



Fältnätningar för att demonstrera ny teknik för värmepumpssystem

Pia Tiljander, Caroline Haglund Stignor, Monica Axell

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Field measurements to demonstrate new technology for heat pump systems

Pia Tiljander, Caroline Haglund Stignor, Monica Axell

Abstract

Field measurements to demonstrate new technology for heat pump systems

Within the frames of this project there are ongoing measurements of five different heat pump facilities used for space heating and tap water in single-family houses. The measurements started during the first part of 2010 and were finished by May 31 2011. The measurements reported in this work are from the period June 1, 2010 – May 31, 2011. The purpose of the measurements is to show the potential of heat pump technology in order to raise the acceptance of the technology, and through raised acceptance increase the penetration of the technology into new markets.

The project also results and conclusions will also be used as basic data and guidelines for constructors and installers.

The project is not intended to grade individual heat pumps from various suppliers regarding efficiency. A field study is not well suited for comparison between different heat pumps, since there are too many hard-to-control variables (outdoor climate, usage pattern, construction of the building, installation solution, kind of heat pump system) that affect the performance of the heating system. Results from field studies should therefore never be used for comparisons. Comparative studies should be carried out in a laboratory, where parameters that affect the result can be controlled.

The project started with a mapping of the Swedish heat pump market in order to obtain a baseline when selecting the different heat pump facilities that should be included in the field study. The selection was made together with the heat pump manufacturers, with a focus on selecting the best possible technology and to include different technologies. Another important criterion for the selection was to find households that agreed to participate in the study. Included in the study are two buildings with geothermal heating, one with geothermal heating combined with solar panels, one brine/water heat pump connected to a ground storage combined with solar panels, and one building with an air/water heat pump combined with solar panels.

Simultaneously with selecting suitable households, a selection of the equipment used in the field measurement was carried out. The equipment for the field measurements was chosen with the purpose of obtaining high accuracy in the measurements and to be able to collect the data by remote sensing. It was also a requirement to have equipment that restarts after a power failure.



SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

Box 857, 501 15 BORÅS

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

E-post: info@sp.se, Internet: www.sp.se

www.sp.se

Energiteknik

SP Rapport 2011:

ISBN

ISSN 0284-5172

Mer information om SP:s publikationer: www.sp.se/publ

The data collected in the project are temperature (Pt-100 sensors) and volume flow (by induction with pulse output) on heat carriers and tap water, as well as electrical energy (electrical energy meter with pulse output) which the heat pumps and circulation pumps uses. The indoor and outdoor temperature is also measured. All the measured values are collected by remote sensing.

Seasonal performance factor, SPF, energy coverage ratio, energy savings and CO₂ reduction were calculated for the heat pump systems.

This study shows that there is a potential of energy savings and CO₂ reduction by using heat pump technology. Energy savings are up to 75% of the supplied heat. CO₂ reductions are influenced of which type of heating system the heat pump system is compared to, and how the electric energy is produced. In this work the heat pump system has been compared to electrical radiators and oil heaters. Two different types of electrical energy, Sweden mix and coal condensing power, have been considered in the calculations.

All sites in this study give an even, comfortable indoor temperature and there is a linear relationship between heat demand for space heating and ambient temperature. The need for space heating starts at ambient temperatures between 12°C and 17°C, depending on the construction of the building.

SPF for system boundary 4 was calculated to 4.0 - 2.5 for the different sites. The SPF value varies considerably, depending on how the boundary systems are defined. When reporting results from field measurements, it is important to state which electrical components that are included in the analyses.

SPF decreases with decreased needs of space heating. Since low energy houses will be more common in the future, there will be an increased demand for heat pumps with lower capacities. These heat pumps will also be of importance for markets with a warmer climate. It will also be important that circulation pumps and fans are speed-controlled and that they only run when needed.

When evaluating heat pump systems is important that, together with the SPF value, consider other performance indicators, such as energy demand, energy coverage ratio, CO₂ emissions, availability etc. This is most important for heating systems where a heat pump is combined with other heat sources.

Key words: värmepumpssystem, fältmätningar, SPF, energibesparing, energitäckningsgrad, koldioxidreduktion,

SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut
SP Technical Research Institute of Sweden

SP Report 2011:69
ISBN 978-91-87017-01-8
ISSN 0284-5172
Borås 2011

Innehållsförteckning / Contents

Abstract	3
Innehållsförteckning / Contents	5
Förord / Preface	7
Sammanfattning / Summary	8
1 Bakgrund	10
2 Syfte och mål	11
3 Genomförande	12
3.1 Val av anläggningar	12
3.2 Beskrivning av anläggningar	12
3.2.1 Anläggning 1	13
3.2.2 Anläggning 2	14
3.2.3 Anläggning 3	15
3.2.4 Anläggning 4	17
3.2.5 Anläggning 5	18
3.3 Val av mätutrustning	19
3.3.1 Val av givare	19
3.3.2 Loggning och mätöverföring	19
3.4 Installation av mätutrustning	20
3.4.1 Temperaturmätning i rör med Pt 100-givare	20
3.4.2 Flödesgivare	20
3.4.3 Elenergimätare	21
3.4.4 Givare för mätning av inomhus- och utomhustemperaturer	21
3.4.5 GPRS basstation	22
3.5 Mätplan	22
3.6 Utvärdering	22
3.6.1 Systemgränser	23
3.6.1.1 Nomenklatur	23
3.6.1.2 Definitioner av systemgränser	23
3.6.2 Beräkning av värmefaktor	24
3.6.3 Beräkning av energitäckningsgrad	25
3.6.4 Beräkning av energibesparing	25
3.6.5 Utvärdering av koldioxidreduktion	25
3.6.5.1 Jämförelse med direktel	26
3.6.5.2 Jämförelse med oljeeldning	26
4 Resultat	28
4.1 Anläggning 1	28
4.1.1 Värmebehov	29
4.1.2 Systemvärmefaktor	31
4.1.3 Energibesparing och koldioxidreduktion	32
4.2 Anläggning 2	33
4.2.1 Värmebehov	33
4.2.2 Systemvärmefaktor	37

4.2.3	Energibesparing och koldioxidreduktion	38
4.3	Anläggning 3	39
4.3.1	Värmebehov	41
4.3.2	Systemvärmefaktor	42
4.3.3	Energibesparing och koldioxidreduktion	44
4.4	Anläggning 4	45
4.4.1	Värmebehov	46
4.4.2	Systemvärmefaktor	47
4.4.3	Energibesparing och koldioxidreduktion	49
4.5	Anläggning 5	49
4.5.1	Värmebehov	51
4.5.2	Systemvärmefaktor	53
4.5.3	Energibesparing och koldioxidreduktion	54
4.6	Mätosäkerhet	55
4.6.1	Givarnas mätosäkerhet	55
4.6.2	Övriga orsaker till mätosäkerhet	55
4.6.3	Mätosäkerhet vid beräkningar	56
5	Slutsatser	58
6	Nomenklatur	60
7	Referenser	61

Förord / Preface

Denna rapport är en slutgiltig rapport för projektet ”Field measurements to demonstrate new technology for heat pump systems” som bedrivits av SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Projektet har finansierats av Energimyndigheten via kollektivforskningsprogrammet effsys2. Värmepumpstillverkare med Sverige som marknad, byggbranschen och SVEP har bidragit med erfarenhet, kompetens, arbetstimmar och finansiering.

Vid effsys2 programmets avslut i juni 2010 pågick fältmätningar på 5 stycken värmepumpsystem installerade i lika många enfamiljshus. Mätningarna hade då pågått olika länge i anläggningarna och i ett fall hade endast 5 veckors mätningar utförts varför det var svårt att dra slutsatser från mätresultaten. Vid effsys2 programmets slut skrevs en preliminär slutrapport (SP-RAPP 2010-48) där resultat redovisas från de mätningar som dithills utförts. Analyser och kommentarer till resultaten redovisades i de fall det var möjligt.

I denna slutgiltigas rapport presenteras resultat från ovanstående fältmätningar efter att de pågått i minst ett år i samtliga anläggningar. Mätperioden som presenteras är från 1/ 6 2010 t.o.m. 31/5 2011 och samtliga resultat samt analyser/diskussioner baseras på denna tidsperiod.

Sammanfattning / Summary

Fältmätningar har utförts på fem olika värmepumpsanläggningar avsedda för rumsuppvärmning och värmning av tappvarmvatten i enfamiljshus. Mätningarna startade under våren 2010 och avslutades 31 maj 2011. Den mätperiod som redovisas i detta arbete är 1 juni 2010 t.o.m. 31 maj 2011. Mätningarna har främst till syfte att demonstrera potentialen för den värmepumpande tekniken för att öka acceptans för tekniken och på så sätt öka implementeringen på nya marknader.

Projektet syftar dessutom till att erfarenheter och resultat från projektet ska kunna användas som underlag och riktlinjer för konstruktörer och installatörer.

Projektet har inte haft som ambition att gradera enskilda värmepumpsmodeller/-fabrikat avseende effektivitet. En fältundersökning lämpar sig inte för att jämföra olika värmepumpar eftersom för många yttre faktorer (utomhusklimat, brukarbeteende byggnadens konstruktion, installationsförhållanden, systemlösning etc.) har en stor inverkan på värmesystemets prestanda. Provning i laboratoriemiljö under väl definierade förhållanden krävs för att jämförande provning ska bli korrekt.

Projektet startade med att en kartläggning av den svenska värmepumpsmarknaden, i syfte att erhålla en grund för urvalet av de värmepumpsanläggningar som ingår i fältstudien. Urvalet gjordes tillsammans med värmepumpstillverkarna och fokus var bästa möjliga teknik och att olika systemlösningar skulle ingå i studien. Ytterligare kriterium vid urvalet var att husägarna var positivt inställda till att mätningar utförs på deras anläggningar. I studien ingår två bergvärmepumpsystem, ett bergvärmepumpsystem kombinerat med solfångare, en vätska/vatten värmepump, kopplad till ett marklager, kombinerad med solfångare samt en luft/vattenvärmepump kombinerad med solfångare.

Parallellt med ovanstående urvalsarbete skedde också val av mätutrustning för att uppnå hög mätnoggrannhet och därmed god kvalitet på mätningarna. Dessutom var fjärravläsning av mätvärdena ett krav liksom att mätningarna skulle starta automatiskt efter strömavbrott.

I projektet mäts temperaturer (Pt-100 givare) och flöden (induktionsmätare med pulsutgång) på värmebärare och tappvarmvatten samt den elenergi (elenergimätare med pulsutgång) som värmepumparna och cirkulationspumparna förbrukar. Dessutom mäts inom- och utomhustemperaturer. Samtliga mätvärden loggas och fjärravläses via dator.

Resultaten från mätningarna används för att bestämma värmesystemets årsvärmefaktor (SPF) och energitäckningsgrad samt elenergibesparing och koldioxidreduktion jämfört med uppvärmning med direktel.

Denna fältstudie visar att det finns en potential för energibesparing och koldioxidreduktion genom att använda värmepumpande teknik. Energibesparingen är upp till 75% av det totala värmebehovet. Besparingen i växthusgaser är mycket beroende av vilken alternativ uppvärmningsmetod som värmepumpssystemet jämförs med och hur den använda elenergin producerats. I detta arbete har besparing i koldioxidekvivalenter jämförts med uppvärmning av direktverkande el eller

oljeeldning beräknats. Beräkningarna har gjorts för två typer av elproduktion, Sverigemix och kolkondens.

Samtliga anläggningar i studien ger jämna och behagliga inomhustemperaturer och värmebehovet för rumsuppvärmning har ett linjärt samband med utomhustemperaturen. Behovet av rumsuppvärmning startar mellan 12 och 17°C beroende på byggnadens konstruktion.

Årsvärmefaktorerna för systemgräns 4 beräknades till mellan 4,0 och 2,5 för de olika anläggningarna. Årsvärmefaktorn skiljer förhållandevis mycket beroende på hur anläggningens systemgräns definieras. Det är därför viktigt att alltid redovisa vilka komponenters elanvändning som inkluderats när resultat från fältmätningar på värmepumpsanläggningar analyseras.

Värmepumpens SPF minskar med minskat behov av rumsuppvärmning. Eftersom utvecklingen går mot NNE-hus kommer behovet av värmepumpar med lägre kapacitet att öka på småhusmarknaden. Detta kommer också att gälla för marknader med varmare klimat. Dessutom blir det viktigt att cirkulationspumparna är varvtalsstyrda och att de styrs efter behov.

Vid utvärdering av värmepumpsystem prestanda är det viktigt att även beakta andra nyckeltal än SPF, speciellt när värmepumpen kombineras med annan värme. Andra viktiga nyckeltal är energiförbrukning, energitäckningsgrad, utsläpp växthusgaser, drifttid etc.

1 Bakgrund

Europaparlamentets och Europarådets direktiv 2009/28/EG (RES-direktivet) om ökad användning av förnybar energi som röstades igenom av Europaparlamentet i december 2008 syftar till att öka användandet av förnybar energi på ett resurseffektivt sätt inom den Europeiska Unionen. Detta kommer bland annat att leda till att utvecklingen av nya energi- och kostnadseffektiva tekniker stimuleras, vilket gynnar värmepumpande teknik

I Sverige har marknadsintroduktionen för värmepumpsystem avsedda för enfamiljshus varit framgångsrik och fältstudier, utförda av SP, har visat att flertalet slutanvändare är nöjda med sina system. Goda erfarenheter från Sverige har bidragit till en positiv syn på värmepumpar i Europa och allt fler länder anser att användandet av värmepumpande teknik är ett av de mest kostnadseffektiva sätten att uppnå de nationella åtaganden avseende ökad energieffektivitet, ökad användning av förnybar energi och minskade koldioxidutsläpp. Samtidigt som intresset för värmepumpsystem ökar pågår det en debatt om värmepumpars effektivitet och tillförlitlighet. Inom EU och IEA belyses vikten av att demonstrera dagens bästa teknik i syfte att tillföra fakta till debatten och för att öka implementeringen av ny teknik på nya marknader.

Sverige ligger i framkant när det gäller kompetens inom värmepumpsområdet och det är viktigt för de svenska tillverkarna att visa att de även är i framkant avseende utveckling av energieffektiva och tillförlitliga värmepumpsystem. Demonstration är ett effektivt sätt för de svenska tillverkarna att kommunicera budskap om energibesparing, användande av förnybar energi, tillförlitlighet och potential för koldioxidreduktion, dels för att få en fortsatt acceptans för svenskt kunnande inom värmepumpsområdet och dels för att stärka svenska värmepumps- tillverkares position på den europeiska marknaden.

Fördelen med demonstrationsprojekt i fält är dessutom att tillverkarna erhåller erfarenhetsåterföring som kan användas för att få systemen ännu mer effektiva.

Följaktligen är det viktigt att visa potentialen för värmepumpande teknik, det vill säga visa hur effektiva olika värmepumpsystem kan vara. Detta för att säkra fortsatt tillväxt för svensk värmepumpsteknik på både svensk och europeisk marknad.

2 Syfte och mål

Syftet med denna studie var att, genom demonstration, öka kunskapen om och visa potentialen med värmepumpande teknik för rums- och tappvarmvattenvärmning. Projektet har haft fokus på att belysa dagens bästa teknik i syfte att öka acceptansen för värmepumpsystem i Europa och på så sätt bidra till en fortsatt tillväxt för svensk värmepumpsindustri på den europeiska marknaden.

Huvudmålet med projektet var att få fram underlag på hur effektiva dagens bästa värmepumpsystem kan vara i faktiska installationer i småhus i Sverige, baserat på tillförlitliga mätningar, för att visa på teknikens potential.

Ett delmål var att utveckla en mätmetodik för fältmätningar och nästa delmål var sedan att utföra fältmätningar på värmepumpsanläggningar, avsedda för enfamiljshus, med hjälp av denna metodik. Viktiga parametrar att ta i beaktande vid fältmätningar är bl. a. yttre faktorer, systemutformningen och mätutförande, d.v.s. placering och installation av givare och mätintervall. Resultaten från fältmätningarna skulle användas till att beräkna årsvärmefaktor, energitäkningsgrad, energibesparing och koldioxidreduktion relativt alternativ uppvärmningsform.

Erfarenheter och resultat från projektet ska kunna användas som underlag och riktlinjer för konstruktörer och installatörer.

Ytterligare ett mål med detta projekt är att resultaten skall kunna användas till ett internationellt projekt inom IEA Heat Pump Programme där fältmätningar får olika länder utvärderas och redovisas.

Syftet med detta projekt har inte varit att jämföra och gradera enskilda värmepumpsystem eller fabrikat avseende effektivitet. En fältmätning lämpar sig inte för jämförande provning eftersom de yttre faktorerna skiljer sig för de olika värmepumpsystemen. Exempel på sådana yttre faktorer är byggnadens konstruktion, väderförhållanden, brukarbeteende, värmeanläggningens systemlösning, installation av värmepumpen och installation av mätinstrument. För att erhålla en korrekt jämförelse mellan olika system och fabrikat måste provning ske under kontrollerade former i laboratorium alternativt i identiska hus, placerade i samma klimat och väderstreck med ett identiskt brukarbeteende. Det senare är mycket svårt, om inte omöjligt, att realisera.

3 Genomförande

En fältstudie av fem olika värmepumpsystem i enfamiljshus har pågått från våren 2010 och fram till sommaren 2011. Genomförandet av detta projekt utfördes enligt följande metodik:

- Val av anläggningar i samarbete med tillverkare
- Val av mätmetod och mätutrustning
- Mätning
- Analys
- Rapportering

3.1 Val av anläggningar

Eftersom fokus var på dagens bästa teknik gjordes urvalet tillsammans med värmepumps- tillverkarna som har föreslagit anläggningar där deras senaste produkter varit installerade. En variation i systemlösningar eftersträvades vid urvalet. Ett viktigt kriterium vid urvalet har dessutom varit att anläggningsägaren varit positiv till medverkan i projektet. Urvalsarbetet har i detta projekt varit tidskrävande eftersom det inte finns många anläggningar i bruk med tillverkarnas senaste teknik där dessutom anläggningsägarna varit positiva till att mätningar ska utföras på deras anläggningar. I ett fall installerades värmepumpsystemet så sent som i maj 2010.

Mätningarna har påbörjats vid olika tidpunkter för de olika anläggningarna med start för den första anläggningen 100208. Mätningarna på den sista anläggningen startade 100527. I denna rapport redovisas resultat från mätperioden 100601 t.o.m. 110531.

3.2 Beskrivning av anläggningar

I fältstudien ingick värmepumpar från värmepumpstillverkare med marknad i Sverige. Samtliga värmepumpsystem är installerade i enfamiljshus och används för uppvärmning av rum och tappvarmvatten. Värmepumparna är placerade i södra Sverige (från Stockholm och söderut). Samtliga anläggningar är placerade i klimatzon 3 enligt Boverkets Byggregler BBR18. Enligt Meteonorms indelning ligger samtliga anläggningar i klimatzon 3 förutom en som är placerad i klimatzon 4. Klimatdata från Meteonorm för de orter där värmepumpsanläggningarna är placerade finns i appendix 1. Tre av anläggningarna har ett värmesystem som består av en värmepump kombinerat med en solfångare.

Beskrivning av anläggningarna är sammanfattade i Tabell 3.1.

Tabell 3.1 Sammanfattning anläggningsdata

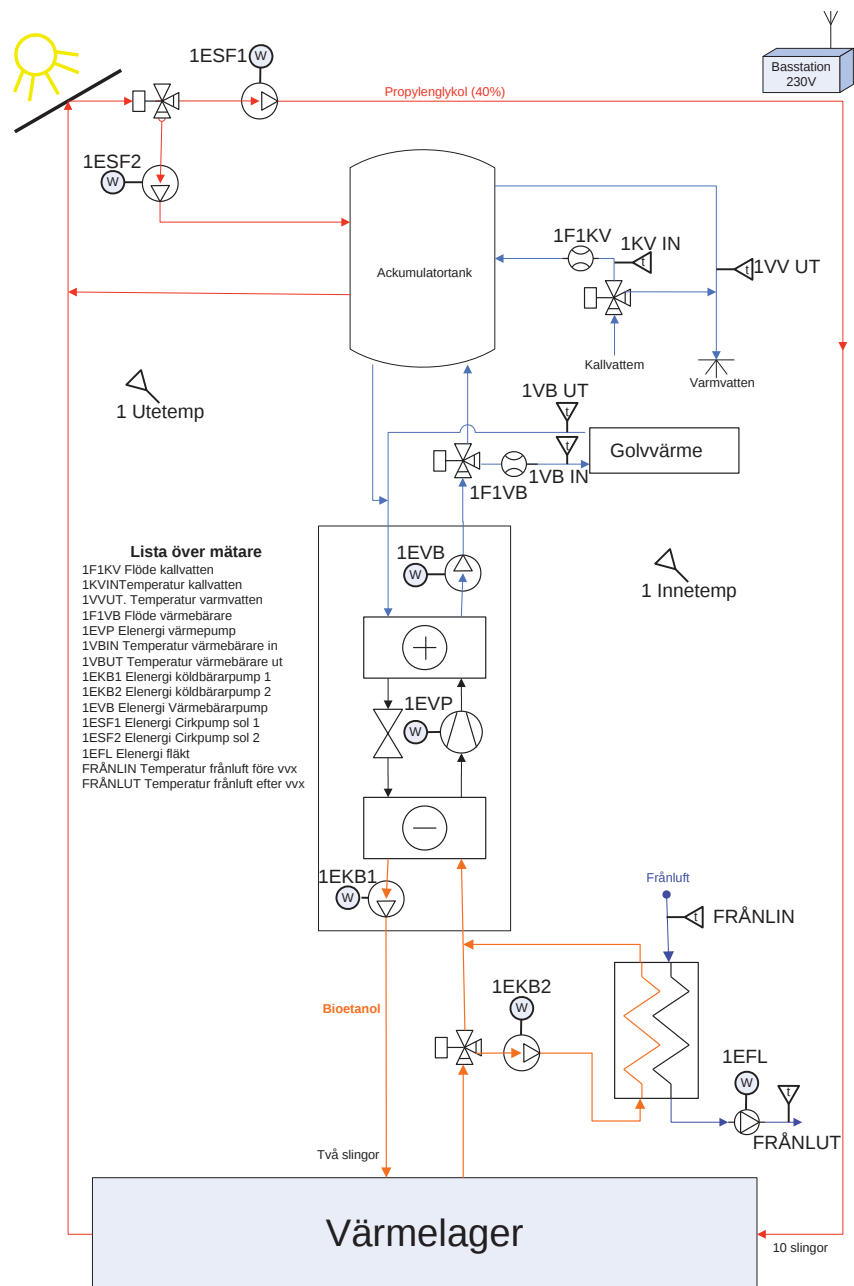
Anläggningsdata					
Anläggning	1	2	3	4	5
Klimatzon	3	3	3	3	3
Årmedeltemperatur °C	7,6	7,6	7,6	8,3	7,5
Fastighet	1 plan 222 m ² 2008	2 plan 140 m ² + 140 m ² 1991	1 1/2 plan 200 m ² + 54 m ² 2008	1 1/2 plan 120 m ² + 70 m ² 2009	1 1/2 plan 100 m ² + 100 m ² 2009
Installationår VP	2008	2010	2008	2009	2009
Uppvärmning	Vätska /vatten Värmepump med marklager + Solfångare	Luft /vatten Värmepump + Solfångare	Bergvärmepump	Bergvärmepump	Bergvärmepump + Solfångare
Värmesystem	Golvvärme	Golvvärme	Golvvärme BV Radiatorer ÖV	Golvvärme BV Radiatorer ÖV	Golvvärme BV Radiatorer ÖV
Tillförd värmemängd (kWh)	13200	23800	25000	15400	12000

3.2.1 Anläggning 1

Huset som denna anläggning är placerad i ett lågenergihus som är byggt inom ett försöksprojekt med målet att skapa ett boende med lågt behov av köpt energi för rumsuppvärmning och tappvarmvattenuppvärmning. Huset är en enplansvilla byggt 2008, med en boyta på 222 m² och ett integrerat garage på 67 m². Huset har många vinklar och olika takhöjder. Hela huset inklusive garaget har golvvärme. I hushållet bor 2 vuxna personer.

En vätska/vatten värmepump på 6 kW hämtar huvuddelen av sin värme från ett värmelager i marken under huset. Detta värmelager värms av en solfångare på 29 m². Solfångaren värmer dessutom en ackumulatortank, vilken i sin tur förser både golvvärmerna och tappvarmvattnet med värme. Om temperaturen i tanken överstiger 90 °C eller är högre än solfångarens temperatur tas överskottsvärmen tillvara genom att värmen leds ned till marklagret för att vintertid återvinnas med hjälp av värmepumpen. Värmepumpen alternerar mellan att värma det cirkulerande vattnet i golvslingorna eller vattnet i ackumulatortanken via en växelventil. Varmvattnet värms i en slinga placerad inuti ackumulatortanken. Värmning av ackumulatortanken via solpanelerna görs också genom en slinga.

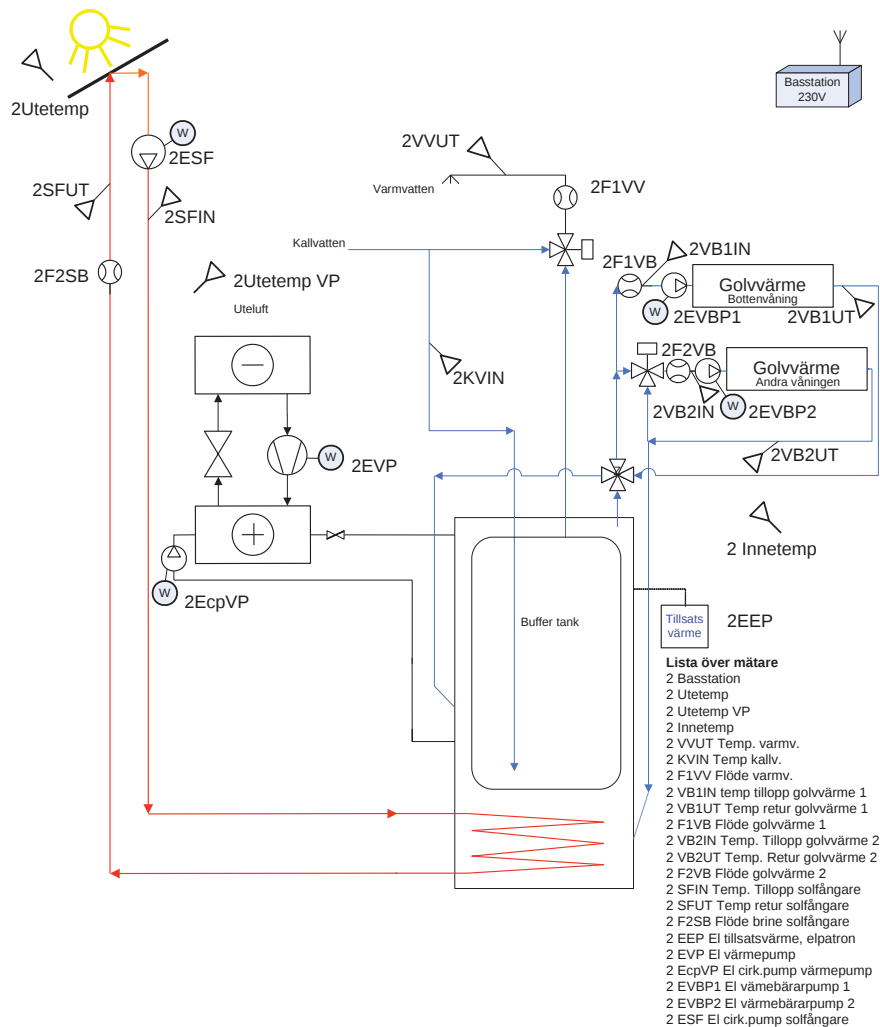
Temperaturen på köldbäraren in till värmepumpen höjs genom värmeväxling med byggnadens utgående frånluft och på så sätt återvinns en del av värmen i frånluften. Värmesystemet har ingen tillsatsvärme förutom solvärmerna. Se Figur 3.2-1 som är en schematisk skiss över värmesystemet i anläggning 1.



Figur 3.2-1 Schematisk skiss av anläggning 1. Samtliga mätgivare är inritade i skissen.

3.2.2 Anläggning 2

Huset som denna anläggning är placerad i är en suterrängvilla, byggd 1991, med 2 plan på 140 m² vardera. Huset har golvvärme i båda planen. Hushållet består av 2 vuxna och 2 barn i tonåren.

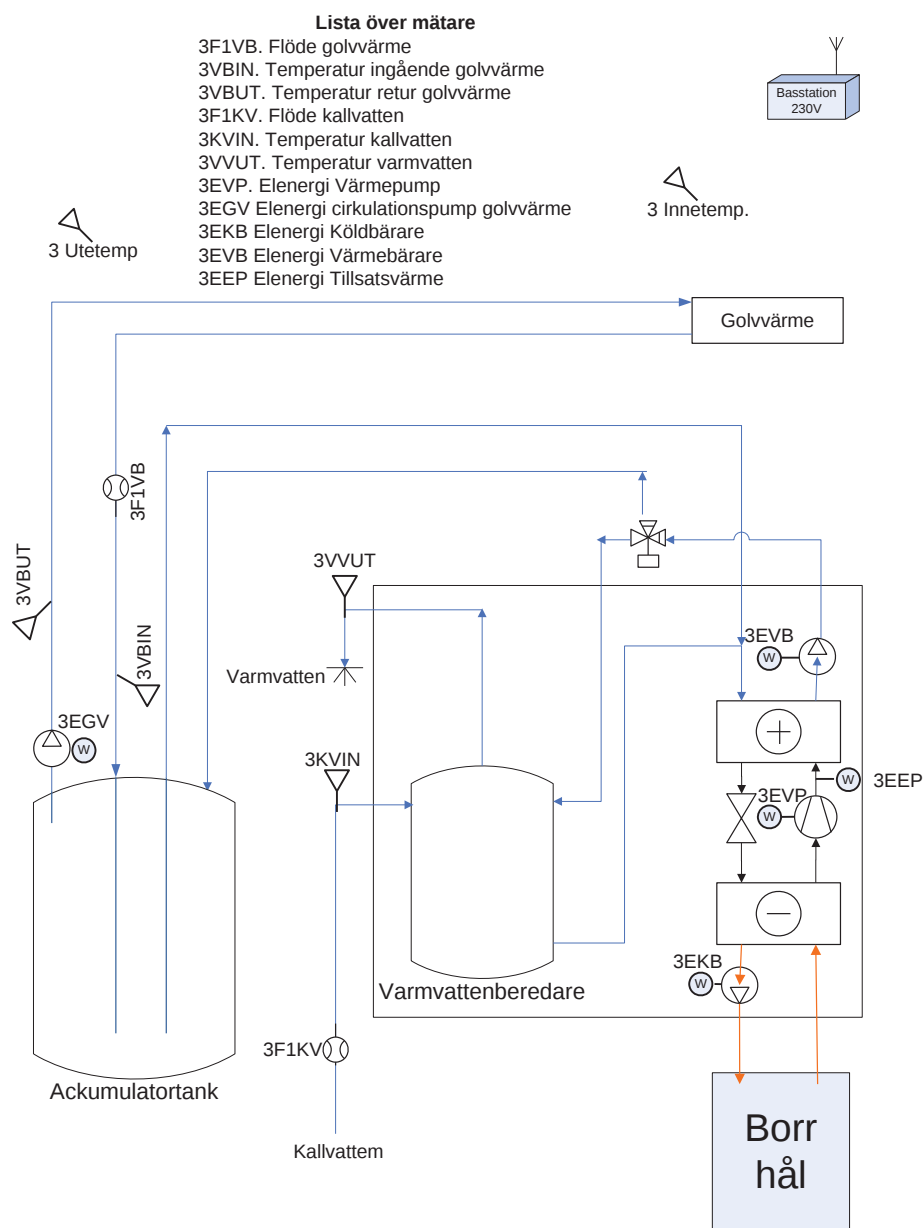


Figur 3.2-2 . Schematisk skiss av anläggning 2. Samtliga mätgivare är inritade i skissen

Värmesystemet (se Figur 3.2-2) består av en luft/vatten-värmepump på 14 kW och en solfångare på 10 m² som båda är kopplade till en ackumulatortank, på 500 liter, som är isolerad med ett 90 mm tjockt polyuretanskumskikt. Ackumulatortanken har en nedre och en övre del, på 250 liter vardera, som är termiskt isolerade mot varandra för att minska värmeledning. Värmepumpen alternativt solvärmen växlar mellan att ladda ackumulatortankens nedre del (golvvärmevatten) respektive övre del (tappvarmvatten). Cirkulationspumparna i anläggningen är varvtalsstyrda lågenergipumpar som stängs av när de inte behövs. Värmepumpen har tillsatsvärme i form av en elpatron men den har varit avstängd under hela mätperioden. Systemet är helt nytt och installerades i maj 2010.

3.2.3 Anläggning 3

Huset som denna anläggning är placerad i är en 1- och 1/2-plansvilla, byggd 2008, med golvvärme i båda plan. Entréplanet är 200 m² och det övre planet är 54 m². Hushållet består av 2 vuxna.

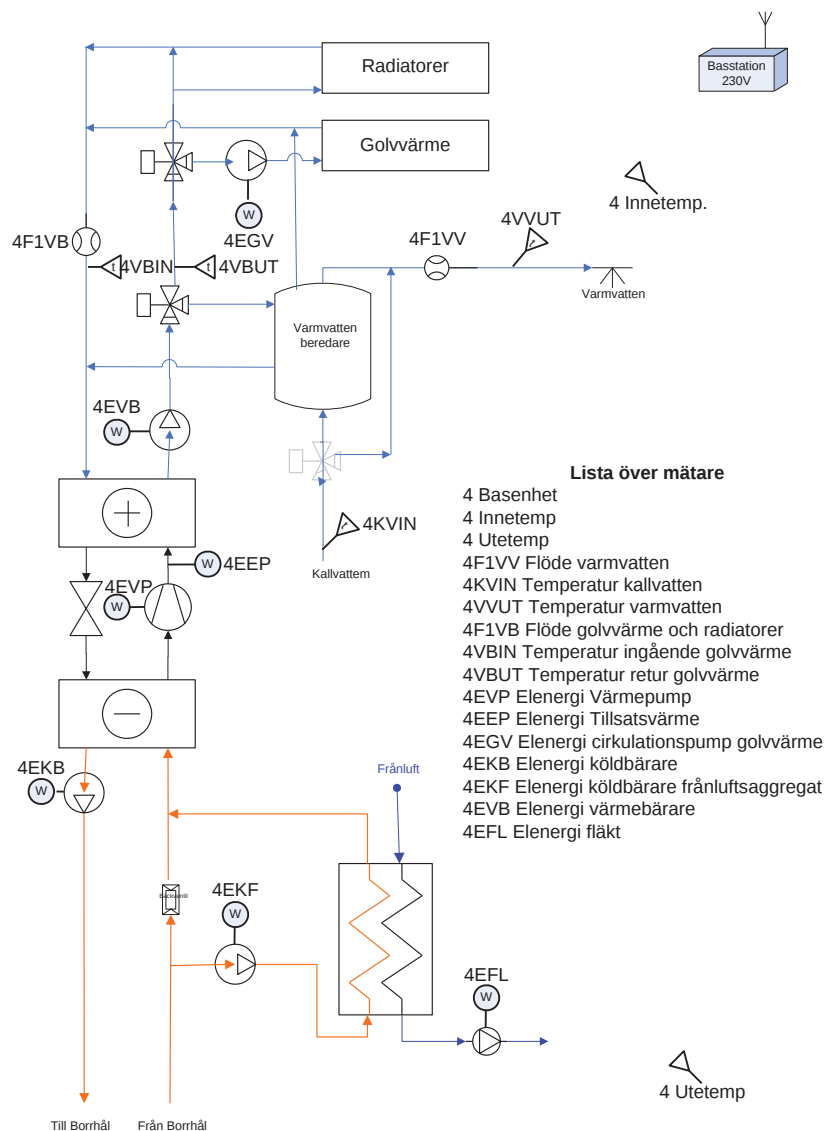


Figur 3.2-3 Schematisk skiss över anläggning 3. Samtliga mätagivare är inritade i skissen.

Värmesystemet (se Figur 3.2-3), som består av en bergvärmepump (9 kW) som styrs med utomhusgivare kompletterad med rumsgivare. Värmepumpen har en inbyggd varmvattenberedare på 185 liter. En arbetstank för värmesystemet på 100 liter är dessutom kopplad till värmepumpen. Denna har fyra anslutningar till golvvärmesystemet, två returrör som går till botten och två tillopp som sitter högst upp i tanken. Värmepumpen och arbetstanken är placerade i ett fristående garage. Värmevattnet och tappvarmvattnet leds genom en kulvert under marken till huvudbyggnaden. Garaget värms inte med värmepumpen utan med separata elradiatorer. Värmepumpen har tillsatsvärme i form av en elpatron.

3.2.4 Anläggning 4

Denna anläggning är placerad i en 1-och 1/2-plansvilla, byggd 2009, med en yta på 108 m² i nedre planet och 77 m² i övre. Det nedre planet har golvvärme medan det övre planet har radiatorer. I hushållet bor 2 vuxna och 2 barn.

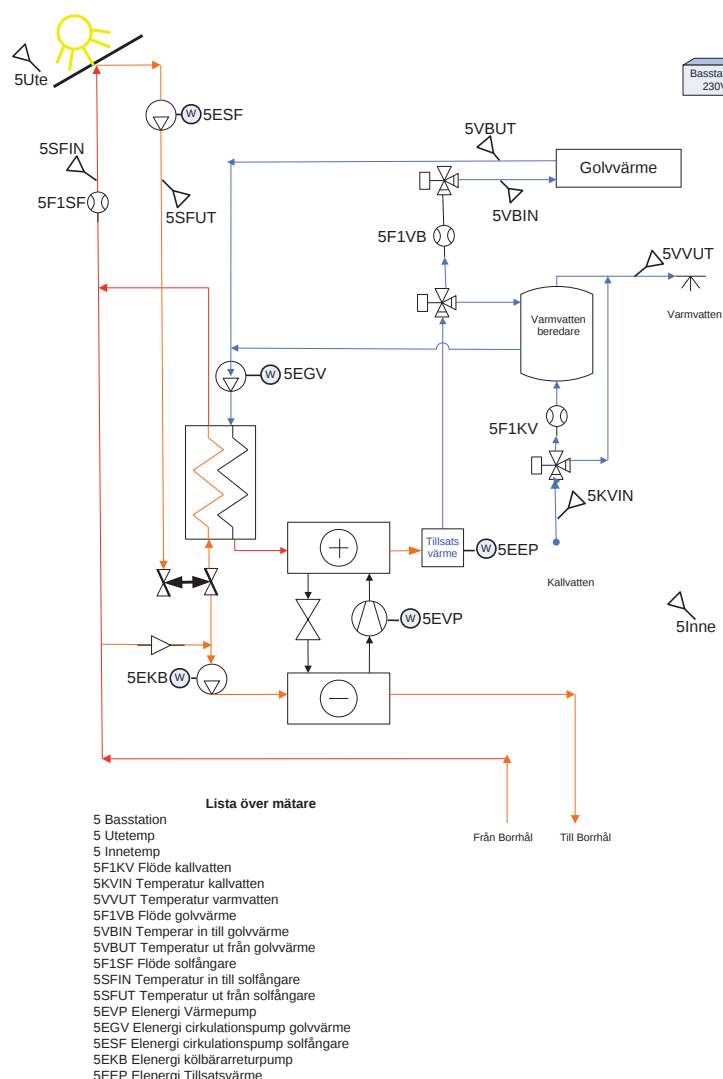


Figur 3.2-4 Schematisk skiss över anläggning 4. Mätgivarna är inritade i skissen.

En bergvärmepump på 6 kW, som styrs av både utomhus och inomhustemperatur, värmer värmebäraren till golvvärmen och radiatorerna och vattnet i en varmvattenberedare (180 liters kopparfordrad tank med laddslina) för tappvarmvatten. Temperaturen på köldbäraren in till värmepumpen höjs genom värmeväxling med byggnadens utgående frånluft och på så sätt återvinns en del av värmen i denna. Alla cirkulationspumpar är lågenergipumpar och köldbärarpumpen styrs av värmepumpen (on/off reglerad). Golvvärmepumpen är varvtalsreglerad och behovsstyrd. Värmepumpen har tillsatsvärme i form av en elpatron.

3.2.5 Anläggning 5

Denna anläggning är placerad i en 1- och 1/2-plansvilla med 100 m² i varje plan, byggd 2009, med golvvärme i det nedre planet och radiatorer i det övre planet. Det finns planer på att koppla in värme till ett fristående garage till värmepumpen, men detta är ännu ej genomfört. Hushållet består av 2 vuxna och två små barn.



Figur 3.2-5 Schematisk skiss över anläggning 5. Mätgivarna är inritade i skissen.

Värmesystemet (Figur 3.2-5) består av en bergvärmepump på 8 kW och en solfångare på 8 m² i ett integrerat system som förser både värmebäraren till golvvärmen och tappvarmvatten med värme. Eventuell överskottsvärme från solfångaren ackumuleras i borrhålet. Styrningen bygger på en utomhustemperaturkompenserad kurva, det vill säga flytande kondensering. På grundval av utomhustemperaturen väljer styrsystemet en framledningstemperatur. Med utgångspunkt av skillnaden mellan är- och börvärde samt tiden räknar styrsystemet ut ett integralvärde. Vid injusterat integralvärde finns start och stoppunkter.

Varmvattnet styrs via start och stoppvärde. Varmvattenberedaren är dubbelmantlad (300 liter i tappvarmvattenvolym och 160 liter i dubbelvattenvolym). Cirkulationspumparna i värmesystemet är reglerbara i tre hastigheter, som kan ändras manuellt. Värmepumpen har tillsatsvärme i form av en elpatron.

3.3 Val av mätutrustning

I detta projekt har mätutrustningen valts med omsorg för att få tillräckligt låg mätosäkerhet och därmed en god kvalitet på mätningarna. I mätningarna i fält mäts i huvudsak temperaturer och flöden på värmebärare och tappvarmvatten samt den elenergi som värmepumparna och cirkulationspumparna förbrukar. Dessutom mäts inom- och utomhus-temperaturer. Relativ ångkvot (relativ fuktighet, RH) utomhus mäts vid anläggning 2. Ett kriterium vid val av mätutrustning var att flöden och elenergimängd skulle mätas med hjälp av pulser för att säkerställa att tillräckligt låg mätosäkerhet erhålls vid variabla flöden.

Ett viktigt kriterium vid val av mätutrustning var dessutom att mätningarna skulle fjärravläsas, dels för att anläggningarna är geografiskt utspridda i södra Sverige och dels för att husägarna skulle påverkas så lite som möjligt. Det var också viktigt att säkerställa att mätningarna skulle starta automatiskt efter ett strömbrott för att undvika avbrott i mätperioderna.

3.3.1 Val av givare

Följande givare används vid mätningarna:

Elenergi	ABB Elenergimätare 1-fas OD1365, resolution 100 pulser/ kWh ABB Elenergimätare 3-fas OD4165, resolution 100 pulser/ kWh
Temperatur	Pentronic Pt-100 rating A
Flöden	Kampstrup Seneca 9V-MP115, resolution 10 pulser/liter

3.3.2 Loggning och mätöverföring

Mätinformationen överförs trådlöst via GPRS. Överföringen sker med Wisensys mät-system där varje givare kopplas till en sensor som loggar mätvärdena. Information från varje sensor förs sedan över till en basstation som i sin tur sänder, via GPRS, vidare till en webbsida för avläsning. Följande utrustning användes för loggning och informationsöverföring:

Informationsöverföring	Wisensys Basstation WS-BU-GPRS
Pulslogger till elenergi- och flödesmätare	Wisensys WS-DLXt
Logger till Pt-100 givare	Wisensys WS-DLTa-pt100
Logger för digital intern temperatur	Wisensys WS-DLTi
Logger för temperatur och RH	Wisensys WS-DLTc

3.4 Installation av mätutrustning

Samtlig mätutrustning installerades med beaktande att värmeanläggningen skall återställas till ursprungligt skick efter avslutade mätningar. Nedan följer en beskrivning över hur mätutrustningen installerades.

3.4.1 Temperaturmätning i rör med Pt 100-givare

Temperaturmätningen för värmeenergimätning görs med Pt-100 givare och temperaturloggar. En givare för mätning av framledningstemperaturen och en för mätning av returtemperaturen och en givare för kallvatten- samt en för varmvattentemperaturen användes. Givarna placerades så nära mätobjektet som möjligt men samtidigt på tillräckligt avstånd från detta för att erhålla väl omblandade flöden. Dessutom var det viktigt att placera dem på rätt sida ventiler eller annan armatur så att de befinner sig i samma delkrets som tillhörande flödesmätare. Givaren placerades inne i röret i en 90°-krök med spetsen riktad mot flödesriktningen se Figur 3.4-1.



Figur 3.4-1 Exempel på placering av givare för temperatur före isolering av givaren. Den blå lådan är en temperaturlogger. Pt-100 givare för mätning av värmebäraren är i det här fallet installerad där det tidigare satt en 22 press-koppling. Kopplingen ersattes med T koppling 22×22×15 och en förminskning 15×10 för Pt-100 givare.

3.4.2 Flödesgivare

Flödesgivarna placerades på rätt sida ventiler eller annan armatur, så att de befann sig i samma delkrets som tillhörande temperaturmätning. Om utrymme fanns monterades flödesmätaren in på retursidan av värmepumpen alternativt på kallvattenledningen, eftersom den där utsätts för en lägre temperatur samtidigt som risken för kavitation är

mindre. En förutsättning för en korrekt flödesmätning är att vätskan är luft- och gasfri och utan störningar från intilliggande ventiler eller liknande. Kraven på raksträckor före och efter flödesmätaren har uppfyllts i de flesta fall, undantaget ett fåtal fall p.g.a. utrymmesbrist. Raksträckorna skall vara större än $10 \times D$ före givaren och större än $5 \times D$ efter givaren, där D = rörets innerdiameter.



Figur 3.4-2 . Exempel på installation av flödesgivare före isolering. Längst ned till höger i bild syns en låda (kapsling) med inbyggd elenergimätare och pulslogger. För övrigt visas även den andra Pt100-givaren med dess temperaturlogger.

3.4.3 Elenergimätare

Elenergimätare typ ABB OD1365 och OD4165 installerades om möjligt så att display kan avläsas av person som står på golvet. För övrigt följdes tillverkarnas installationsanvisningar. Elmätare inkapslades tillsammans med pulslogger och installerades störningsfritt dvs. inte i direkt anslutning till elmotor, kraftkabel, radiosändare eller liknande.

3.4.4 Givare för mätning av inomhus- och utomhus-temperaturer

Den trådlösa temperaturloggern med inbyggd givare för inomhustemperatur placerades på en representativ plats i huset som inte utsätts för solinstrålning eller kalldrag från entrédörr eller liknande. Om möjligt fixerades den på en plats i överenskommelse med husägaren.

Den trådlösa temperaturloggern med inbyggd givare för utomhustemperatur placerades på en representativ plats, väderskyddad från regn, på husets norrsida. Givaren monterades så att störningar från avluftdon, intilliggande varma väggar eller liknande undviks.

3.4.5 GPRS basstation

Basstationen installerades på lämplig plats fri från störningskällor. Spänningsmatningen var 230V.

3.5 Mätplan

Mätningarna startades i anläggning 1 vecka 6 år 2010 och därefter har mätare installerats i anläggningarna 2 t.o.m. 5 vid olika tidpunkter och installationsarbetet avslutades med anläggning 2 i vecka 20. Följaktligen påbörjades mätningarna i anläggning 2 den 26 maj 2010. Mätningarna i samtliga anläggningar har pågått i minst ett år från och med att anläggning 2 togs i bruk. Mätvärdena har analyserats månadsvis och i denna rapport redovisas mätningar från 100601 t.o.m. 110531. Samtliga mätvärden samplas var 30:e sekund förutom inomhus- och utomhustemperaturer och RH som samplas var 180:e sekund. Mätresultat tankas från basstationen 1 gång i veckan. I projektet mättes följande parametrar:

- Avgiven värmemängd till rumsuppvärmning. Här mäts det vattenflöde som cirkulerar i golvvärmesystemet/radiatorerna samt temperaturerna på flödet före och efter det att värmen avgivits. Värmemängden beräknas ur dessa storheter.
- Värmemängd i det tappvarmvatten som tas från varmvattenberedaren. Här mäts flödet på det kallvatten som värms till varmvatten samt temperaturen på kallvatten respektive varmvatten varefter värmemängden beräknas.
- Avgiven värmemängd från solfångare (anläggning 2 och 5). Även här mäts vätskeflöde och temperaturer för beräkning av värmemängden.
- Tillförd elenergi till värmepumpen (kompressor och styrsystem).
- Tillförd elenergi till tillsatsvärme (gäller ej anläggning 1)
- Tillförd elenergi till samtliga cirkulationspumpar.
- Tillförd elenergi till frånluftsfläkt (anläggning 1 och 4).
- Temperatur inomhus och utomhus.
- Temperaturer köldbärare, stig och retur (anläggning 3 och 5)
- Relativ fuktighet utomhus, RH (anläggning 2)

Mätningarna görs så likvärdigt som möjligt i de olika anläggningarna. Eftersom olika systemlösningar studeras varierar antalet mätpunkter mellan de olika värmesystemen. Även placering av mätare kan variera beroende på utrymmesskäl.

Mätarnas placering framgår av Figur 3.2-1 t.o.m. Figur 3.2-5.

3.6 Utvärdering

De fem anläggningarna har i huvudsak utvärderats genom att värmefaktor (månadsmedelvärde) samt årsvärmefaktor har beräknats. Energibesparing samt koldioxidreduktion jämfört med direktel har beräknats. Dessutom har

koldioxidreduktion jämfört med oljeeldning beräknats. För de anläggningar som har tillsatsvärme i form av elpatron har energitäckningsgraden beräknats.

3.6.1 Systemgränser

Värmefaktorn påverkas av hur systemgränserna för värmesystemet definieras och det är viktigt att redovisa vad som ingår och vad som inte ingår inom systemgränsen.

Värmefaktorn kan beräknas för olika systemgränser beroende på vilka hjälpkomponenter som ingår inom systemgränsen.

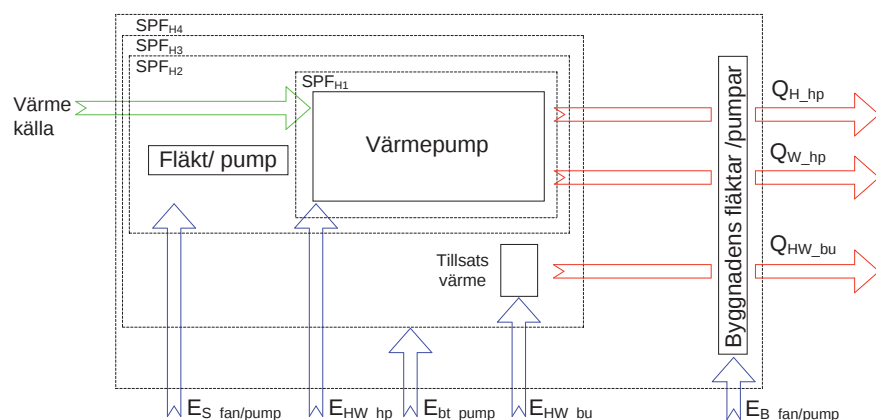
3.6.1.1 Nomenklatur

SPF	Årsvärmefaktor	
Q_H	Avgiven värmemängd till rumsuppvärmning	[kWh]
Q_W	Avgiven värmemängd till tappvarmvatten	[kWh]
Q_{tot}	Totalt avgiven värmemängd, $Q_H + Q_W$	[kWh]
$Q_{H_{hp}}$	Avgiven värmemängd från värmepump till rumsuppvärmning	[kWh]
$Q_{W_{hp}}$	Avgiven värmemängd från värmepump till tappvarmvatten	[kWh]
$Q_{HW_{bu}}$	Avgiven värmemängd från tillsatsvärme	[kWh]
$E_{S_{fan/pump}}$	Tillförd elenergi till köldbärarfläkt/ köldbärarpump	[kWh]
$E_{B_{fan/pump}}$	Tillförd elenergi till värmebärarpump	[kWh]
$E_{bt pump}$	Tillförd elenergi till ackumulatortankpump	[kWh]
E_{bu}	Tillförd elenergi till tillsatsvärme	[kWh]
$E_{HW_{hp}}$	Tillförd elenergi till värmepump (kompressor och styrsystem)	[kWh]
E_{tot}	Total tillförd elenergi till hela värmeanläggningen	[kWh]

3.6.1.2 Definitioner av systemgränser

Vid beräkning av årsvärmefaktor, SPF, definieras systemgränserna, med ett undantag, på samma sätt som i EU projektet SEPOMO-build (2010) och i Figur 3.6-1 visas de olika systemgränserna som används i EU projektet. I SEPOMO build delas värmepumpsystemet in enligt följande systemgränser:

Systemgräns SPF_{H1}	Innefattar endast värmepumpsenheten, d.v.s. kompressor och styrsystem.
Systemgräns SPF_{H2}	Innefattar värmepumpsenheten samt den utrustning som krävs för att distribuera köldbäraren, d.v.s. köldbärarpumpen eller fläkten i utomhusdelen.
Systemgräns SPF_{H3}	Innefattar värmepumpsenheten samt den utrustning som krävs för att distribuera köldbäraren och tillsatsvärme från t.ex. el, sol, eller gas.
Systemgräns SPF_{H4}	Innefattar värmepumpsenheten, den utrustning som krävs för att distribuera köldbäraren, tillsatsvärme samt pumpar/fläktar för att distribuera värmebäraren t.ex. cirkulationspumpar för distribution av vatten till ackumulatortank, varmvattenberedare, golvvärme och radiatorer.



Figur 3.6-1 Systemgränser så som de är definierade i EU-projektet SEPEMO-build.

I detta arbete anses endast avgiven värmemängd till rumsuppvärmning, Q_H och tappvarmvatten, Q_W , vara nyttig värme. Hänsyn tas inte till om avgiven värmemängd genereras från värmepumpen eller från solfångaren.

Tillförd elenergi till fläktar för eventuell frånluftsvärmeväxlare exkluderas vid definitionen av systemgräns SPF_{H4} eftersom många byggnader har mekanisk ventilation oavsett uppvärmningssystem.

3.6.2 Beräkning av värmefaktor

Eftersom olika systemgränslösningar studeras tillämpas olika systemgränsgrenser vid beräkning av värmefaktor. Beräkningarna görs så likvärdigt som möjligt med nedanstående ekvationer.

Systemgräns SPF_{H1} :

$$SPF_{H1} = \frac{Q_H + Q_W - Q_{HW_bu}}{E_{HW_hp}} \quad (1)$$

Systemgräns SPF_{H2} :

$$SPF_{H2} = \frac{Q_H + Q_W - Q_{HW_bu}}{E_{S_fan/pump} + E_{HW_hp}} \quad (2)$$

Systemgräns SPF_{H3} :

$$SPF_{H3} = \frac{Q_H + Q_W}{E_{S_fan/pump} + E_{HW_hp} + E_{HW_bu}} \quad (3)$$

Systemgräns SPF_{H4} :

$$SPF_{H4} = \frac{Q_H + Q_W}{E_{S_fan/pump} + E_{HW_hp} + E_{HW_bu} + E_{B_fan/pump}} \quad (4)$$

Vid beräkning av värmefaktorn för systemgräns SPF_{H3} och SPF_{H4} tas både tillsatsvärme från el och sol i beaktande. Vid beräkningen antas den andel värmemängd som avges från solfångaren till rumsuppvärmning och varmvatten vara tillsatsvärme. Vid varma perioder genererar solfångarna mer värme än vad som

används för rumsuppvärmning och tappvarmvattenvärmning men denna andel tas inte med i beräkningarna av SPF. Soltillskottet ger ofta ett överskott som inte kan tas tillvara fullt ut i ackumulatortanken. I anläggning 1 tas överskottet tillvara i marklagret för att öka temperaturen i detta och därmed värmepumpens verkningsgrad genom att temperaturen på kölbärarsidan då ökar. Anläggning 5 har ingen ackumulatortank, eventuellt överskott ackumuleras i borrhålet.

3.6.3 Beräkning av energitäckningsgrad

Vid beräkning av Energitäckningsgraden, ETG, tas endast den värmemängd som avges från elektrisk tillsats i beaktande. ETG beräknas enligt ekvation 5:

$$ETG = \frac{Q_H + Q_W - Q_{HW_ets}}{Q_H + Q_W} \quad (5)$$

ETG	Energitäckningsgrad	
W_{ets}	Elenergi användning elektrisk tillsatsvärmare	[kWh]
Q_{HW_ets}	Värmemängd från elektrisk tillsatsvärmare	[kWh]

Anläggning 1 har ingen elektrisk tillsatsvärme och anläggning 2 har haft den elektriska tillsatsvärmen frånslagen under hela mätperioden varför energitäckningsgraden för dessa anläggningar är 1.

3.6.4 Beräkning av energibesparing

I detta arbete definieras energibesparingen som skillnaden mellan använd värmemängd för både uppvärmning och tappvarmvatten och värmeanläggningens elenergianvändning. Denna besparing beräknas för systemgräns 4.

$$EB = Q_H + Q_W - E_{H4} \quad (6)$$

E_{H4}	Elenergi användning systemgräns 4	[kWh]
----------	-----------------------------------	-------

3.6.5 Utvärdering av koldioxidreduktion

Den uppmätta energibesparingen har utvärderats ur miljösynpunkt med hjälp av programmet EFFem. EFFem är ett webbaserat miljöutvärderingsverktyg för uppvärmning av byggnader (<http://www.effektiv.org/miljobel/default.asp>). Verktöget är framtaget inom programmet EFFEKTIV som leddes av Elforsk 1999-2003. Under 2008 har EFFem blivit uppdaterat med nya utsläppsdata. För mer information om EFFem hänvisas till programmets hemsida samt de rapporter som ligger till grund för beräkningsprogrammet (Wahlström *et al.*, 2001; Wahlström och Olsson-Jonsson, 2002; Wahlström och Hiller, 2008).

De data som används vid beräkningarna i EFFem är baserade på livscykelinventeringar. Programmet inkluderar utsläpp från hela livscykeln, från

vaggen, när bränslet bryts, via förädling och förbränning fram till det att värmen levereras till byggnaden. Resultaten redovisas uppdelat på miljöpåverkanskategorierna:

- Växthuseffekt
- Försurning
- Övergödning
- Marknära ozon
- Utsläpp av partiklar

I detta projekt har fokus för miljöutvärderingen lagts på utsläpp av växthusgaser, därmed kommer endast resultat relaterade till denna miljöpåverkanskategori att redovisas.

I utvärderingen har de installerade värmepumpsalternativen jämförts med direktel samt med uppvärmning med hjälp av oljepanna som referens.

3.6.5.1 Jämförelse med direktel

Vid jämförelse med direktel antas besparingen i växthusgaser vara skillnaden i koldioxidutsläpp mellan att använda direktel och värmepump. Besparingen i växthusgaser motsvarar därmed den elenergibesparing som beräknas enligt ekvation (6) i avsnitt 3.6.3. Vid jämförelse med elradiatorer används systemgräns 4.

I miljöutvärderingen har två typer av el jämförts (Tabell 3.6.1.):

1. El producerad med svensk elmix (data från 2006)
2. El producerad på marginalen, där marginalproduktion antas vara helt bestående av produktion i kolkondenskraftverk.

Tabell 3.6.1. Koldioxidekvivalenter per kWh el

Koldioxidekvivalenter per kWh el		
		GWP*
		(g CO ₂ -eq/kWh)
Marginal el	100 % kolkondens	1025
Sverige mix	2006	34

* GWP= Global Warming Potential

Påverkan på växthuseffekten har beräknats i EFFem genom att specificera bränslemixen för el i programmet. I de fall där kraftvärmeverk ingår så allokerar EFFem enligt alternativproduktionsmetoden. Distributionsverkningsgraden antas vara 94%.

3.6.5.2 Jämförelse med oljeeldning

Vid jämförelse med uppvärmning med oljepanna antas besparingen i växthusgaser motsvara skillnaden mellan de utsläpp som uppkommer vid oljeeldning och de

utsläpp som orsakas av den el som värmepumpsystemet använder för systemgräns 4. Vid miljöutvärderingen används de två typerna av el som användes vid jämförelse med direktel. D.v.s. besparingen i växthusgaser beräknas enligt följande:

$$COB = (Q_H + Q_W) * GWP_{olja} - E_{H4} * GWP_{el} \quad (7)$$

COB	Besparing i växthusgaser	[kg CO ₂ -eq]
E _{H4}	Elenergianvändning för systemgräns 4	[kWh]
GWP	Global Warming Potential	[kg CO ₂ eq/kWh]

Även för utsläpp av växthusgaser från uppvärmning med oljepanna baseras utsläppsdata på beräkningar i EFFem. Vid framtagning av dessa data inkluderas hela processen från att oljan tas upp ur jorden till och med förbränningen. Verkningsgraden på oljepannan antas vara 82%.

Tabell 3.6.2. Koldioxidekvivalenter per kWh värme

Koldioxidekvivalenter per kWh värme		
		GWP
		(g CO ₂ -eq/kWh)
Oljepanna		350

4 Resultat

Resultatet från denna fältstudie gäller endast för de värmeanläggningar som ingår i projektet vid de förhållanden som varit under mätperioden 2010-06-01 t.o.m. 2011-05-31.

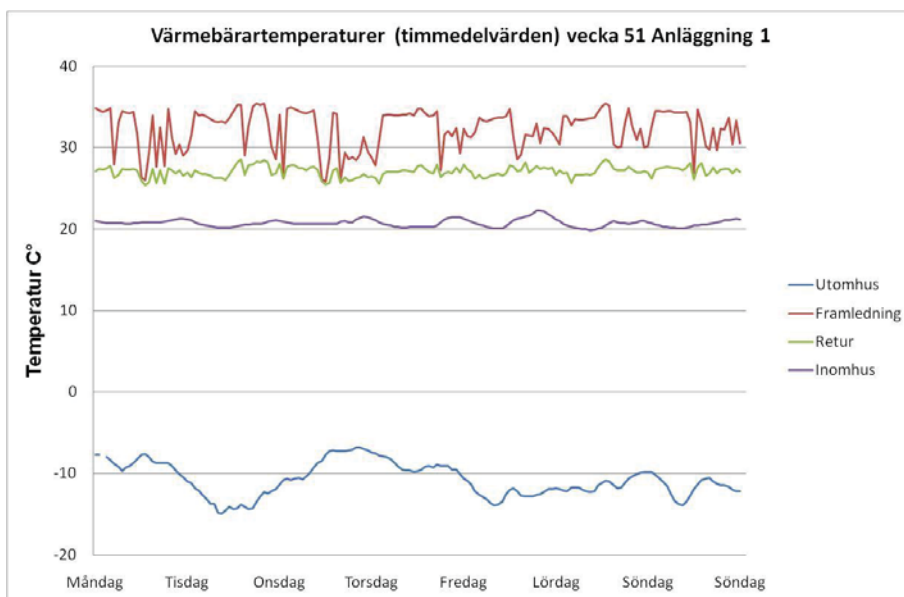
Syftet med denna studie är inte att jämföra de olika värmeanläggningarna med varandra, varför resultaten från fältmätningarna redovisas för varje anläggning separat.

4.1 Anläggning 1

I december och januari var det kallt ovanligt länge jämfört med ett normalår i regionen. Veckomedelvärden av utomhus- och inomhustemperaturer visas i Figur 4.1-1. Vecka 51 var den kallaste i perioden och Figur 4.1-2 visar timmedelvärden av värmebärartemperaturen tillsammans med utom- och inomhustemperaturen för denna vecka. Av figuren framgår att framledningstemperaturen varierar mellan 27 och 35°C och returen ligger runt 27°C. Utomhustemperaturen kröp ner mot -15°C i början på vecka 51 2010.



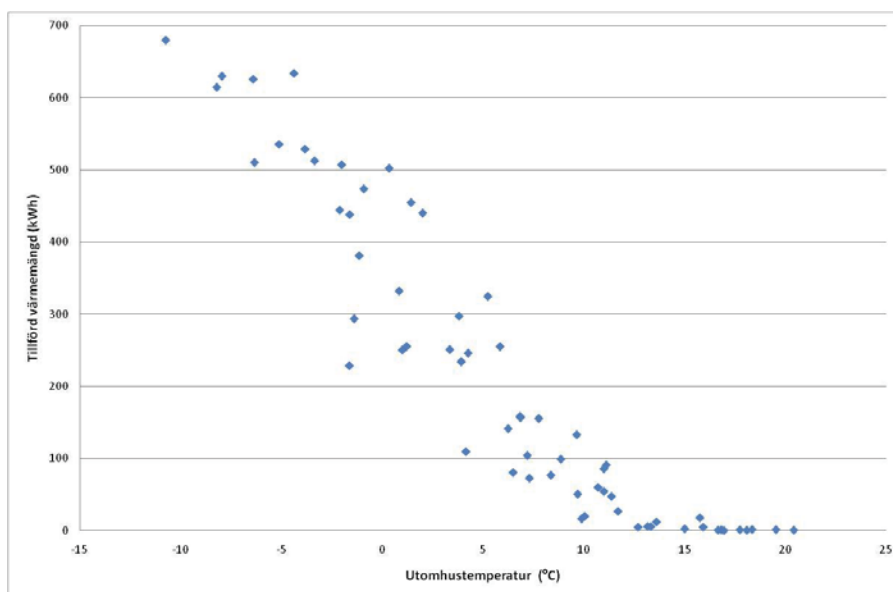
Figur 4.1-1 Veckomedelvärden av inom- och utomhustemperatur.



Figur 4.1-2 Värmebärartemperaturer vecka 51 år 2010. Timmedelvärden

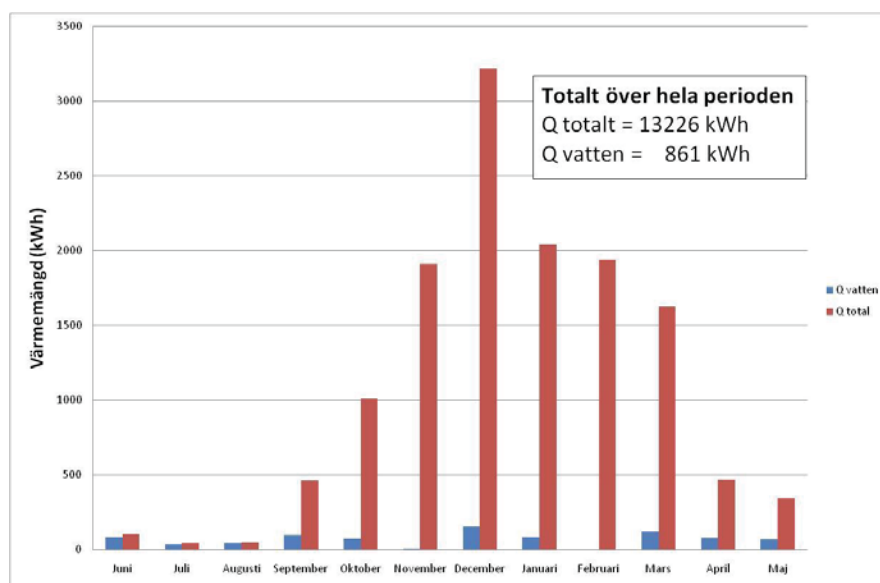
4.1.1 Värmebehov

Energibehovet för rumsuppvärmning och för värmning av tappvarmvatten är lågt för denna försöksvilla. Figur 4.1-3 visar veckomedelvärden av tillförd värmemängd till rumsuppvärmning (Q_H) plottat mot medelvärdet av utomhustemperaturen under de olika veckorna. Trots det för regionen kalla vinterklimatet, och en inomhus-temperatur på 20-21°C, överstiger inte använd värmemängd för rumsuppvärmning 700 kWh någon vecka. Byggnaden har ett uppvärmningsbehov vid utomhustemperaturer under 12-13°C.

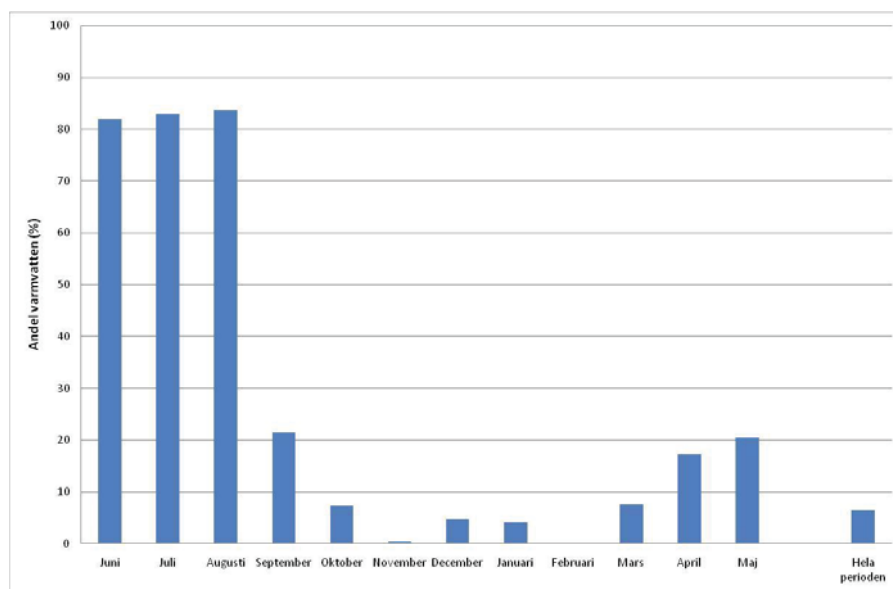


Figur 4.1-3 Tillförd värmemängd plottat mot utomhustemperatur. Veckomedelvärden.

Anläggning 1 finns i ett lågenergihus och den totala tillförda värmemängden under juni t.o.m. maj uppgår till 13226 kWh varav 861 kWh användes till tappvarmvatten. Totalt tillförd värmemängd är 60 kWh/m² boyta och år. Om biytan (i detta fall garaget) inkluderas blir motsvarande siffra 45 kWh/m² och år. Figur 4.1-4 visar hur dessa värmemängder fördelades under året. Figur 4.1-5 visar andel tappvarmvatten i förhållande till total värme. Under sommarmånaderna är andelen värmemängd som används för varmvatten drygt 80% för att sedan sjunka till 20% i september då behov av rumsuppvärmning uppstår. I november och februari är ägarna bortresta och behov av varmvatten saknas.



Figur 4.1-4 Totalt tillförd värmemängd (inklusive tappvarmvatten) samt tillförd värmemängd till tappvarmvatten. Månadsmedelvärden.



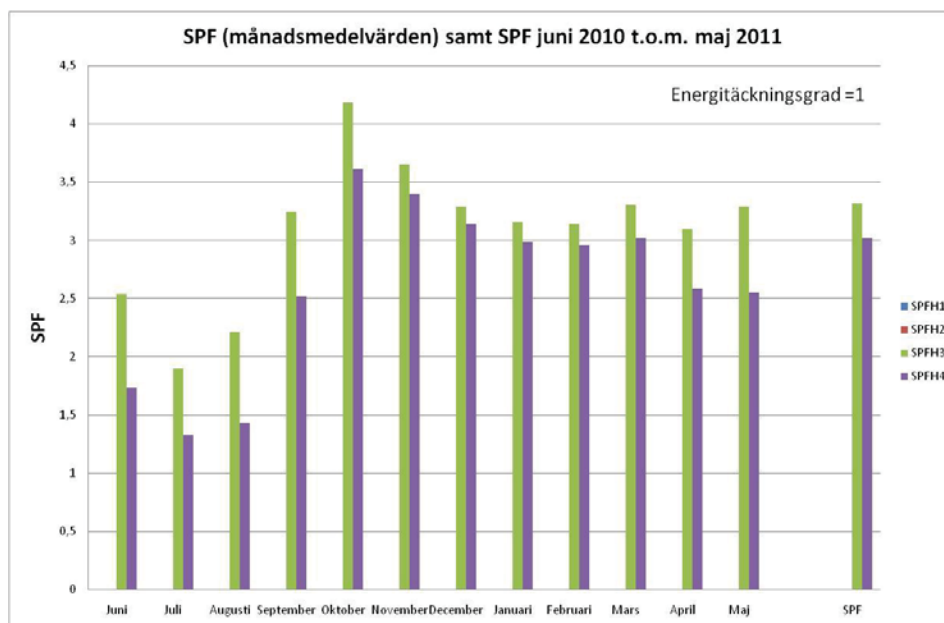
Figur 4.1-5 Andel värmemängd som används till värmning av tappvarmvatten i förhållande till total använd värmemängd. Månadsmedelvärden.

4.1.2 Systemvärmefaktor

Systemvärmefaktorn visar effektiviteten för ett värmepumpsystem. I denna anläggning finns även en solfångare. Eftersom den värme som solfångaren tillför inte har uppmätts separat kan SPF_{H1} och SPF_{H2} inte beräknas för denna anläggning. Vid beräkningen av systemvärmefaktorn tas endast den värmemängd som avges ($Q_H + Q_W$) till rumsuppvärmning och tappvarmvatten i beaktande. Hänsyn tas inte till om värme levererats från solfångaren direkt eller från markvärmelagret via värmepumpen. Figur 4.1-6 visar månadsmedelvärden av värmefaktorer för systemgräns 3 och 4 som definierades i avsnitt 3.6.1.

Vid beräkningen av SPF för systemgräns 3 och 4 ingår följande komponenter (se Figur 3.2-1 för placering av mätgivare):

- SPF_{H3} : Kompressor + styrsystem, kölbärarpumpar samt cirkulationspumpar för solvärme (1EVP, 1EKB1, 1EKB2, 1ESF1, 1ESF2)
- SPF_{H4} : Kompressor + styrsystem, kölbärarpumpar, cirkulationspumpar för solvärme samt värmebärarpumpar (1EVP, 1EKB1, 1EKB2, 1ESF1, 1ESF2, 1EVB)

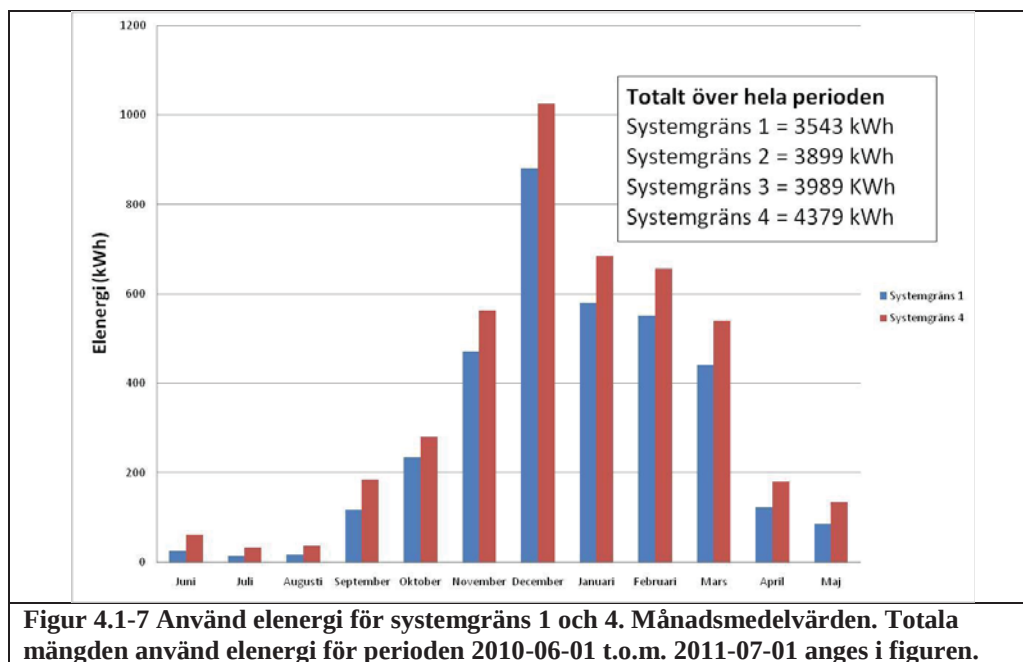


Figur 4.1-6 Systemvärmefaktorer för systemgräns 3 och 4 så som de är definierade i detta arbete. Månadsmedelvärden.

SPF_{H3} är 3,3 och SPF_{H4} är 3,0. Eftersom det totala värmebehovet är lågt i detta hus är värdet på värmefaktorerna lägre än om värmebehovet skulle vara stort. De två värmefaktorerna är trots detta relativt höga. Det är värt att notera att SPF_{H4} är betydligt lägre än SPF_{H3} under sommarmånaderna då värmepumpen långa perioder är ur drift. Detta beror på att värmebärarpumpen fortfarande är i drift. Under sommaren är den totala värmemängden som tillförs för rumsuppvärmning mycket lågt samtidigt som cirkulationspumparna, speciellt värmebärarpumpen, står för en stor andel elenergi. Förhållandet använd värmemängd och tillförd elenergi blir alltså

förhållandevis litet och detta innebär att systemvärmefaktorn blir låg. En möjlighet att öka systemvärmefaktorn sommartid är att stänga av värmebärarpumparna den period då rumsuppvärmning inte behövs.

Under november, december och januari har värmen nästan uteslutande levererats av värmepumpen, solfångaren har inte varit i bruk p.g.a. av att den var täckt med ett snötäcke. Solfångarens drifttimmar ökar markant i april och framåt då cirkulationspumparna för solvärmen arbetar mer. Avgiven värmemängd från solfångaren har inte uppmätts separat i denna anläggning men analys av kompressorns använda elenergi visar att det är troligt att avgiven värmemängd från solfångaren överstiger den använda värmemängden under sommarmånaderna. Under sommarmånaderna är elenergin för värmepumpen (kompressor + styrsystem) mellan 13 och 25 kWh per månad (Figur 4.1-7). Eventuellt överskott från solvärmen levereras till värmelagret.



Figur 4.1-7 Använd elenergi för systemgräns 1 och 4. Månadsmedelvärden. Totala mängden använd elenergi för perioden 2010-06-01 t.o.m. 2011-07-01 anges i figuren.

Figur 4.1-7 visar att den köpta elenergin för denna anläggning är mycket låg. För hela värmesystemet är den 4379 kWh under perioden 100601 t.o.m. 110531. Detta motsvarar 20 kWh/m² boyta och år. Om även garaget inkluderas i byggnadens area innebär det 15 kWh/m² och år.

4.1.3 Energibesparing och koldioxidreduktion

Energibesparingen samt koldioxidreduktion under mätperioden 100601 t.o.m. 110531 har beräknats för systemgräns 4 och resultatet visas i Tabell 4.1. Energibesparingen är 67% av totalt tillförd värmemängd. I Tabell redovisas också besparingen i växthusgaser jämfört med uppvärmning m.h.a. direktverkande el eller oljeeldning. Tabellen visar att besparingen i växthusgaser är mycket beroende av hur elen produceras. Sverige mix som ger ett lågt utsläpp av växthusgaser ger en liten reduktion om direktverkande el ersätts med ett värmepumpssystem. Om värmepumpssystemet drivs med Sverige mix och ersätter oljeeldning och Sverige

mix används blir reduktionen av växthusgaser stor. Jämför man med el producerad i kolkondenskraftverk blir istället CO₂- besparingen stor då värmepumpen ersätter direktverkande el och liten när den ersätter oljeeldning.

Tabell 4.1 Energibesparing och växthusgasreduktion för systemgräns 4. Vid beräkning av reduktion av växthusgaser har värmepumpssystemet jämförts med uppvärmning m.h.a. direktverkande el samt oljeeldning. Två olika elmixer har antagits.

Systemgräns	Elenergi besparing	Elenergi besparing	CO2 reduktion Direktel med kolkondens	CO2 reduktion Direktel med Sverige mix	CO2 reduktion Oljeeldning jämfört med kolkondens	CO2 reduktion Oljeeldning jämfört med Sverige mix
	(kWh)	(%)	(kg CO2-eq)	(kg CO2-eq)	(kg CO2-eq)	(kg CO2-eq)
H4	8847	67	9068	301	141	4480

4.2 Anläggning 2

De tre första veckorna uppmättes inte värmepumpens fläkt separat utan endast kompressor, styrsystem och fläkt tillsammans. Detta innebär att SPF_{H2} inte kan redovisas för juni. Analys av hela periodens mätningar visar att fläktens elenergi är ungefär 10% av den elenergi som används för kompressor och styrsystem. Vid beräkningen av årsvärmefaktorn antas därför använd elenergi, i juni, för fläkten vara 10% av det uppmätta värdet på 2EVP.

Elenergimätaren för cirkulationspump 2EcpPV fungerade inte från start och åtgärdades inte förrän den 11/6 2010. Detta påverkar inte mätningarna eftersom det var mycket soligt de första veckorna av mätperioden varför den tillförda värmemängden i juni tillgodosågs från solfångaren (se Figur 4.2-6). Följaktligen var inte värmepumpen och 2EcpVP i drift de aktuella veckorna.

Under veckorna 31 och 32 finns inga mätvärden på grund av att basstationen inte fick någon eltilförsel. Detta innebär att de uppmätta värmevärdena och elenergierna är lägre för augusti jämfört med verkligheten. Beräkning av årsvärmefaktor och elenergianvändning baseras på 50 veckor istället för 52.

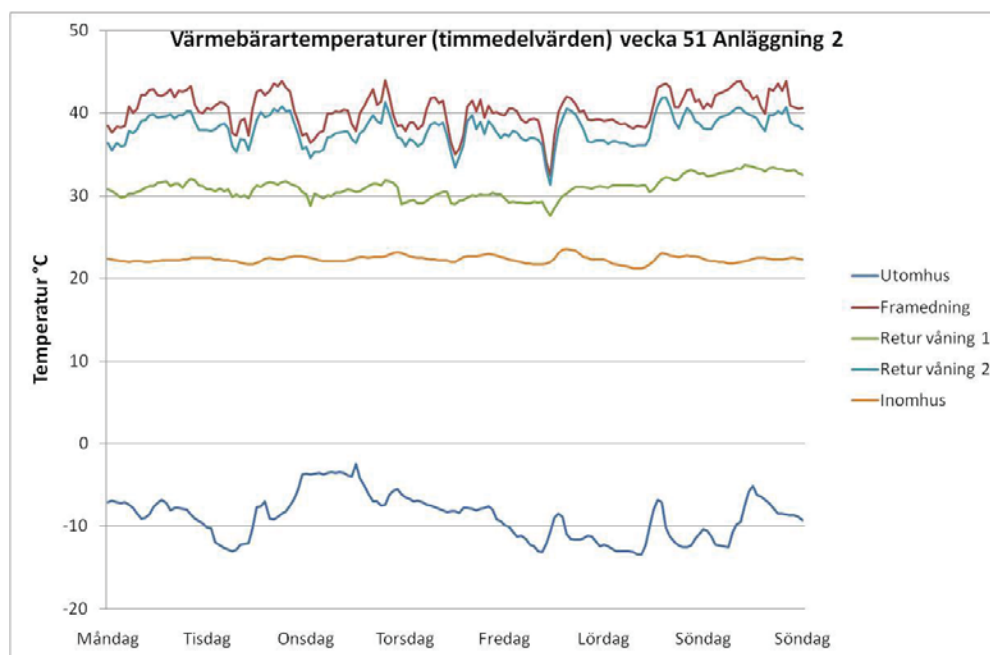
4.2.1 Värmebehov

Veckomedelvärden av utomhus- och inomhustemperaturer visas i Figur 4.2-1 och Figur 4.2-2 visar timmedelvärden av värmebärartemperaturen tillsammans med utom- och inomhustemperaturen i vecka 51 2010. Avbrotten i kurvorna i Figur 4.2-1 beror på bortfallet av mätvärden i vecka 31 och 32.

Värmebärarens framledningstemperatur låg i vecka 51 runt 40°C och returen från bottenvåningen var cirka 30°C. Returtemperaturen var betydligt högre i övervåningen, endast cirka 3°C lägre än framledningstemperaturen.

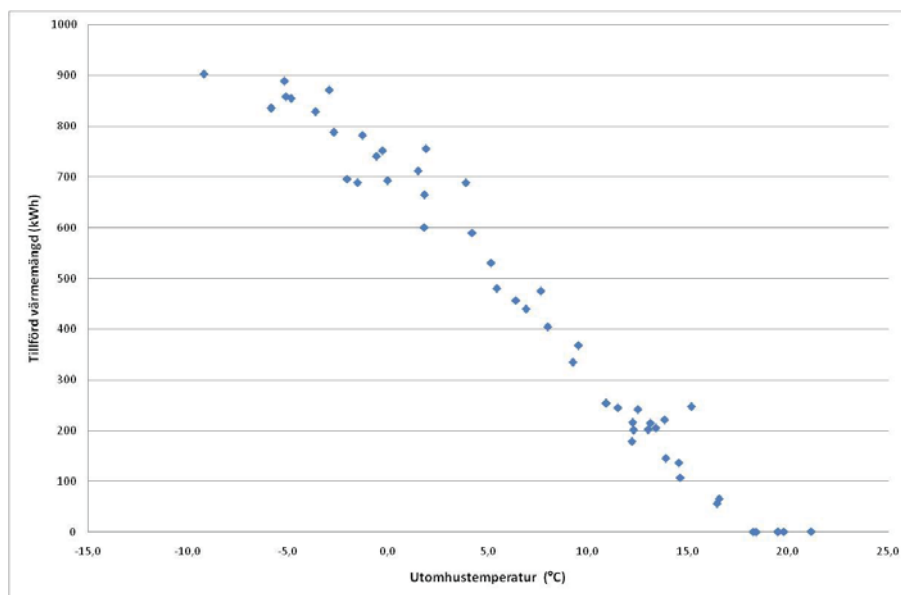


Figur 4.2-1 Veckomedelvärden av inom- och utomhustemperatur.



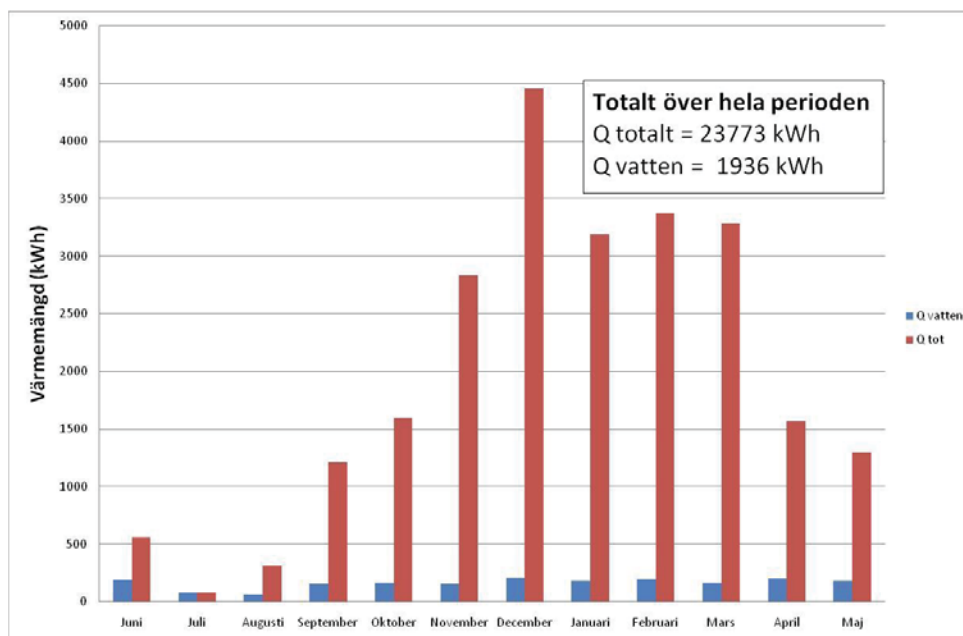
Figur 4.2-2 Värmebärartemperaturer vecka 51 år 2010. Timmedelvärden

Figur 4.2-3 visar veckomedelvärden av tillförd värmemängd till rumsuppvärmning (Q_H) plottat mot medelvärdet av utomhustemperaturen under de olika veckorna. Av figuren framgår det att det finns ett uppvärmningsbehov vid temperaturer under 17°C och att sambandet mellan tillförd värmemängd och temperatur stort sett är linjärt ner till -5°C .

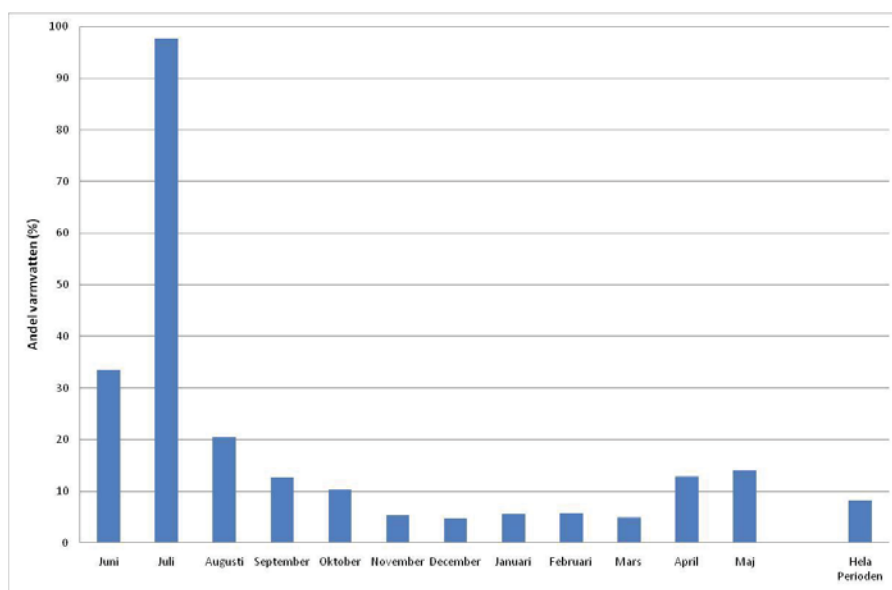


Figur 4.2-3 Tillförd värmemängd plottat mot utomhustemperatur. Veckomedelvärden

Den totala tillförda värmemängden till huset och tappvarmvatten under juni t.o.m. maj uppgår till 23773 kWh varav 1936 kWh till tappvarmvatten (Figur 4.2-4). Detta motsvarar 84 kWh/m² och år. I juli finns nästan inget behov av rumsuppvärmning. Figur 4.2-5 visar andel värme i det använda tappvarmvattnet i förhållande till total värmeanvändning.

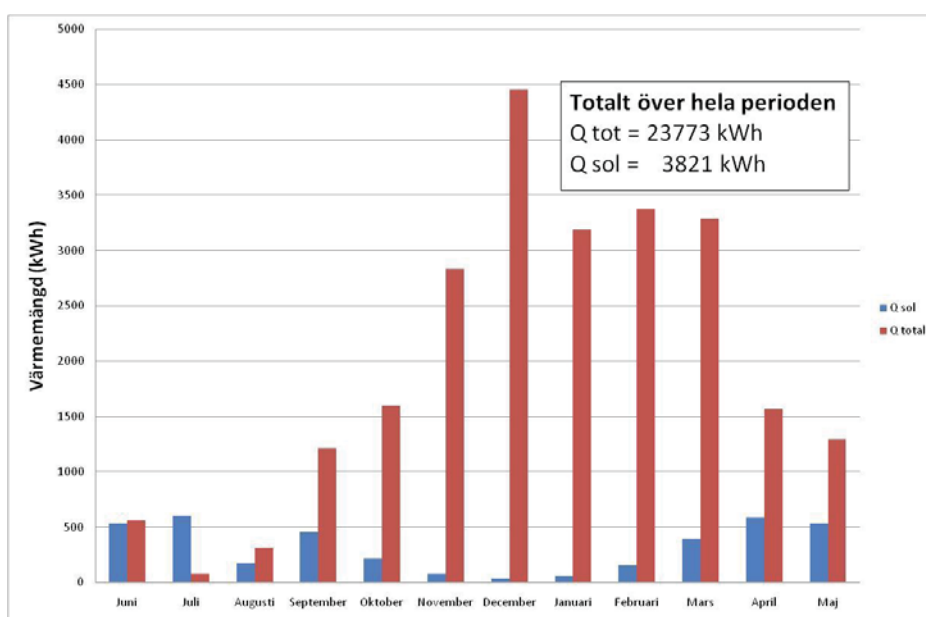


Figur 4.2-4 Totalt tillförd värmemängd (inklusive tappvarmvatten) samt tillförd värmemängd till tappvarmvatten. Månadsmedelvärden.



Figur 4.2-5 Andel värmemängd som används till värmning av tappvarmvatten i förhållande till total använd värmemängd. Månadsmedelvärden.

Figur 4.2-6 visar hur mycket värme solfångaren tillför. Under juni och juli tillförs hela värmebehovet från solfångaren och värmepumpen är inte i drift. Totalt tillför solfångaren 3821 kWh till värmepumpssystemet. Av dessa går 3310 kWh till rumsuppvärmning och tappvarmvatten, det vill säga att differensen mellan den solvärme som kommer huset till nytta och den solvärme som produceras är 511 kWh.. Elenergin för att driva solcirkulationspumpen var totalt 84,2 kWh. D.v.s. att över 3200 kWh är gratis nyttig energi från solfångaren. Solfångaren ökar hela värmesystemets prestanda vilket bland annat visas i **Figur 4.2-7** där SPF ökar för de soliga månaderna för systemgräns 3 som inkluderar solvärmen.



Figur 4.2-6 Totalt tillförd värmemängd samt tillförd värmemängd från solfångare. Månadsmedelvärden.

4.2.2 Systemvärmefaktor

Vid beräkning av systemvärmefaktorn SPF ingår följande eldrivna komponenter i de olika systemgränserna se figur 3.2.1. för placering av mätgivare):

SPF _{H1} :	Kompressor + styrsystem. (2EVP)
SPF _{H2} :	Kompressor + styrsystem samt fläkt utomhusdel (2EVP, 2EFVP)
SPF _{H3} :	Kompressor + styrsystem, fläkt utomhusdel samt cirkulationspumpar för solvärme (2EVP, 2EFVP, 2ESF, 2EEP). Tillsatsvärmen från elpatron (2EEP) var avstängd hela mätperioden varför endast tillskottet från solfångaren är tillsatsvärme för denna anläggning.
SPF _{H4} :	Kompressor + styrsystem, fläkt för utomhusdel, cirkulationspumpar för solvärme samt värmebärarpumpar (2EVP, 2EFVP, 2ESF, 2EEP, 2EcpVP, 2EVBP1, 2EVBP2)

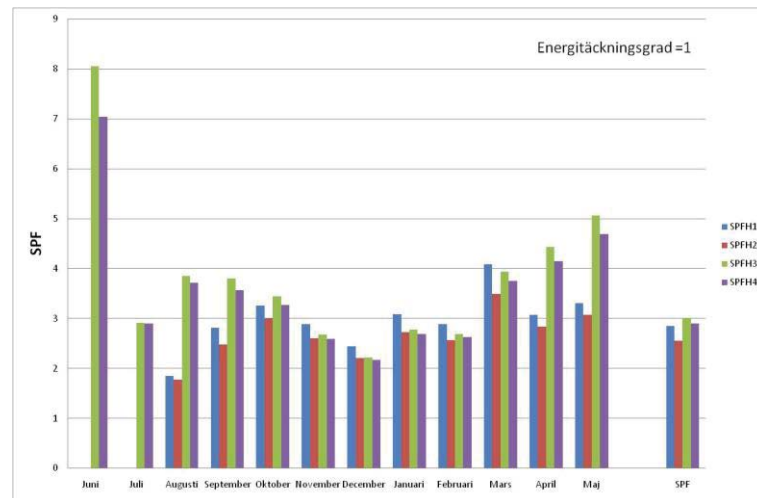
Systemvärmefaktorerna för de olika systemgränserna visas i Figur 4.2-7. SPF är betydligt högre i juni jämfört med de andra månaderna. Värt att notera är att under denna månad var Q_{tot} och Q_{sol} lika stora (Figur 4.2-6). Det totala värmebehovet täcks i princip av värme från solfångaren vilket innebär att värmepumpen inte är i drift och det i sin tur ger ett SPF på 0 för systemgränserna 1 och 2. I juli genererade solfångaren ett mycket stort överskott av värme men värmefaktorn blir lägre på grund av att behovet av rumsuppvärmning var lågt (Figur 4.2-4). I augusti tillförs ungefär hälften av värmen med solfångaren och då får vi ett lågt SPF för systemgräns 1 och 2. Detta beror på att mängden värme som tillförs från värmepumpen är låg samtidigt som cirkulationspumpar för köld- och värmebärare är i drift.

SPF ökar mellan systemgräns 2 och 3. Detta beror på att i detta arbete definieras tillsatsvärme som den värme som inte värmepumpen tillför, d.v.s. solvärmen är tillsatsvärme. Följaktligen blir tillförd värmemängd större för systemgräns 3 än för systemgräns 2 (se ekv. 2 och 3). Dessutom är den elmängd som krävs för att driva solvärmen mycket låg.

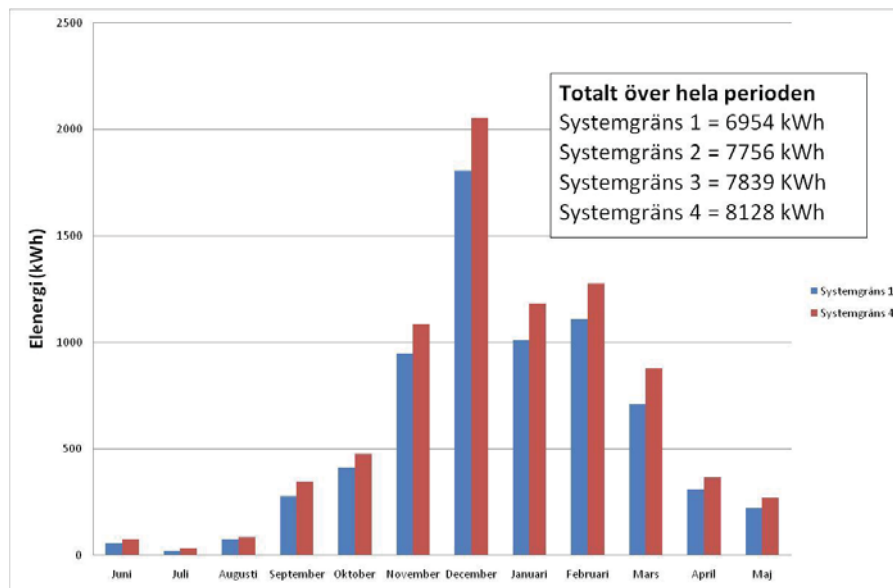
Årsvärmefaktorn varierar mellan 3,0 och 2,6. I december var det mycket kallt och värmefaktorns månadsmedelvärde ligger under 2,5 för denna luft-vattenvärmepump.

Cirkulationspumparna i anläggningen är varvtalsstyrda lågenergipumpar och elenergibehovet för cirkulationspumparna blir mycket lågt. Detta innebär att det blir en liten skillnad i använd elenergi mellan de olika systemgränserna (Figur 4.2-8) och därmed blir minskningen av värmefaktorn relativt liten.

Mängden köpt elenergi (systemgräns 4) under mätperioden är 8128 kWh vilket motsvarar 29 kWh per m² och år.



Figur 4.2-7 Systemvärmefaktorer för de olika systemgränserna så som de är definierade i detta arbete. Månadsmedelvärden.



Figur 4.2-8 Använd elenergi för systemgräns 1 och 4. Månadsmedelvärden. Totala mängden använd elenergi för perioden 2010-06-01 t.o.m. 2011-07-01 anges i figuren.

4.2.3 Energibesparing och koldioxidreduktion

I

Tabell redovisas energibesparing och växthusgasreduktion över hela mätperioden för systemgräns 4. Energibesparingen är 66% jämfört med direktel. När det gäller utsläpp av växthusgaser visar tabellen att utsläppen ökar istället för att minska då värmepumpen ersätter oljepanna och elenergin produceras m.h.a. kolkondens. I detta fall är den tillförda värmemängden drygt 23700 kWh och beräkningar visar att om mer än 8000 kWh el, som produceras i en kolkondensanläggning, används blir CO₂ utsläppen lägre än om huset värms med hjälp av oljepanna. E_{tot} för anläggningen är 8128 kWh för systemgräns 4. Om elenergin med Sverige mix används hade koldioxidreduktionen blivit betydande. När värmepumpssystemet ersätter direktverkande el som är producerad med kolkondens blir minskningen i utsläpp stor.

Tabell 4.2 Energibesparing och växthusgasreduktion för systemgräns 4. Vid beräkning av reduktion av växthusgaser har värmepumpssystemet jämförts med uppvärmning m.h.a. direktverkande el samt oljeeldning. Två olika elmixer har antagits.

Systemgräns	Elenergi besparing	Elenergi besparing	CO2 reduktion Direktel med kolkondens	CO2 reduktion Direktel med Sverige mix	CO2 reduktion Oljeeldning jämfört med kolkondens	CO2 reduktion Oljeeldning jämfört med Sverige mix
	(kWh)	(%)	(kg CO2-eq)	(kg CO2-eq)	(kg CO2-eq)	(kg CO2-eq)
H4	15644	66	15861	526	-71	7984

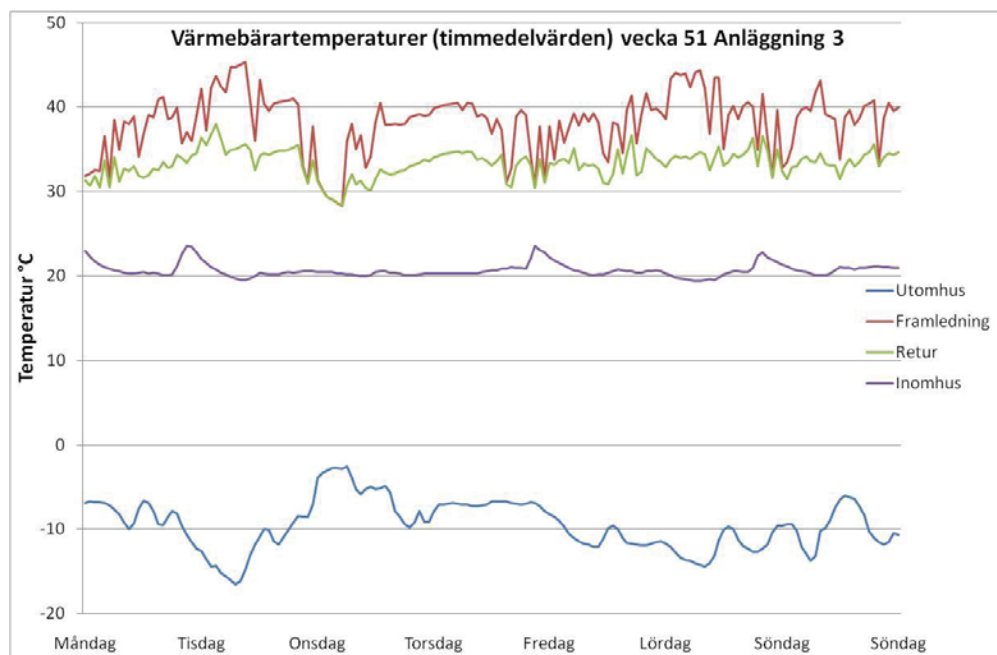
4.3 Anläggning 3

Figur 4.3-1 visar utom- och inomhustemperaturer för anläggning 3 för mätperioden 100601 t.o.m. 110531 och Figur 4.3-2 visar värmebärartemperaturerna i vecka 51 2010. Värmebärarens framledningstemperatur fluktuerar mellan 30 och 45°C. Returtemperaturen ligger mellan 30 och 35°C.

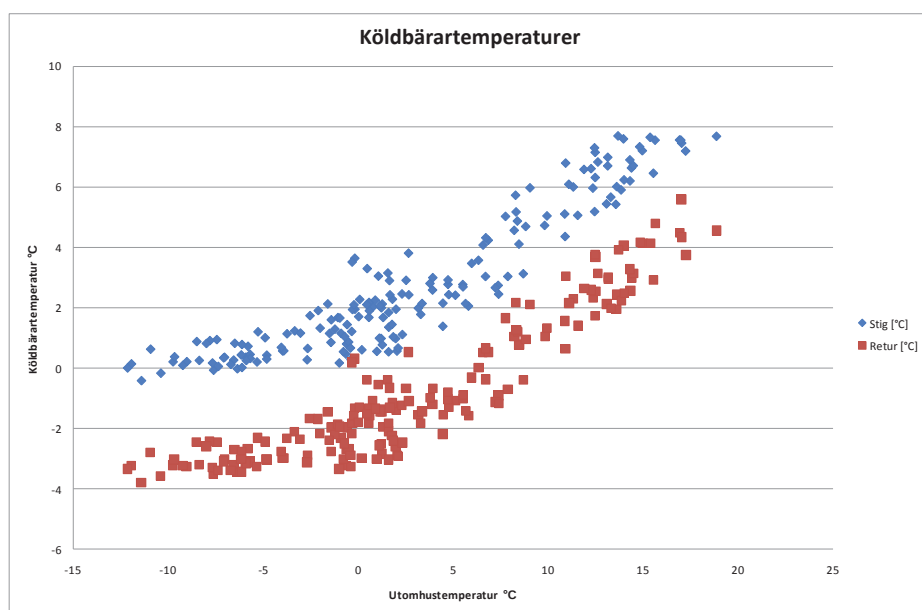


Figur 4.3-1 Veckomedelvärden av inom- och utomhustemperatur.

I anläggning 3 har även köldbärartemperaturen uppmätts för perioden 101120 t.o.m. 110531. Resultatet av mätningarna visas i Figur 4.3-3. När det är som kallast d.v.s. då utomhustemperaturen har ett dygnsmedelvärde runt -10°C är stigtemperaturens dygnsmedelvärde omkring 0. Motsvarande siffra vid dygns temperaturer mellan 10 och 15°C är knappt 8°C . Returtemperaturen är ungefär $3,5^{\circ}\text{C}$ lägre än stigtemperaturen. Man kan se en knäck på kurvan vid ungefär 0°C .



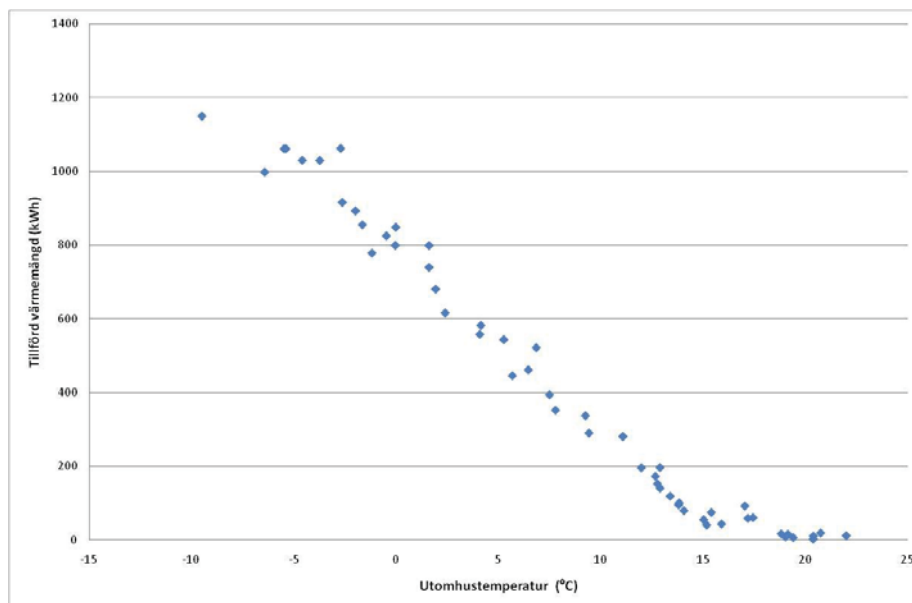
Figur 4.3-2 Värmebärartemperaturer vecka 51 år 2010. Timmedelvärden



Figur 4.3-3 Köldbärartemperaturer plottat mot utomhustemperatur. Dygnsmedelvärden

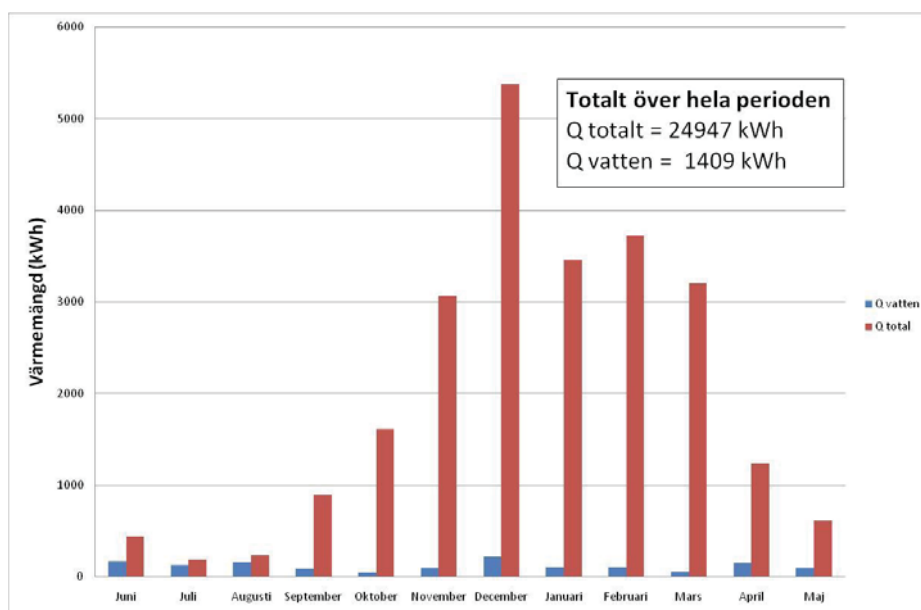
4.3.1 Värmebehov

Figur 4.3-4 visar tillförd värmemängd för rumsuppvärmning plottat mot utomhustemperaturen. Här är ett tydligt linjärt samband. Det finns ett behov av uppvärmning vid veckomedelvärden av utomhustemperaturer under 17°C.

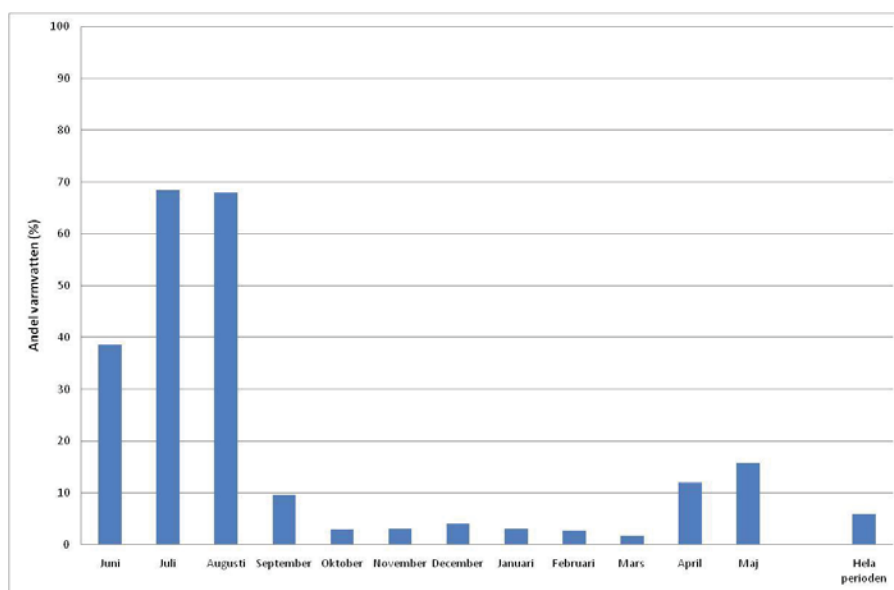


Figur 4.3-4 Tillförd värmemängd plottat mot utomhustemperatur. Veckomedelvärden

Uppmätt tillförd värmemängd är 24947 kWh vilket motsvarar 98 kWh per m² och år (Figur 4.3-5). Värmebehovet ökar troligtvis något av att värmepump, varmvattenberedare och ackumulatortank är placerade i ett fristående garage och värmen leds i en kulvert till huvudbyggnaden. Värmeläckage från tankar och rör kommer därmed inte huvudbyggnaden tillgodo. Under sommarmånaderna och i december har hushållet många gäster och dessa månader är förbrukningen av varmvatten något högre än resten av året.



Figur 4.3-5 Totalt tillförd värmemängd (inklusive tappvarmvatten) samt avgiven värmemängd för tappvarmvatten. Månadsmedelvärden.



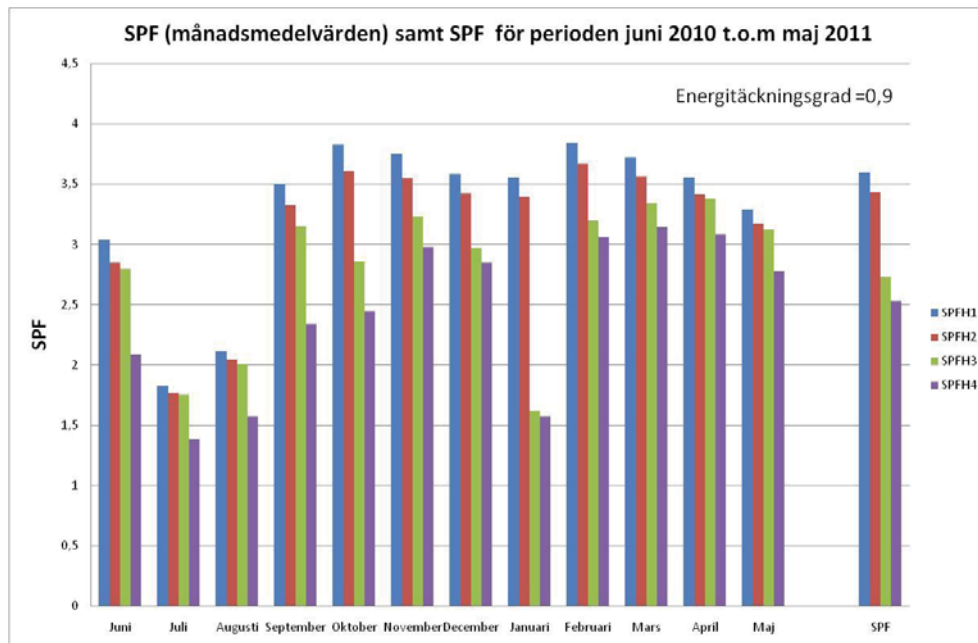
Figur 4.3-6 Andel värmemängd som används till värmning av tappvarmvatten i förhållande till total använd värmemängd. Månadsmedelvärden.

4.3.2 Systemvärmefaktor

Följande eldrivna komponenter ingår i de olika systemgränserna (se Figur 3.2-3 för placering av mätgivare):

SPF _{H1} :	Kompressor + styrsystem (3EVP).
SPF _{H2} :	Kompressor + styrsystem samt köldbärarpumpar (3EVp, 3EKB).
SPF _{H3} :	Kompressor + styrsystem, köldbärarpumpar samt tillsatsvärme i form av elpatron (3EVP, 3EKB, 3EEP). Denna anläggning har ingen tillsatsvärme från solfångare.
SPF _{H4} :	Kompressor + styrsystem, köldbärarpumpar, tillsatsvärme i form av elpatron samt värmebärarpumpar (3EVP, 3EKB, 3EEP, 3EVB, 3EGV).

Systemvärmefaktorn för de fyra systemgränserna visas i Figur 4.3-7. I januari stoppade värmepumpen vid flera tillfällen på grund av köldbärarläckage och då tillfördes all värme med hjälp av elpatronen. Detta förklarar de låga värdena för systemgräns 3 och 4 i januari. Bortfallet av värmepumpen påverkar dessutom årsvärmefaktorn som varierar mellan 3,6 och 2,5 för de olika systemgränserna.



Figur 4.3-7 Systemvärmefaktorer för de olika systemgränserna så som de är definierade i detta arbete. Månadsmedelvärden.

För att få en uppfattning om årsvärmefaktorn för detta värmepumpssystem om värmepumpen hade fungerat även i januari utfördes SPF beräkningar vid tre olika antagande:

1. $Q_{\text{tot}}(\text{januari}) = Q_{\text{tot}}(\text{november})$ och $E_{H1}-E_{H4}(\text{januari}) = E_{H1}-E_{H4}(\text{november})$
2. $Q_{\text{tot}}(\text{januari}) = Q_{\text{tot}}(\text{december})$ och $E_{H1}-E_{H4}(\text{januari}) = E_{H1}-E_{H4}(\text{december})$
3. $Q_{\text{tot}}(\text{januari}) = Q_{\text{tot}}(\text{februari})$ och $E_{H1}-E_{H4}(\text{januari}) = E_{H1}-E_{H4}(\text{februari})$

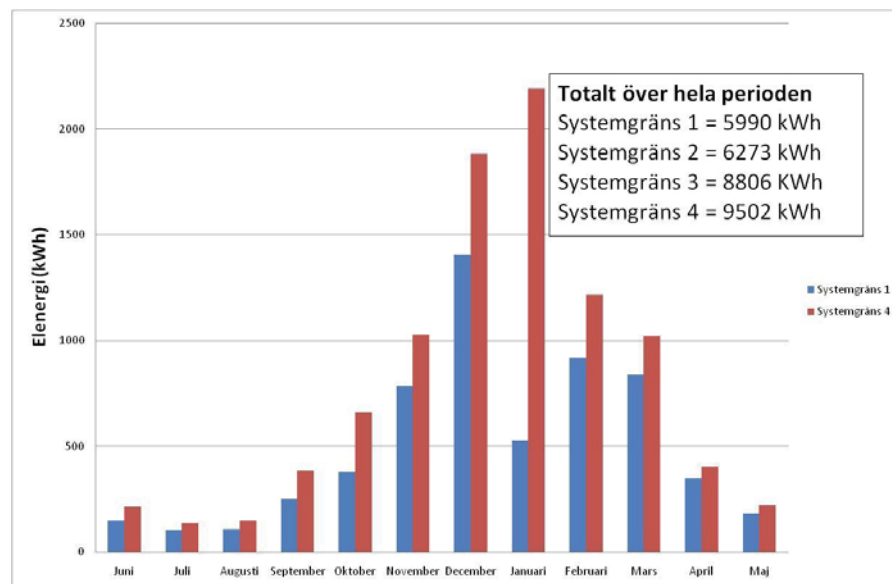
Alla tre beräkningarna av årsvärmefaktorn gav samma resultat varför årsvärmefaktorerna kan uppskattas till följande värden:

$$\begin{aligned} \text{SPF}_{H1} &= 3,6 \\ \text{SPF}_{H2} &= 3,4 \\ \text{SPF}_{H3} &= 3,1 \end{aligned}$$

$$\text{SPF}_{\text{H4}}=2,8$$

Mätresultaten (Figur 4.3-7 och Figur 4.3-8) tillsammans med de uppskattade årsvärmefaktorerna visar att värmepumpen inte räcker till de kalla månaderna då tillsatsvärmen går in. Detta innebär att årsvärmefaktorn minskar betydligt mellan systemgräns 2 och 3.

Mätresultaten visar att systemvärmefaktorn sjunker under sommarmånaderna då värmebehovet är lågt. Förklaringen till detta kan vara att värmepumpens interna förluster får en förhållandevis stor inverkan när värmebehovet sjunker. En annan orsak kan vara att vid lågt värmebehov krävs fortfarande proportionellt sett en stor mängd elenergi för att driva kompressor och cirkulationspumpar med påföljd att SPF_{H4} minskar för alla systemgränser. Ett sätt att öka SPF_{H4} , och därmed minska användningen av köpt elenergi, är att stänga av värmebärarpumpen sommartid då rumsuppvärmning inte behövs.



Figur 4.3-8 Använd elenergi för systemgräns 1 och 4. Månadsmedelvärden. Totala mängden använd elenergi för perioden 2010-06-01 t.o.m. 2011-07-01 anges i figuren.

Figur 4.3-8 visar använd elenergi för de olika systemgränserna. Mängden köpt elenergi för uppvärmning av byggnad och tappvarmvatten (systemgräns 4) är 9502 kWh vilket motsvarar 37 kWh per m^2 och år. Det är troligt att elenergianvändningen för systemgräns 4 i januari skulle varit drygt 1000 kWh lägre om värmepumpen varit i drift hela månaden vilket skulle innebära 33 kWh per m^2 och år.

4.3.3 Energibesparing och koldioxidreduktion

Energibesparingen för den aktuella mätperioden är 60% (Tabell 4.3). Om värmepumpen fungerat hela perioden borde den varit cirka 65%.

Även för denna anläggning fås en ökning av koldioxidutsläpp då värmepumpen ersätter oljeeldning och elenergin är producerad med kolkondens.

Tabell 4.3 Energibesparing och växthusgasreduktion för systemgräns 4. Vid beräkning av reduktion av växthusgaser har värmepumpssystemet jämförts med uppvärmning m.h.a. direktverkande el samt oljeeldning. Två olika elmixer har antagits.

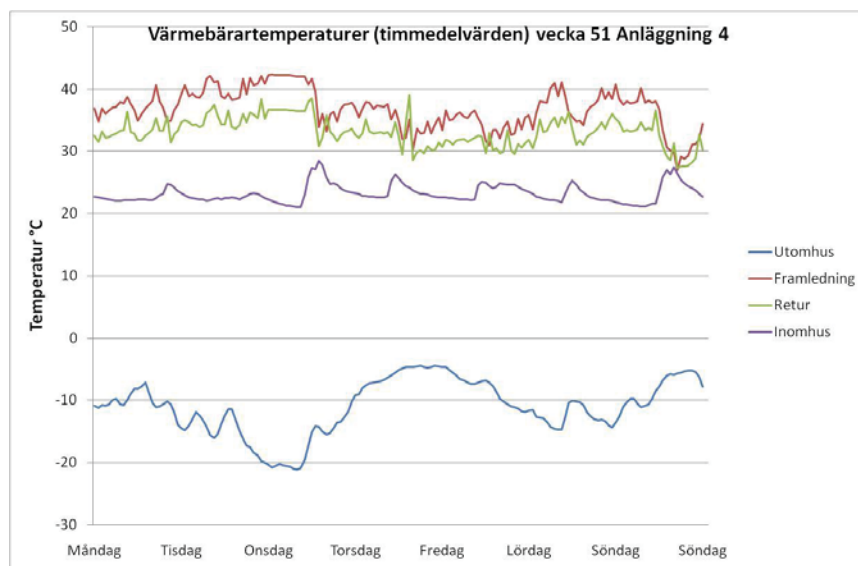
Systemgräns	Elenergi besparing	Elenergi besparing	CO2 reduktion Direktel med kolkondens	CO2 reduktion Direktel med Sverige mix	CO2 reduktion Oljeeldning jämfört med kolkondens	CO2 reduktion Oljeeldning jämfört med Sverige mix
	(kWh)	(%)	(kg CO2-eq)	(kg CO2-eq)	(kg CO2-eq)	(kg CO2-eq)
H4	14544	60	14908	495	-1324	8093

4.4 Anläggning 4

Figur 4.4-1 visar veckomedelvärden av inom- och utomhustemperaturer och Figur 4.4-2 visar köldbärartemperaturerna i vecka 51. Då det är som kallast utomhus, -15°C , är framledningstemperaturen över 40°C . motsvarande siffra för utomhustemperatur -10°C är 35°C . Returen är cirka 5°C lägre än framledningen.



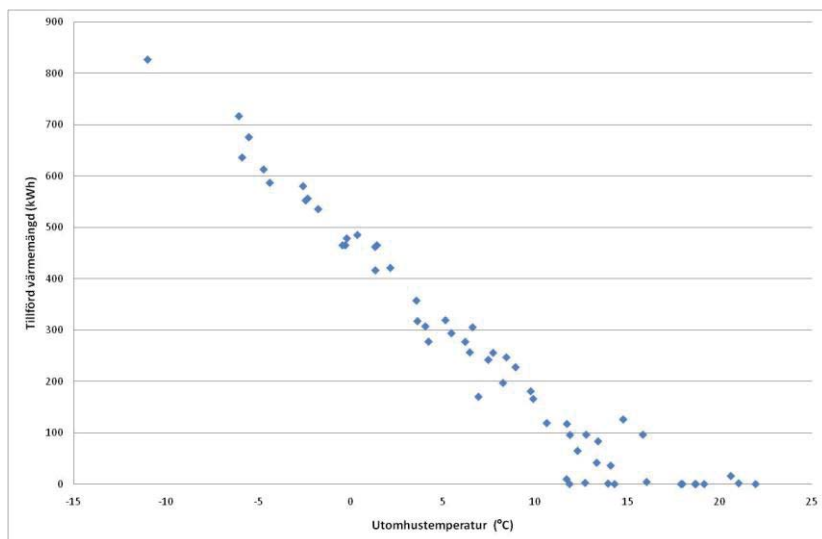
Figur 4.4-1 Veckomedelvärden av inom- och utomhustemperatur.



Figur 4.4-2 Värmebärartemperaturer vecka 51 år 2010. Timmedelvärden.

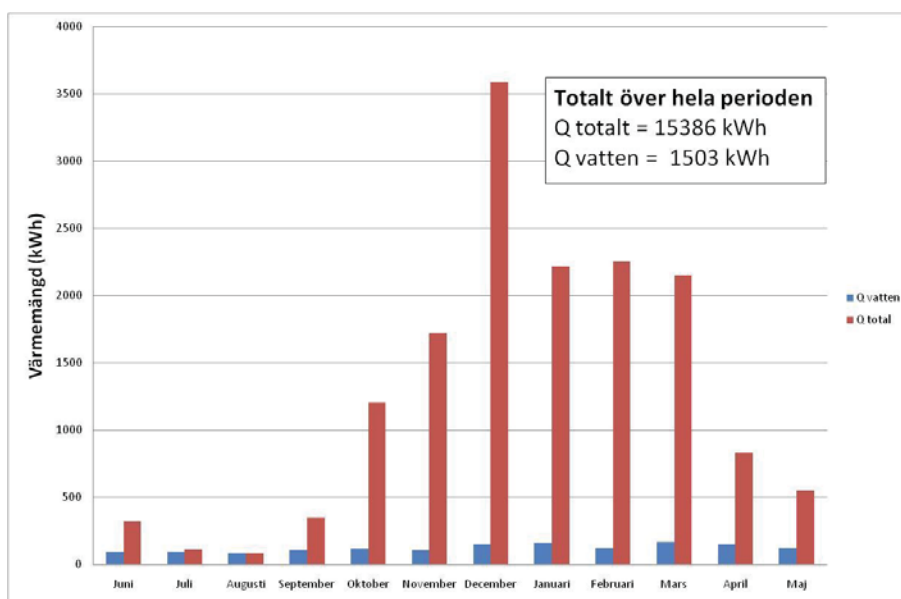
4.4.1 Värmebehov

Figur 4.1-3 visar tillförd värmemängd plottad mot utomhustemperaturen och det finns ett linjärt samband. Uppvärmningsbehov finns vid utomhustemperaturer under 15°C. Figur 4.4-5 visar total värmemängd samt värmemängd till tappvarmvatten månad för månad uppdelat på rumsuppvärmning och värme i det använda tappvarmvattnet. Total tillförd värmemängd i denna byggnad är 15386 kWh och i juli och augusti går all värme till varmvatten.

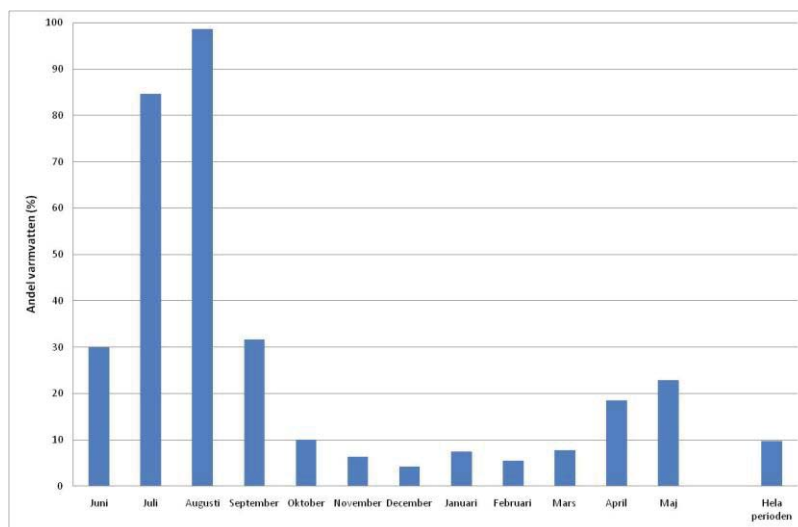


Figur 4.4-3 Tillförd värmemängd plottad mot utomhustemperatur. Veckomedelvärden

Figur 4.4-4 visar tillförd värmemängd under mätperioden uppdelat på varje månad. Totalt tillfördes 15386 kWh vilket motsvarar 86 kWh per m² och år.



Figur 4.4-4 Totalt avgiven värmemängd (inklusive tappvarmvatten) samt avgiven värmemängd för tappvarmvatten. Månadsmedelvärden.



Figur 4.4-5 Andel värmemängd som används till värmning av tappvarmvatten i förhållande till total använd värmemängd. Månadsmedelvärden.

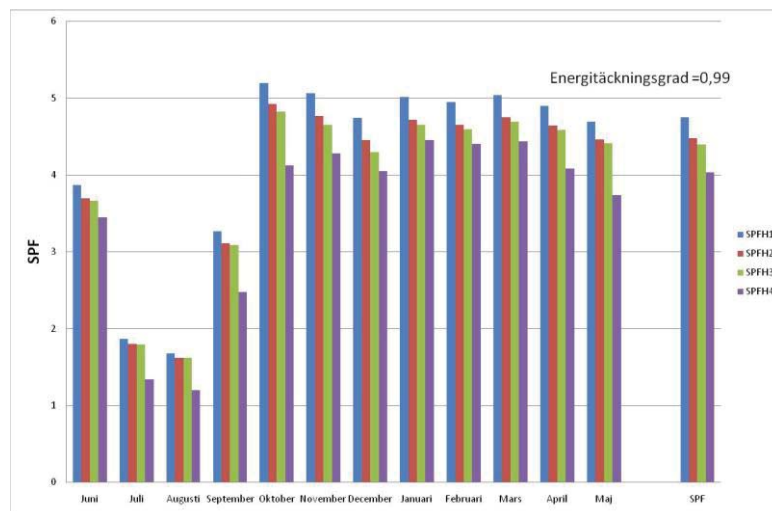
4.4.2 Systemvärmefaktor

Följande eldrivna komponenter ingår i de olika systemgränserna (se Figur 3.2-4 för placering av mätgivare):

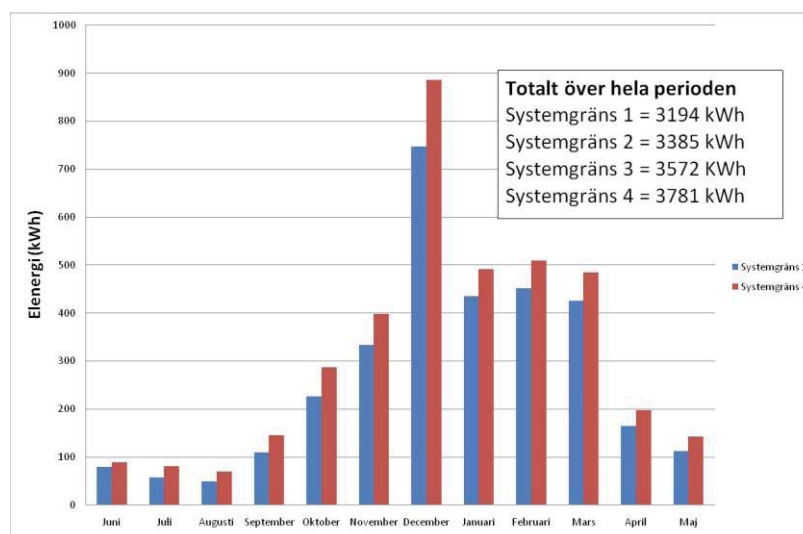
SPF_{H1} :	Kompressor + styrsystem (4EVp)
SPF_{H2} :	Kompressor + styrsystem samt köldbärarpumpar (4EVp, 4EKB, 4EKF)
SPF_{H3} :	Kompressor + styrsystem, köldbärarpumpar samt tillsatsvärme i form av elpatron (4EVp, 4EKB, 4EKF, 4EEP)

SPF_{H4}: Kompressor + styrsystem, köldbärarpumpar, tillsatsvärme i form av elpatron samt värmebärarpumpar (4EVp, 4EKB, 4EKF, 4EEP, 4EVB, 4EGV)

Systemvärmefaktorer redovisas för de olika systemgränserna i Figur 4.4-6. Årsvärmefaktorn är 4,8 för systemgräns 1 och minskar till 4,0 för systemgräns 4. SPF minskar relativt sett mer med minskat värmebehov och ur figuren visar att värmepumparna använder stor elenergimängd även när värmebehovet är litet emedan värmepumpens och köldbärarpumpens användning av elenergi minskar med minskat värmemängdsbehov. Tillförd elenergi visas i Figur 4.4-7. Figuren visar att tillsatsvärme i form av elpatron krävdes de kallaste månaderna och framförallt i december.



Figur 4.4-6 Systemvärmefaktorer för de olika systemgränserna så som de är definierade i detta arbete. Månadsmedelvärden.



Figur 4.4-7 Använd elenergi för systemgräns 1 och 4. Månadsmedelvärden. Totala mängden använd elenergi för perioden 2010-06-01 t.o.m. 2011-07-01 anges i figuren.

Mängden köpt elenergi (systemgräns 4) var under mätperioden 3781 kWh. Detta är mycket lågt och motsvarar 21 kWh per m² och år.

4.4.3 Energibesparing och koldioxidreduktion

Tabell 4.4 visar elenergiesparing och växthusgasreduktion på årsbasis för systemgräns 4. Elenergiesparing är mycket hög, 75 %. Eftersom värmemängdsbehovet är lågt i denna byggnad ($Q_{\text{tot}} = 15261 \text{ kWh}$) fås en växthusgasreduktion för samtliga av de uppvärmningsalternativ värmepumpssystemet jämförs med.

Tabell 4.4 Energibesparing och växthusgasreduktion för systemgräns 4. Vid beräkning av reduktion av växthusgaser har värmepumpssystemet jämförts med uppvärmning m.h.a. direktverkande el samt oljeeldning. Två olika elmixer har antagits.

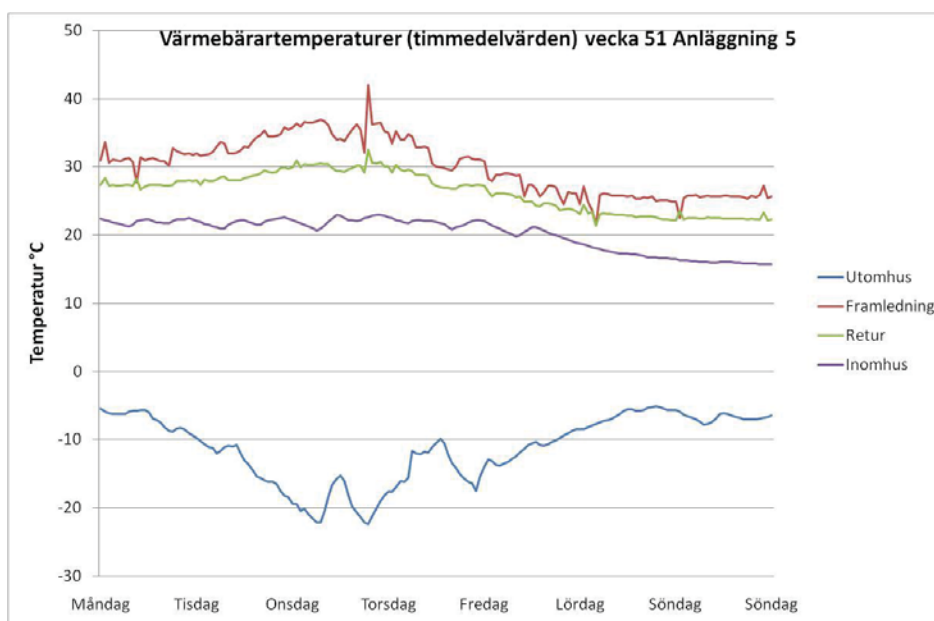
Systemgräns	Elenergi besparing	Elenergi besparing	CO2 reduktion Direktel med kolkondens	CO2 reduktion Direktel med Sverige mix	CO2 reduktion Oljeeldning jämfört med kolkondens	CO2 reduktion Oljeeldning jämfört med Sverige mix
	(kWh)	(%)	(kg CO2-eq)	(kg CO2-eq)	(kg CO2-eq)	(kg CO2-eq)
H4	11605	75	11767	390	1466	5213

4.5 Anläggning 5

Figur 4.5-1 visar utom- och inomhustemperaturer för mätperioden 100601 t.o.m. 110531 och figuren visar att det var mycket kallt ute i vintras med veckomedelvärden under -10°C vid 2 tillfällen. Figur 4.5-2 visar värmebärartemperaturerna i vecka 51 2010. Värmebärarens framledningstemperatur fluktuerar mellan 27 och 37°C. Returtemperaturen ligger mellan 23 och 30°C. Minskningen av inomhustemperaturen i vecka 52 (med början i slutet av vecka 51) beror på att familjen var bortrest och därmed satte ner temperaturen något.

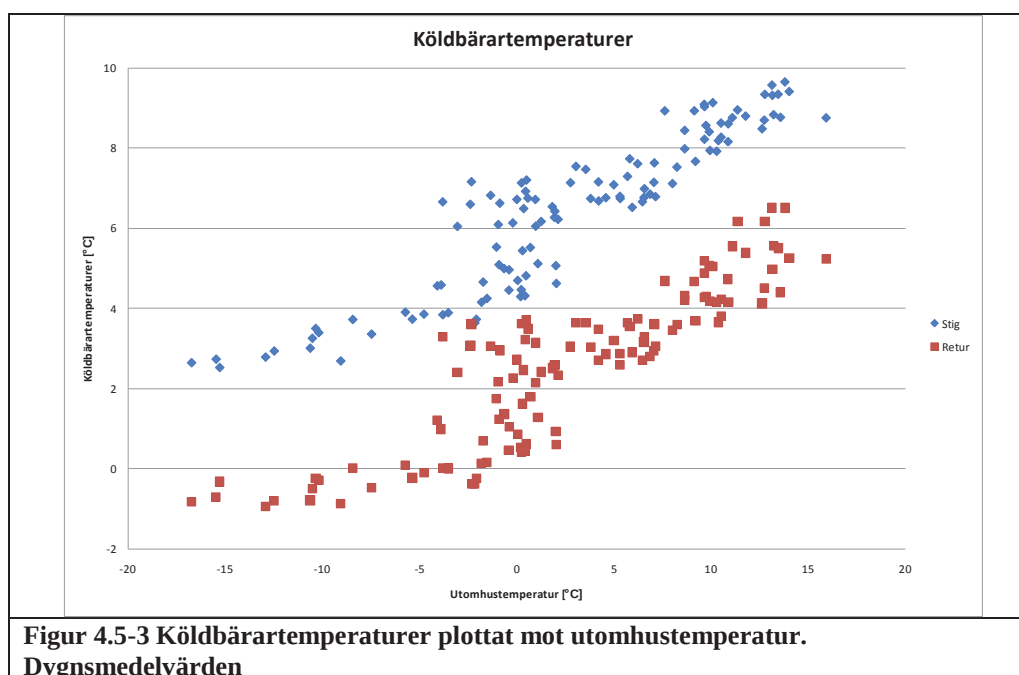


Figur 4.5-1 Veckomedelvärden av inom- och utomhustemperatur.



Figur 4.5-2 Värmebärartemperaturer vecka 51 år 2010. Timmedelvärden

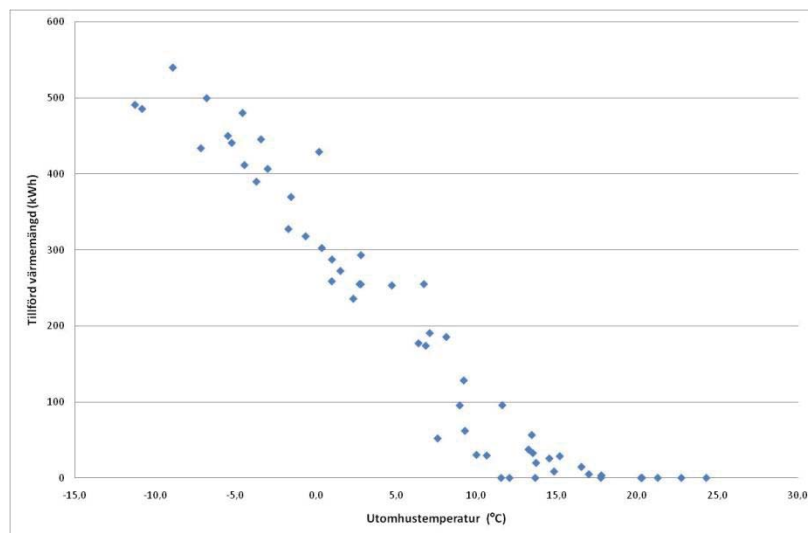
I denna anläggning har köldbärartemperaturen uppmätts för perioden 1110127 t.o.m. 110531. Resultatet av mätningarna visas i Figur 4.5-3. När det är som kallast då utomhustemperaturen har ett dygnsmedelvärde från -10°C och nedåt är stigtemperaturens dygnsmedelvärde omkring 3. Motsvarande siffra vid dygnsmedeltemperaturer mellan 10 och 15°C är från 8 till knappt 10°C . Returtemperaturen är mellan 3,5 och 4°C lägre än stigtemperaturen. Det är en förskjutning i kurvan vid utomhustemperaturen 0°C och kurvans lutning ändras dessutom något. I denna anläggning tillförs överskottet från solfångaren borrhålet.



Figur 4.5-3 Köldbärartemperaturer plottat mot utomhustemperatur. Dygnsmedelvärden

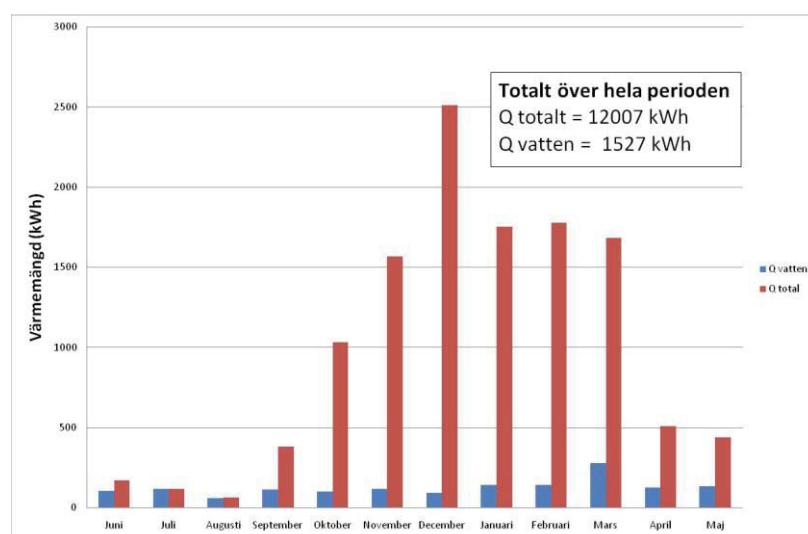
4.5.1 Värmebehov

Figur 4.5-4 visar att det finns ett tydligt samband mellan värmebehov för uppvärmning och utomhustemperatur. Uppvärmningsbehovet börjar vid utomhustemperaturen cirka 15°C.

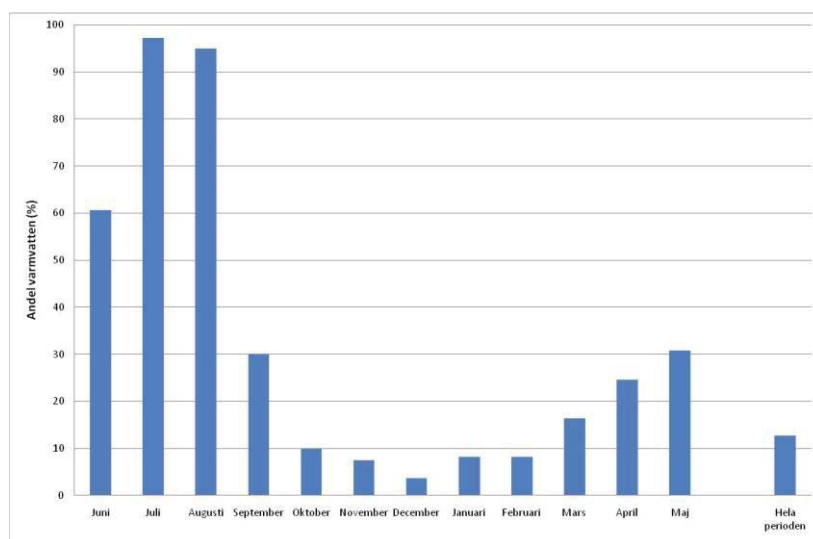


Figur 4.5-4 Använd värmemängd plottat mot utomhustemperatur. Veckomedelvärden

Figur 4.5-5 visar månadsmedelvärden av totalt tillförd värmemängd under mätperioden samt värmemängd till tappvarmvatten. Det totala värmemängdsbehovet var under mätperioden 12007 kWh vilket motsvarar 60 kWh per m² och år. Figur 4.5-6 visar andel värmemängd som används till värmning av tappvarmvatten. I juli och augusti är värmebehovet för tappvarmvatten över 95% av totalt tillförd värmemängd.

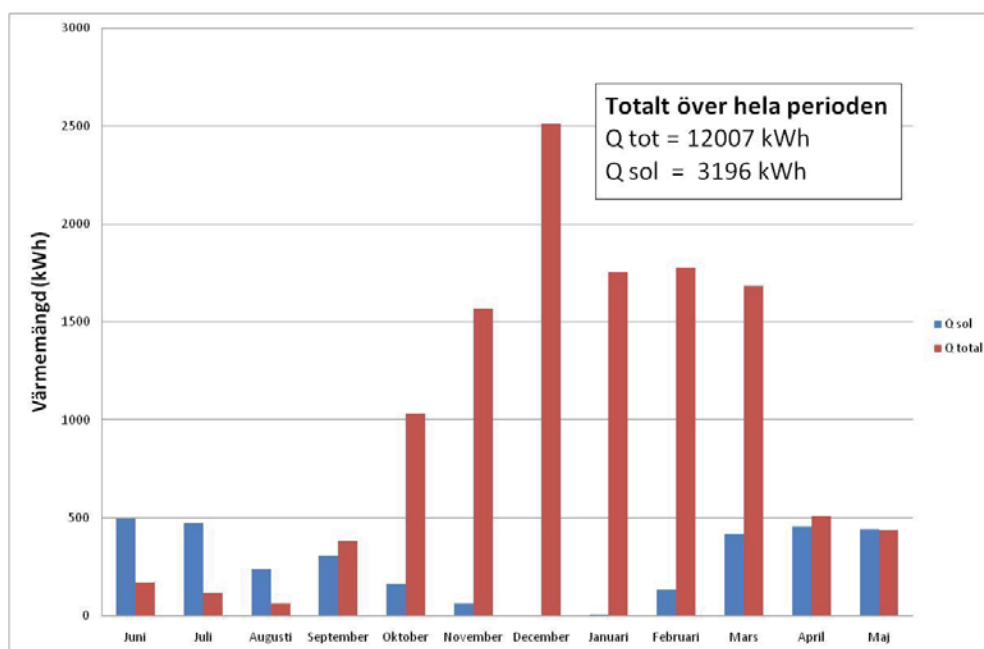


Figur 4.5-5 Totalt avgiven värmemängd samt avgiven värmemängd för tappvarmvatten. Månadsmedelvärden.



Figur 4.5-6 Andel värmemängd som används till värmning av tappvarmvatten i förhållande till total använd värmemängd. Månadsmedelvärden.

Under sommarmånaderna täcker solfångaren i stort sett hela värmebehovet (Figur 4.5-7). Solfångaren har genererat 3196 kWh och av dessa har 2239 kWh tillförts värme och varmvatten eftersom solfångaren genererar mer värme än behovet de varmaste dagarna. Överskottvärmen från solfångaren återförs till borrhålet. Elenergin som behövs för att driva solvärmen var 107 kWh.



Figur 4.5-7 Totalt tillförd värmemängd (inklusive tappvarmvatten) samt tillförd värmemängd från solfångare. Månadsmedelvärden.

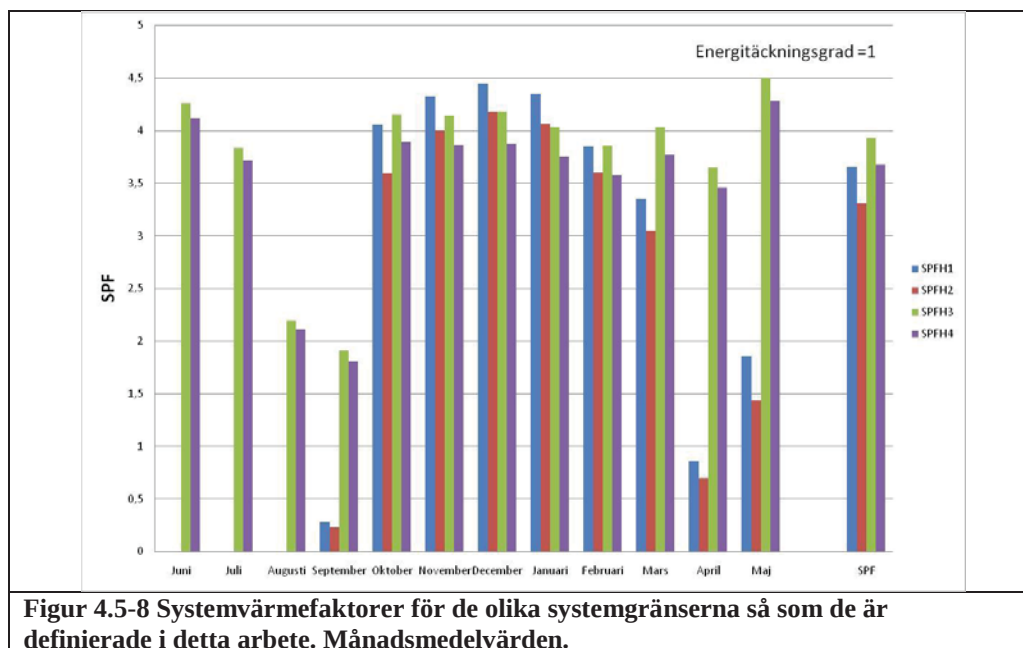
4.5.2 Systemvärmefaktor

Följande eldrivna komponenter ingår i de olika systemgränserna (se figur 3.2.5. för placering av mätgivare):

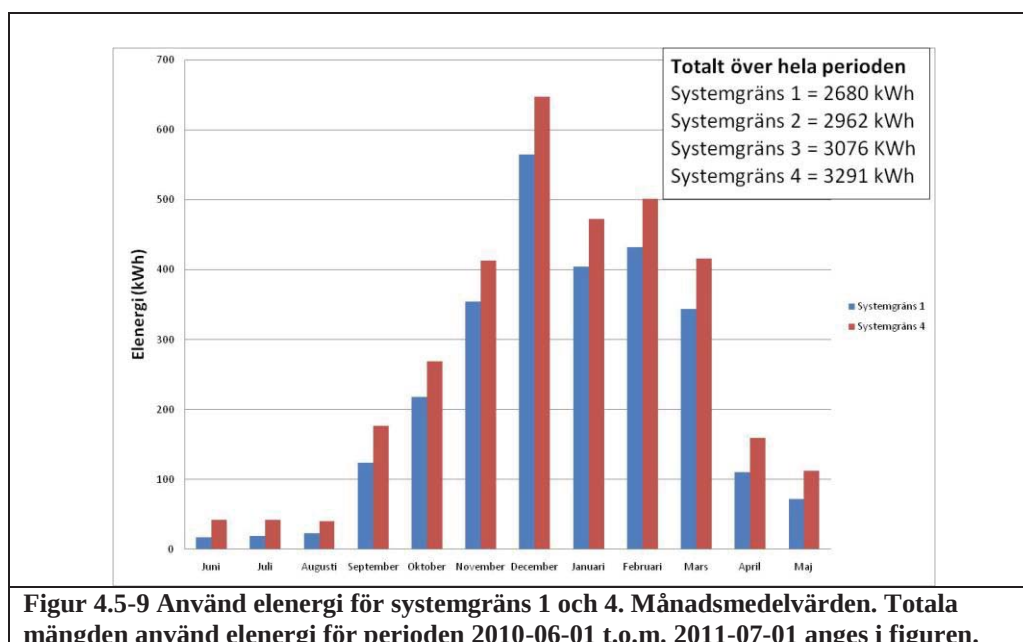
SPF _{H1} :	Kompressor + styrsystem (5EVp)
SPF _{H2} :	Kompressor + styrsystem samt köldbärarpumpar (5EVp, 5EKB)
SPF _{H3} :	Kompressor + styrsystem, köldbärarpumpar samt cirkulationspumpar för solvärme och tillsatsvärme i form av elpatron (5EVp, 5EKB, 5ESF, 5EEP)
SPF _{H4} :	Kompressor + styrsystem, köldbärarpumpar, cirkulationspumpar för solvärme, tillsatsvärme i form av elpatron samt värmebärarpumpar (5EVp, 5EKB, 5ESF, 5EEP, 5EGV)

Värmefaktorn för de olika systemgränserna redovisas i Figur 4.5-8 och eftersom värmepumpen inte varit igång under sommarmånaderna blir värmefaktorerna för systemgräns 1 och 2 noll. Det finns tillsatsvärme i form av elpatron i denna anläggning men den har endast avgett 6 kWh under hela mätperioden varför värmepumpssystemets energitäkningsgrad kan sättas till 1. Årsvärmefaktorerna varierar mellan 3,9 och 3,3.

Pumparna i denna anläggning är behovsstyrda och varvtalet kan regleras manuellt i tre steg.



Mängden köpt elenergi för uppvärmning av byggnad och tappvarmvatten är 3291 kWh och detta motsvarar 16 kWh per m² och år vilket kan anses mycket lågt.



Figur 4.5-9 Använd elenergi för systemgräns 1 och 4. Månadsmedelvärden. Totala mängden använd elenergi för perioden 2010-06-01 t.o.m. 2011-07-01 anges i figuren.

4.5.3 Energibesparing och koldioxidreduktion

Energibesparingen, så som den definieras i detta arbete, är hög, 78 % av använd värmemängd (se Tabell 4.5 Energibesparing och växthusgasreduktion systemgräns 4). Vid beräkning av reduktion av växthusgaser har värmepumpssystemet jämförts med uppvärmning m.h.a. direktverkande el samt oljeeldning. Två olika elmixer har antagits. Även här fås en växthusgasreduktion för samtliga av de uppvärmningsalternativ värmepumpssystemet jämförs med.

Tabell 4.5 Energibesparing och växthusgasreduktion systemgräns 4. Vid beräkning av reduktion av växthusgaser har värmepumpssystemet jämförts med uppvärmning m.h.a. direktverkande el samt oljeeldning. Två olika elmixer har antagits.

Systemgräns	Elenergi besparing	Elenergi besparing	CO2 reduktion Direktel med kolkondens	CO2 reduktion Direktel med Sverige mix	CO2 reduktion Oljeeldning jämfört med kolkondens	CO2 reduktion Oljeeldning jämfört med Sverige mix
	(kWh)	(%)	(kg CO2-eq)	(kg CO2-eq)	(kg CO2-eq)	(kg CO2-eq)
H4	8716	73	8934	296	829	4091

4.6 Mätosäkerhet

Det finns flera faktorer som inverkar på mätosäkerheten såsom:

- Givarnas mätosäkerhet
- Givarnas tröghet
- Givarnas placering
- Brukarbeteende

4.6.1 Givarnas mätosäkerhet

Samtliga mätgivare kalibrerades och kontrollerades på SP innan de installerades i anläggningarna. SP innehar dessutom relevanta normalreferenser och kan därmed garantera spårbarhet i mätkedjan (SP:s hemsida, kalibreringstjänster). Vid uppskattning av givarnas mätosäkerhet har bland annat följande faktorer tagits i beaktande (Fahlén 1992, Swedac 2004):

- Mätosäkerhet vid kalibrering
- Upplösningsfel
- Installationsförhållanden
- Signalbehandling
- Variationer i driftförhållanden

Mätosäkerheten har uppskattats till bättre än följande värden:

- | | |
|----------------------------|----------|
| • Flöde tappvarmvatten | ± 1,6 % |
| • Flöde vatten golvvärme | ± 1,2 % |
| • Flöde propylen-glykol | ± 2,0 % |
| • Temperatur PT 100-givare | ± 0,2 °C |
| • Inomhustemperatur | ± 0,5 °C |
| • Utomhustemperatur | ± 1,0 °C |
| • RH | ± 3,5% |
| • Elenergi | ± 2,0 % |

4.6.2 Övriga orsaker till mätosäkerhet

Flödesmätarna som används i detta arbete har ett arbetsområde mellan 0,015-3 m³/h. Vid flöden lägre än 0,015 m³ (motsvarar cirka 25 droppar/s) blir flödesgivarens mätosäkerhet betydligt sämre än vid flöden inom arbetsområdet. När det gäller tappvarmvatten finns en risk att en kran står och droppar eller rinner sakta. En kran som droppar vid enstaka tillfällen bedöms inte påverka osäkerheten för den beräknade värmemängden som avges till tappvarmvatten.

Den uppmätta värmemängden som används för att producera tappvarmvatten är lågt för samtliga anläggningar. Detta värmevärde beräknas med hjälp av uppmätt kallvattenflöde och temperaturskillnaden mellan kallvatten och varmvatten. Då en tappning startar (flödet startar) kan temperaturerna visa fel den första samplingen på grund av givarens tröghet. Det finns en risk att den uppmätta temperaturskillnaden blir lägre än den verkliga vid små korta varmvattentappningar. Denna mätosäkerhet

beror dels på var temperaturgivarna är placerade och dels på brukarbeteendet. Felet blir lågt om varmvattentemperaturen mäts så nära varmvattenberedaren som möjligt. Felet minskar om antalet korta tappningar är litet jämfört med totala antalet tappningar.

I syfte att få en uppfattning om hur stort mätfelet kan bli på grund av korta tappningar gjordes en undersökning där den maximala temperaturskillnaden mellan kall- och varmvatten varje månad bestämdes med mätningarna som underlag. Därefter räknades det använda värmevärdet ut med hjälp av uppmätt flöde och den maximala temperaturskillnaden. Det beräknade värmevärdet jämfördes med det uppmätta värmevärdet för produktion av tappvarmvatten. Resultatet varierade för de olika anläggningarna. För anläggningarna 1 och 3 var skillnaden mellan uppmätt och beräknat värde försumbart och för anläggningarna 2, 4 och 5 var det beräknade värmebehovet ungefär 10% högre än det uppmätta. Detta innebär att felet p.g.a. små tappningar maximalt kan vara 10% i denna undersökning. Skillnaden mellan anläggningarna beror troligtvis på att hushåll med barn och ungdomar utför kortare tappningar än hushåll med endast två vuxna. Det låga värmevärdet för tappvarmvattenproduktion i anläggning 1 och 3 kan förklaras av att husägarna är bortresta i långa perioder.

4.6.3 Mätosäkerhet vid beräkningar

Använd värmemängd, $\dot{Q}$, beror på flöde, temperaturskillnad, specifik värmekapacitet samt densitet och beräknas enligt följande:

$$\dot{Q} = q * \rho_{t_{flöde}} * \Delta(t_{ut} - t_{in}) * \frac{C_p(t_{ut}) + C_p(t_{in})}{2} \quad (8)$$

Där

$q = \text{volymsflöde } [m^3/s]$

$t = \text{temperatur } [^{\circ}C]$

$\rho = \text{densitet } [kg/m^3]$

$C_p = \text{specifik värmekapacitet } [kJ/kg K]$

Det beräknade värdets osäkerhet beror på de ingående parametrarnas mätosäkerhet. De olika bidragen kan anses vara oberoende av varandra och beräknas enligt följande:

$$\frac{\Delta \dot{Q}}{\dot{Q}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta q}{q}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \rho}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{\Delta(t_{in} - t_{ut})}{(t_{in} - t_{ut})}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C_p}{C_p}\right)^2} \quad (9)$$

Osäkerheten har uppskattats understiga följande värden:

- $\dot{Q}_w \quad \pm 1,7 \%$
- $\dot{Q}_H \quad \pm 7,1 \%$
- $\dot{Q}_{sol} \quad \pm 9,6 \%$

Den stora osäkerheten för värmemängderna för värmebäraren och solkretsen beror på att skillnaden i temperatur mellan ingående och utgående flöde, Δt , vissa perioder endast är 3-4 °C.

Värt att notera är att vid beräkningen av osäkerheten för värmemängden för tappvarmvattnet har inte osäkerheten på grund av små tappningar beaktats.

5 Slutsatser

Fältmätningar är inte användbara vid jämförande provning eftersom yttre faktorer inverkar på värmesystemens effektivitet. I detta arbete graderas inte de olika anläggningarna avseende prestanda och effektivitet. En jämförelse inte skulle bli rättvisande då samtliga fem anläggningar är olika på en rad punkter såsom t.ex. geografisk placering, byggnadernas utformning, hushållens storlek och sammansättning, värmesystemens utformning och installation av värmepump och mätutrustning.

Resultat från fältmätningar där komponenternas enskilda elanvändning mäts upp och värmeanläggningens systemgränser definieras ökar kunskap om vilka parametrar som påverkar värmepumpssystemets effektivitet. Kunskapen blir användbar vid projektering och dimensionering av värmepumpssystem. För att erhålla bästa möjliga resultat måste värmepumpssystemet ”skräddarsys” till varje enskild byggnad.

Vid redovisning av resultat från fältmätningar i syfte att redovisa fördelarna med värmepumpande teknik jämfört med alternativa uppvärmningssystem är det viktigt att definiera de olika systemgränserna för att kunna redovisa vilka komponenters elanvändning som inkluderats. Det är också viktigt att redogöra för placering av mätare och mätosäkerhet.

Resultaten i denna fältstudie visar att det finns en stor potential för energibesparing genom att använda värmepumpande teknik. Energibesparingen uppgår till mellan 60 och 75% av det totala värmebehovet för systemgräns 4 för de anläggningar som studerats i detta arbete. Den lägre siffran beror till en del på att värmepumpen i anläggning 3 stoppade under en stor del av januari.

Besparingen i växthusgaser har beräknats som skillnaden mellan att använda direktel eller oljeeldning för uppvärmning och uppmätt tillförd elenergi till varje anläggning. Resultaten visar att besparingen i växthusgaser är mycket beroende av hur den tillförda elenergin producerats. Vid jämförelse med direktel blir besparingen i växthusgaser hög om elenergin produceras med 100% kolkondens men däremot låg vid användning av Sverigemix. Då värmepumpen ersätter oljepanna och elenergin produceras m.h.a. kolkondens inträffar en brytpunkt, vid stora värmebehov, då växthusgasutsläppen ökar istället för att minska. Vid jämförelse med oljeeldning blir besparingen mycket hög för Sverigemix.

Samtliga anläggningar i studien ger jämna och behagliga inomhustemperaturer de veckor det finns behov av rumsuppvärmning. Temperaturen inomhus ökar generellt sett något de varmaste månaderna vilket troligtvis beror på solinstrålning.

Värmebehovet för rumsuppvärmning har för de flesta av anläggningarna ett någorlunda linjärt samband med utomhustemperaturen. Behovet av rumsuppvärmning startar mellan 12 och 17°C för de olika byggnaderna. Över denna utomhustemperatur används värmen till att värma tappvarmvatten samt till viss komfortvärme till badrumsgolv och dylikt och detta är inte lika beroende av utomhustemperaturen som rumsuppvärmning är.

Årsvärmefaktorerna för systemgräns 1 (endast kompressor och styrsystem) beräknades till mellan 4,8 och 2,5 för de olika anläggningarna. Motsvarande siffror för systemgräns 4 (hela värmepumpssystemet inklusive samtliga cirkulationspumpar och tillsatsvärme) låg inom intervallet 4,0 och 2,5. SPF-värdena skiljer förhållandevis mycket för de olika systemgränserna. Den minsta skillnaden erhålls för anläggningar som varvtals- och behovsstyrda cirkulationspumpar.

Värmepumpens SPF minskar med minskat behov av rumsuppvärmning. Eftersom utvecklingen går mot NNE-hus kommer behovet av värmepumpar med lägre kapacitet att öka på småhusmarknaden. Detta kommer också att gälla för marknader med varmare klimat. Dessutom blir det viktigt att cirkulationspumparna är varvtalsstyrda och att de styrs efter behov.

Vid utvärdering av värmepumpssystem prestanda är det viktigt att även beakta andra nyckeltal än SPF, speciellt när värmepumpen kombineras med annan värme. Andra viktiga nyckeltal är energiförbrukning, energitäckningsgrad, utsläpp växthusgaser, drifttid etc.

Det här arbetet kan användas för att ta fram relevanta nyckeltal som är lätta att förstå för slutkunden i syfte att marknadsföra värmepumpande teknik.

Installation och val av komponenter påverkar effektiviteten. Några riktlinjer är:

- Dimensionera värmepumpen efter värmebehov.
- Varvtalsstyrda cirkulationspumpar som styrs efter behov.
- Tomgångsförluster i varmvattenberedare bör minimeras.
- Isolera rör och komponenter.

6 Nomenklatur

COB	Besparing i växthusgaser	[kg CO ₂ -eq]
GWP	Global Warming Potential	[kg CO ₂ eq/kWh]
SPF	Årsvärmefaktor	
Q_H	Avgiven värmemängd till rumsuppvärmning	[kWh]
Q_W	Avgiven värmemängd till tappvarmvatten	[kWh]
Q_{tot}	Avgiven värmemängd till tappvarmvatten	[kWh]
Q_{H_hp}	Avgiven värmemängd från värmepump till rumsuppvärmning	[kWh]
Q_{W_hp}	Avgiven värmemängd från värmepump till tappvarmvatten	[kWh]
Q_{HW_bu}	Avgiven värmemängd från tillsatsvärme	[kWh]
Q_{HW_ets}	Värmemängd från elektrisk tillsatsvärmare ($=0,95 \cdot W_{ets}$)	[kWh]
Q_{sol}	Avgiven värmemängd från solfångare	[kWh]
$E_{S_fan/pump}$	Tillförd elenergi till köldbärarfläkt/ köldbärarpump	[kWh]
$E_{B_fan/pump}$	Tillförd elenergi till värmebärarpump	[kWh]
E_{bt_pump}	Tillförd elenergi till ackumulatortankpump	[kWh]
E_{bu}	Tillförd elenergi till tillsatsvärme	[kWh]
E_{HW_hp}	Tillförd elenergi till VP (kompressor och styrsystem)	[kWh]
E_{Hx}	Elenergianvändning för systemgräns 1 t.o.m. 4 ($x=1-4$)	[kWh]
E_{tot}	Total tillförd elenergi till hela värmeanläggningen	[kWh]
ETG	Energitäckningsgrad	
W_{ets}	Elenergi användning elektrisk tillsatsvärmare	[kWh]
$\dot{Q}$	Värmemängd	[kJ/s]
q	volymflöde	[m/s]
t	temperatur	[°C]
ρ	densitet	[kg/m ³]
C_p	specifik värmekapacitet	[kJ/kg K]

7 Referenser

Boverkets Byggregler BBR 18 Avsnitt 9 Energihushållning

<http://www.boverket.se/Om-Boverket/Webbokhandel/Publikationer/2011/Boverkets-byggregler-BBR-18/>

EFFEKTIV ett forskningsprogram för ökad kunskap om god inomhusmiljö och effektiv energianvändning i bostäder och lokaler.

<http://www.effektiv.org/default.asp>

EU-project SEPemo-Build ,2010,Report D4.2. Concept for evaluation of SPF, Version 1.0 A Defined methodology for calculation of the seasonal performance factor and a definition which devices of the system have to be included in this calculation.

<http://www.sepemo.eu/deliverables/project-reports>

Europaparlamentets och europarådets direktiv 2009/28/EG av den 28 april 2009 om främjande av användningen av energi från förnybara energikällor.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:EN:PDF>

Fahlén, P., ”Värmemätning i vätskesystem”, ISBN 91-540-5424-9, Rapport R13:1992, Byggforskningsrådet, Stockholm 1992.

SP Sveriges tekniska Forskningsinstitut, Kalibreringstjänster

<http://www.sp.se/sv/areas/measurement/calibration/Sidor/default.aspx>

SWEDAC DOK. 04:1 ,2004, Angivande av mätosäkerhet vidkalibrering – EA-4/02

<http://www.swedac.se/PageFiles/1295/DOC%2004-1.pdf>

Wahlström, Å., Olsson-Jonsson, A., Ekberg L. ”Miljöpåverkan från byggnaders uppvärmningssystem”, ISBN 91-7848-902-4, ISSN 1650-1489, Effektivrapport 2000:01. Borås 2001.

Wahlström, Å., Olsson-Jonsson, A. “Miljöpåverkan från byggnaders uppvärmningssystem: Etapp 2” ISBN 91-7848-824-9, ISSN 1650-1489, Effektivrapport 2002:02. Borås 2002.

Wahlström, Å., Hiller, C. ”Uppdatering av miljöbedömningsprogrammet EFFem”, Elforsk PM, Elforsk, Stockholm, oktober 2008.

Appendix 1

Klimatdata från Meteonorm

1. Klimatdata för anläggning 1, 2 och 3

Klimatzon 3

Month	H_Gh	H_Dh	H_Bn	Ta
	[kWh/m2]	[kWh/m2]	[kWh/m2]	[C]
Jan	12	7	25	0.0
Feb	25	17	33	0.1
Mar	58	34	65	1.5
Apr	105	59	95	6.3
May	153	72	148	10.7
Jun	161	85	135	14.1
Jul	164	78	157	16.5
Aug	125	67	110	16.8
Sep	77	43	80	12.9
Oct	38	24	46	8.1
Nov	16	10	31	3.9
Dec	8	6	16	0.4
Year	937	502	938	7.6

Legend:

H_Gh: Irradiation of global radiation horizontal

H_Dh: Irradiation of diffuse radiation horizontal

H_Bn: Irradiation of beam

Ta: Air temperature

2. Klimatdata för anläggning 4.

Klimatzon 3.

Month	H_Gh	H_Dh	H_Bn	Ta
	[kWh/m2]	[kWh/m2]	[kWh/m2]	[C]
Jan	13	9	19	0.3
Feb	27	17	34	0.6
Mar	61	35	63	2.2
Apr	111	56	113	7.0
May	150	81	128	11.6
Jun	151	78	128	14.8
Jul	155	80	133	17.4
Aug	128	74	104	17.5
Sep	76	46	70	13.6
Oct	41	25	48	8.8
Nov	17	11	29	4.5
Dec	9	7	16	1.2
Year	934	519	886	8.3

Legend:

H_Gh: Irradiation of global radiation horizontal

H_Dh: Irradiation of diffuse radiation horizontal

H_Bn: Irradiation of beam

Ta: Air temperature

3. Klimatdata för anläggning 5

Klimatzon 4

Month	H_Gh	H_Dh	H_Bn	Ta
	[kWh/m2]	[kWh/m2]	[kWh/m2]	[C]
Jan	10	7	19	-1.6
Feb	26	15	49	-1.7
Mar	68	33	96	0.9
Apr	110	52	124	6.0
May	164	74	168	11.0
Jun	174	79	168	15.6
Jul	165	84	146	18.6
Aug	130	71	117	18.0
Sep	78	42	89	13.1
Oct	36	21	54	7.3
Nov	12	8	23	3.0
Dec	6	5	12	-0.6
Year	977	490	1065	7.5

Legend:

H_Gh: Irradiation of global radiation horizontal

H_Dh: Irradiation of diffuse radiation horizontal

H_Bn: Irradiation of beam

Ta: Air temperature

