippan 25

Fastigheten Klippan 25 består av fyra byggnader: Trädgårdsgatan 22, 24, 26 och 28. Samtliga huskroppar styrs från en undercentral placerad i Trädgårdsgatan 22. Byggnaderna ligger i ett kuperat område och det finns en höjdskillnad mellan byggnaderna vilket kan generera skillnader i bland annat solinstrålning och omgivande temperaturförhållanden mellan byggnaderna.



Figur 24 Trädgårdsgatan 22 [Bildkälla: Google Maps]

Byggnad	Nybygg- nadsår	A <sub>temp</sub> (m <sup>2</sup> )	Ventilationssystem
Trädgårdsgatan 22	1959	2772	F
Trädgårdsgatan 24	1959	3271	F
Trädgårdsgatan 26	1962	2480	F
Trädgårdsgatan 28	1962	2425	F

Figur 25 Byggnader ingående i fastigheten Klippan 25

### 6.3.1 Åtgärder och händelser under utvärderingsperioden

#### 6.3.1.1 Nya uteluftsventiler och höga inomhustemperaturer

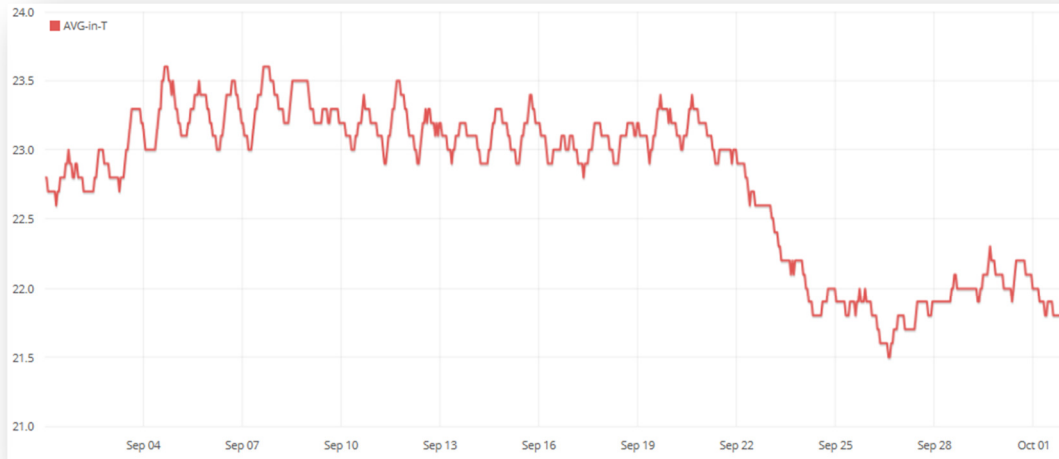
Under september månad 2014 installerades nya uteluftsventiler i lägenheterna. Orsaken var förhöjda halter av markradon som behövde åtgärdas. De nya ventilerna är större än de som tidigare fanns och placerade på samma ställe; i fönsterkarmens ovankant. Den parameter i EE2 som initialt justerades efter denna åtgärd var byggnadens u-värde. Efter åtgärden inkom synpunkter från vissa hyresgäster till driftorganisationen om att det var kallt i lägenheterna.

I Figur 26 redovisas medelvärdet av inomhustemperaturerna i byggnaden under september månad d.v.s. då åtgärden utfördes. I figuren ses hur temperaturen börjar sjunka under eftermiddagen den 20 september och gör så till eftermiddagen den 26 september då den åter stiger något.

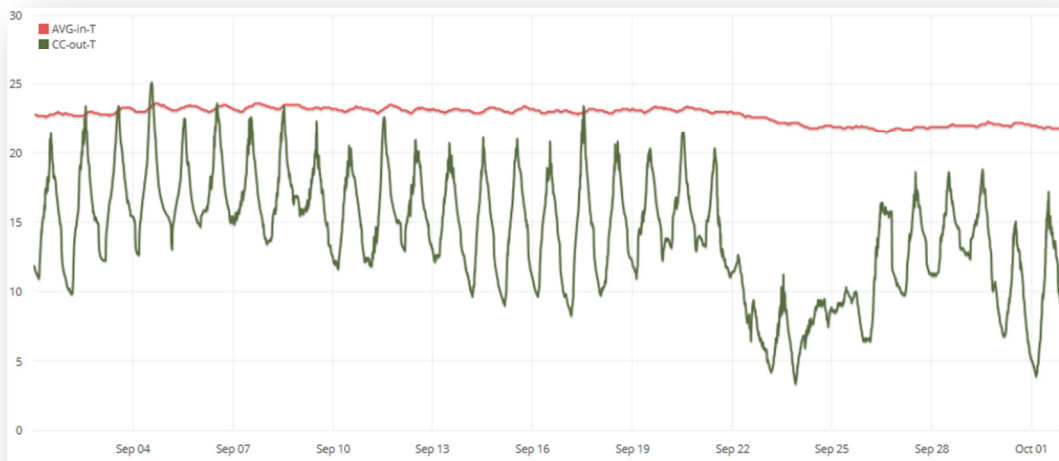
I Figur 27 redovisas i samma graf även utomhustemperaturen vilket tydligare visar vad som påverkat inomhustemperaturen. Värt att notera är att medelvärdet av

inomhustemperaturen i exemplet hela tiden överstiger den satta måltemperaturen på 20,5°C. Detta gjorde att ingen åtgärd genomfördes i EE2 då temperaturen började sjunka.

Vidare visade sig medelvärdet av inomhustemperaturerna ligga över måltemperaturen i byggnaden även efter det att uppvärmningssäsongen startat vilket föranledde en injustering av parametrarna i EE2.



Figur 26 Medelvärdet av inomhustemperaturerna under september månad 2014.



Figur 27 Utomhustemperaturen och medelvärdet av inomhustemperaturerna under september månad 2014. Utomhustemperaturen är den mörkgröna och inomhustemperaturen är den röda linjen.

### 6.3.1.2 Byte av styrventil för varmvatten och VVC-pump

I början av maj 2013 byttes styrventilen för varmvatten då denna inte fungerade korrekt. Under 2011 byttes VVC-pumpen p.g.a. att den som var installerad gav för litet flöde. Handduktstorkar finns på VVC-kretsarna i denna fastighet.

## 6.4 Fasanen 3

Fastigheten Fasanen 3 består av 4 byggnader: Furuvägen 28, Stenbrottsgatan 4, Tulegatan 42 samt Rensgatan 2. Samtliga huskroppar styrs från undercentralen placerad på Furuvägen 28.



Figur 28 Furuvägen 28 i förgrunden med Stenbrottsgatan 4 i bakgrunden.

Byggnad	Nybyggnadsår	$A_{temp}$ ( $m^2$ )	Ventilationssystem
Furuvägen 28	1950	2264	F
Stenbrottsgatan 4	1950	2060	F
Tulegatan 42	1949	1929	F
Rensgatan 2	1950	1951	F

Figur 29 Byggnader ingående i fastigheten Fasanen 3

### 6.4.1 Åtgärder och händelser under utvärderingsperioden

#### 6.4.1.1 Urkoppling av underliggande shuntgrupper

Innan installation av Ecofective styrdes utöver inkommande fjärrvärme även respektive byggnad separat via shuntgrupper placerade i respektive byggnad. Shuntarna reglerade framledningstemperaturen via utetemperaturkompensering. Dessa shuntar sattes i fast läge under fjärde kvartalet 2013 innebärande att efter det skedde all temperaturreglering från undercentralen på Furuvägen 28 och således endast via EE2-systemets påverkan.

## **6.5 Andra fastigheter för jämförelse**

Ytterligare tre fastigheter valdes ut som referensfastigheter för att jämföra med byggnaderna som Ecofective installerats i. Dessa fastigheter ägs även de av Fastighets AB Förvaltaren och ligger i närheten av Renen, Klippan och Fasanen.

I dessa byggnader har under perioden 2011-2014 inga större förändringar, renoveringar eller liknande genomförts d.v.s. energianvändningen för uppvärmning bör inte påverkas mellan åren p.g.a. byggnads- eller installationstekniska förändringar.

Mätningar av energianvändningen för inkommande fjärrvärme har gjorts i dessa byggnader på motsvarande sätt som i de övriga som ingår i studien. De värden som använts här är veckovärden för energi, att jämföra med dygnsvärden som använts för de övriga fastigheterna.

## 7 Energianvändning

Energianvändningen i byggnaderna ingående i denna rapport mäts via energimätare installerade av energibolaget Norrenergi. Energimätarna är de som används av Norrenergi för debitering och det är debiteringsdata från dessa mätare som används som indata.

Historiska dygnsvärden finns tillgängliga från Norrenergi från den 1 januari 2011 för fastigheterna Renen och Klippan samt från den 1 november 2011 för fastigheten Fasanen. Ecofective EE2 togs i drift den 21 september 2013 i alla tre fastigheterna.

Under hösten 2013 efter det att EE2 togs i drift påbörjades parametreringsfasen och driftsättningsfasen för systemet. Under denna period aktiverades och avaktiverades EE2 från och till. Under mitten av november till mitten av december syns störst påverkan, särskilt för Klippan och Fasanen. Övrig tid märks ingen stor kontinuerlig påverkan. I Renen kan ett något ojämnare mönster med till- och frånslag av EE2 ses under framförallt perioden november till december.

Eftersom det således inte under hösten 2013 finns en längre sammanhängande period med endast EE2 aktiverat eller avaktiverat har energianvändningen för år 2013 redovisats helårsvis i stället för att delas upp i en del med EE2 aktiverat och en del utan EE2 aktiverat. Detta beslut togs då energisignaturerna för hösten 2013 studerades och inga stora skillnader jämfört med de andra åren iaktogs, vilket borde varit fallet om en betydande förändring och påverkan skett under denna period.

Energianvändningen till uppvärmning i byggnaderna har följts upp med två metoder:

1. Genom att följa upp den köpta värmeenergin under driftperioden för att jämföra med samma period tidigare år, både i absoluta tal och normalårskorrigerat
2. Genom att jämföra fastigheternas energisignaturer från driftperioden med EE2 mot tidigare energisignaturer utan EE2.

Syftet med att använda dessa två metoder är att göra jämförelsen inte enbart beroende av en metod och en modell för beräkning och jämförelse av energianvändningen [8].

Energianvändning till tappvarmvattnet i fastigheterna har inte mätts utan har satts till  $25\text{kWh/m}^2$  år [9] där denna energianvändning har använts i beräkningar.

I flerbostadshus står uppvärmning av tappvarmvatten för ca 20-25 % av den totala värmeenergianvändningen [10]. I moderna byggnader med täta klimatskal, god värmeåtervinning och ett litet uppvärmningsbehov utgör energin för tappvarmvatten en således en större andel av det totala energibehovet än i mindre täta byggnader med större uppvärmningsbehov. Byggnaderna i denna studie får ses som äldre byggnader med en relativt stor andel energi för uppvärmning.

Även brukarvanorna d.v.s. hur de boende använder varmvatten har stor påverkan på tappvarmvattenanvändningen [8].

Om tappvarmvattenanvändningen är låg i en byggnad kommer således en sänkning av energianvändningen för uppvärmning att generera en större relativ besparing i den byggnaden jämfört med en byggnad med hög tappvarmvattenanvändning.

Om energianvändningen för tappvarmvatten inte mäts separat utan inkluderas i den totala energin eller avräknas schablonmässigt kan detta alltså generera en felkälla till de mätdata som används.

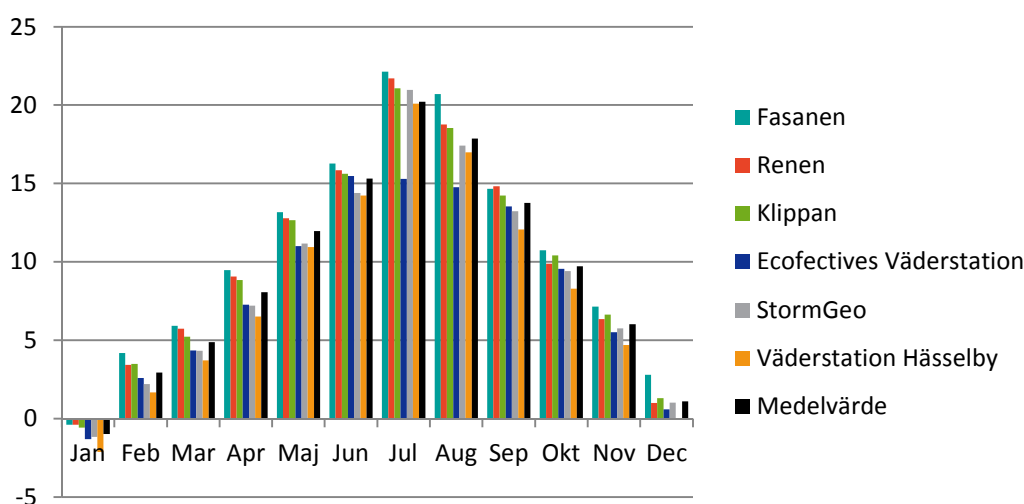
För att göra jämförelsen i energianvändning jämförbar både mellan byggnaderna och med historiska data kommer utomhustemperaturer från StormGeos temperaturstation i Stockholm att användas vid jämförelserna.

Byggnaderna ligger alla inom ca 2 km radie och kan därför antas ha liknande utomhustemperatur vid en given tidpunkt.

Temperaturvärden från StormGeo har också tidigare använts av Förvaltaren.

Styrning mot utomhustemperaturen för en viss byggnad sker dock från den utegivare som finns placerad på byggnaden, på temperaturkammaren. Vidare har även andra väderstationer använts som indata i EE2.

I Figur 30 redovisas skillnaden i utomhustemperatur från några olika mätställen.



Figur 30 Jämförelse av månadsmedelvärden för utomhustemperatur under år 2014. Där fastighetsbeteckningen redovisas betyder det utomhustemperaturgivaren på temperaturkammaren på den fastigheten.

I tabellen nedan visas årsmedelvärdet för temperatur mellan 2011 och 2014 hos StormGeos väderstation d.v.s. den station som används för jämförelser i denna studie samt SMHI:s angivna årsmedeltemperatur för Stockholm [11].

År	Årsmedeltemperatur StormGeo (°C)	Årsmedeltemperatur SMHI (°C)
2011	8,9	8,4
2012	7,7	7,2
2013	7,8	7,8
2014	8,9	8,8

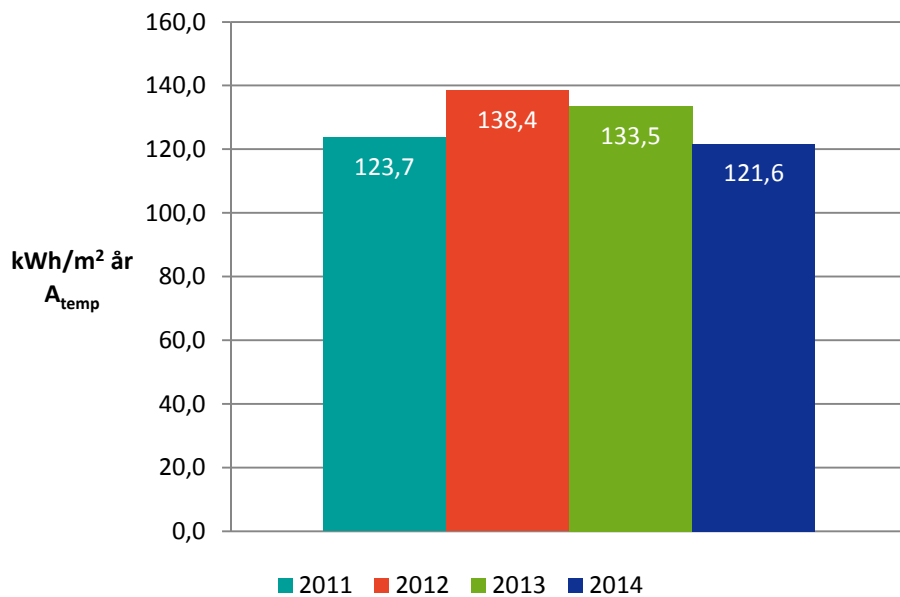
Figur 31 Årsmedeltemperaturer för år 2011 tom 2014

Årsmedeltemperaturen under 2014 som uppmättes på fastigheterna d.v.s. temperaturen på Ecofectives temperaturkammare var för Fasanen 10,6°C, Renen 9,9°C samt 9,8°C för Klippan. Denna årsmedeltemperatur är alltså jämfört med temperaturerna från StormGeo och SMHI ca 1°C högre hos fastigheterna Renen och Klippan samt 1,6 respektive 1,7°C högre hos fastigheten Fasanen.

## 7.1 Faktisk och normalårskorrigerad energianvändning

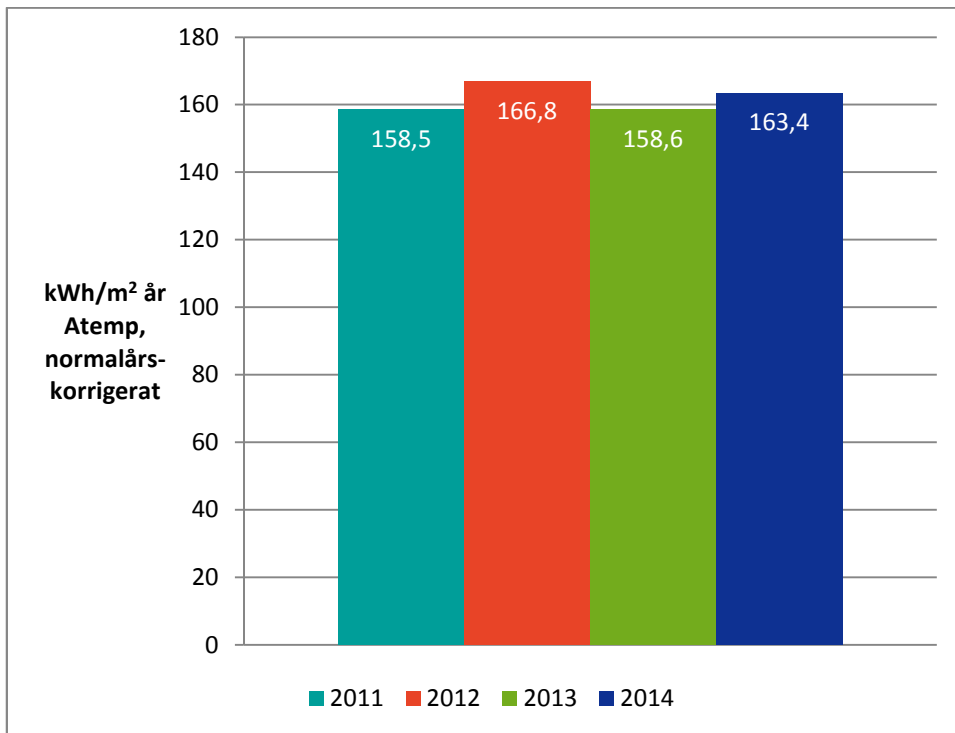
I följande figurer visas faktisk samt normalårskorrigerad energianvändning för fastigheterna ingående i denna studie.

Energianvändningen för tappvarmvatten har i figurerna med faktisk energianvändning nedan inte subtraherats från det totala värdet d.v.s. de värden som redovisas är de faktiska förbrukningsciffrorna för fjärrvärme. I figurerna med normalårskorrigerade värden har energin för tappvarmvatten uppskattats enligt tidigare beskriven metod och borträknats vid normalårskorrigeringen för att sedan adderas till det beräknade värdet.

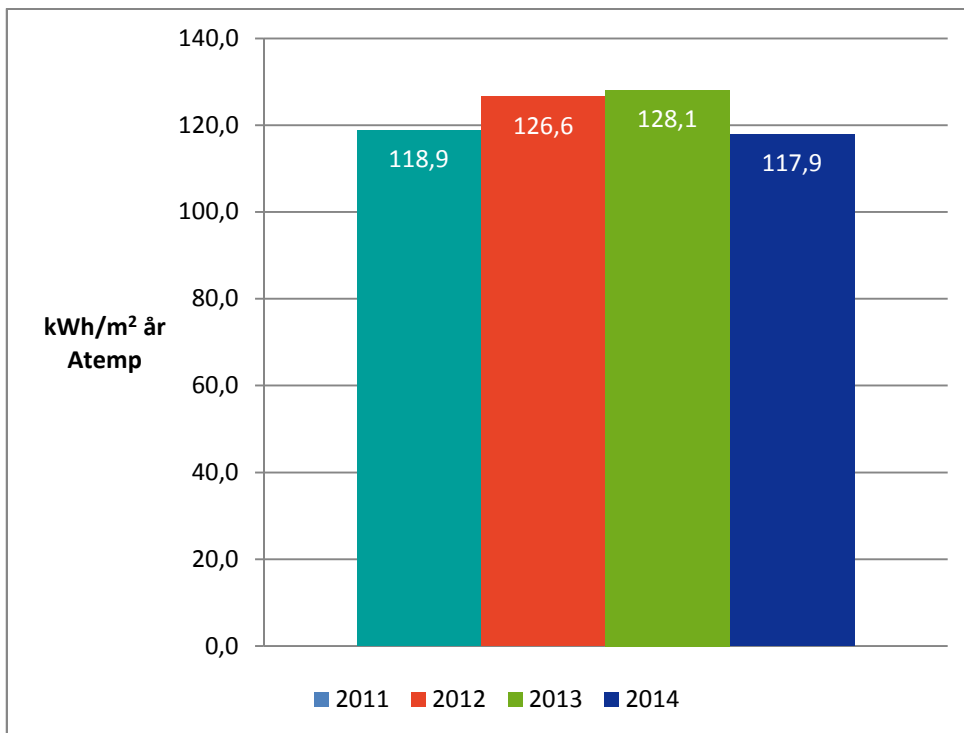


Figur 32 Energianvändningen för fastigheten Renen fördelad årsvis uttryckt i kWh/m<sup>2</sup> och år.

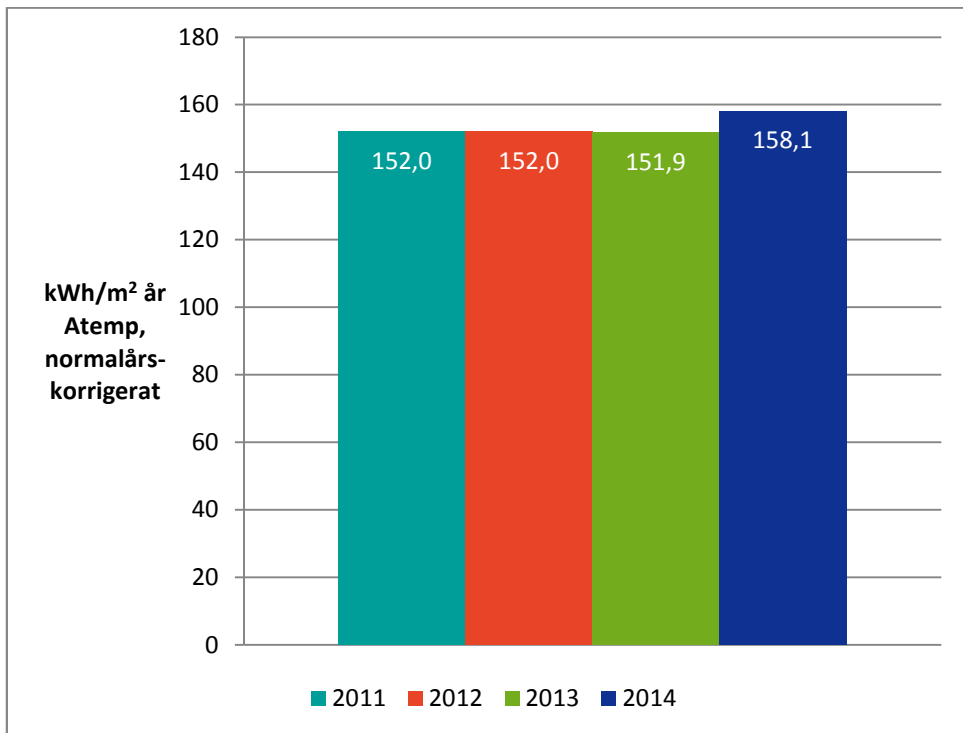




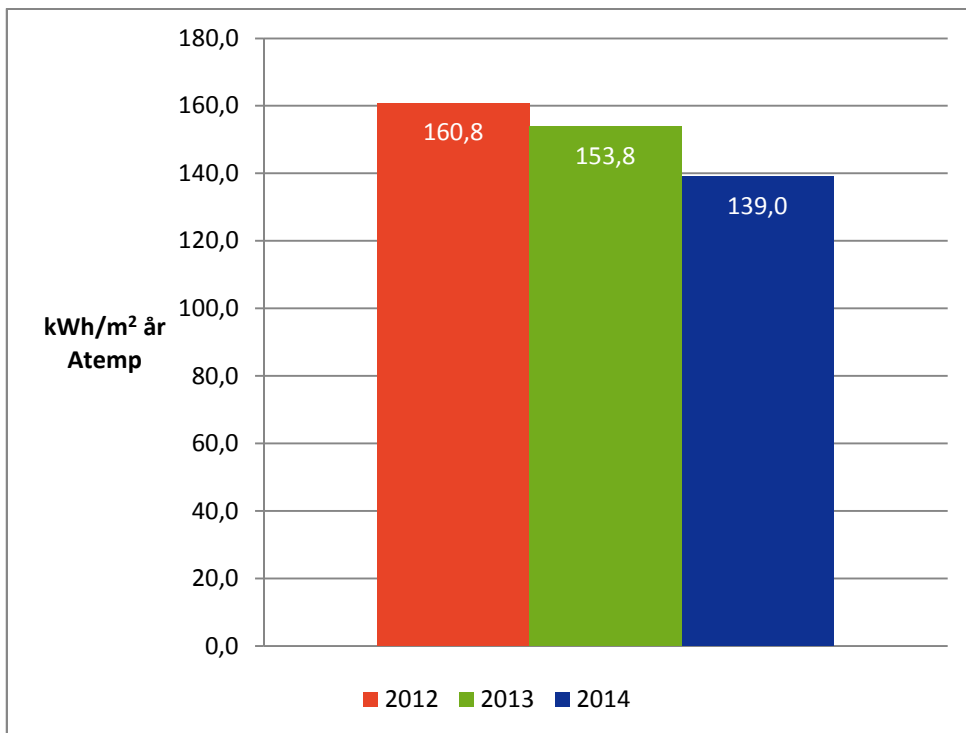
Figur 33 Energianvändningen för fastigheten Renen fördelad årsvis uttryckt i kWh/m<sup>2</sup> och år normalårskorrigerat.



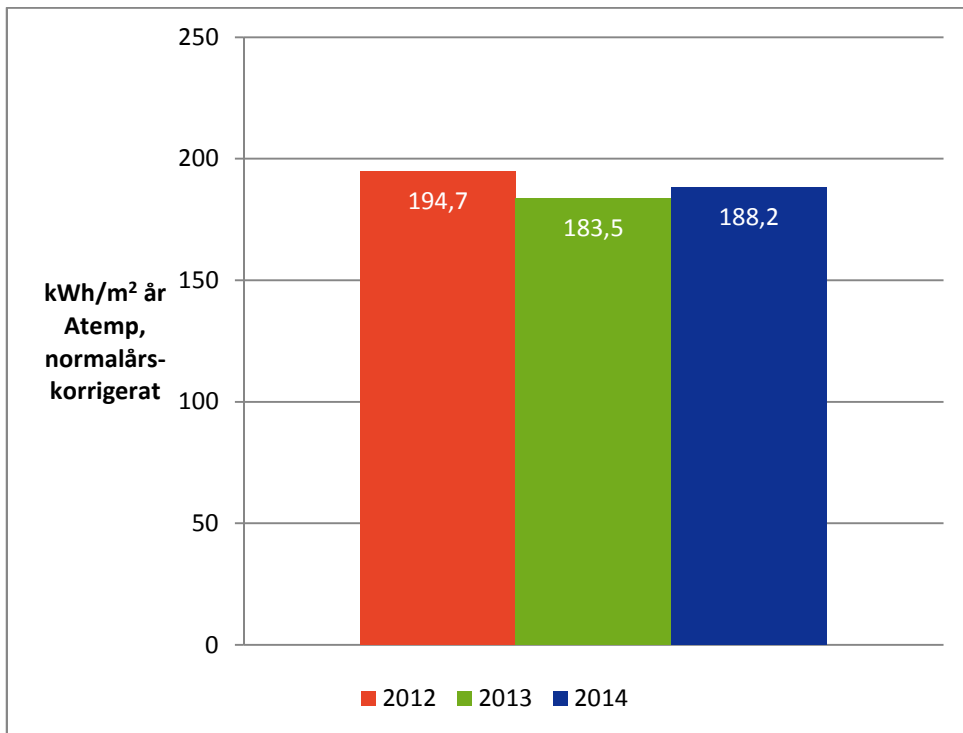
Figur 34 Energianvändningen för fastigheten Klippan fördelad årsvis uttryckt i kWh/m<sup>2</sup> och år.



Figur 35 Energianvändningen för fastigheten Klippan fördelad årsvis uttryckt i kWh/m<sup>2</sup> och år normalårskorrigerat.



Figur 36 Energianvändningen för fastigheten Fasanen fördelad årsvis uttryckt i kWh/m<sup>2</sup> och år.

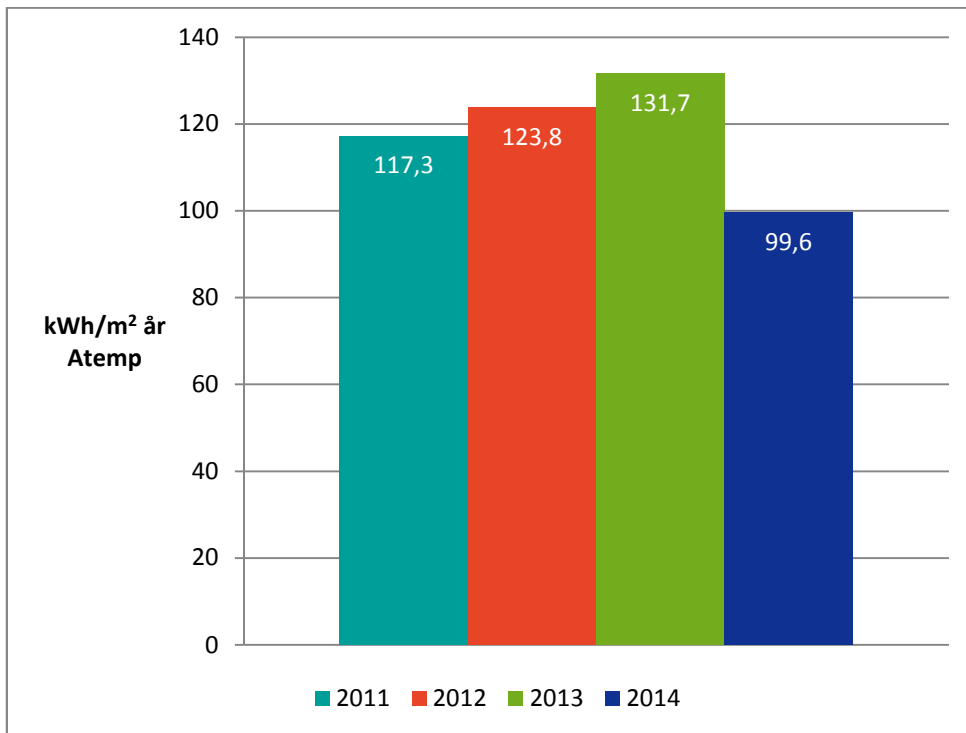


Figur 37 Energianvändningen för fastigheten Fasanen fördelad årsvis uttryckt i kWh/m<sup>2</sup> och år normalårskorrigerat.

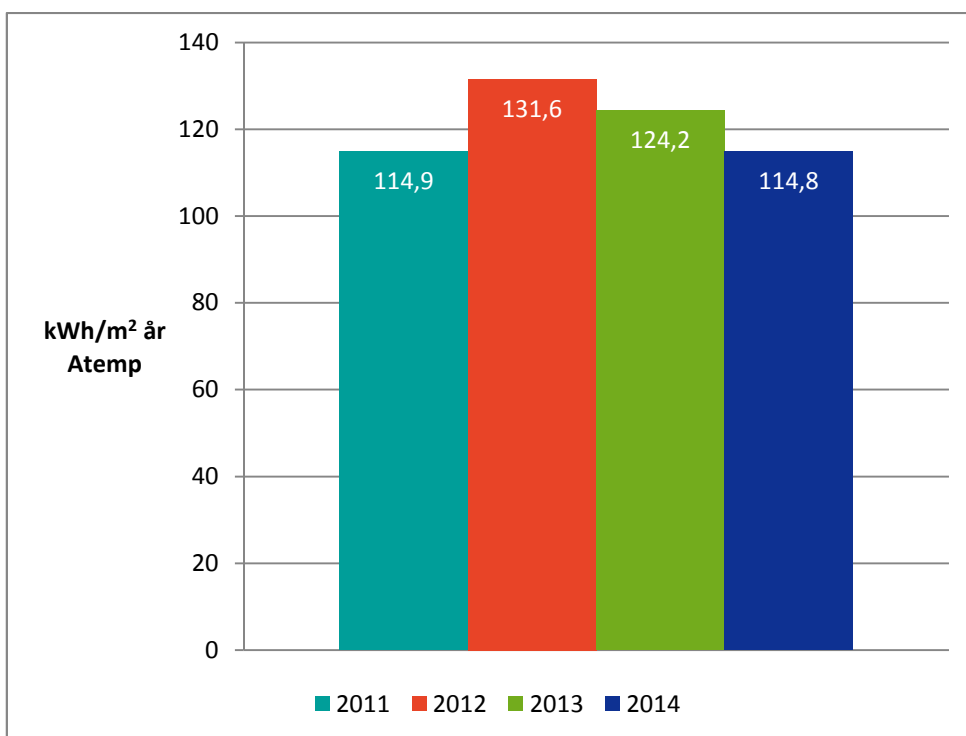
Då fullständig energidata för 2011 inte finns för fastigheten Fasanen har detta år utelämnats i jämförelsen ovan för den fastigheten.

Sett till den lägre medeltemperaturen under 2012 och 2013 jämfört med 2011 och 2014 är det rimligt att anta att fastigheterna kommer att använda mer energi under 2012 och 2013 vilket också är fallet.

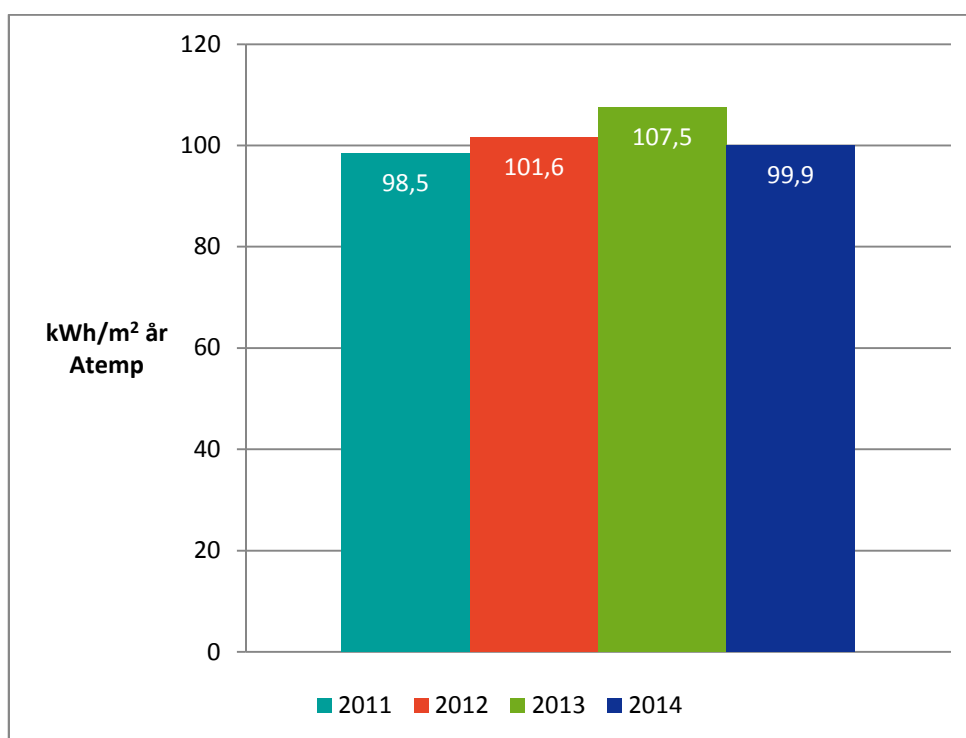
I följande figurer visas även energianvändningen årsvis för de tre referensfastigheterna utan Ecofective som tidigare nämnts d.v.s. Berghällen 11, Göken 2 och Polaris 2.



Figur 38 Energianvändningen för fastigheten Berghällen 11 fördelad årsvis uttryckt i kWh/m<sup>2</sup> och år.



Figur 39 Energianvändningen för fastigheten Göken 2 fördelad årsvis uttryckt i kWh/m<sup>2</sup> och år.



Figur 40 Energianvändningen för fastigheten Polaris 2 fördelad årsvis uttryckt i kWh/m<sup>2</sup> och år.

Medelvärdet av energianvändningen i byggnaderna under 2011 t.o.m 2013 jämfört med energianvändningen under 2014 redovisas i Figur 41 i absoluta tal och i Figur 42 med normalårskorrigerade värden.

För fastigheten Fasanen har endast värden från år 2012, 2013 och 2014 använts på grund av att fullständiga värden för år 2011 saknas.

I Figur 41 har även värden för fastigheterna Berghällen 11, Göken 2 och Polaris 2 tagits med i jämförelsen.

Fastighet	Energianvändning i medel 2011-2013 (kWh/m <sup>2</sup> år)	Energianvändning 2014 (kWh/m <sup>2</sup> år)	Sänkning till 2014 relativt 2011-2013 (kWh/m <sup>2</sup> år)	Sänkning till 2014 relativt 2011-2013 (%)
<b>Renen 2</b>	131,9	121,6	10,3	7,8
<b>Klippan 25</b>	124,5	117,9	6,6	5,3
<b>Fasanen 3</b>	157,3	139,0	18,3	11,6
<b>Berghällen 11</b>	124,3	99,6	24,7	19,9
<b>Göken 2</b>	123,6	114,8	8,8	7,1
<b>Polaris 2</b>	102,5	99,9	2,6	2,5

Figur 41 Energianvändningen för uppvärmning under år 2011-2013 (2012-2013 för fastigheten Fasanen) i medeltal jämfört med energianvändningen för uppvärmning under 2014.

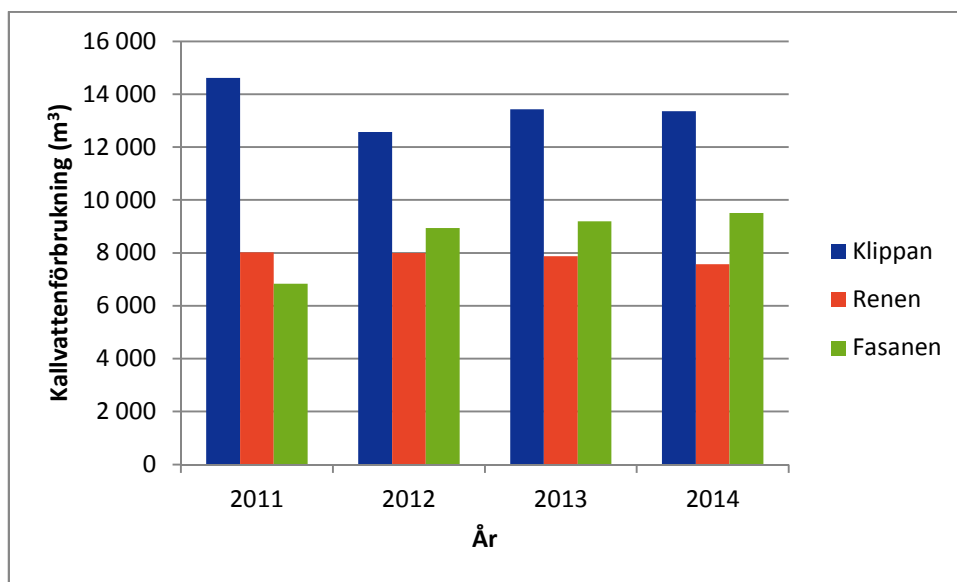
Fastighet	Energianvändning i medel 2011-2013 (kWh/m <sup>2</sup> år)	Energianvändning 2014 (kWh/m <sup>2</sup> år)	Sänkning till 2014 relativt 2011-2013 (kWh/m <sup>2</sup> år)	Sänkning till 2014 relativt 2011-2013 (%)
<b>Renen 2</b>	161,3	163,4	2,1	1,3
<b>Klippan 25</b>	152,0	158,1	6,1	4,0
<b>Fasanen 3</b>	189,1	188,2	-0,9	-0,5

Figur 42 Den normalårskorrigerade energianvändningen för uppvärmning under år 2011-2013 (2012-2013 för fastigheten Fasanen) i medeltal jämfört med energianvändningen för uppvärmning under 2014.

Samtliga fastigheter har sänkt sin energianvändning för uppvärmning i absoluta tal under år 2014 jämfört med medelvärdet för år 2011-2013. Detta gäller alltså även referensfastigheterna där Ecofective inte installerades.

De normalårskorrigerade värdena visar att energianvändningen under 2014 ökat i förhållande till medelvärdet av energianvändningen under åren 2011-2013 i fastigheterna Renen 2 och Klippan 25. I Fasanen 3 har den minskat något under 2014 relativt medelvärdet under 2012 och 2013.

Som tidigare nämnts mäts inte tappvarmvattnet separat utan energin för detta har uppskattats. Om tappvarmvattenanvändningen förändras mellan de jämförda åren kommer detta att påverka den totala energianvändningen. Mätdata finns tillgänglig för inkommande kallvatten till fastigheterna och i Figur 43 visas den totala kallvattenförbrukningen per fastighet och år. Denna ger en indikation på om varmvattenanvändningen kan förväntas ha ökat eller minskat mellan åren eftersom en del av kallvattnet används för varmvattenproduktion i fjärrvärmeundercentralerna.



Figur 43 Kallvattenförbrukning per år uppdelad per fastighet

I fastigheten Fasanen kan en tydlig ökning av vattenförbrukningen noteras. I Klippan varierar vattenförbrukningen en hel del mellan åren medan den i fastigheten Renen är jämnare. I Figur 44 visas förändringen till 2014 relativt ett medelvärde av åren 2011 t.o.m. 2013.

	Klippan	Renen	Fasanen
<b>Förändring till 2014 relativt 2011-2013 (%)</b>	-1,3	-4,9	14,3

Figur 44 Förändringen av kallvattenförbrukningen i procent under den jämförda perioden.

Det är rimligt att anta att den tydliga ökningen av kallvattenförbrukningen i fastigheten Fasanen under 2014 har resulterat i en höjning av energianvändningen under det året.

## 7.2 Energisignaturer

I Figur 52 t.o.m. Figur 54 i Bilaga energisignaturer redovisas energisignaturen helårsvis utan att energi för tappvarmvatten har borträknats.

Energisignaturerna används för att ge en bild av effektuttaget av fjärrvärme i respektive byggnad vid olika utomhustemperaturer. Enheten  $W/m^2 A_{temp}$  har använts för att möjliggöra jämförelser med andra fastigheter och inte minst mellan de tre fastigheter som ingår i denna studie.

En sänkning av energianvändningen märks i en energisignatur genom att punkterna förflyttas nedåt i diagrammet vid en given utomhustemperatur så ett mindre effektuttag görs vid den temperaturen och vice versa för en ökning.

I x-led förflyttas punkter genom att ett varmt år ger punkter längre åt höger på x-axeln än ett kallt år.

I samtliga energisignaturer redovisas faktisk fjärrvärmeenergianvändning utan att energi för tappvarmvatten har borträknats.

Genom linjär regressionsanalys togs räta linjer fram för att ytterligare kunna jämföra värdena årsvis och mellan byggnaderna.

Tidsperioderna för regressionsanalysen valdes alla mellan 1 januari t.o.m. 31 april samt 1 september t.o.m. 31 december och då dygnsmedeltemperaturen underskred  $+15^{\circ}C$ . Detta gjordes för att använda värden från uppvärmningstider och inte från en period då det är rimligt att anta att fjärrvärmeenergin endast används till uppvärmning av tappvarmvatten. Korrelationskoefficienten  $R^2$  finns redovisad och representerar hur väl den framräknade linjens ekvation representerar punkterna, d.v.s. hur starkt linjärt samband som finns. 1 motsvarar full korrelation och 0 motsvarar ingen korrelation.

I Figur 55 t.o.m. Figur 57 visas energisignaturerna enligt ovan och i Figur 45 visas ekvationerna samt  $R^2$ -värden.

År	Fastighet	Ekvation	$R^2$
2011	Renen	$y = -1,1298x + 23,742$	0,9434
2011	Klippan	$y = -1,1228x + 22,483$	0,9389
2012	Renen	$y = -1,1609x + 24,751$	0,9415
2012	Klippan	$y = -1,0787x + 22,347$	0,9338
2012	Fasanen	$y = -1,404x + 29,191$	0,8964
2013	Renen	$y = -1,1994x + 24,335$	0,9254
2013	Klippan	$y = -1,0958x + 22,857$	0,8842
2013	Fasanen	$y = -1,4419x + 28,493$	0,9072
2014	Renen	$y = -1,237x + 24,236$	0,9146
2014	Klippan	$y = -1,0489x + 22,248$	0,9034
2014	Fasanen	$y = -1,5584x + 28,49$	0,9297

Figur 45 Ekvationerna samt  $R^2$ -värden framtagna genom linjär regression av punkterna för respektive år i diagrammen i Figur 55 t.o.m. Figur 57.

Genom att använda de räta linjernas ekvationer enligt Figur 45 kunde det förväntade effektuttaget för några olika temperaturer beräknas.

En beräkning av det förväntade effektuttaget enligt ovan uttryckt i  $W/m^2$  för några olika temperaturer under de angivna månaderna (d.v.s. under uppvärmningssäsong) redovisas i Figur 46 t.o.m. Figur 48.

#### Renen

Temperatur	2011	2012	2013	2014
-15	40,7	42,2	42,3	42,8
-10	35,0	36,4	36,3	36,6
-5	29,4	30,6	30,3	30,4
-3	27,1	28,2	27,9	27,9
0	23,7	24,8	24,3	24,2
3	20,4	21,3	20,7	20,5
5	18,1	18,9	18,3	18,1
10	12,4	13,1	12,3	11,9

Figur 46 Beräkning av det förväntade effektuttaget i  $W/m^2$  för ett antal givna temperaturer.

#### Klippan

Temperatur	2011	2012	2013	2014
-15	39,3	38,5	39,3	38,0
-10	33,7	33,1	33,8	32,7
-5	28,1	27,7	28,3	27,5
-3	25,9	25,6	26,1	25,4
0	22,5	22,3	22,9	22,2
3	19,1	19,1	19,6	19,1
5	16,9	17,0	17,4	17,0
10	11,3	11,6	11,9	11,8

Figur 47 Beräkning av det förväntade effektuttaget i  $W/m^2$  för ett antal givna temperaturer.

#### Fasanen

Temperatur	2012	2013	2014
-15	50,3	50,1	51,9
-10	43,2	42,9	44,1
-5	36,2	35,7	36,3
-3	33,4	32,8	33,2
0	29,2	28,5	28,5
3	25,0	24,2	23,8
5	22,2	21,3	20,7
10	15,2	14,1	12,9

Figur 48 Beräkning av det förväntade effektuttaget i  $W/m^2$  för ett antal givna temperaturer.

Det märks en relativt liten skillnad mellan de jämförda åren i beräknat effektuttag vid de givna temperaturerna. Således visar även energisignaturerna motsvarande resultat som den normalårskorrigerade energianvändningen som redovisas i denna rapport. Att ändra reglerstrategi för värmeförseln i byggnaden så som gjorts genom att ett system som Ecoeffective har installerats bör ha möjlighet att påverka byggnaden mer än vad som visats i energianvändningen och energisignaturerna i denna studie [1].



Energisignaturerna tyder på att den utetemperaturkompenserade temperaturkurvan som finns i fastigheternas befintliga styrsystem höjdes mellan den 29 oktober och 18 november 2013 i samtliga tre fastigheter. Detta upptäcktes genom att framledningstemperaturen under tider då EE2 tillfälligt inaktiverades var högre än den tidigare varit vid en given utomhustemperatur. Någon förändring av utomhustemperaturkompenseringen har dock inte noterats i någon av loggböckerna i undercentralerna.

Som en följd av att framledningstemperaturen höjdes enligt utomhustemperaturkompenseringen höjde EE2 temperaturen i temperaturkammaren när systemet återigen aktiverats. Dock finns en begränsning i hur stor denna höjning tillåts vara. Ursprungligen var begränsningen satt till 5°C, vilket för fastigheterna Klippan och Fasanen ändrades till 8°C. Då nya uteluftsventiler installerades i Klippan (se 6.3.1.1) sattes begränsningen för denna fastighet åter till 5°C.

Genom denna begränsning kan det vara så att EE2 inte alltid haft möjlighet att höja utomhustemperaturen i temperaturkammaren till önskad nivå, och således sänka framledningstemperaturen, efter att en eventuell förändring av utomhustemperaturkompenseringen genomförts. Detta har troligtvis påverkat framledningstemperaturen och därmed även energianvändningen efter det att höjningen genomförts.

Då Ecofactive EE2 reglerar värmeförseln till byggnaden beroende av även andra faktorer än utomhustemperaturen kan antas att en större spridning av punkterna vid samma utomhustemperatur skulle kunna vara möjlig att utläsa. Detta eftersom exempelvis solinstrålning och vind kan vara olika vid samma utomhustemperatur och således påverka utsignalen från EE2. Eftersom energin för tappvarmvatten även är inräknad i energivärdena är det dock viktigt att beakta att en variation i denna energianvändning vid samma utomhustemperatur kommer att generera en spridning av punkterna för den utomhustemperaturen.

För att titta djupare på detta studerades samtliga punkter vid en given utomhustemperatur men det fanns inte ett tillräckligt stort antal poster med samma dygnsmedeltemperatur för att göra denna jämförelse relevant.

Genom att studera  $R^2$ -värdet gick dock inte någon koppling till resonemanget ovan att utläsa, vilket visas i kolumnen redovisande  $R^2$ -värdet Figur 45.

För att visualisera skillnader mellan år och mellan byggnader togs energisignaturer fram i 5-gradiga intervall. Detta gör att respektive fastighets energiprestanda inom ett mindre temperaturintervall visualiseras och görs jämförbar.

Även här användes linjär regression för att ta fram en rät approximationslinje för punkterna inom respektive intervall. Den räta linjens ekvation samt  $R^2$ -värdet visas i respektive diagram. Det bör noteras att  $R^2$ -värdet i dessa fall blev mycket lågt vilket också kan utläsas ur diagrammen.

**Renen**

År	Tempintervall (°C)	Ekvation	R <sup>2</sup>
2011	$-10 \leq T_{\text{ute}} < -5$	$y = -0,57x + 27,0$	0,1472
2012	$-10 \leq T_{\text{ute}} < -5$	$y = -0,97x + 25,3$	0,681
2013	$-10 \leq T_{\text{ute}} < -5$	$y = -1,44x + 20,5$	0,6669
2014	$-10 \leq T_{\text{ute}} < -5$	$y = -0,82x + 25,3$	0,6801
2011	$-5 \leq T_{\text{ute}} < 0$	$Y = -1,03x + 23,6$	0,7275
2012	$-5 \leq T_{\text{ute}} < 0$	$Y = -1,07x + 24,7$	0,3812
2013	$-5 \leq T_{\text{ute}} < 0$	$Y = -1,03x + 25,0$	0,5967
2014	$-5 \leq T_{\text{ute}} < 0$	$Y = -0,98x + 24,8$	0,6292
2011	$0 \leq T_{\text{ute}} < 5$	$Y = -1,13 + 24,3$	0,5308
2012	$0 \leq T_{\text{ute}} < 5$	$Y = -1,11x + 25,1$	0,617
2013	$0 \leq T_{\text{ute}} < 5$	$Y = -1,47x + 25,5$	0,6319
2014	$0 \leq T_{\text{ute}} < 5$	$Y = -1,10x + 24,0$	0,3898
2011	$5 \leq T_{\text{ute}} < 10$	$y = -0,78x + 21,5$	0,2629
2012	$5 \leq T_{\text{ute}} < 10$	$y = -1,63x + 28,2$	0,6561
2013	$5 \leq T_{\text{ute}} < 10$	$y = -1,67x + 28,0$	0,6005
2014	$5 \leq T_{\text{ute}} < 10$	$y = -1,37x + 25,1$	0,4522

Figur 49 Ekvationerna samt R<sup>2</sup>-värdena framtagna genom linjär regression av punkterna i energisignaturerna för respektive redovisat temperaturintervall för fastigheten Renen. Energisignaturerna finns grafiskt redovisade i Bilaga energisignaturer

**Klippan**

År	Tempintervall (°C)	Ekvation	R <sup>2</sup>
2011	$-10 \leq T_{\text{ute}} < -5$	$y = -0,54x + 26,1$	0,0943
2012	$-10 \leq T_{\text{ute}} < -5$	$y = -1,36x + 20,8$	0,6466
2013	$-10 \leq T_{\text{ute}} < -5$	$y = -1,48x + 19,3$	0,5729
2014	$-10 \leq T_{\text{ute}} < -5$	$y = 0,17x + 28,7$	0,0144
2011	$-5 \leq T_{\text{ute}} < 0$	$y = -0,99x + 23,1$	0,5799
2012	$-5 \leq T_{\text{ute}} < 0$	$y = -1,21x + 22,2$	0,5827
2013	$-5 \leq T_{\text{ute}} < 0$	$y = -1,47x + 22,0$	0,5009
2014	$-5 \leq T_{\text{ute}} < 0$	$y = -0,95x + 23,0$	0,5502
2011	$0 \leq T_{\text{ute}} < 5$	$y = -1,24x + 23,2$	0,5471
2012	$0 \leq T_{\text{ute}} < 5$	$y = -1,08x + 22,1$	0,4307
2013	$0 \leq T_{\text{ute}} < 5$	$y = -1,40x + 23,7$	0,4334
2014	$0 \leq T_{\text{ute}} < 5$	$y = -1,02x + 22,3$	0,4019
2011	$5 \leq T_{\text{ute}} < 10$	$y = -0,75x + 19,6$	0,2619
2012	$5 \leq T_{\text{ute}} < 10$	$y = -1,14x + 22,4$	0,4193
2013	$5 \leq T_{\text{ute}} < 10$	$y = -1,42x + 25,5$	0,3935
2014	$5 \leq T_{\text{ute}} < 10$	$y = -1,14x + 22,5$	0,3779

Figur 50 Ekvationerna samt R<sup>2</sup>-värdena framtagna genom linjär regression av punkterna i energisignaturerna för respektive redovisat temperaturintervall för fastigheten Klippan. Energisignaturerna finns grafiskt redovisade i Bilaga energisignaturer

**Fasanen**

År	Tempintervall (°C)	Ekvation	R <sup>2</sup>
2012	$-10 \leq T_{ute} < -5$	$y = -0,11x + 37,3$	0,0022
2013	$-10 \leq T_{ute} < -5$	$y = -1,42x + 27,7$	0,6533
2014	$-10 \leq T_{ute} < -5$	$y = -0,67x + 33,4$	0,7354
2012	$-5 \leq T_{ute} < 0$	$y = -1,71x + 28,7$	0,2186
2013	$-5 \leq T_{ute} < 0$	$y = -1,80x + 28,0$	0,5865
2014	$-5 \leq T_{ute} < 0$	$y = -1,42x + 29,7$	0,7044
2012	$0 \leq T_{ute} < 5$	$y = -1,34x + 29,3$	0,5919
2013	$0 \leq T_{ute} < 5$	$y = -1,38x + 28,4$	0,3294
2014	$0 \leq T_{ute} < 5$	$y = -1,58x + 28,4$	0,5219
2012	$5 \leq T_{ute} < 10$	$y = -1,65x + 30,7$	0,5309
2013	$5 \leq T_{ute} < 10$	$y = -1,92x + 31,8$	0,4387
2014	$5 \leq T_{ute} < 10$	$y = -1,78x + 29,5$	0,4163

Figur 51 Ekvationerna samt R<sup>2</sup>-värdena framtagna genom linjär regression av punkterna i energisignaturerna för respektive redovisat temperaturintervall för fastigheten Fasanen. Energisignaturerna finns grafiskt redovisade i Bilaga energisignaturer

Här kan noteras en klart större relativ spridning på punkterna än då samtliga temperaturer tas med i energisignatur och beräkningar. Detta avspeglas också som tidigare nämnts i ett lägre R<sup>2</sup>-värde.

För vissa temperaturintervall, exempelvis fastigheten Fasanen där  $5 \leq T_{ute} < 10$  °C, märks en relativt parallell förskjutning av den räta linjen mellan de olika åren. I andra fall, exempelvis fastigheten Klippan där  $-10 \leq T_{ute} < -5$  °C ses en stor spridning på punkterna och en stor skillnad i k-faktorn hos linjerna då de olika åren jämförs.

## 8 Slutsats

Energianvändningen har i fastigheterna ingående i studien minskat under 2014 relativt tidigare jämförda år sett till absoluta tal.

Dock visar de normalårskorrigerade värdena på en relativt liten förändring i energianvändning mellan åren. Två av fastigheterna har med normalårskorrigeringen ökat sin energianvändning och en fastighet har minskat den under 2014 relativt ett medelvärde av tidigare jämförda år.

Även energisignaturerna visar på en relativt liten skillnad mellan de jämförda åren.

Det finns indikationer i energisignaturerna på att manuella justeringar av framledningstemperaturen genomförts under utvärderingsperioden vilket skulle kunna vara en förklaring till att energianvändningen inte förändrats mer under 2014, trots att Ecofactive EE2 under perioder har simulerat en högre utomhustemperatur är den faktiska och därigenom sänkt framledningstemperaturen i värmesystemet.

Regleringen av framledningstemperaturen i fjärrvärmeundercentralerna påverkar också endast delvis energianvändningen för uppvärmning eftersom termostatventiler finns på radiatorerna i fastigheterna. Dessa ventiler reglerar värmeflödet i respektive lägenhet vilket också påverkar temperaturen i värmesystemet som helhet och således energianvändningen.

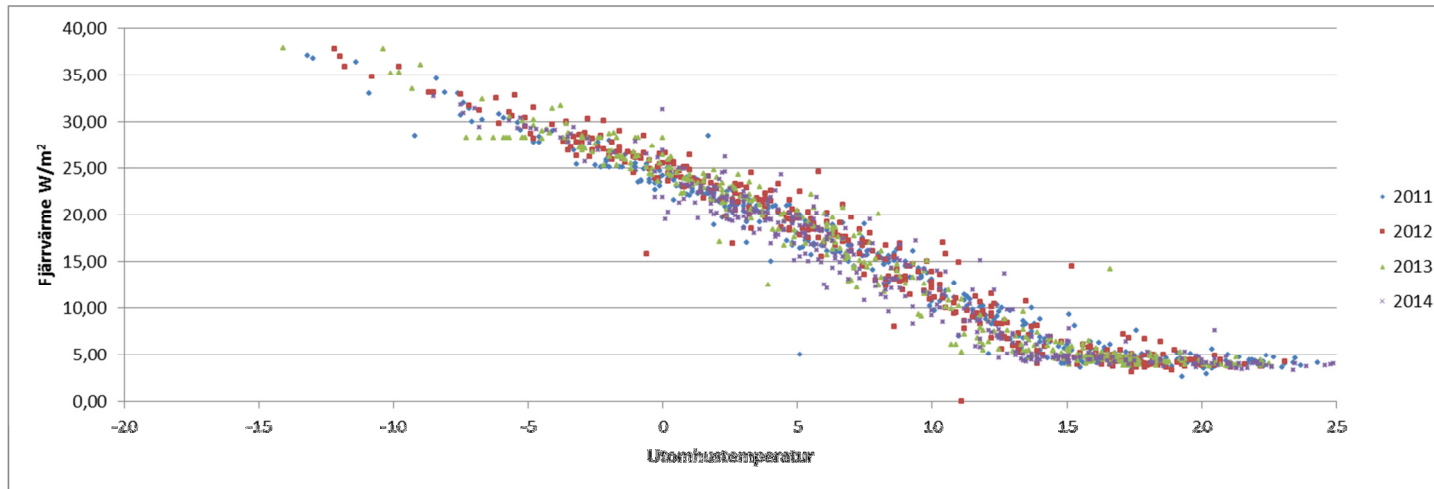
Energien för tappvarmvatten mäts inte utan inräknas i den totala energianvändningen samt vid beräkningar borträknas som en fast del av denna. Detta gör att förändringar i tappvarmvattenanvändningen inte kunnat visas specifikt i denna studie utan eventuella sådana förändringar kommer att resultera i en förändring av den totala energianvändningen. Således skulle en sänkning av energianvändningen från ett år till ett annat kunna orsakas av minskad tappvarmvattenanvändning och vice versa.

Då ingen stor skillnad i energianvändning på årsbasis kan utläsas efter det att Ecofactive EE2 installerats vore det intressant att jämföra förändringar i inomhustemperaturen efter installationen. Eftersom inomhustemperaturgivare installerades först i samband med att Ecofactive-systemet installerades finns dock inte relevant historisk data avseende detta från tiden före installationen av Ecofactive. Detta är också orsaken till att denna jämförelse heller inte har studerats i detta projekt.

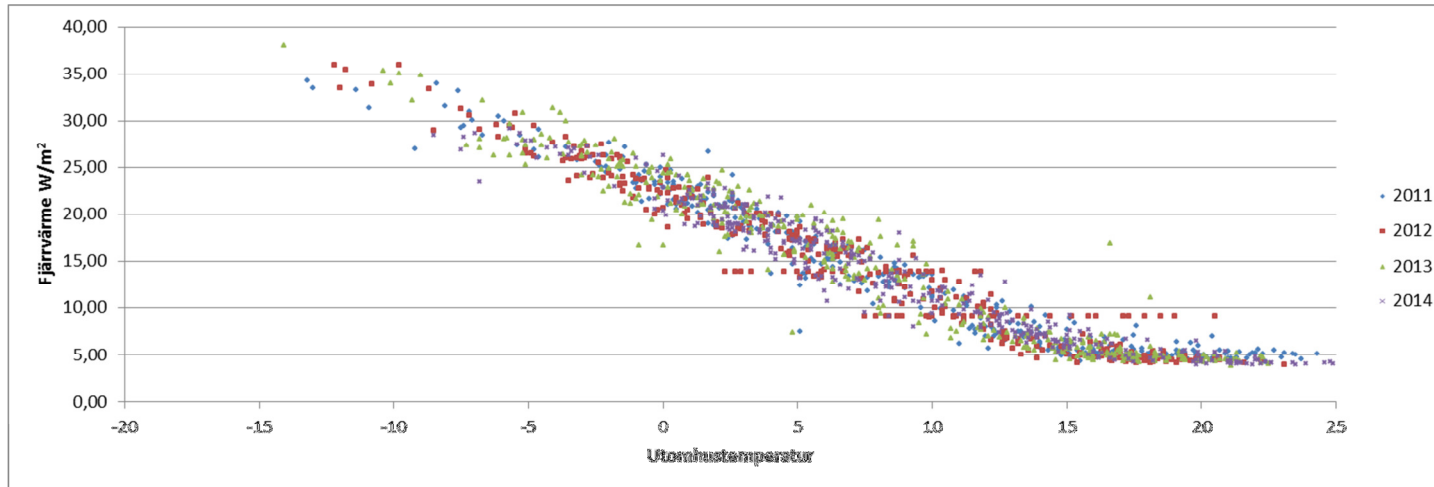
## 9 Referenser

- [1] Olsson, Daniel. (2014). Modellbaserad styrning av värmesystem baserat på prognostiserat väder. Göteborg, Institutionen för Energi och Miljö, Avdelningen för Installationsteknik, Chalmers Tekniska Högskola.
- [2] Eriksson, J & Wahlström Å (2001). Reglerstrategier och beteendets inverkan på energianvändningen i flerbostadshus, EFFEKTIV, projektrapport.
- [3] Isfält, Engelbrekt & Bröms, Gunnar. (1992). ”Effekt- och energibesparing genom förenklad styrning och drift av installationssystem i byggnader, Beräkningar”. Stockholm, Avdelningen för Installationsteknik Kungliga Tekniska Högskolan.
- [4] [http://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric\\_effect](http://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric_effect), hämtad 2015-02-12.
- [5] Ekman, Mattias; Technical Support Engineer vid Ecofective AB, personlig kommunikation 2014-09-09.
- [6] <http://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/1796>, hämtad 2015-02-12.
- [7] Fahlén, Per. (1987). Temperaturmätning i vätskeflöden – inverkan av installationsförhållanden.
- [8] Schultz, Linda. (2003). Normalårskorrigerig av energianvändningen i byggnader – en jämförelse av två metoder, EFFEKTIV, projektrapport.
- [9] Levin, Per m.fl. (2009). Brukarindata för energiberäkningar i bostäder, Svebyprogrammet projektrapport 2009-04-14.
- [10] Aronsson, Stefan. (1996). Fjärrvärmekunders värme- och effektbehov: Analys baserad på mätresultat från femtio byggnader. Göteborg, Institutionen för Energi och Miljö, Avdelningen för Installationsteknik, Chalmers Tekniska Högskola.
- [11] <http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur/2.1240>, hämtad 2015-04-08.

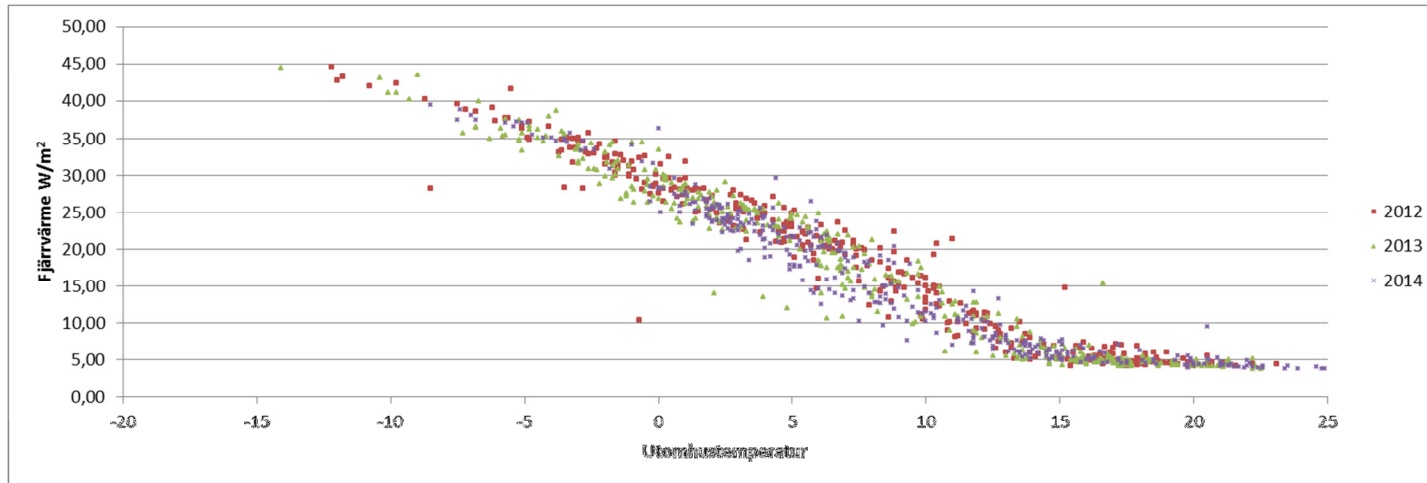
## Bilaga energisignaturer



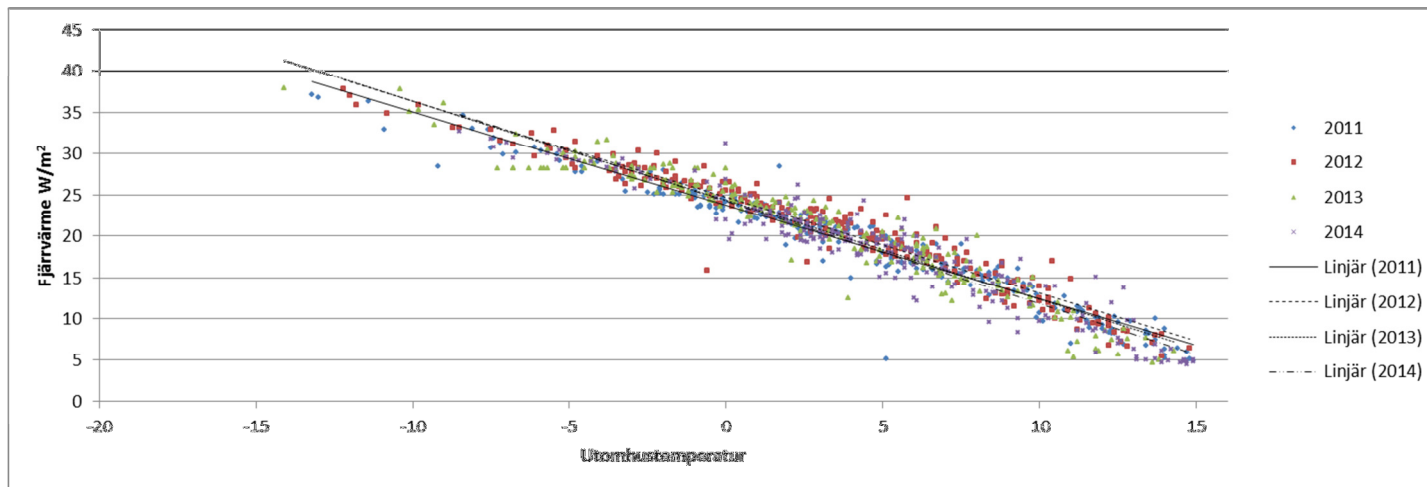
Figur 52 Energisignatur för respektive redovisat helår för fastigheten Renen.



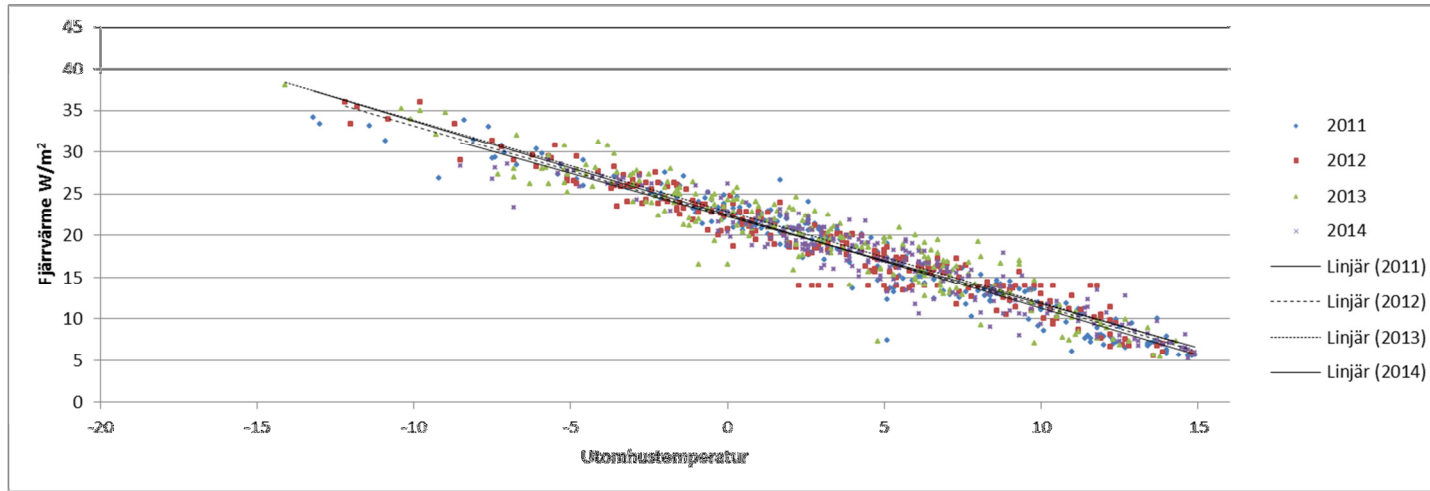
Figur 53 Energisignatur för respektive redovisat helår för fastigheten Klippan.



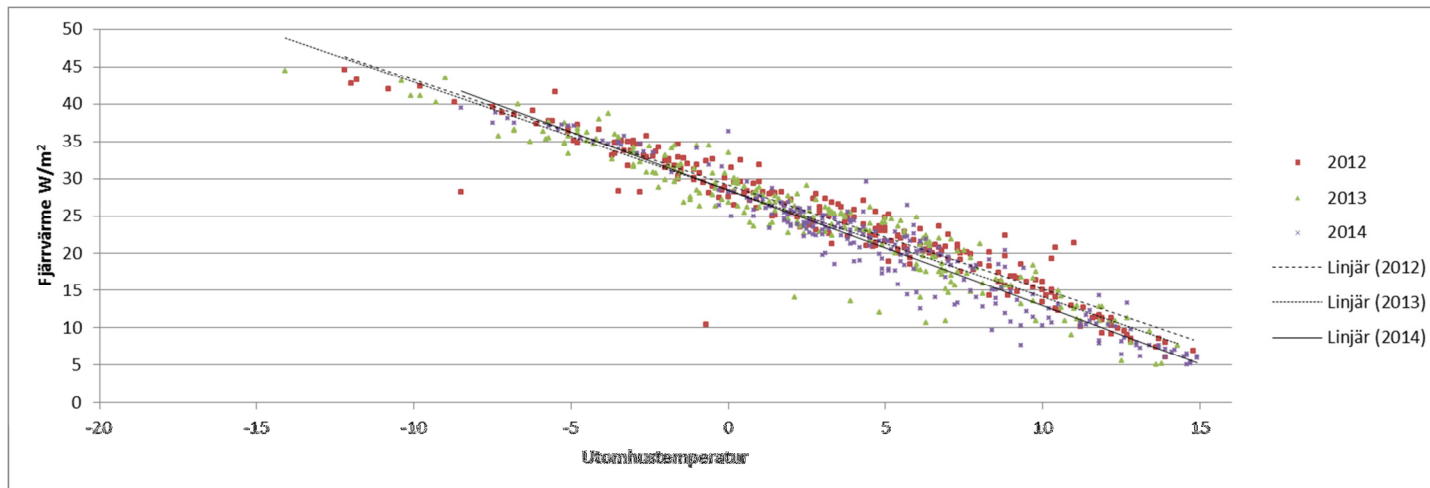
Figur 54 Energisignatur för respektive redovisat helår för fastigheten Fasanen.



Figur 55 Energisignatur för fastigheten Renen under perioderna 1 januari t.o.m. 31 april samt 1 september t.o.m. 31 december för respektive redovisat år då samtidigt dygnsmedeltemperaturen utomhus underskrider 15 °C.

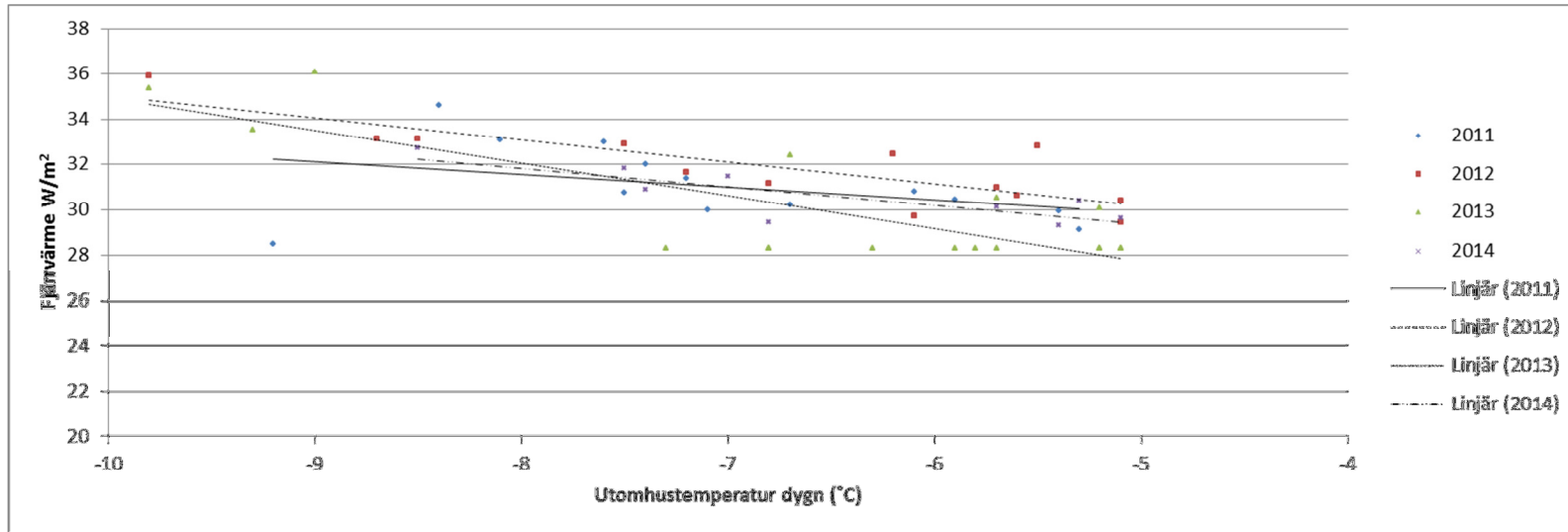


Figur 56 Energisignatur för fastigheten Klippan under perioderna 1 januari t.o.m. 31 april samt 1 september t.o.m. 31 december för respektive redovisat år då samtidigt dygnsmedeltemperaturen utomhus underskrider 15 °C.

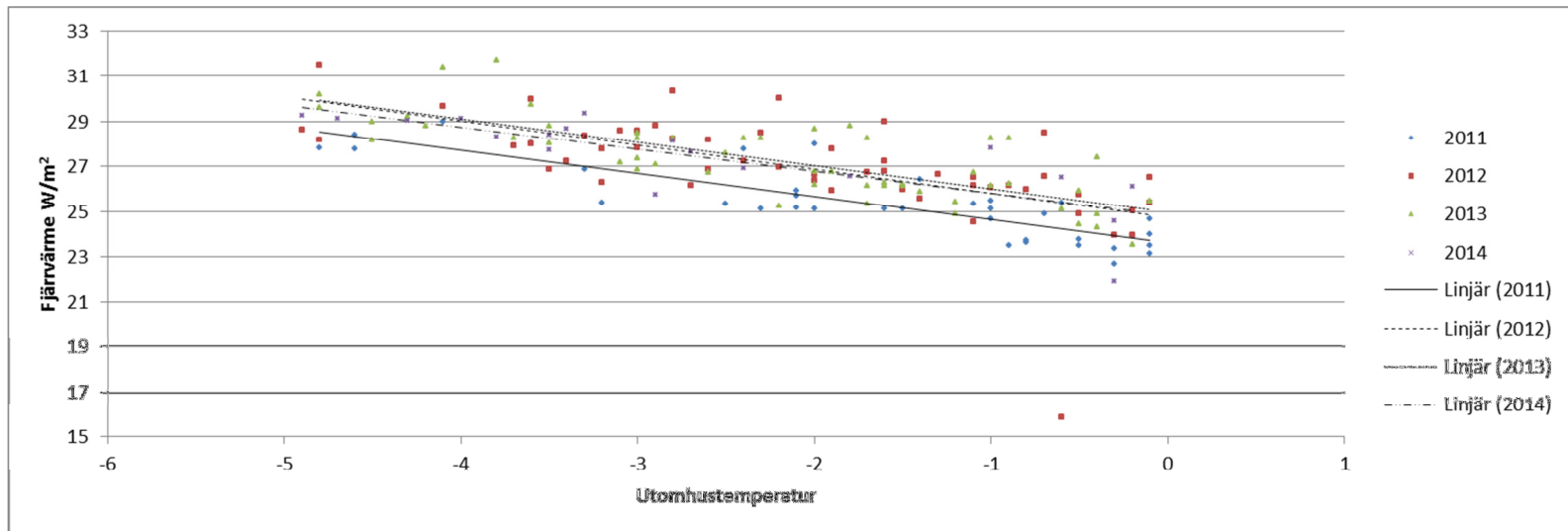


Figur 57 Energisignatur för fastigheten Fasanen under perioderna 1 januari t.o.m. 31 april samt 1 september t.o.m. 31 december för respektive redovisat år då samtidigt dygnsmedeltemperaturen utomhus underskrider 15 °C.

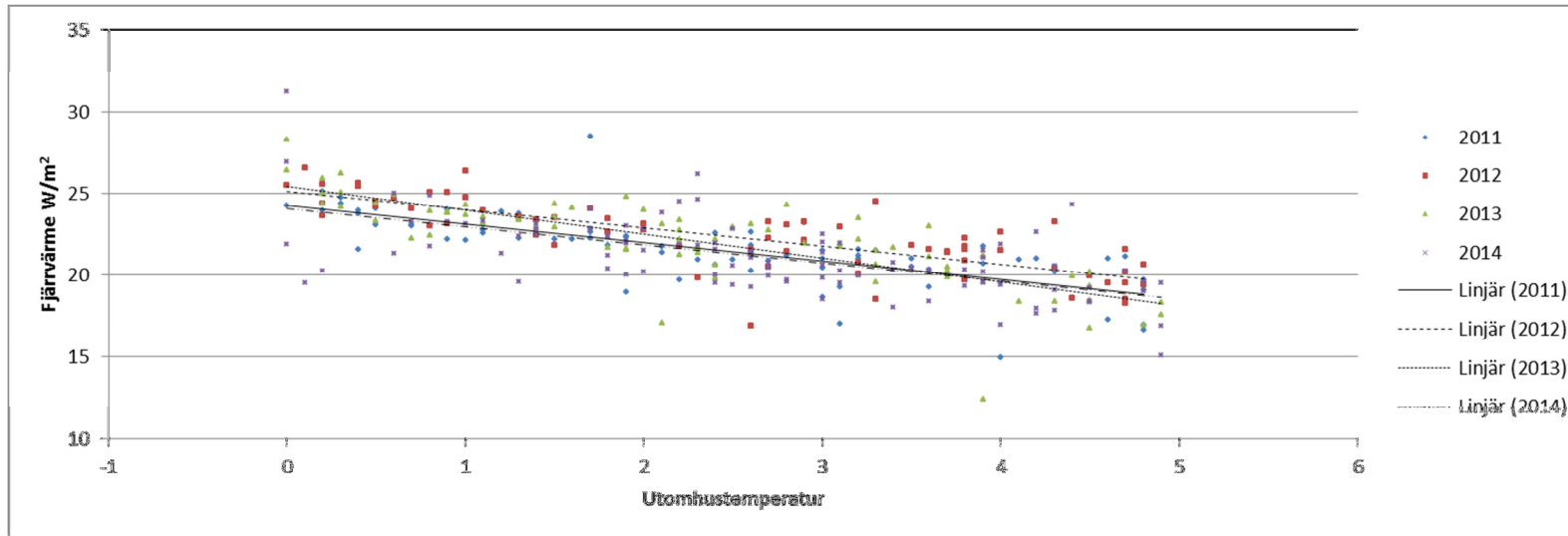




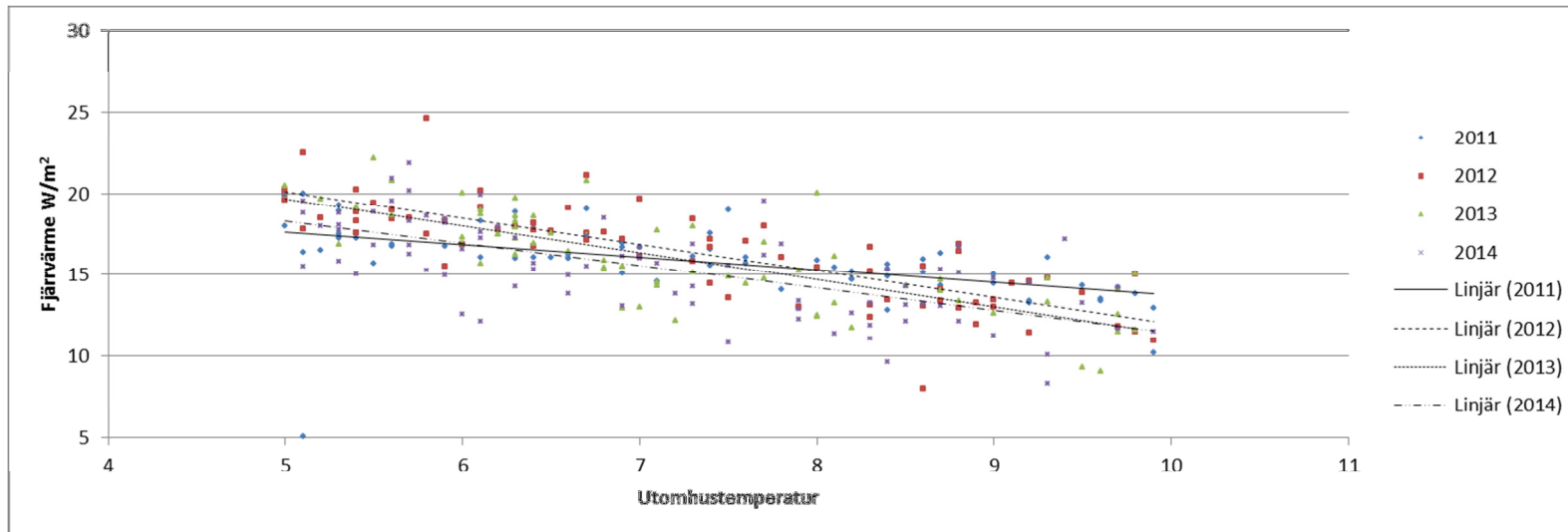
Figur 58 Energisignatur för fastigheten Renen för mätpunkter där  $-10 \leq T_{ute} < -5$  °C.



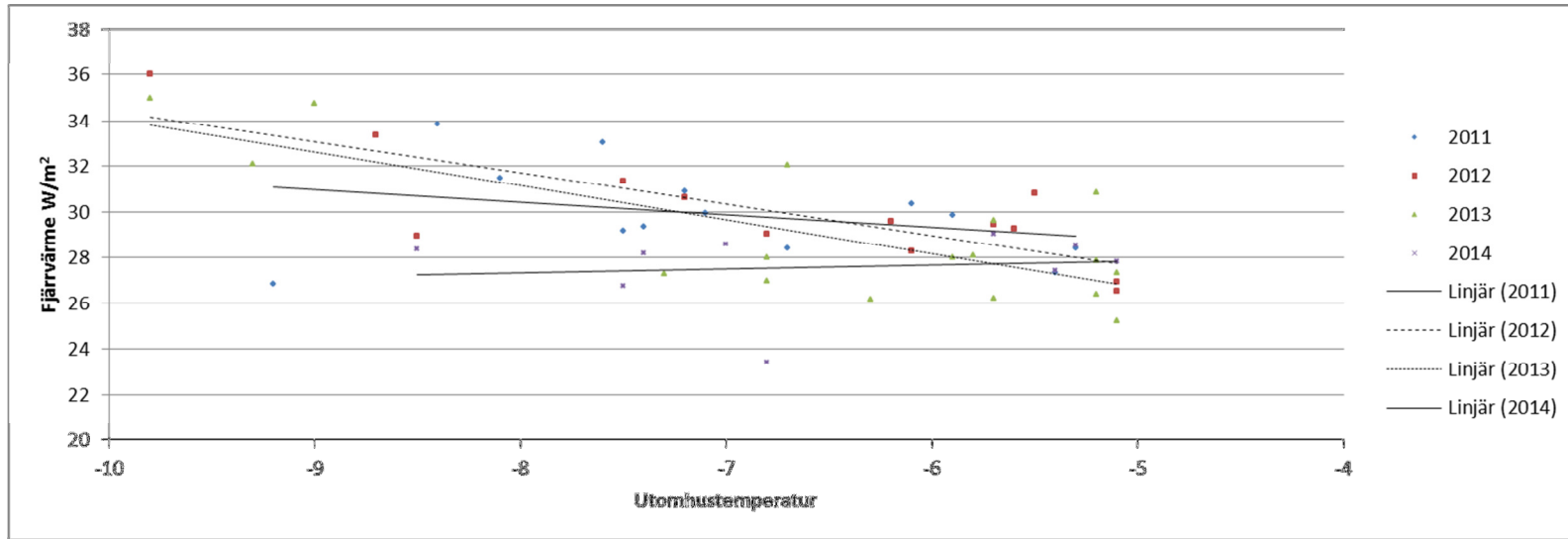
Figur 59 Energisignatur för fastigheten Renen för mätpunkter där  $-5 \leq T_{ute} < 0$  °C.



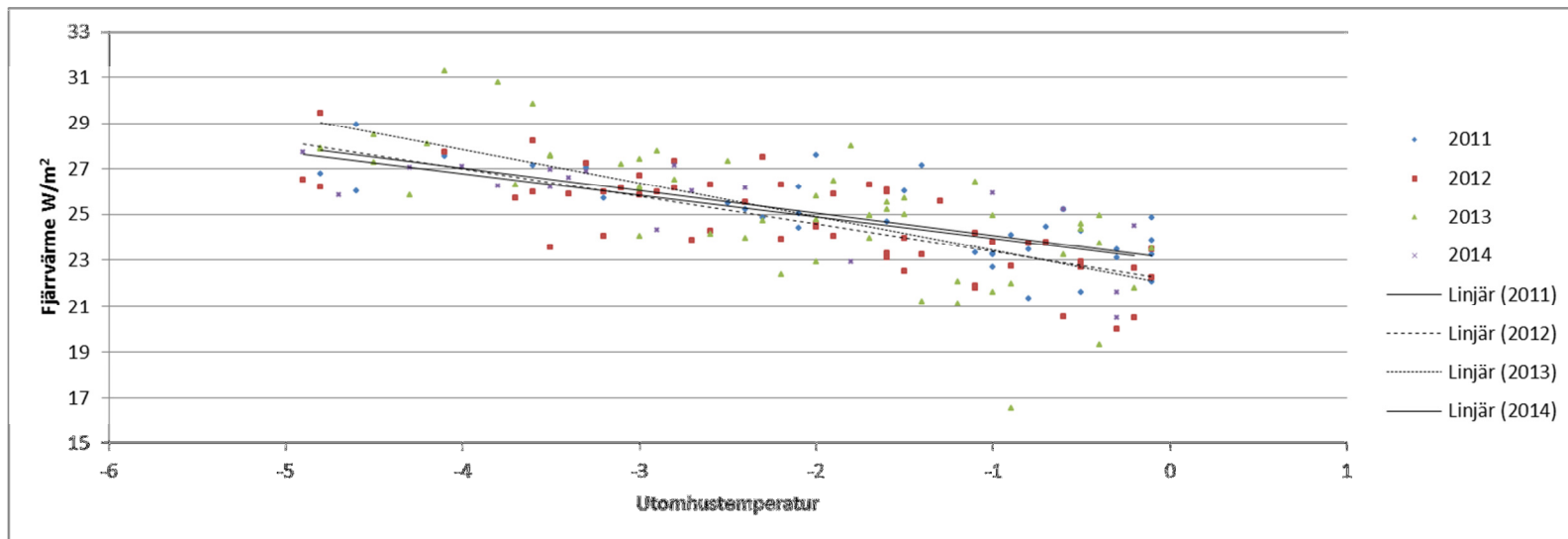
Figur 60 Energisignatur för fastigheten Renen för mätpunkter där  $0 \leq T_{ute} < 5$  °C.



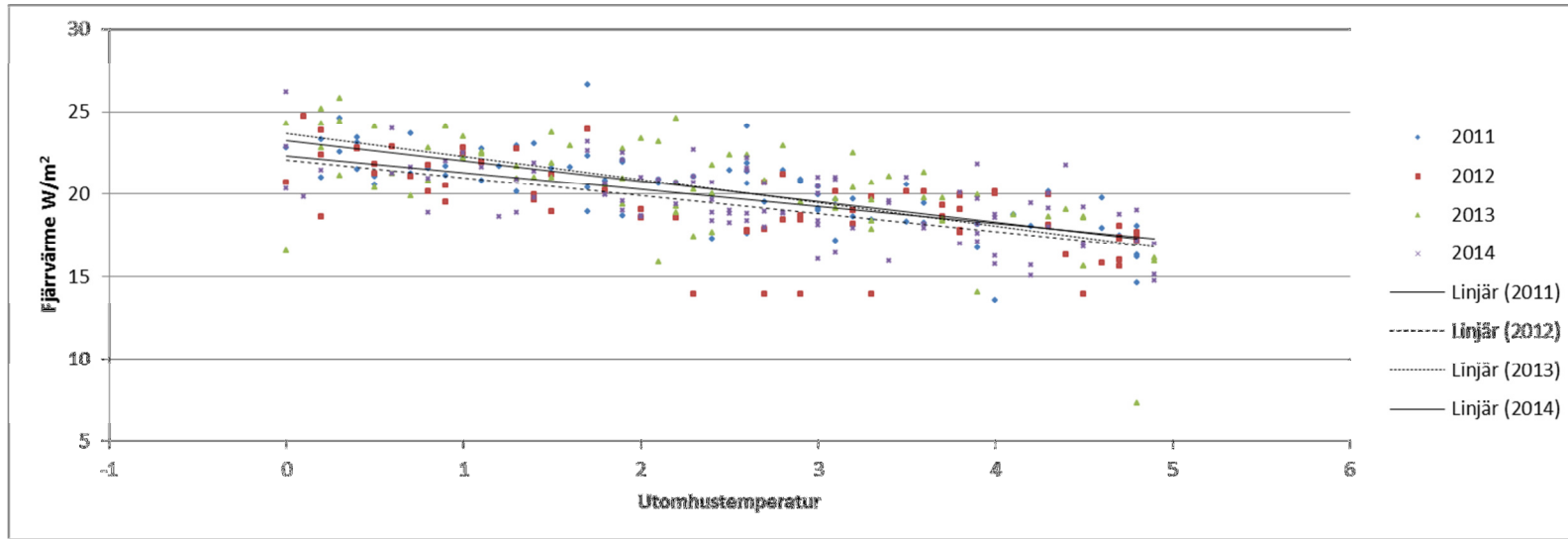
Figur 61 Energisignatur för fastigheten Renen för mätpunkter där  $5 \leq T_{ute} < 10$  °C.



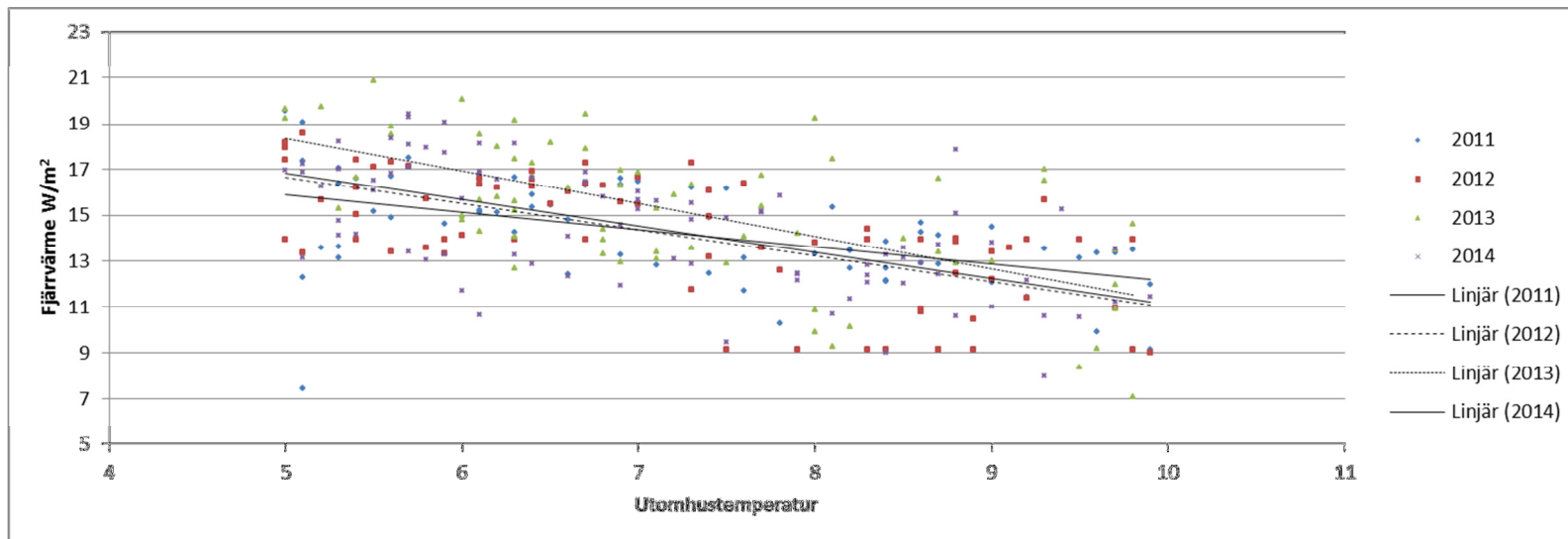
Figur 62 Energisignatur för fastigheten Klippan för mätpunkter där  $-10 \leq T_{ute} < -5$   $^{\circ}\text{C}$ .



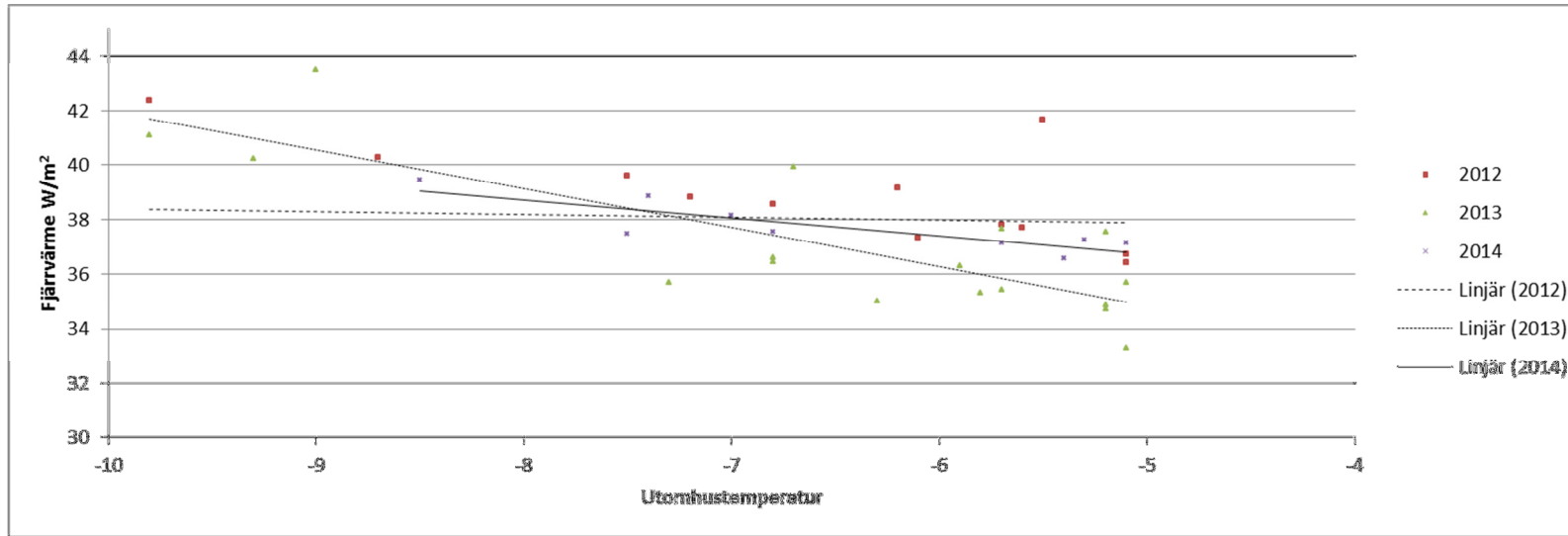
Figur 63 Energisignatur för fastigheten Klippan för mätpunkter där  $-5 \leq T_{ute} < 0$   $^{\circ}\text{C}$ .



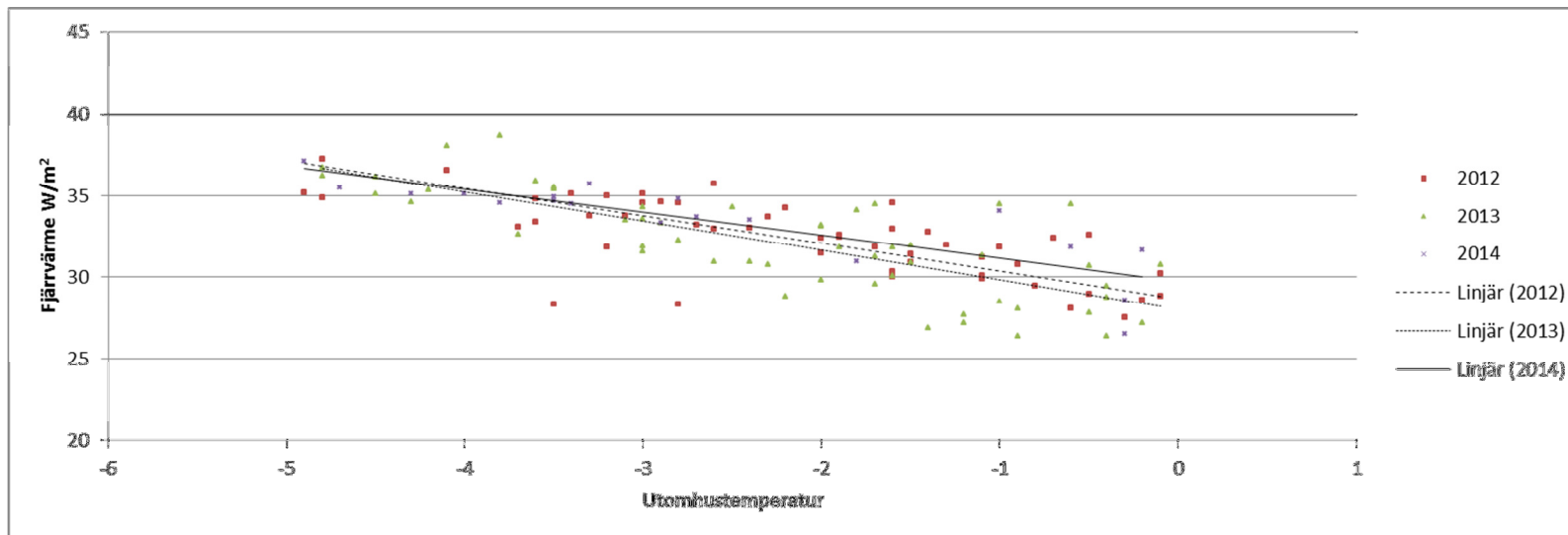
Figur 64 Energisignatur för fastigheten Klippan för mätpunkter där  $0 \leq T_{ute} < 5$  °C.



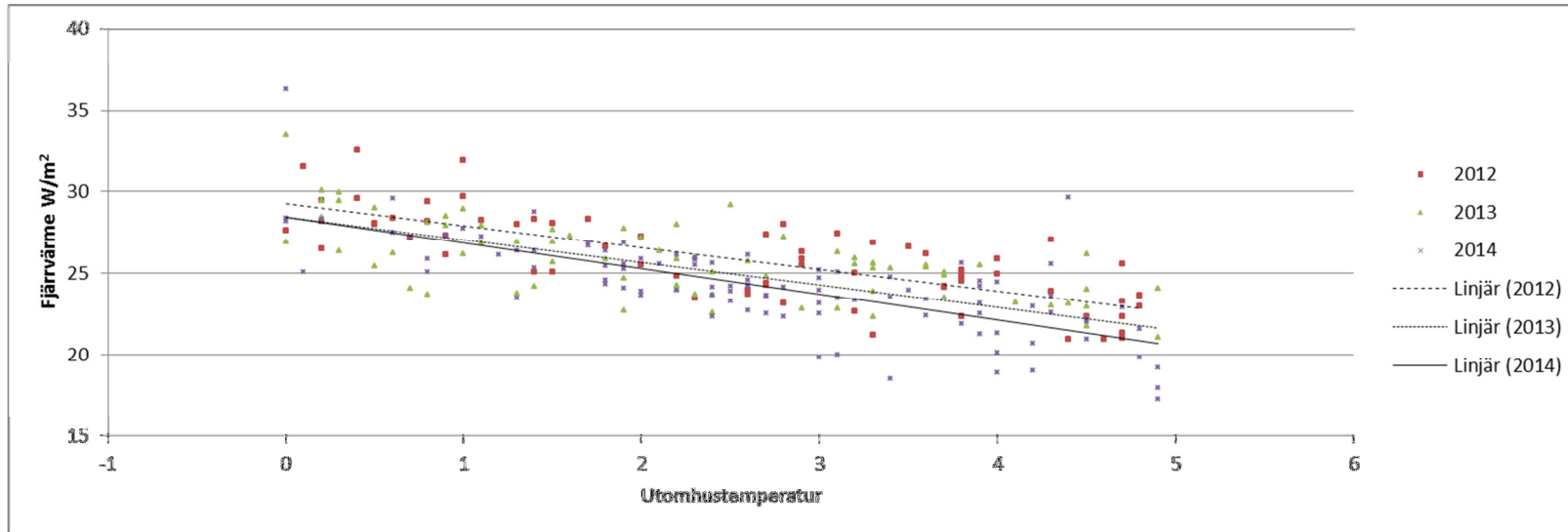
Figur 65 Energisignatur för fastigheten Klippan för mätpunkter där  $5 \leq T_{ute} < 10$  °C.



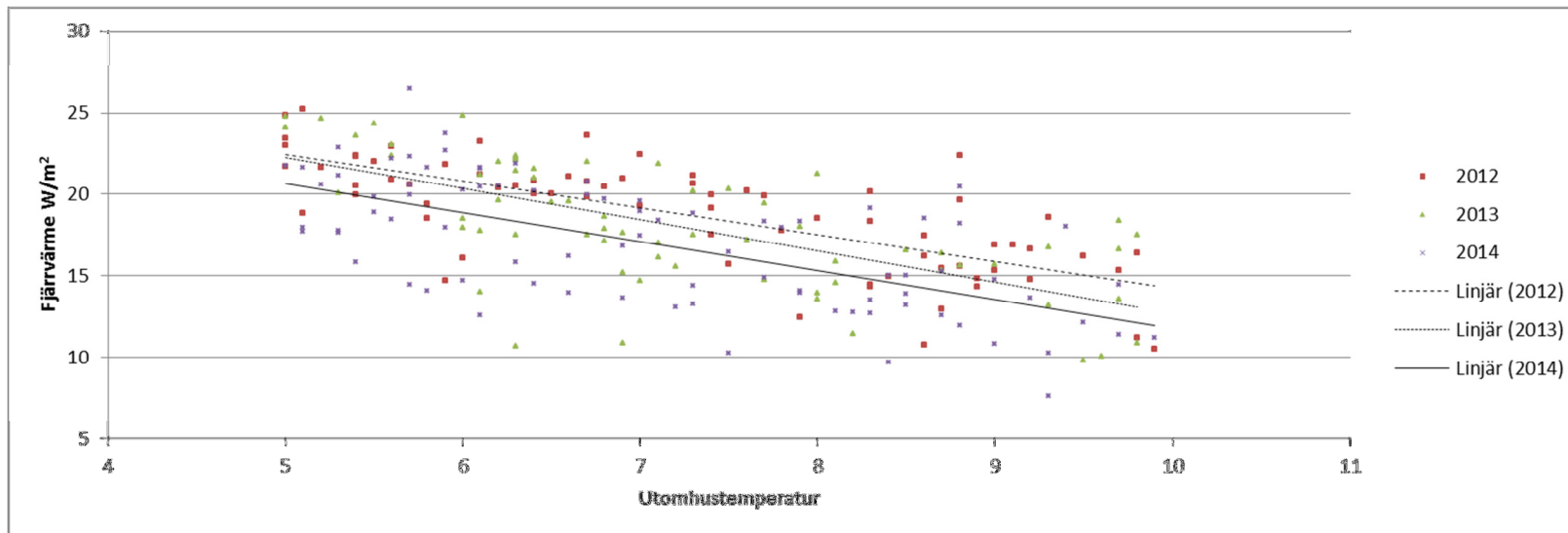
Figur 66 Energisignatur för fastigheten Fasanen för mätpunkter där  $-10 \leq T_{ute} < -5$  °C.



Figur 67 Energisignatur för fastigheten Fasanen för mätpunkter där  $-5 \leq T_{ute} < 0$  °C.



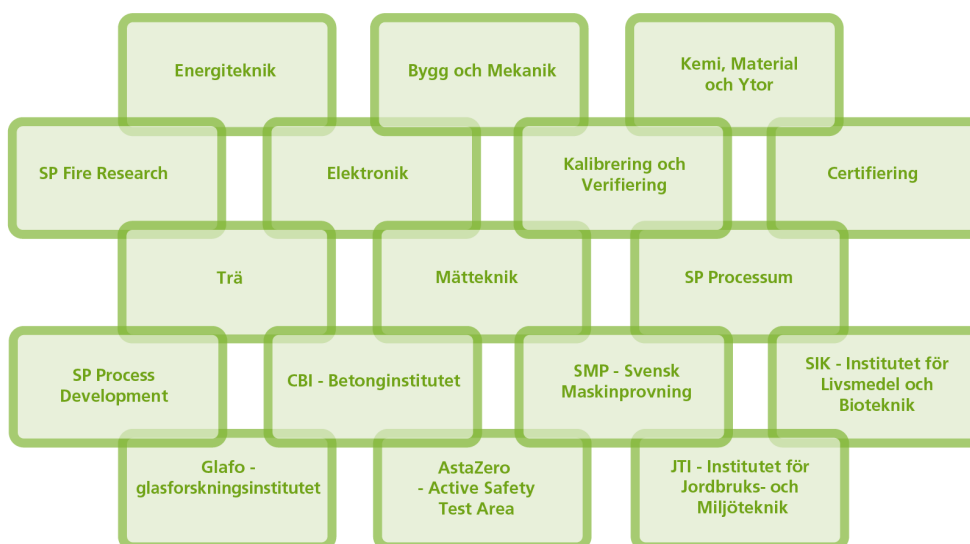
Figur 68 Energisignatur för fastigheten Fasanen för mätpunkter där  $0 \leq T_{ute} < 5$  °C.



Figur 69 Energisignatur för fastigheten Fasanen för mätpunkter där  $5 \leq T_{ute} < 10$  °C.

### SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Vi arbetar med innovation och värdeskapande teknikutveckling. Genom att vi har Sveriges bredaste och mest kvalificerade resurser för teknisk utvärdering, mätteknik, forskning och utveckling har vi stor betydelse för näringslivets konkurrenskraft och hållbara utveckling. Vår forskning sker i nära samarbete med universitet och högskolor och bland våra cirka 10000 kunder finns allt från nytänkande småföretag till internationella koncerner.



### SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Box 857, 501 15 BORÅS

Telefon: 010-516 50 00, Telefax: 033-13 55 02

E-post: [info@sp.se](mailto:info@sp.se), Internet: [www.sp.se](http://www.sp.se)

[www.sp.se](http://www.sp.se)

Mer information om SP:s publikationer: [www.sp.se/publ](http://www.sp.se/publ)

SP Arbetsrapport 2015:28

ISBN 978-91-88001-57-3

ISSN 0284-5172