

Jämförelse av frånluftsvärmepumpar



Författare: Max Green & Oskar Jacobsson

Handledare LNU: Björn Zethraeus
Datum: 24/5 2013

Ämne/kurskod Examensarbete, 2BT01E

Förord

Denna rapport utgör författarnas högskoleingjörsexamen i miljö och energi med inriktning på bioenergiteknik vid Linnéuniversitetet. Arbetet omfattar 30 hp och har genomförts under den andra läsperioden av vårterminen 2013.

Under arbetets gång har ett flertal personer bidragit med stöd och kompetens, vilket har underlättat arbetet. Följande personer skulle vi vilja rikta extra tack till:

- Per Wickman. Vår uppdragsgivare, som bidragit med sin breda kompetens hjälpsamma inställning.
- Rodrigo Fuentes. Ansvarig för Hyresbostädernas värmepumpinstallation på Västergatan, för utbildning på området samt många goda råd.
- Anders Jansson. Ansvarig för Växjöhemms värmepumpinstallation på S. Järnvägsgatan, för sin hjälpsamhet som underlättat insamlingen av mätdata.
- Ulf Klint. Ansvarig för Karlskronahems värmepumpinstallation på Toras väg, som tog sig tid att demonstrera installationen samt gav goda råd.
- Bertil Forsman. General manager för Climate solutions AB, för att ha tagit sig tid att svara på frågor genom långa och sena telefonsamtal.
- Björn Zethraeus. Vår handledare och programansvarig professor för utbildningen, som har bidragit med många goda råd och riktlinjer för att sammanställa arbetet.

Sammanfattning

För att nå EU:s miljömål utförs många olika energieffektiviseringsåtgärder runt om i Sverige. I bostads och fastighetssektorn är ett exempel på en åtgärd installation av frånluftsvärmepumpar som återvinner värme i frånluften på fastigheterna och därmed sänker andelen inköpt energi. Den upptagna värmen kan användas för uppvärmning av radiatorer och tappvatten. Denna rapport syftar till att utvärdera och jämföra tre olika frånluftsvärmepumpsystem med avseende på COP, täckningsgrad och kostnadsbesparing. Studien avgränsades till att endast beröra flerbostadshus.

Teoriavsnittet beskriver de olika omständigheter och faktorer som påverkar en byggnads energibalans. Vidare beskrivs frånluftsvärmepumparnas funktion, begränsningar och fördelar gällande energibesparingar.

Det första systemet finns på Västergatan 21 i Växjö och använder sig av återcirkulation av frånluften för att öka luftflödet genom värmepumpen. Det andra systemet på Toras väg i Karlskrona använder ett luftflöde som är en mix av från- och uteluft. Det sista systemet på Södra järnvägsgatan i Växjö använder endast ett rent frånluftsföde.

COP-verkningsgraden för de olika installationerna var 1,89 för Toras väg (genomsnitt), mellan 3,14 och 3,47 för Västergatan samt 3,80 för S. järnvägsgatan för respektive period. Täckningsgraden för installationerna låg i intervallet 56,3 – 91,0 % och kostnadsbesparingen var mellan 4 900 kr till 8 600 kr per månad för den observerade perioden.

Abstract

In order to reach the environmental targets, set up by the EU, there are many measures taken to make Sweden more energy efficient. In the housing and real estate sector, an installation of an exhaust air heat pump that reuses the heat in the exhaust air in order to lower the amount of acquired energy, is an example of such an action. The recovered energy can then be used for heating of radiators and tap water. This report aims to evaluate and compare three different systems using exhaust air heat pumps regarding COP, degree of coverage and cost savings. This study was delimited to only account for apartment buildings.

The theory chapter describes the different conditions and factors that affect a building's energy balance. Further on the exhaust air heat pump is described with focus on function, limitations and advantages regarding energy savings.

The first one is located on Västergatan 21 in Växjö and uses recirculation of the exhaust air to increase the air flow through the heat pump. The second system is installed on Toras väg in Karlskrona. This system uses a mix of exhaust air and outside air. The last system on Södra järnvägsgatan in Växjö only uses the exhaust air in its heat pump.

The COP for the different installations was 1,89 for Toras väg (average), 3,14 and 3,47 for Västergatan and 3,80 for S. järnvägsgatan for the respective period. The degree of coverage for the installations was in the interval 56,3 – 91,0% and the cost savings was between 4 900 SEK to 8 600 SEK per month for the observed period of each building.

Innehållsförteckning

1. Introduktion	
1.1 Bakgrund	s.4
1.2 Statistik	s.4
1.3 Syfte och mål	s.8
1.4 Avgränsningar	s.8
2. Teori	s.9
2.1 Byggnadens energibalans	s.9
2.1.1 Transmissionsförluster	s.10
2.1.2 Ventilationsförluster	s.12
2.1.3 Avloppsförluster	s.12
2.2 Värmeåtervinning	s.12
2.2.1 Konventionella ventilationssystem	s.13
2.2.2 Frånluftsvärmepumpar	s.14
2.2.2.1 Komponenter	s.22
2.3 Graddagskorrigering	s.24
2.4 Teckenförklaring	s.27
3. Metod	s.28
3.1 Västergatan 21	s.29
3.2 Toras väg	s.29
3.3 Södra järnvägsgatan	s.31
4. Genomförande	s.32
4.1 Systembeskrivning	s.32
4.1.1 Västergatan 21	s.32
4.1.2 Toras väg	s.36
4.1.3 Södra järnvägsgatan	s.37
4.2 Mätvärdesinsamling	s.38
5. Resultat	s.40
5.1 Västergatan 21	s.40
5.2 Toras väg	s.42
5.3 Södra järnvägsgatan	s.45
6. Diskussion och slutsats	s.47
7. Referenser	s.49
8. Bilagor	s.51

1. Introduktion

1.1 Bakgrund

Energieffektiviseringsåtgärder utförs på allt fler byggnader i Sveriges bostads- och servicesektor. Den totala energianvändningen i bostads och servicesektorn var 2011 nästan 147 TWh vilket motsvarar cirka 40 % av Sveriges totala energianvändning. Ungefär 60 % av detta var energi som användes till uppvärmning och tappvarmvatten i sektorn.¹

År 2012 reviderades Sveriges energieffektiviseringsmål. Från att vara 20 % minskning av den totala energianvändningen till att vara 17 % minskning år 2020 relativt år 2008. Detta sätter stora krav på samtliga sektorer och ger behov av ett stort energieffektiviseringsarbete. Byggföretag jobbar därför mot att minska energibehovet för nybyggnationer. Stora renoveringsarbeten pågår också för att sänka behovet av energi i befintligt byggnadsbestånd runt om i Sverige. Från och med år 2019 träder en ny lag rörande nybyggnationer i kraft. Denna lag säger att alla villor som byggs från och med 2019 måste uppfylla kriterierna för nollhus.¹

Vilka åtgärder som utförs i en byggnad är starkt beroende av vad kunden i fråga är villig att göra för investering, vad leverantören ger för garantier, samt vilka subventioner som finns att utnyttja. I de flesta fall blir återbetalningstiden den mest centrala faktorn när kunden ska göra sitt val, oberoende av om kunden är ett företag eller privatperson. Som leverantör av ett system är det av högsta prioritet att de överenskommelser och garantier som utlovats uppfylls.

En allt vanligare typ av arbetssätt som används för att ge trygghet åt kunder är bland annat det så kallade ”performance based” – systemet.² Detta innebär i korthet att leverantören garanterar ett visst utfall i energianvändning av ett installerat system och åtar sig att stå för kostnaderna om det förväntade resultatet uteblir. Kunden betalar därmed beroende av resultat. För att förbli konkurrenskraftiga investerar därför företag i olika uppföljningar av sina system för att säkerställa att systemen fungerar i realiteten och för att få löpande information om vilka installationer som ger bäst resultat. Den här rapporten är ett exempel på en sådan uppföljning på området frånluftsvärmepumpar.

1.2 Statistik

Under 2011 var den totala inköpta energimängden för varmvatten och uppvärmning i flerbostadhus 24,3 TWh. Av denna energimängd bestod 22,2 TWh av fjärrvärme, vilket motsvarar 92 %. Den el som användes för uppvärmning och varmvatten under 2011 var drygt 5 %, eller 1,3 TWh, i flerbostadshusen. I fallet med värmepumpar räknas endast den el som krävs för att driva pumpen. Upptagen energi från värmepumpens värmekälla är alltså inte medräknad. Övriga uppvärmningssystem, såsom bibränslepannor och oljepannor m.m, förekommer endast i storleksordningen 0,1 – 0,35 TWh i flerbostadshussektorn för 2011.¹

¹ Energiläget 2012, Energimyndigheten.

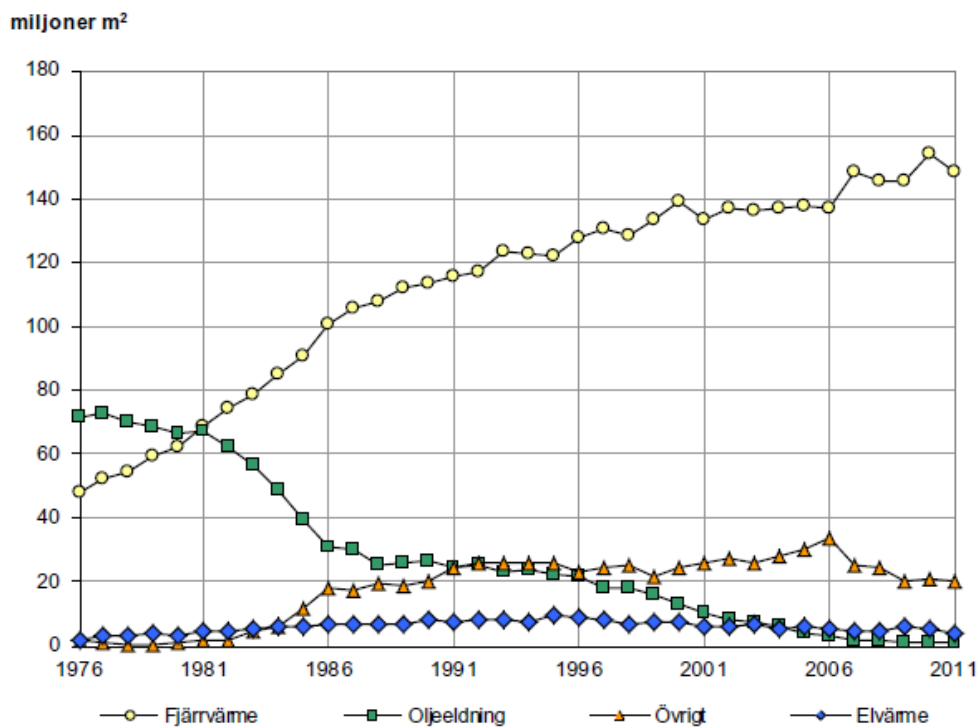
² Johansson. Louise, Siemens (2012)

I genomsnitt användes 140 kWh per kvadratmeter och år för uppvärmning och varmvatten i flerbostadshusen. Energianvändningen för uppvärmning och tappvarmvatten i flerbostadshus byggda efter år 2000 är ca 110 kWh per kvadratmeter. Två av de viktigaste faktorer som påverkar detta värde är husets energiprestanda, samt hur kallt året i fråga har varit. 2011 var i perioden 2006 – 2011 ett relativt varmt år vilket gjorde att energianvändningen för det året är lägre än för normalåret. Se tabell 1. Dessa värden jämförs genom en gradtagskorrigering för året, se kap 2.3.

Genomsnittlig energianvändning	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Genomsnitt per kvadratmeter (kWh/m ²)	156	151	145	148	159	140

Tabell 1. Energianvändning per kvadratmeter ³

Under 2011 värmdes ungefär 172,3 miljoner kvadratmeter golvyta upp, där 86 % uppvärmdes av fjärrvärme. Sedan 2002 har andelen fjärrvärmeuppvärmda flerbostadshus ökat med cirka 9 % medan de oljeuppvärmda husen minskat till en andel av cirka 0,5 %. Direktverkande eller vattenburen elvärme står för cirka 2 % av total energianvändning i sektorn.³ I figur 1 åskådliggörs trenderna i använda uppvärmningssystem för flerbostadshus med avseende på uppvärmd golvyta.

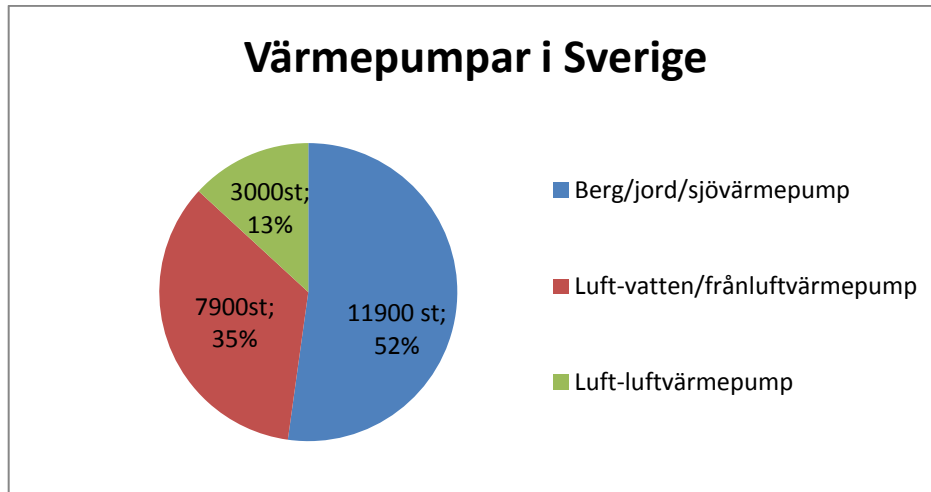


Figur 1: Utveckling av energisystem i flerbostadshus.

Figuren beskriver trenden för olika uppvärmningssystem från -76 till 2011 fördelat på antal uppvärmda kvadratmeter i flerbostadshus. I kategorin elvärme ingår de flerbostadshus som är eluppvärmda och värmepumpar. I kategorin övrigt finns de fall med kombinationer av uppvärmningssystem t.ex. fjärrvärme och bergvärme eller elvärme och solfångare osv.³

³ Energimyndigheten, *Energistatistik för flerbostadshus 2011*

I Sverige fanns cirka 20 000-26 000 värmepumpar installerade år 2011. Osäkerheten i antal beror på att undersökningen baseras på enkätundersökningar utförda på ett visst antal personer och därefter har en approximation genomförts för resterande del av befolkningen. Fördelningen för 2011 över olika typer av befintliga värmepumpsystem beskrivs i figur 2.⁴



Figur 2: Värmepumpar i Sverige.

Figuren beskriver antal och fördelning av värmepumpar i svenska flerbostadshus.

En avgörande faktor vid lönsamhetsberäkningar av en installation är rådande pris på, samt pristrender för, de energitjänster som marknaden erbjuder.

Priset på fjärrvärme varierade år 2009 mellan 40 öre/kWh och 80öre/kWh i Sverige. Genomsnittspriset låg på ca: 69 öre/kWh⁵

Totalpriset för el motsvaras av summan för nätavgift, elenergiavgift och energiskatt och varierar med året.⁶ Dessutom gäller olika energiskatteregler för privatpersoner och företag, vilket gör att elpriset bli än mer vanskligt att standardisera. Energimyndigheten approximerar i sina uträkningar från december 2012 elpriset till 1,5kr/kWh.⁷

En av Statistiska centralbyrån approximerad pristrend för fjärrvärme till flerbostadshus i Sverige är presenterad i figur 3. Denna pristrend stäcker sig mellan januari 2002 och mars 2012.

⁴ Energimyndigheten, *Energistatistik för flerbostadshus 2011*

⁵ Bernstad, Anna, "Fjärrvärme idag och i framtiden" 2009

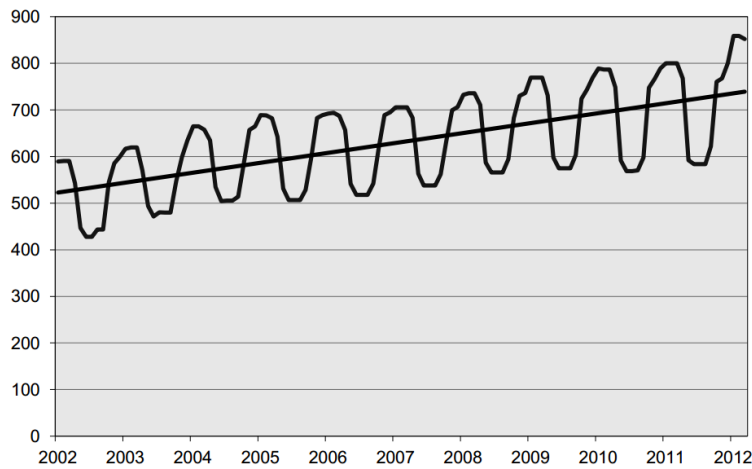
⁶ Energiavgifter, Lanskröna stad 2013

⁷ *Energianvändning i hemmet, Energimyndigheten 2012*

I figur 4 åskådliggörs trenden för det totala elpriset mellan januari 2007 och december 2011.

Fjärrvärmepriser för flerbostadshus januari 2002 – mars 2012, kr/MWh

Medelpris, kr/MWh

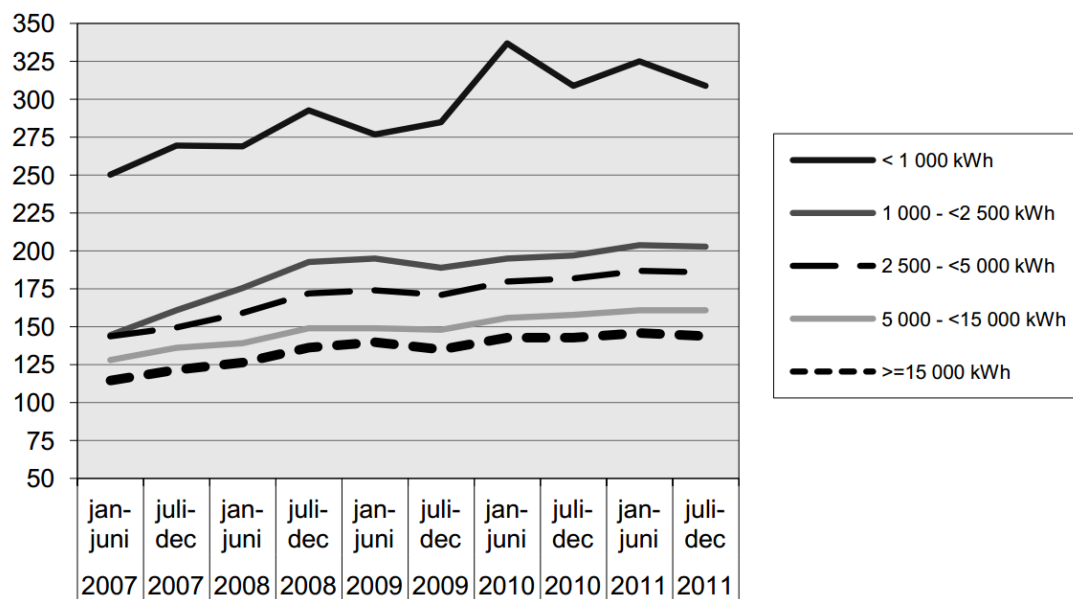


Figur 3: Fjärrvärmepristrend⁸

Figuren beskriver fjärrvärmepriset som funktion av tid.

Elpriser för hushållskunder, undersökningsmetod fr.o.m. 2007

Öre/kWh



Figur 4. Elpristrend.⁸

Figuren beskriver det totala elpriset inklusive nätavgift och skatter som funktion av tid. De olika linjerna står för årsförbrukning.

⁸ Prisetveckling på el och naturgas samt leverantörbyten, SCB 2012.

1.3 Syfte och mål

Rapporten syftar till att utvärdera två luftvärmepumpar i Växjö och en i Karlskrona med avseende på besparingar rörande energi och kostnad, samt till en inbördes jämförelse värmepumparna emellan. Rapporten ska fungera som underlag för framtida undersökningar på området.

Målet är att presentera svar på följande frågor:

- Vilken värmefaktor har respektive värmepump?
 - Presentera i diagram hur frånluftsvärmepumparnas värmefaktor sett ut under den driftperiod som finns dokumenterad.
- Hur stor del av fastighetens totala energibehov har täckts under driftperioden?
 - Givna mätdata från driftperioden sammanställs och presenteras i diagram.
- Hur stor är energi- och kostnadsbesparingen jämfört med tidigare uppvärmningssystem för de tre fastigheterna?
 - Presentera i diagram hur energikostnaderna skiljer sig mellan de tre frånluftsvärmepumpsystemen och tidigare energisystem.

1.4 Avgränsningar

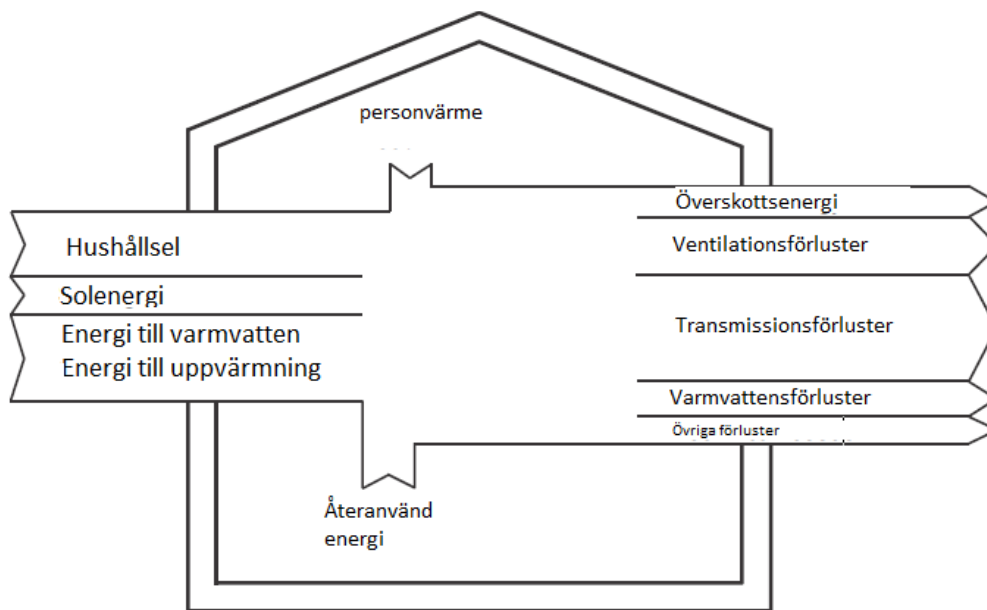
- Rapporten kommer inte att presentera en eventuell felanalys eller analysera orsaker till frånluftsvärmepumparnas resultat.
- Rapporten behandlar endast de tre värmepumparna i Växjö och Karlskrona.
- Jämförelsen kommer endast beröra dessa tre system och deras tidigare använda uppvärmningssystem med avseende på effektivitet och installationskostnad. Jämförelser mot andra eventuella system kommer inte tas upp i rapporten.
- Undersökningar och jämförelser av byggnadernas klimatskal och skillnader i dessa genomförs ej under projektet.
- Förslag på förbättringar kommer att nämnas, men då endast ur praktiska synvinklar. På grund av projektgruppens bristande kompetens rörande avancerade teoretiska analyser på området utelämnas därmed djupgående förbättringsförslag på systemen.

2. Teori

2.1 Byggnadens energibalans

Det finns en mängd olika kommersiellt använda metoder för att säkra en byggnads värmeförsörjning. Detta kapitel behandlar de mest utbredda systemen för svenska flerbostadshus. De faktorer som avgör valet av system är bland annat byggnadens läge, byggnadstyp, miljöhänsyn och ekonomi.⁹

Eftersom energin i ett hus ständigt flödar ut och in behöver man veta vilka faktorer som behöver tas med i beräkningar för att upprätthålla en önskad energibalans. Följande figur beskriver de vanligaste energiflödena i ett bostadshus.



Figur 5: Energibalans i bostadshus.¹⁰

I fallet då energiflödet in i byggnaden är lika med det som går ut är energibalansen i jämvikt, och konstant inomhustemperatur erhålls.

Energibalanskvationen kan fördelas in i olika delposter, och uttrycks i formel 1.¹¹

$$Q_{\text{uppvärmning}} = Q_{\text{transm.}} + Q_{\text{vent}} + Q_{\text{läck}} + Q_{\text{avlopp}} - Q_{\text{tillskott}} - Q_{\text{återvinning}} \quad [\text{kWh}] \quad (1)$$

⁹ Enno Abel, Arne Elmroth. *Byggnaden som system*. 2006.

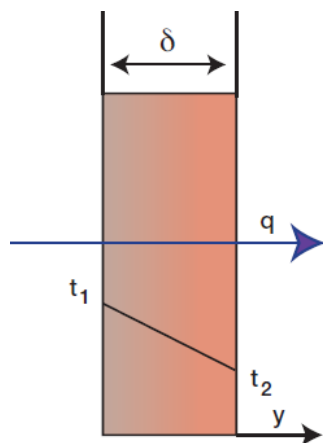
¹⁰ Hiller, Carolina, *Sustainable energy use in houses 2003*

¹¹ Boverket, *Förslag till revidering av Boverkets Byggregler. Kap. 9 2013*

2.1.1 Transmissionsförluster

En byggnad kan ur ett energiflödesperspektiv ses som ett skal vars uppgift är att fungera som en skiljevägg mellan önskat inneklimat och omgivande klimat. Enligt termodynamikens andra huvudsats transporteras energi från en källa med hög koncentration över en gradient till en lägre koncentration till dess att jämvikt uppnåtts. Det vill säga att i en byggnad kommer energi att transporteras från den varma till den kalla sidan av klimatskalet. För att bibehålla en önskad inomhustemperatur krävs således en uppvärmning, alternativt en nedkylning, av byggnaden. Energi överförs genom ett klimatskal på tre olika sätt; genom värmeledning, konvektion och strålning. Dessa faktorer inkluderas vid beräkning av klimatskalets U-värde. Följande stycken härleder ekvationen för U-värdet.

Ett klimatskals värmeledningsförmåga beror på vilket/vilka material det består av. Ett materials värmeledningsförmåga uttrycks som dess termiska konduktivitet, λ , och är specifikt för varje material. Tjockleken på materialet betecknas som δ , se figur 6. Konduktiviteten och tjockleken för varje ingående material i klimatskalet behandlas separat varefter de summeras och behandlas som endast ett material. Tillsammans med ytemperaturen på den varma respektive kalla sidan av klimatskalet kan energiflödet genom ledning beräknas genom formel 2.¹²



Figur 6: Värmeledning

$$q_{v\ddot{a}gg} = \frac{\lambda \times (\Delta t)}{\delta} \quad [\text{W/m}^2] \quad (2)$$

Värmeöverföring genom konvektion innefattar den värme som transporteras inom en fluid, eller överförs till eller från en kropp genom rörelsen i den omgivande fluiden. Fluidens molekylhastighet vid kroppens yta är noll varför värmeövergången endast sker genom värmeledning. Vid en yttervägg där värmeöverföringen sker från insidan av byggnaden till luften på utsidan har ytterväggens yta en högre temperatur än uteluften. Denna temperaturdifferens driver, tillsammans med yttre omständigheter, såsom vindpådrag, den totala konvektionen.

¹² Teknisk handbok – luftbehandlingsteknologi, Fläkt woods.

Den totala konvektionen kan delas upp i två typer:

- Värmeupptagningen i luften gör att dess molekyler får en rörelseenergi vilket medför att luftens densitet sjunker. Därmed stiger luften, medan kallare luft dras in mot värmeöverföringsytan. Detta fenomen kallas egenkonvektion.¹³
- Påtvingad konvektion uppkommer när någon yttre faktor t.ex. vind tvingar fluiden till rörelse.

Värmeutbytet genom konvektion beräknas genom skillnaden i temperatur mellan väggens yta och den omgivande fluiden, storleken på den yta där värmeöverföringen sker, samt en värmeövergångskoefficient α . Denna koefficient är ett mått på hur effektiv värmeöverföringen mellan ytan och fluiden är och beror på en mängd faktorer såsom väggmaterial, ytans form, fluidens egenskaper, strömningssätt etc. En ökad rörelsemängd hos fluiden ökar konvektionen, d.v.s. ett klimatskal som utsätts för stark vind överför mer energi till vinden än ett klimatskal som utsätts för en svagare vind förutsatt att vinden har lägre temperatur än klimatskalet. Vid värmetransport genom en vägg beräknas ett alfavärde för den varma sidan α_v och ett för den kalla sidan α_k .¹³ Värmeflödet genom konvektion beräknas genom formel 3.

$$q_{konvektion} = \alpha_{konvektion} \times (\Delta t) \quad [\text{W/m}^2] \quad (3)$$

Ett material som har en temperatur över den absoluta nollpunkten avger energi i form av strålning. Det strålningsflöde som avges från en yta är starkt beroende av ytans absoluta temperatur enligt Stefan-Boltzmanns lag, presenterad i formel 4.

$$q_{strålning} = \epsilon \times C_s \times \left(\frac{T}{100}\right)^4 \quad [\text{W/m}^2] \quad (4)$$

För att kunna tillämpa värmetransporten genom strålning skrivs ekvationen för densamma om till formel 5 som även tar hänsyn till instrålningsvinkel.

$$q_{strålning} = \alpha_{strålning} \times (\Delta t) \quad [\text{W/m}^2] \quad (5)$$

Genom att addera α -värdena från strålning och konvektion på den varma respektive kalla sidan samt lägga till värdena för värmeledningsförmågan kan värmegenomgångskoefficienten, U-värdet, beräknas enligt formel 6.

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_{strålning.v} + \alpha_{konv.v}}\right) + \left(\frac{\delta}{\lambda}\right) + \left(\frac{1}{\alpha_{strålning.k} + \alpha_{konv.k}}\right)} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (6)$$

Vid beräkning av U-värden för byggnader behövs hänsyn även tas till de köldbryggor som uppstår i byggnaden. Dessa kan exempelvis uppstå vid anslutningar mellan golv och tak, balkongutstick och i byggnadens hörn. Dessa kan beräknas separat enligt standarder, exempelvis SS-EN ISO 14683. Vid beräkning av U-värden i befintliga byggnader används dock vanligast förenklade metoder där genomsnittliga värmegenomgångskoefficienter beräknas för hela byggnaden.¹⁴

¹³ Energiteknik, Alvarez. H, del 1-2006

¹⁴ Isover 2013

Standardekvationen för energiflödet genom en plan yta anges i formel 7.

$$q_{tot} = U \times (\Delta t) \quad [\text{W/m}^2] \quad (7)$$

2.1.2 Ventilationsförluster

Ett ventilationssystemets uppgift är att föra bort fukt, samt se till att utrymmet som ska ventileras uppnår en luftkvalitet med tillräckligt låga halter av föroreningar, exempelvis i form av koldioxid och partiklar. Ventilationssystemet kan även ha som uppgift att tillföra kyla eller värme till utrymmet. Därför blir luftflödet och luftens omblandning i utrymmet viktiga storheter. Ventilationssystemet ska tillmötesgå samtliga dessa faktorer utan att personer i lokalen utsätts för alltför stort drag. Som standard för luftombyte används 0,5 luftomsättningar per timme av lokalens totala volym.¹⁵

Vid beräkning av ventilationsförluster antas tilluften ha samma temperatur som uteluften, medan frånluften antas ha samma temperatur som rumsluften. Om energi återvinns ur frånluften beräknas denna energimängd på samma sätt som i formel 8, men behandlas separat under posten $Q_{\text{återvinning}}$. De faktorer som påverkar fastighetens energiförbrukning är alltså temperaturdifferens, ventilationsflöde, luftdensitet och värmekapacitet.¹⁶

$$Q_{vent} = v_{vent} \times \rho \times C_p (\Delta t) \quad [\text{W}] \quad (8)$$

Ventilationsförlusterna för ett konventionellt flerbostadshus beror på flertalet faktorer men uppgår ungefär till 35 % av byggnadens totala energiförluster.¹⁷

2.1.3 Avloppsförluster

De energiförluster som uppkommer till följd av användning av varmvatten som spolas ut i avloppet vid användning av exempelvis dusch och kök är starkt beroende av antalet människor som bor i byggnaden och deras beteendevanor. Varmvattnet håller ungefär samma temperatur när det går ut i avloppet som det hade vid uppvärmningen. Den energimängd som gick åt vid uppvärmningen är därmed densamma som den energimängd som lämnar fastigheten. För att minska energianvändningen utförs därför åtgärder för att minska vattenförbrukningen. Det kan exempelvis handla om vattenanvändningseffektiva blandare i tvättmaskiner, luftinblandning i duschmunstycken, snålspolande perlatorer mm.¹⁸

2.2 Värmeåtervinning

Vid värmepumpinstallationer finns ett antal olika värmekällor att välja mellan. Värmen kan bland annat hämtas ur uteluft, frånluft, berg, ytjord, sjö eller grundvatten. Vilken värmekälla som är mest lönsam varierar med avseende på fastighetens geografiska läge, effektuttag och önskad temperatur på radiatorvatten och tappvarmvatten mm.¹⁹

¹⁵ Per Wickman

¹⁶ Hiller, Carolina, *Sustainable energy use in houses 2003*

¹⁷ Abdul Hakim Abdul Ali

¹⁸ Enno Abel, Arne Elmroth. *Byggnaden som system. 2006.*

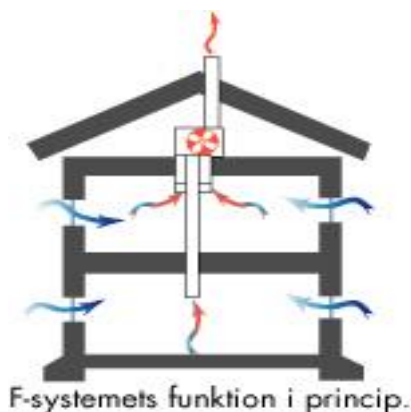
¹⁹ *Energimyndigheten 2013*

Det är viktigt att göra en avvägning rörande dimensionering av värmepumpen för att nå maximal lönsamhet. Värmepumpssystem är ofta som mest lönsamma då de dimensioneras för att täcka 60- till 70% av fastighetens maximala effektbehov. Man räknar då med att värmepumpen täcker 90% av fastighetens årliga effektbehov.²⁰ Spetsning med annan energikälla, exempelvis elpatron eller fjärrvärme, täcker resterande effektbehov då värmepumpen inte räcker till. Följande kapitel behandlar den värmeåtervinning som kan utvinnas ur frånluften i en fastighets ventilationssystem.

2.2.1 Konventionella ventilationssystem

Som nämnts tidigare behöver ett ventilationssystem bland annat tillgodose en lokal 0,5 luftombyten per timme enligt standard. Detta medför att det, oberoende av ventilationssystem, finns ett konstant flöde av varm luft som transporteras genom en fastighet i vilken värmeåtervinning är möjlig. Ventilationssystem kan i stort delas in i fyra olika tekniska undergrupper beroende på systemets utformning och funktion. Den första och enklaste varianten kallas självdragssystem, eller S-system.

- Självdragssystemet verkar genom att frånluften från de olika utrymmena transporteras genom byggnaden via skorstensverkan. Det fungerar genom att varm luft, på grund av dess lägre densitet, stiger och lämnar fastigheten varefter uteluft sugas in. Ventilationsflödet är passivt och beror därför enbart av temperaturdifferensen mellan uteluft och rumsluft. Vid det fall då dessa två temperaturer är lika erhålls inget ventilationsflöde.
- Det andra systemet kallas frånluftssystem, eller F-system. Systemet är i princip utformat som ett självdragssystem med skillnaden att luften sugas ut i frånluftskanalen med hjälp av en fläkt. På detta sätt kan fastighetens undertryck upprätthållas oberoende av temperaturdifferens mellan uteluft och rumsluft, och ventilationsflödet kan därmed hållas konstant. Tilluften till F-system sugas vanligen in via ventilationsdon i klimatskalet.²¹



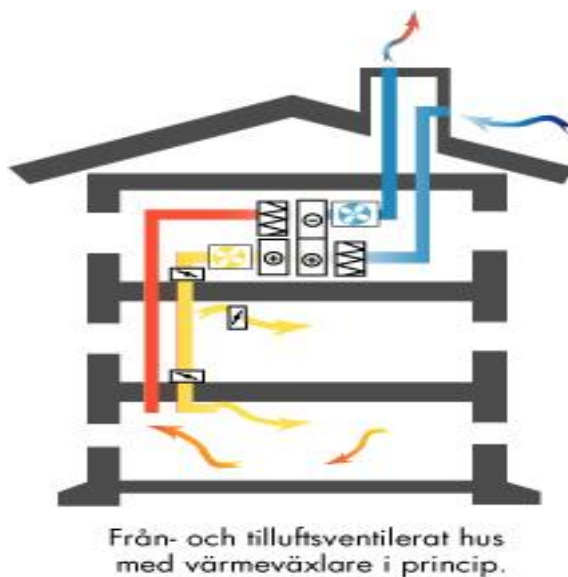
Figur 7: Frånluftssystem²²

²⁰ Palm, Björn & Nowacki. Jan-Erik 2010

²¹ Enno Abel & Arne Elmroth. Byggnaden som system. 2006.

²² Svensk ventilation, frånluftssystem

- Den tredje kategorin är ett från- och tilluftssystem, eller FT-system. I FT-system kan uteluften förvärmas och/eller renas från partiklar med hjälp av ett tilluftsaggregat innan den tillsätts fastigheten. Därmed tillförs all uteluft systemet via en tilluftsfläkt istället för att sugas in via ventilationsdon i klimatskalet. Aggregatet för tilluften kan ha olika utformning och funktion beroende på vilken luftkvalitet och temperatur som vill åstadkommas. Frånluften bortförs via en frånluftsfläkt.
- Den fjärde och sista kategorin som nämns här är ett modifierat FT-system som återvinner värmen i frånluften via värmeväxling, ett FTX-system. Den återvunna värmen i frånluften återvinns, vanligen via en roterande värmeväxlare, för att minska den energi som behöver tillsättas för att nå önskad temperatur på tilluften.²³



Figur 8: FTX-system²⁵

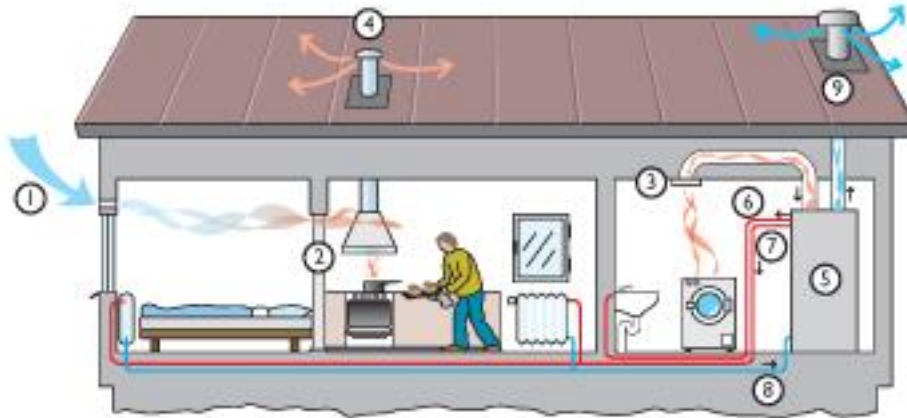
2.2.2 Frånluftvärmepumpar

Frånluftsvärmepumpstekniken har för mindre fastigheter varit kommersiell sedan 70-talet, och har på senare tid även börjat tillämpas i flerbostadshus.²⁴ Tekniken bygger på att energin i det rumstempererade frånluftsflödet från lägenheter och lokaler används som värmekälla till förångaren istället för att direkt fläktas ut på taket. För att skapa ett sug till värmepumpens förångare krävs därför mekanisk ventilation, se F-system under kapitel 2.2.1.²⁵

²³ Enno Abel, Arne Elmroth. *Byggnaden som system*. 2006.

²⁴ Wickman. *Per*, 2013

²⁵ Energimyndigheten, *Luftvärme 2013*



Figur 9: Frånluftsvärmepumpsystem. Figuren åskådliggör hur de olika luft och vattenflödena samspelar i ett frånluftsvärmepumpsystem. Noteras bör att den frånluft som går från kökets kåpa lämnar fastigheten utan att passera värmepumpen i detta exempel.²⁷

Vissa typer av frånluftsvärmepumpar kyler luften från rumstemperatur till runt 4 °C. Sådana system kallas ”icke kondenserande system”. Namnet härleds ur att den fukt som frånluften innehåller inte kondenserar vid drift. Det finns även värmepumpsystem som kyler frånluften till temperaturer under -10 °C kallade ”kondenserande system”. Kondenserande system har fördelen att de utnyttjar ångbildningsentalpin i den fuktiga luften då vattenånga kondenserar i förångaren, se figur 14 ”Mollierdiagram för fuktig luft”. Det ansamlade kondensvattnet i förångaren behöver lämpligen ledas av för att undvika frost och korrosion i ledningar etc.²⁶

Effektuttaget ur ett specifikt frånluftsvärmepumpsystem är, enligt formel 8, beroende av lufttemperatur och luftmassflöde. Eftersom frånluftens temperatur kan anses konstant runt 21 °C oavsett årstid är denna värmekälla tillgänglig året om. Frånluftsflödet är lika med summan av alla uteluftsflöden som suges in i fastigheten. Eftersom frånluftsflödet antas vara konstant oavsett utomhustemperatur medför det att frånluftsflödets effekt är konstant över hela året. Då uteluften understiger en viss temperatur finns därför en risk att frånluftsflödets effekt inte räcker till för att värmepumpen ska kunna täcka hela fastighetens uppvärmningsbehov. Problemet löses då genom spetsning med en separat energikälla, vanligen fjärrvärme eller elpatroner, som integrerats i systemet.²⁷

Installationer av värmepumpsystem i flerbostadshus kan medföra vissa komplikationer:

- För installation av ett vattenburet värmepumpsystem för tappvarmvatten och radiatorer krävs att fastigheten har ett befintligt rörsystem. Många flerbostadshus som byggts under 70-talet värms upp av direktverkande el, och har således inga vattenrörledningar till radiatorerna. En värmepumpinstallation i en sådan fastighet medför därför extra installationskostnader för rördragningar.
- Fastigheten skall lämpligen ha ett utrymme på taket, vinden eller i källaren tillräckligt stort för att värmepumpen och dess rörsystem ska få plats. Dessutom skall värmepumpen kunna vara lättillgänglig för service och reparationer.

²⁶ Energi-Miljö 2011

²⁷ Energimyndigheten, Luftvärme 2013

- Mekaniskt buller från fläkt och kompressor medför att ljudisolering ofta är absolut nödvändigt för att uppsatta bullergränsvärden inte ska överskridas. En varvtalsstyrd kompressor orsakar mindre mekaniskt buller än en enstegskompressor.²⁸

Marknaden erbjuder idag ett antal olika frånluftsvärmepumpslösningar som främst skiljer sig åt med avseende på kompressor, köldmedium och temperaturdifferens mellan hög och lågtryckssida.

Man skiljer på två olika typer av frånluftsvärmepumpssystem; det första kallas rent frånluftssystem. Det rena frånluftssystemet utvinnet endast energi ur fastighetens frånluft. Effektuttaget ur en ren frånluftprocess är därmed begränsat av frånlufttemperatur samt frånluftsfloödet.

Det andra systemet kallas ett mixat system. Det mixade systemet blandar frånluft med uteluft för att höja luftflödet genom förångaren. Det ökade luftflödet medför att värmepumpen kan plocka ut en högre effekt genom att även nyttja temperaturdifferensen mellan förångare och uteluftsfloödet. Systemet förutsätter att uteluften håller en temperatur tillräckligt hög för att inte hämma processen.

Värmepumpars verkningsgrad brukar uttryckas i värmefaktor, eller COP, som står för Coefficient Of Performance. Denna verkningsgrad talar om hur mycket nyttig värmeenergi som kan plockas ut i förhållande till tillsatt elenergi. COP-värdet är därmed dimensionslöst och beräknas genom formel 9.

$$\Phi_{COP} = \frac{|Q_{nyttig}|}{|Q_{nyttig}| - Q_{upptagen}} = \frac{Q_{nyttig}}{w_{el}} \quad (9)$$

COP-värden varierar med kretsens temperaturdifferens, värmepumpssystem och olika värmepumpsleverantörer. En ökad temperaturdifferens mellan värmepumpens högtryck och lågtryckssida medför ett lägre COP beroende på att kompressorn då behöver nyttja högre effekt för att driva processen. Detta medför att framledningstemperaturen önskas hållas så låg som möjligt för ett högt COP. Fastigheter med golvvärme kräver lägre framledningstemperatur, vilket därmed ger ett högre COP än fastigheter med radiatorsystem. Framledningstemperatur måste dock, då värmepumpen avses värma tappvarmvatten, vara runt 60 °C för att undvika tillväxt av legionellabakterier. Produktion av tappvarmvatten har på grund av den högre kondenseringstemperaturen därför en negativ inverkan på värmepumpens COP.²⁹ Studier har visat att värmepumpars COP-värden varierar mellan 5 och strax under 2. Dessa visade också att uteluftvärmepumpars COP-värde sjunker mellan 0,67 och 1,07 per 10 °C temperaturdifferens mellan värmepumpens högtrycks- och lågtryckssida.³⁰

Den energibärare som cirkulerar mellan värmepumpkretsens högtryck respektive lågtryckssida kallas köldmedium. I värmepumpen tas värme upp vid lågtryckssidan på köldmediets krets vid låg kokpunkt varefter köldmediet förångas. Genom att med en kompressor trycksätta köldmediet höjs dess kokpunkt, vilket medför att värme kan plockas ut vid den högre kokpunkten.

²⁸ Klint. Ulf, 2013

²⁹ Olsson. Daniel, "Tappvarmvatten i flerbostadshus" 2013

³⁰ Staffell. Iain 2012

Det finns ett flertal typer av köldmedier på marknaden som är lämpliga för olika förångnings- och kondenseringstryck och temperaturer. Val av köldmedier görs därmed med hänsyn till de arbetspunkter processen avgränsas av. Sambandet mellan förångningstemperatur och tryck åskådliggörs av en ångtryckskurva som är specifik för varje köldmedium, se figur 11. Ur detta diagram kan avläsas vilken kompressoreffekt som fordras för att upprätthålla det tryck som ger önskad kondenseringstemperatur i kretsen.³¹ Några ämnestyper som kan användas som köldmedier är:

- CFC (freoner)
- HCFC
- HFC
- Ammoniak
- Propan
- Isobutan

De köldmedier som innehåller klor-fluorföreningar har visat sig vara ozonnedbrytande, vilket har medfört att de i västvärlden nästan helt fasats ut. Användningen av freoner är sedan 90-talet förbjudet i Sverige, och från och med 2015 är även HCFC-föreningar förbjudna att användas. På grund av förbuden ersätts vanligen CFC och HCFC med HFC, som är legalt. Köldmedie 407C är ett HFC som idag används i kommersiella värmepumpsystem.³²

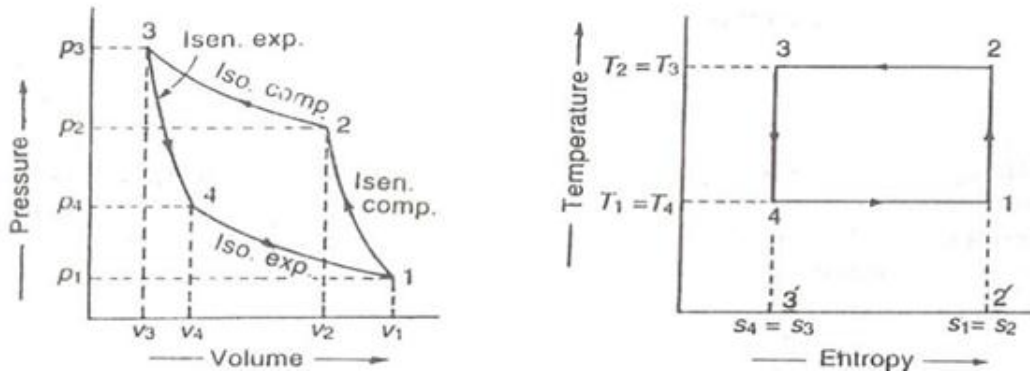
Det energiutbyte som kan tas ut från köldmediet i värmepumpen begränsas av vad som kallas carnotprocessen. Carnotprocessen är en kretsprocess av grundläggande betydelse för termodynamiken och anger det teoretiskt största energiutbyte som kan uppnås då en termisk maskin, exempelvis en värmepump, arbetar mellan två temperaturer. Eftersom det alltid förekommer förluster i system kommer carnotprocessens verkningsgrad inte att kunna uppnås i verkliga fall, men kommer att utgöra ett gränsvärde för hur effektiv processen teoretiskt kan vara.³³

Carnotprocessen är tillämpbar för såväl värmemotorer, där man utnyttjar temperaturdifferensen eftersträvar mekanisk energi, som kylmaskiner och värmepumpar där man tillsätter exergi i form av el för att nå önskad temperaturdifferens. Dessa termodynamiska processer behandlas vanligen i Ts - och pV -diagram där förhållanden mellan en ideal gas temperatur och entropi, respektive tryck och specifik volym kan utläsas för processens alla fyra delsteg enligt figur 10. Senare i kapitlet beskrivs dessa delsteg för värmepumpar i detalj.

³¹ Alvarez kapitel 8 "Termodynamisk process"

³² "Särskilda regler för CFC, HCFC och HFC", Motala kommun 2012

³³ Alvarez, H 2013



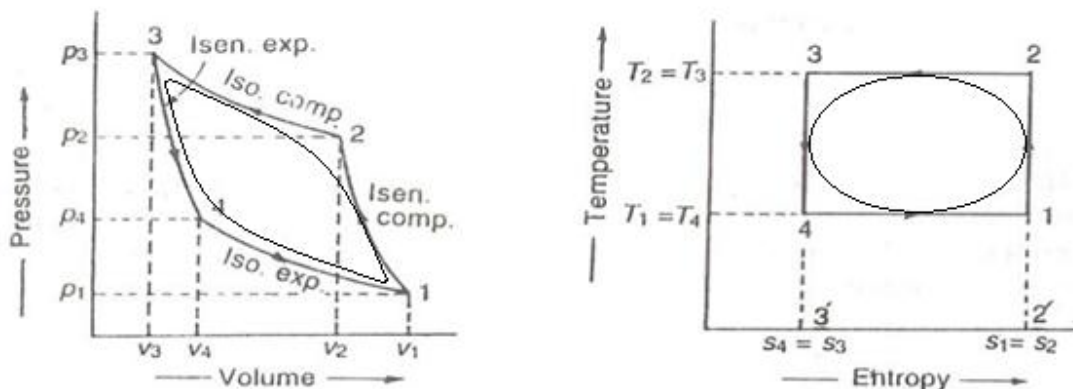
Figur 10: Pv- och ts-diagram.

Figuren beskriver gstryck som funktion av volym samt temperatur som funktion av entropi för en ideal kylmaskin/värmepumpprocess enligt Carnotprocessen.

För en värmemotor går carnotprocessen medurs, där den erhållna mekaniska energin motsvaras av den av processlinjerna inneslutna arean. För värmepumpar går processen moturs, vilket medför att arean innanför processlinjerna motsvarar tillförd elenergi, medan den nyttiga energin utgörs av tillförd elenergi adderat med upptagen energimängd i förångaren. Den teoretiskt maximala värmefaktorn mellan två givna temperaturer motsvaras av carnotverkningsgraden, vars definition presenteras i formel 10.²⁷

$$\phi_c = 1 - \frac{T_1}{T_2} \quad (10)$$

På grund av att det i alla verkliga fall finns förluster i termodynamiska kretsar kommer den verkliga verkningsgraden för värmepumpsystem alltid att vara lägre än carnotverkningsgraden. På grund av dessa förluster kommer de isoterma och isentropa kompressions- och expansionsförhållandena inte att uppfyllas. Istället kommer förloppet vara av polytropisk karaktär. Detta medför att Ts- och pv-diagram för verkliga processer kommer att avgränsas av linjerna för carnotcykeln, men vara avrundade i kanterna enligt figur 11.



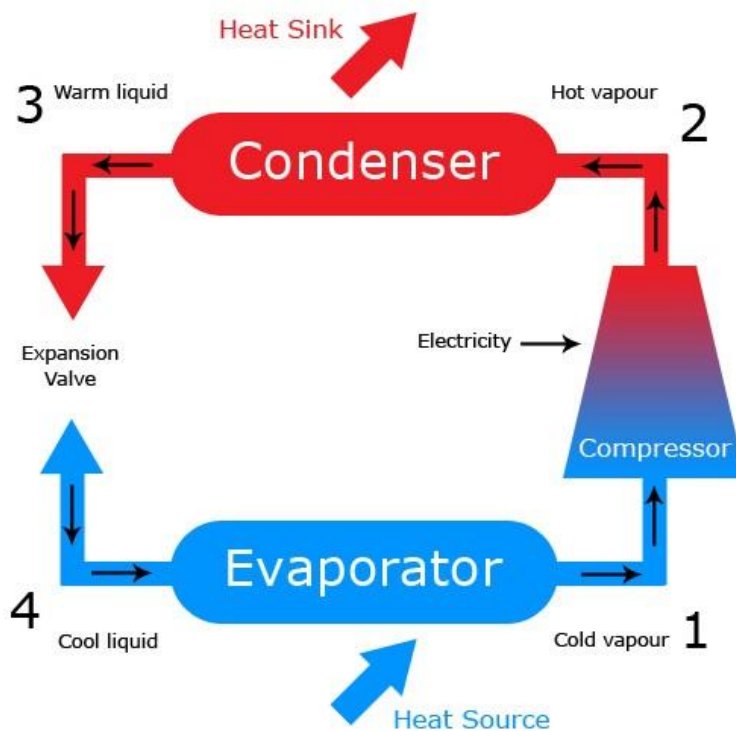
Figur 11: Pv- och ts-diagram för verklig kylmaskin/värmepumpprocess.

De kantiga processlinjerna visar de teoretiskt möjliga delstegen medan de avrundade motsvarar en verklig process.

För en värmepump kan dessa förluster bland annat bero på:

- Rörförluster, som bl.a. beror på turbulenser i köldmediets eller kretsvattnets strömning, vilket ökar friktionen mot rörväggarna med oönskad värmeutveckling som följd. På grund av detta eftersträvas laminär rörströmning i högsta mån.
- Kompressorförluster, se kapitel 2.2.2.1.
- Värmetransport genom värmepumpens isolering. Detta innebär, för en värmepump placerad utomhus, en direkt effektförlust till omgivningen. Om värmepumpen däremot är placerad innanför fastighetens klimatskal, t.ex. i källaren, kan dock denna värme ses som nyttig i den mån att den försörjer källaren.

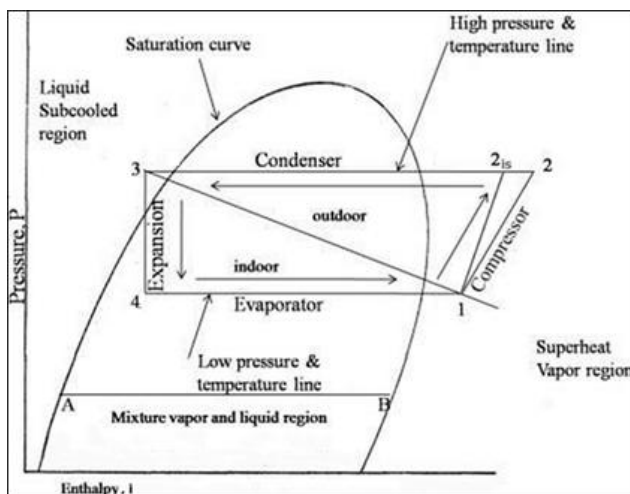
En förenklad bild av värmepumpprocessen finns presenterad i figur 12. För värmepumpsberäkningar används vanligen en ångtryckskurva där tryck presenteras som funktion av entalpi per kg kölmedie enligt figur 13. Ur dessa diagram kan köldmediets entalpi vid varje delsteg i processen erhållas. Nedan följer en genomgång av de fyra delstegen i en värmepumpkrets.



Figur 12: Förenklad processbild av ett värmepumpsystem³⁴

³⁴ *Cookes renewables 2013*

- Mellan punkt 1 och 2 råder i teorin isentropisk kompression, vilket motsvarar kompressorns isentropa kompression av kylmedium. Detta steg höjer temperatur och tryck på kylmediet under konstant entropi. I verkligheten råder, på grund av tidigare nämnda förluster, polytropisk kompression. Detta medför att processen kräver mer elenergi för komprimera mediet till önskat tryck. Eftersom kompressorn är aktiv kräver alltså detta steg en tillförsel av elenergi motsvarande $i_2 - i_1$ per viktenhet kylmedium, se figur 11.
- Mellan punkt 2 och 3 genomgår köldmediet isoterm kompression, vilket motsvarar det steg i värmepumpprocessen då köldmediet avger sin nyttiga energi till fastigheten. Detta sker genom att kylmediet kondenserar mot en värmeväxlare ansluten till fastighetens radiator-krets och/eller tappvarmvattenkrets.
- Punkt 3 - 4 motsvarar den isentropa trycksänkningen som uppstår då köldmediet, som nu är helt kondenserat, passerar expansionsventilen. Denna trycksänkning ger upphov till att vätskans temperatur sjunker och leds därefter in i förångaren.
- Mellan punkt 4 och 1 råder isoterm expansion då köldmediet åter förångas på grund av den tillförda energin från vald energikälla.

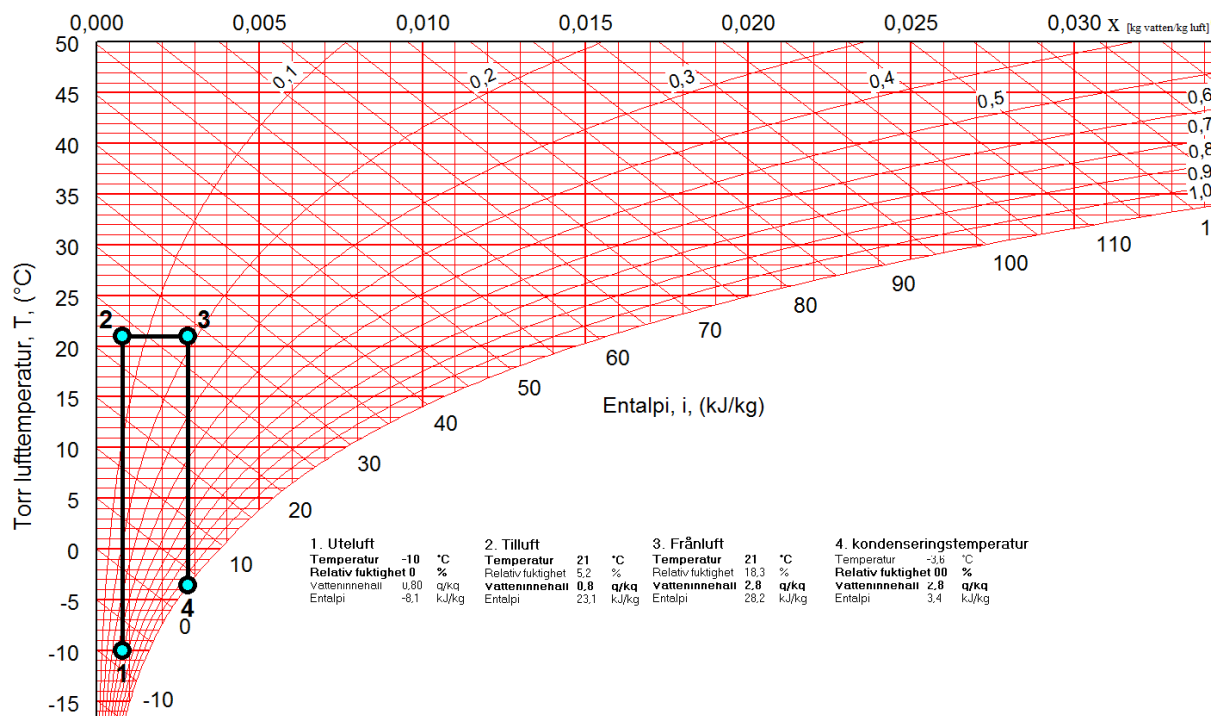


Figur 13: Ångtryckskurva. Figuren beskriver logaritmiskt gastryck som funktion av entalpi per kg köldmedium.

Förhållandet mellan lufttemperatur, luftfuktighet och luftentalpi åskådliggörs i ett mollierdiagram för fuktig luft. Diagrammet ger en bild av luftens tillstånd i de olika punkter som utgör ventilationsluftens olika tillstånd i fastigheten. För värmepumpsberäkningar används mollierdiagram bl.a. för att räkna ut det entalpitillskott som erhålls då luftfukten kondenserar i förångaren, alltså då luften kyls under den punkt då den relativa luftfuktigheten passerar 100% vid konstant x .

Följande punktlista refererar till mollierdiagrammet i figur 14:

- Luftens olika tillstånd genom en flerbostadsfastighet med F-ventilationssystem startar med att uteluft av en viss temperatur och relativ fuktighet sugts in i fastigheten. Fastighetens uppvärmningssystem värmer sedan denna luft till önskad rumstemperatur. I teorin kan denna uppvärmning antas ske under konstant x , d.v.s konstant massa fukt per massa luft. Detta steg motsvarar steg 1-2.
- Verksamhet i ett flerbostadshus, såsom mänsklig närvaro, matlagning och dusch, ger ett bidrag till luftens x -värde d.v.s. ökar luftfuktigheten under konstant temperatur med storleksordningen cirka 2 gram vatten per kg luft.³⁵ Detta steg motsvaras av steg 2-3.
- Frånluftens tillstånd motsvaras av punkt 3. Om fastigheten har en frånluftsvärmepump är alltså denna punkt avgörande för värmepumpens energiupptag i förångaren. När frånluften passerar förångaren kyls den av vid konstant x enligt steg 3-4. Beroende på vilken relativ luftfuktighet som råder i punkt 3, samt vilken förångningstemperatur som råder i systemet, kan luften kylas under den punkt i diagrammet då luften är mättad. Då luften kyls under denna punkt, vilken motsvaras av punkt 4 i diagrammet, blir luftens fuktinnehåll övermättat. Den vattenmassa som luften inte kan hålla kondenserar därmed ut och bidrar med sin ångbildningsentalpi till systemet.



Figur 14: Mollierdiagram för fuktig luft.

Figuren beskriver lufttemperatur som funktion av vatteninnehåll, relativ fuktighet och entalpi vid 1atm absoluttryck.

³⁵ IV-Produkt 2013

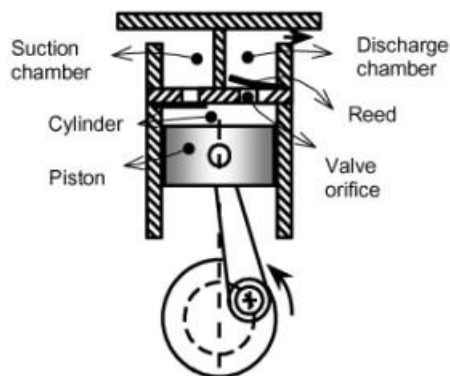
2.2.2.1 Komponenter

Kompressorn är vanligtvis den dyraste komponenten i ett värmepumpsystem. Kompressorer i värmepumpar har som uppgift att höja trycket hos den mättade eller övermättade kylmediegasen från förångaren. På grund av tryckhöjningen höjs också mediets densitet, vilket medför att gasens tillståndstorheter, såsom temperatur och entalpi, förändras³⁶. Det av kompressorn ökade trycket ger därmed en förhöjd temperatur och kokpunkt gentemot lågtrycksidan.

Kompressorer kan indelas i två huvudgrupper:

- Deplacementkompressorer
- Dynamiska kompressorer

Deplacementkompressorer arbetar med volumetrisk komprimering, vilket innebär att tryckhöjningen åstadkoms genom att pressa ihop gasen och därmed minska volymflödet medan massflödet är konstant. Den vanligaste kompressortypen för värmepumpar i villa är den varvtalsstyrda kolvkompressorn vars process åskådliggörs i figur 15.



Figur 15: Kolvkompressor.³⁷

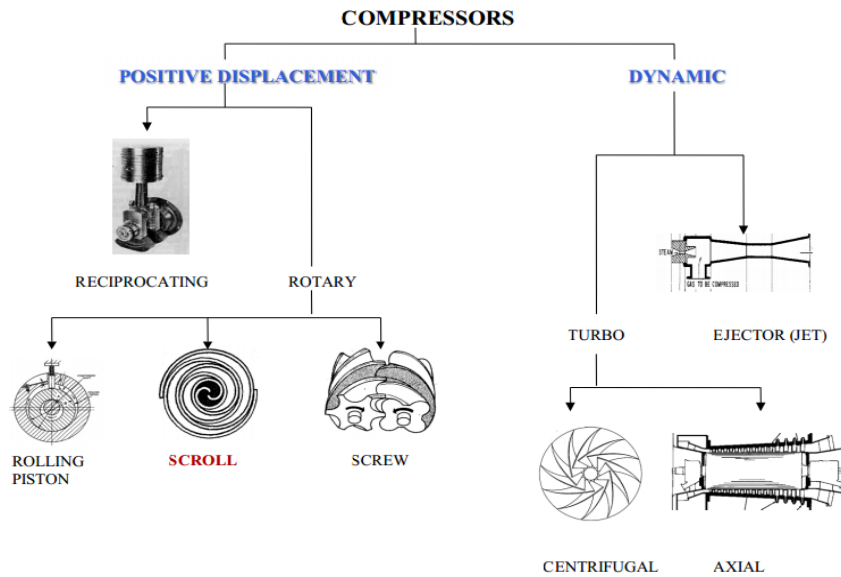
Figuren beskriver processbilden för en kolvkompressor.

Vissa deplacementkompressorer verkar genom att fånga in och pressa mediet genom ett tunnare rör än inloppet, se scroll och skruv i figur 16. Dessa kompressorer är aktuella för system som kräver högre effekter, t.ex. frånluftsvärmepumpsystem i flerbostadshus.³⁸

³⁶ Alvarez kap 7

³⁷ Badliali, Stefano & Colombo, Stefano 2010

³⁸ Wickman, Per, 2013



Figur 16: Kompressortyper ³⁹

Dynamiska kompressorer, exempelvis centrifugalkompressorer, höjer inte trycket genom att direkt sänka mediets specifika volymitet. De använder sig istället av en fläkt för att skapa ett tryckspektra där högt tryck och låg hastighet råder längs fläktens ytterkanter, medan det råder lågt tryck och hög hastighet längre in mot centrum. Efter passage genom fläkten omvandlar en diffusor gasens kinetiska energi till inre energi. ⁴⁰ Denna lösning är dock inte vanligt förekommande i kommersiella värmepumpsanläggningar för bostadshus. ⁴¹

Kompressorer kan dessutom vara varvtalsstyrda eller icke-varvtalsstyrda. Fördelen med en varvtalsstyrd kompressor är att den vid lägre effektbehov kan varva ner för att hålla en jämn effektkurva. Den icke-varvtalsstyrda kompressorn kan endast slå av och på, vilket medför ökat slitage och minskad livslängd i kombination med lägre verkningsgrad enligt affinitetslagarna. Affinitetslagarna visar att kompressorns effektförbrukning är proportionell mot en trepotens av dess varvtal. Vid lägre varv blir således kompressorn mer effektiv. ⁴²

Förluster i kompressorer kan vara orsakade av en mängd olika faktorer. Friktion mellan kompressorns rörliga delar, interna läckage och elektriska förluster är några av de faktorer som hämmar kompressorns prestanda och således också verkningsgrad. Verkningsgraden för kompressorer benämns vanligen som isentropverkningsgrad. Dessa förluster leder till värmeutveckling i kompressorn vilket kan medföra att kompressorn behöver kylas. ⁴³ Friktionen som nämndes kan även ge upphov till buller från kompressorn som tillsammans med oljud, som t.ex. kan uppkomma vid kompressorns start och stopp, kan medföra att värmepumpen måste isoleras i hög grad från de boende i fastigheten för att inte försämra boendemiljön. Detta kan leda till merkostnader vid installationen.

³⁹ EHPA 2013

⁴⁰ Badliali, Stefano & Colombo, Stefano 2010

⁴¹ Per Wickman 2013

⁴² Alvarez 2006

⁴³ Berglöf Kylteknologi 2013

Genom att mäta upp mediets temperaturstegring för att sedan ställa den i relation mot en ideal kompressor kan, ur entalpierna som avläses ur kylmediets ångtrycksdiagram, kompressorns isentropverkningsgrad räknas ut enligt formel 12.

$$\eta_{is} = \frac{i_{2is} - i_1}{i_2 - i_1} \quad (12)$$

Nästa komponent i systemet är kondensorn. Kondensorns uppgift är att överföra termisk energi från kylmediekrets till radiator/tappvarmvattenkrets. Detta sker genom att det kalla returvattnet från vattenkretsen möter varm kylmediegas i en värmeväxlare, varefter gasen kondenserar och avger sin värme till vattenkretsen. Värmeöverföringens effektivitet ökar med en större överföringsyta mellan varm och kall sida. När kylmediet passerat kondensorn är det i vätskefas under högt tryck.⁴⁴

Expansionsventilen är en aktiv eller passiv komponent som används för att sänka trycket på det kondenserade kylmediet till rådande tryck i förångaren under konstant entalpi i enlighet med steg 3-4 i figur 12. En vanlig typ av expansionsventil i äldre värmepumpar är den termostatiske expansionsventilen. I moderna värmepumpar används i regel elektroniska expansionsventiler. Elektroniska expansionsventiler kan upprätthålla en konstant överhettning i förångaren oberoende av ett varierande förångningstryck, vilket lämpar sig väl till mixade frånluftsvärmepumpsystem, där den upptagna förångningsenergin kan variera. Efter expansionsventilen har, på grund av tryckfallet, kylmediets temperatur och kokpunkt sänkts. Dess tillstånd i praktiken är en blandning av gas och vätska.⁴⁵ Den gas som passerar expansionsventilen kallas flashgas och hämmar förångarens värmeupptagningsförmåga.⁴⁶

Den sista komponenten som nämns här är förångaren. I förångaren sker värmeöverföring från värmepumpens energikälla till kylmedium via en värmeväxlare. Den värme som överförs förångar kylmediet till mättat eller överhettat gastillstånd, och höjer därmed dess entalpi under konstant tryck enligt steg 4-1 i figur 12. Förångarens effektivitet är liksom för kondensorn begränsad av den kontaktyta som värmen kan överföras genom, samt det tryckfall som värmeväxlaren orsakar.⁴⁷

2.3 Graddagskorrigering

För att jämföra byggnader med olika geografisk lokalisering kan man tillämpa vad som kallas graddagskorrigering. Man kan även använda korrigeringen för att jämföra olika energibesparingsåtgärder på en fastighet med värden från samma period, tidigare år, för att göra sig oberoende av temperaturskillnader för olika år. Detta medför att en byggnads energiförbrukning under ett kallt år kan jämföras med energiförbrukningen under ett varmt år. Metoden används vid energiuppföljningar som ett verktyg för att standardisera verksamhetsåret med avseende på utomhustemperatur. På så sätt erhålls en jämförbar bedömning av byggnadens energibesparingsprestation.

⁴⁴ Leif Petersson, *Energiteknik II* (2012)

⁴⁵ Alvarez, Henrik 2012

⁴⁶ Per-Johan Pettersson och Sebastian Ingemarsson 2012

⁴⁷ Björk, Erik, "Effektiva förångare till kyl och frysskåp" 2002.

Graddagsberäkningar utförs endast på den del av energiförbrukningen som är klimatberoende. Den energiförbrukning som härrör från belysning, elförbrukning i apparater och tappvarmvatten ingår därmed inte i den energiförbrukning som ska graddagskorrigeras.⁴⁸ Däremot bidrar användning av nämnda energiförbrukare indirekt till en uppvärmning av lokalen som inte ska förglömmas.

Med hjälp av en graddagsfaktor kan den korrigerade energiförbrukningen över en vald period beräknas. Graddagsfaktorn definieras som förhållandet mellan normalt antal graddagar under perioden och verkligt antal graddagar under samma period. Normalperiodens graddagar varierar med avseende på geografiskt läge, och beräknas på värden från en trettioårsperiod.

De två avgörande faktorerna vid uträkning av verkligt antal graddagar är eldningsgräns och rådande dygnsmedeltemperatur. Eldningsgränsen definieras som den minsta dygnsmedeltemperatur då ingen värme behöver tillföras fastigheten. Om dygnsmedeltemperaturen understiger eldningsgränsen erhålls således ett visst antal graddagar.

Vid generella graddagsberäkningar approximeras eldningsgränserna, enligt SMHI, efter månad. Detta finns att avläsa i tabell 2. Konstant referenstemperatur vid graddagsberäkningar approximeras då till 17°C. Det antal graddagar som ett godtyckligt dygn motsvarar ges av formel 13.

Månad	Eldningsgräns [°C] (dygnsmedeltemperatur ute)
maj, juni, juli	10
augusti	11
april, september	12
oktober	13
övrig tid	17

Tabell 2: Eldningsgräns enligt SMHI.⁴⁹

Tabellen beskriver vid vilken temperatur för respektive månad eldningsgränsen kan dras.

$$GD_{verklig} = 17 - t_{ute} \Leftrightarrow t_{eld} \geq t_{ute} \quad [st] \quad (13)$$

⁴⁸ Graddagskorrigering, SMHI 2013

⁴⁹ SMHI

Det verkliga antalet graddagar för exempelvis ett år används sedan för att korrigera energianvändningen mot antalet graddagar för ett normalår. Kvoten mellan antalet normala graddagar, GD_{normal} , och antalet verkliga graddagar, $GD_{verklig}$, multipliceras med den klimatberoende energianvändningen. Därefter adderas den klimatberoende energianvändningen och summan blir den totala korrigerade energianvändningen enligt formel 14.⁵⁰

$$Q_{korrigerad} = Q_{ko} + (Q_{totalt} - Q_{ko}) \cdot \frac{GD_{normal}}{GD_{verklig}} \quad [\text{kWh}] \quad (14)$$

För att få en mer ingående korrigeringskoefficient används istället ett energiindex. Olika energiindex finns utformade för olika typer av byggnader. Dessa tar förutom graddagar även hänsyn till den solinstrålning och vind som byggnaden utsätts för. Energiindex beräknas oftast för en ort eller ett större område, med utgångspunkt från en viss typ av byggnad med ett visst geografiskt läge.⁵⁰

⁵⁰ Schultz, Linda, *Normalårskorrigerering av energianvändningen i byggnader – en jämförelse av två metoder* 2003

2.4 Teckenförklaring

t_{ute}	= Utomhustemperatur [°C]
t_{eld}	= Vald eldningsgränstemperatur. [°C].
t_m	= Månadmedeltemperatur [°C].
k	= Varierande konstant beroende på lokalisering, vanligtvis 0,71
$Q_{korrigerad}$	= Korrigerad energianvändning genom användning av graddagsmetoden eller energiindex. [kWh]
Q_{ko}	= Klimatberoende energianvändning. [kWh]
Q_{totalt}	= Total energiförbrukning. [kWh]
GD_{normal}	= Antal graddagar för en normalperiod.
$GD_{verklig}$	= Antal graddagar för en aktuell period (i formel dygn).
$Q_{uppvärmning+varmvatten}$	= Energitillskottet till byggnadens uppvärmning av inneluft och tappvarmvatten. [kWh]
Q_{transm}	= Transmissionsförluster genom byggnadens klimatskal. [kWh]
Q_{vent}	= Energiförluster genom ventilation av inomhusluften. [kWh]
Q_{vatten}	= Kretsvattnets effekt. [kWh]
$Q_{täck}$	= Energiförluster genom luftläckage ut ur eller in i byggnaden. [kWh]
Q_{avlopp}	= Vattnets energiinnehåll i avloppet från exempelvis dusch, toalett, tvätt och tappvarmvatten. [kWh]
$Q_{tillskott}$	=Tillskottsenergi från exempelvis solljus eller personer i byggnaden. [kWh]
$Q_{återvinning}$	=Återanvänd energi från exempelvis frånluft eller tappvarmvatten. [kWh]
Q_{nyttig}	= Nyttig energi [J]
$Q_{upptagen}$	= Upptagen energi i förångaren [J]
W_{el}	= Tillförd elenergi till kompressor [J]
λ	= Materialspecifik värmekonduktivitetskoefficient [W/m ² *°C]
Δt	= Temperaturdifferens mellan kall och varm sida.
δ	= Tjocklek på materialet. [m]
$q_{vägg}$	= Värmeflöde per väggyta [W/m ²]
$q_{konvektion}$	= Värmeflödesbidrag från konvektion [W/m ²]
$q_{strålning}$	= Värmeflödesbidrag från strålning [W/m ²]
q_{tot}	= Totalt värmeflöde [W/m ²]
$\alpha_{konvektion}$	= Värmeövergångstal för konvektion [W/m ² *°C]
$\alpha_{strålning}$	= Värmeövergångstal för strålning [W/m ² *°C]
ϵ	= Emissionsförhållande mellan utstrålande energi från aktuell kropp med svart kropp.
C_s	= Strålningskonstant för en svart kropp
T	= Absolut temperatur [K]
T_1	= Absolut temperatur kall [K]
T_2	= Önskad temperatur varm [K]
U	= Värmemotstånd [W/m ² *°C]
ρ	= Luftdensitet [kg/m ³]
C_p	= Specifik isobar värmekapacitet [kJ/kg*°C]
v_{vent}	= Ventilationsflöde [m ³ /s]
v_{vatten}	= Vattenflöde [m ³ /s]
Φ_C	= Carnotverkningsgrad
Φ_{COP}	= COP-värde
η_{is}	= Isentropisk verkningsgrad
i_{2is}	= Specifik entalpi efter isentropisk kompression [kJ/kg _{köldmedium}]
i_1	= Specifik entalpi efter energiupptag i förångaren [kJ/kg _{köldmedium}]
i_2	= Specifik entalpi efter verklig kompression [kJ/kg _{köldmedium}]

3. Metod

Projektgruppens målsättning var att i första hand använda egna beräkningar enligt avsnitten i teoridelen och egna uppmätta värden. I andra hand skulle tillhandahållen driftsdata användas. I fokus för de olika mätningarna och beräkningarna var värmepumparnas COP och installationernas lönsamhet. Eftersom systemen är olika uppbyggda gjordes även en systembeskrivning för respektive fastighet presenterade i kapitel 4.1. Dessa systembeskrivningar används för att jämföra de tre olika systemen och i viss mån härleda de olika systemens skillnader i resultat.

För att jämföra olika frånluftsvärmepumpar med varandra behövs dess prestationer korrigeras efter vilket klimat de blivit utsatta för i enlighet med kap 2.3. Eftersom systemen i det här fallet finns lokaliserade relativt nära varandra samt att jämförelsen gjordes under samma tidsperiod, beslutades att jämförelsen anses tillräckligt tillförlitlig även utan en sådan korrigering. För beräkning av kostnadsbesparing över driftsperioden antas ett konstant el- och fjärrvärmepris. Dessa energipriser ansätts utifrån SCBs statistik i kapitel 1.2. Ekonomiska beräkningar för de tre fastigheterna utförs enligt samma mall och presenteras nedan.

För dessa tre anläggningar beräknas den totala kostnaden genom att ta total elförbrukning, Q_{el} , multiplicerat med elpris, kr_{el} . För de system som spetsas med fjärrvärme adderas fjärrvärmeförbrukningen, $Q_{fjärr}$, multiplicerat med fjärrvärmepris, $kr_{fjärr}$. Om systemet istället spetsas med elpatron adderas elspetsningen till, Q_{el} . Detta enligt följande formel:

$$Total\ kostnad = Q_{el} * kr_{el} + Q_{fjärr} * kr_{fjärr} \quad [kr] \quad (15)$$

Den totala besparingen beräknas sedan genom att subtrahera den energikostnad som varit ett faktum om ingen installation ägt rum med den aktuella totala kostnaden. Detta enligt följande formel:

$$Total\ besparing = Tidigare\ kostnad - Total\ kostnad \quad [kr] \quad (16)$$

Den energimängd som värmepumpen/värmepumparna tillfört systemet, Q_{vp} , i förhållande till total energitillförsel, Q_{tot} , definieras som täckningsgrad. Täckningsgraden talar om hur stor del av det totala energibehovet som värmepumpen täcker, och beräknas genom följande formel:

$$Täckningsgrad = \frac{Q_{vp}}{Q_{tot}} \quad [\%] \quad (17)$$

Vid beräkning av systemens COP användes formel 9 från kapitel 2.2.2. Eftersom systemen och de mätdata som anges skiljer sig åt anges en mer detaljerad beskrivning av hur COP för de tre systemen beräknades i kapitel 3.1, 3.2 och 3.3.

3.1 Västergatan 21

Den driftsdata som erhöles för mars, april och maj innefattade bland annat värden tagna från värmemängdsmätare som ej finns presenterade i systemets flödesschema, se bilaga 1. I punktlistan nedan listas de mätställen varifrån mätvärden erhöles, se bilaga 2.

- Avgiven energi till radiatorkrets från vp1 och vp2
- Avgiven energi till tappvarmvattenkrets från vp1
- Elförbrukning för radiatorkrets för vp1 och vp2
- Elförbrukning för tappvarmvattenkrets för vp1
- Fjärrvärmeförbrukning

Eftersom elförbrukningen för vp1 är fördelad på både radiator, $w_{rad-vp1}$, och tappvarmvatten, $w_{tapp-vp1}$, kan separata COP för dessa beräknas enligt formel 9 i kapitel 2.2.2.

Vid beräkning av systemets totala COP summeras sedan alla energitermer och divideras med summan av alla elförbrukningstermer enligt följande formel:

$$\Phi_{COP} = \frac{Q_{tapp-vp1} + Q_{rad-vp1} + Q_{rad-vp2}}{w_{tapp-vp1} + w_{rad-vp1} + w_{rad-vp2}} \quad (18)$$

3.2 Toras väg

Den första delposten för utredningen är en redogörelse för fastighetens totala energiförbrukning. Den totala energiförbrukningen erhöles genom att addera givna värden för energiförbrukning för vald driftsperiod. Värdena finns presenterade i bilaga 3, och härstammar från dessa givare, se flödesschema i bilaga 4:

- Värmemängdsmätare VMM1 på radiatorkretsen
- Flödesmätare VV1 på tappvarmvattenkretsen, där flödet omräknas till energi enligt kapitel 4.1.2.
- Elmätare 4 (Elm 4), som mäter elförbrukningen för systemets cirkulationspumpar och frånluftsfläkt.

Fastighetens totala energiförbrukning, Q_{tot} , för uppvärmning över en vald period beräknas således genom följande formel:

$$Q_{tot} = Q_{VMM1} + Q_{VV1} + Q_{Elm4} \quad [\text{kWh}] \quad (19)$$

När den totala energiförbrukningen är känd skall utrönas hur mycket av denna totala energi som frånluftsvärmepumpen bidragit med. Denna uträkning delas in i radiatorkrets och tappvarmvattenkrets.

Värden för radiatorkretsen från VMM1 inkluderar energitillskottet dels från frånluftsvärmepumpen och dels från elpatronen, varför dessa måste separeras. Eftersom Elm. 2 anger den energimängd, Q_{Elm2} , som elpatronen spetsat radiatorkretsen med skall denna subtraheras från Q_{VMM1} . Denna differens symboliserar därmed frånluftsvärmepumpens nyttiga energibidrag till radiatorkretsen, Q_{vp-rad} , enligt nedanstående formel:

$$Q_{vp-rad} = Q_{VMM1} - Q_{Elm2} \quad [\text{kWh}] \quad (20)$$

Frånluftsvärmepumpens övriga nyttiga energitillskott går till tappvarmvattenkretsen. Genom att avläsa värdet på Q_{VV1} vid starten och slutet av en vald period erhålles den totala energi som avgivits tappvarmvattenkretsen under perioden. För att få reda på värmepumpens nyttiga energitillskott till tappvarmvattenkretsen, Q_{vp-VV} , över perioden subtraheras den totala avlästa energiförbrukningen från VV1, Q_{VV1} , med den spetsade elenergin, Q_{Elm1} , enligt nedanstående ekvation:

$$Q_{vp-VV} = Q_{VV1} - Q_{Elm1} \quad [\text{kWh}] \quad (21)$$

Värmepumpens totala energitillskott till systemet blir således:

$$Q_{vp} = Q_{vp-rad} + Q_{vp-VV} \quad [\text{kWh}] \quad (22)$$

Systemets totala verkningsgrad, Φ_{system} , och frånluftsvärmepumpens COP-verkningsgrad, Φ_{COP} , beräknas sedan genom tillämning av formel 9 i kapitel 2.2.2.

För systemets totala verkningsgrad är den nyttiga energin, Q_{VP} , frånluftsvärmepumpens levererade energi, d.v.s. Q_{tot} subtraherat med spetsningen från Elm1 och Elm2 i de båda vattenkretsarna. Tillförd el är summan av bidragen från Elm3 och Elm4. Systemets totala verkningsgrad definieras som kvoten mellan total nyttig energi och den elförbrukning som även innefattar pumpar och fläktar enligt följande formel:

$$\Phi_{system} = \frac{Q_{nyttig}}{w_{Elm3} + w_{Elm4}} \quad (23)$$

För värmepumpens COP-verkningsgrad räknas endast värmepumpens egna elförbrukning, w_{Elm3} , med. Därmed tas ingen hänsyn till fläktar och pumpar som ingår i Elm4.

$$\Phi_{COP} = \frac{Q_{VP}}{w_{Elm3}} \quad (24)$$

Installationens kostnader, lönsamhet och täckningsgrad beräknas i enlighet med formel 16, 17 och 18 i kapitel 3.1

3.3 Södra järnvägsgatan

Den energi som värmepumpen försett systemet med sedan driftstart, Q_{VMM1} , avläses från värmemängdsmätare VS1-FVP1-VMM1, se flödesschema i bilaga 5.

Frånluftvärmepumpens totala elförbrukning, w_{Elm1} , för samma period avläses från elmätare FVP1- ELM1. Periodens COP för värmepumpen fås sedan genom kvoten dem emellan i enlighet med formel 9 i kapitel 2.2.2:

$$\Phi_{COP} = \frac{Q_{VMM1}}{w_{Elm1}} \quad (25)$$

Den fjärrvärmeenergi som tillförts systemet, Q_{FJV1} , inkluderar även uppvärmning av tappvarmvatten, varför en rimlig approximation är nödvändig för täckningsgradsberäkning. Enligt uppgift används i genomsnitt 80 % av systemets totala energianvändning för uppvärmning till radiatorkretsen.⁵¹ Täckningsgraden för radiatorkretsen beräknas sedan i enlighet med formel 17 med viss modifikation:

$$Täckningsgrad = \frac{Q_{VMM1}}{(Q_{VMM1} + Q_{FJV1}) * 0,8} \quad [\%] \quad (26)$$

Installationens kostnader, lönsamhet och täckningsgrad beräknas i enlighet med formel 16, 17 och 18 i kapitel 3.1. Se ingående driftsdata i bilaga 6.

⁵¹ Anders Jansson Växjöhem 2013

4. Genomförande

Nedan följer en tabell som överblickar fastigheternas grundförutsättningar, samt systemens och de respektive värmepumparnas karaktäristik. Nämnas bör att projektgruppen på grund av korta och, för de olika fastigheterna, olika driftdataintervall ansåg att livscykelanalys och lönsamhetskalkyl för de olika installationerna skulle bli alltför missvisande. På grund av detta togs ingen djupare hänsyn till systemens installationskostnader, och kostnadsbesparingen berörde således endast den rörliga driftskostnaden.

Jämförelse system	Västergatan	Toras väg	Södra järnvägsgatan
Byggnadsår	1968	1972	1965
Boyta [m ²]	3214	-	2723
Antal lägenheter	44	-	31
Frånluftsvärmepump:			
-modell	Stiebel eltron - WPL 23	SkiAB/Clivet- WRB -2 142 ST	IVP EcoHeater
-antal	2	1	1
-typ	frånluft/återcirkulation	frånluft/uteluft	frånluft
-Köldmedie	R 407 C	R 407 C	R 407 C
- varvtalsreglerad	ja	nej	Ja
-Avluftstemperatur [°C]	-10	2 - 5	2
- kompressoreffekt [kW]	12	-	-
- täckning	radiator- /tappvarmvatten	radiator-/tappvarmvatten	radiatorkrets
- pris kr	2*75000	137 500	150 000
Spetsning	fjärrvärme	elpatron	fjärrvärme
Installationskostnad kr	576 000	1 618 000	500 000

Tabell 3: Jämförelse av system.

Tabellen är en sammanställning av de tre olika systemens karaktäristik.

4.1 Systembeskrivning

Nedan följer detaljerade systembeskrivningar för respektive anläggning.

4.1.1 Västergatan 21

Fastigheten på Västergatan 21 i centrala Växjö är ett flerbostadshus avsett för student- och äldreboende. Fastigheten byggdes år 1968 under miljonprogrammet. Fastigheten är en nioplansbyggnad bestående av 44 lägenheter med en total tempererad yta på 3214 m². Innan beslut om värmepumpsinstallation togs täcktes byggnadens energibehov enbart med fjärrvärme.

Ett frånluftsvärmepumpsystem förser fastigheten med värme till varmvattenberedare och radiatorkrets via två värmepumpar av modell WPL 23 med två varvtalsstyrda scrollkompressorer på 6 kW vardera. Som köldmedium används HFC't R407C. Värmepumparna är av kondenserande typ och sänker frånluftens temperatur till -10°C .⁵²

En karaktäristisk komponent för denna värmepump är economizern. Vid köldmediets passage genom expansionsventilen övergår mediet på grund av det lägre trycket till vätskefas. I praktiken innehåller dock denna vätska en mängd gas som inte kondenserat. Den gas som passerar expansionsventilen kallas flashgas, och har negativ effekt på förångarens värmeupptagningsförmåga. Economizerns syfte är att ansamla denna flashgas, som genom ett avtappningsflöde sedan kan återföras till kompressorn. Economizern bidrar därmed till att öka förångarens värmeupptagningsförmåga, vilket leder till sänkt kompressoreffekt. Värmepumpprocessens COP kan därmed höjas med en economizer integrerad i kretsen.⁵³

Varmvattenberedaren, som förser fastigheten med tappvarmvatten, är endast ansluten till värmepump 1 (vp1). Fastigheten värms upp via en vattenburen radiatorkrets som är ansluten till både vp1 och värmepump 2 (vp2). Vattenflödet från vp1 leds genom tappvarmvattenberedarkretsen via en pump som är programmerad att vara igång när det finns ett energibehov till tappvarmvattenberedaren och vara avstängd då ingen uppvärmning behövs i kretsen. När pumpen är avstängd försörjer vattenflödet istället radiatorkretsen.



Bild 1: Frånluftsvärmepumpar Västergatan 21.

Bilden visar hur frånluften leds genom de båda frånluftsvärmepumparna. Eftersom de är av kondenserande typ är de båda utrustade med en avskiljningsanordning för kondensvatten som leds ut på taket.

⁵² Forsman. B, 2013

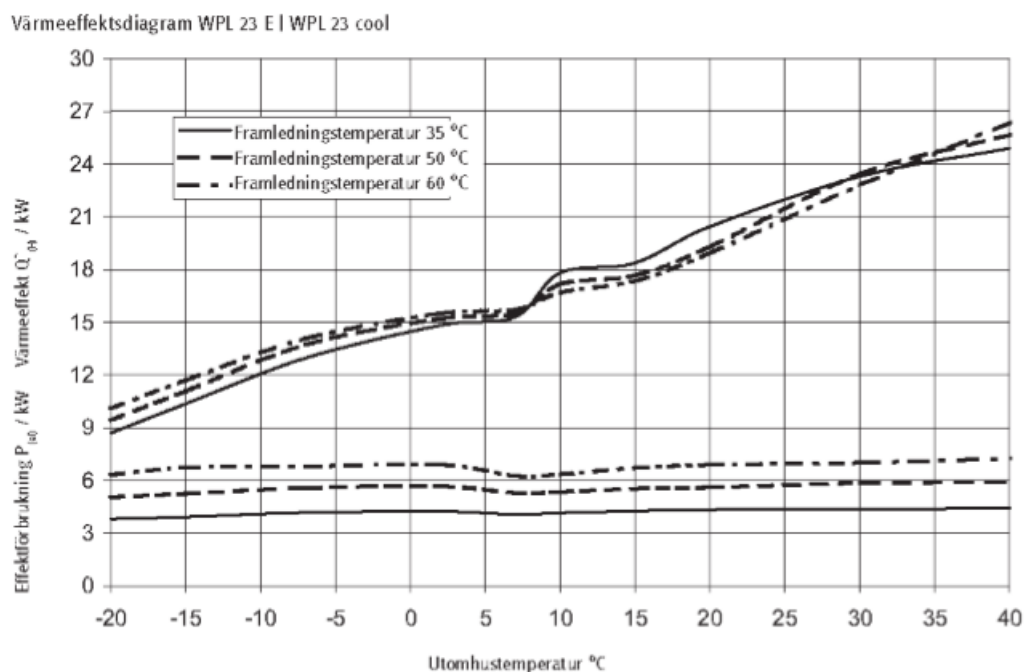
⁵³ Pettersson. P-J och Ingemarsson. S

I de fall då frånluftsvärmepumparna inte kan täcka hela fastighetens effektbehov spetsas tappvarmvattnet och/eller radiatorkretsen med fjärrvärme. Spetsningens effektpådrag styrs med en reglerventil som öppnas då systemets beräknade börvärden för framledningstemperatur och tappvarmvattentemperatur inte uppfylls. Ett flödesschema över fastighetens tappvarmvatten, radiatorkrets och inkommande fjärrvärmeuppkoppling åskådliggörs i bilaga 1.

Utöver uppvärmning av lägenheter används även radiatorkretsen för att värma tilluft i ett värmebatteri. Detta uppvärmda tilluftsflöde tillförs endast fastighetens kök och hall, medan övrig tilluft på grund av fastighetens undertryck sugas in i lägenheterna via ventilationsdon. Ventilationssystemet för fastigheten kan således liknas vid en kombination av ett F- och ett FT-system (se kap 2.2.1 konventionella ventilationssystem). All fastighetens frånluft leds till en undertryckskammare på vinden. Föroreningar renas där genom ett frånluftsfiltre innan luften förs in i de två värmepumparna på taket.

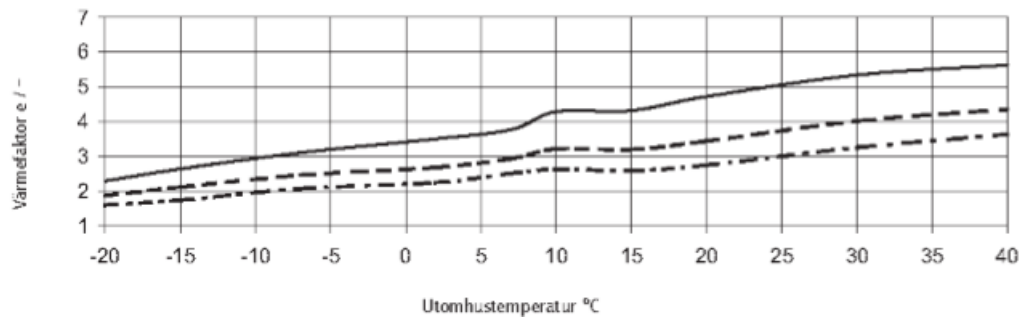
Systemet återcirkulerar en del av avluftsflödet, som sedan blandas med frånluften innan värmepumparna. Detta medför ett ökat luftflöde genom värmepumparna. Efter blandningen är luften ca 7°C, vilket är tillräckligt hög för att effektivt förångas R407C. Återcirkulationen gör det därmed möjligt för värmepumparna att under konstanta förhållanden utnyttja mer av den potentiellt tillgängliga energin i frånluften, och därmed höja dess effektuttag. Detta bidrar enligt uppgift till att fördubbla systemets täckningsgrad över året, på bekostnad av ett något lägre COP.⁵⁴

Värmeeffekt- och COP-kurvor för hur WPL 23's effektuttag och COP varierar med utomhustemperatur för olika framledningstemperaturer finns presenterade i figur 17 och 18.



Figur 17: Avgiven effekt som funktion av utomhustemperatur. Figuren beskriver möjligt effektuttag från WPL 23, Q , och eleffektförbrukning, P , som funktion av utomhustemperatur.

⁵⁴ Forsman. Bertil 2013



Figur 18: COP som funktion av utomhustemperatur. Figuren beskriver COP för WPL 23 som funktion av utomhustemperatur.

Frånluftsflödet förs sedan ut på taket via en avluftsfläkt som även skapar det undertryck som suger uteluft in i lägenheterna.



Bild 2: Avluftsdon Västergatan 21. Avluftens temperatur kan enligt uppgift sänkas till cirka $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, men körs på Västergatan ned till $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Systemet är utrustat med värmemängdsmätare inkopplad mellan fram- och returledningen till värmepumpen, samt en värmemängdsmätare som mäter temperaturdifferens och flöde mellan kall och varm sida av fjärrvärmeanslutningen. En elmätare mäter den totala elförbrukningen hos kompressorerna i de båda frånluftsvarmepumparna. Systemets totala installationskostnad uppgick till 576 000 kr.

4.1.2 Toras väg

Solstrimman på Toras väg på Verkö i Karlskrona är ett kvarter bestående av åtta identiska flerbostadshus. Dessa byggdes år 1972 och är en del av miljonprogrammet. Fastigheterna försågs tidigare med direktverkande el. De åtta husen har utrustats med likadana frånluftsvärmepumpsystem.

Systemet består utav en mixad frånluft/uteluft-värmepump av modell SkiAB/Clivet WRB-2 142 ST. Denna värmepump förser fastigheten med värme till en varmvattenberedare för tappvarmvatten, och en ackumulatortank för radiatorkrets. Fördelningen av värmeförsel mellan de två kretsarna är behovsstyrt och sköts med hjälp utav en trevägsventil ansluten mellan värmepumpen, radiatorns ackumulatortank och tappvarmvattenkretsen. Eftersom tappvarmvattnet har större skillnader i belastningskurvan än radiatorkretsen, är denna förfördelad i behovsstyrningen.



Bild 3: Trevägsventil Toras väg.
Trevägsventilen reglerar flödet till de olika vattenkretsarna.

I de fall frånluftsvärmepumpen inte kan täcka hela varmvattenbehovet spetsas systemet med direktverkande el genom elpatroner. På respektive krets framledningsida mäts temperaturen och i de fall börvärdet inte uppnås genom endast värmepumpsanvändning ges resterande effektbehov av dessa patroner. Den totala kostnaden för systemet uppgick till till 1 618 000 kr per fastighet, där frånluftsvärmepumparna stod för 137 500 kr per fastighet.

Frånluftsvärmepumpen har två stycken köldmediekretsar med 12kg av mediet R407C vardera. Dessa köldmediekretsar är utrustade med varsin kompressor av scrolltyp. Dessa kompressorer är inte varvtalsreglerade vilket medför att när ett värmebehov uppstår i någon utav vattenkretsarna går respektive kompressor direkt till maximal kapacitet.

Frånluften blandas innan värmepumpen med uteluft för att få ett ökat flöde genom värmepumpen utan att det blir för stort drag i lägenheterna i fastigheten. Delvolymen i detta mixade flöde av uteluft som används till värmepumpen är konstant, oberoende av utetemperaturen. När utetemperaturen går under -7°C blir den mixade luften för kall och hinner således inte förångas köldmediet. I de fall stängs frånluftsvärmepumpen av och hela effektbehovet täcks av elpatronerna. Vid drift varierar avluftens temperatur beroende på utetemperaturen och kyls som lägst ned till 2°C .

Mätningen av energiförbrukningen i fastigheter sköts med hjälp av en värmemängdsmätare på radiatorkretsen som förutom värmepumpens energitillskott även inkluderar tillskottet från den elpatron som spetsar systemet. Tappvarmvattenkretsens energiförbrukning mäts via en flödesmätare där temperaturdifferens mellan tappvarmvatten och tillfört kallvatten antas vara konstant 55°C . Med hjälp av denna approximation, samt C_p för vatten, kan ekvation 2.7-11 skrivas om för att beräkna den totala energiförbrukningen i tappvarmvattenkretsen. Med motiveringen att undvika uppkomsten av legionellbakterier har systemet en tappvarmvattentemperatur på runt 60°C , medan kallvattnet approximeras till ca 5°C , vilket förklarar den konstanta temperaturdifferensen på 55°C . Utöver detta finns fyra elmätare installerade:

- Elmätare 1 (Elm1) mäter elförbrukningen av elpatronen som spetsar tappvarmvattenkretsen vid behov.
- Elm2 mäter elförbrukningen av elpatronen som spetsar radiatorkretsen vid behov.
- Elm3 anger frånluftvärmepumpens elförbrukning d.v.s. de två kompressorerna och en avluftsfläkt.
- Elm4 mäter elförbrukningen hos frånluftsfläkten samt cirkulationspumparnas förbrukning i vattenkretsarna. Ett flödesschema över systemet finns att avläsa i bilaga 4.

4.1.3 Södra järnväggsgatan

Fastigheten på södra järnväggsgatan på söder i Växjö är ett flerbostadshus som byggdes år 1965. Fastigheten är direkt ansluten till intilliggande fastigheter av liknande typ men som inte betjänas av frånluftsvärmepumpen. Innan beslut om installation av frånluftsvärmepumpen togs försågs fastighetens vattenuppvärmningsbehov endast av fjärrvärme. Installationskostnaden för systemet uppgick till 500 000 kr där frånluftsvärmepumpen stod för 150 000 kr av kostnaden

Systemet använder sig utav en frånluftsvärmepump av modell eco heater som endast återvinner energin i frånluftflödet, d.v.s ett så kallat "rent" frånluftssystem, och värmer fastighetens radiatorkrets. Tappvarmvatten är alltså inte integrerat i värmepumpkretsen, utan värms enbart med fjärrvärme i ett separat system. När frånluftsvärmepumpen inte kan täcka hela energibehovet i radiatorkretsen spetsas systemet med fjärrvärme via en reglerventil.



Bild 4: Frånluftsvärmepump Södra järnvägsgatan.

Bilden visar frånluftkanalen in till värmepumpen till höger och vattenkretsens fram- och returledning till vänster.

Köldmediet som används är R407C. och kompressorn är varvtalsreglerad av typen scroll.

Frånluftsvärmepumpen styrs av en utetemperaturkurva som beräknar systemets börvärde för framledningstemperatur. Värmepumpens levererade energi mäts momentant genom en värmemängdsmätare som mäter energidifferensen mellan systemets fram- och returvattenflöde. Kompressorns förbrukade energi mäts med en elmätare som finns installerad i fastighetens källare.

4.2 Mätvärdesinsamling

När insamlingen av mätvärdena för anläggningen skulle tas på västergatan 21 var frånluftsvärmepumpen inte i drift på grund av att det inte fanns något uppvärmningsbehov i fastigheten. Vid inspektion av anläggningen noterades att värmepumparnas och sugkammarens placering (på vinden/taket) kan medföra problem vid reparation och service då dessa är relativt svåråtkomliga. Projektgruppen bestämde därför att de mätvärden som skulle analyseras togs från en tidigare uppmätt period. Perioden som analyserades var från den 3:e mars till den 26:e april. För maj månad fanns mätvärden dokumenterade fram till den 20:e, därför beräknades COP-verkningsgraden till det datumet, dock inte täckningsgrad och besparing eftersom denna månads värden ej var fullständiga.

Mätvärden för anläggningen tillhandahölls, sammanställdes och beräknades enligt kap 3.1. Resultaten för anläggningen finns presenterade i diagram 1, 2 och 3.

Vid projektgruppens besök i Karlskrona var frånluftsvärmepumparna inte i drift vilket medförde att värden inte kunde tas direkt på plats. Gruppen beslutade därför att använda tidigare uppmätta värden för perioden Januari till och med Mars år 2013. Värden för den förbrukade energin tillhandahölls från värmemängdsmätaren på radiatorkretsen och flödesmätaren på tappvarmvattenkretsen. Tillhandahölls gjordes även systemets elförbrukning, som uppmäts av de fyra elmätarna. Eftersom ingen manuell uppmätning på hus A kunde utföras beslöt projektgruppen att samtliga åtta byggnader kunde tas med i rapporten

Den totala COP-verkningsgraden för alla fastigheter beräknades sedan utifrån tillhandahållen driftsdata i enlighet med metodavsnitt 3.2 och presenterades i diagram 4 under kapitel 5.2.

Då projektgruppen besökte anläggningen på Södra järnväggsgatan var värmepumpen i drift, men arbetade inte vid full effekt. Projektgruppen bestämde därför att göra jämförelsen mer lik de övriga fastigheterna genom att även här använda tidigare uppmätta värden. Mätdata från värmemängdsmätare VMM1 och från elmätare Elm1 för perioden 11:e April till 15:e Maj vilket också var frånluftvärmepumpens totala drifttid fanns till hands. Dessa användes för att beräkna värmepumpens COP enligt kap 3.3.

Enligt systembeskrivningen i kap 4.1.3 är värmepumpen endast ansluten till radiatorkrets, medan enbart fjärrvärme står för uppvärmning av tappvarmvatten. Uppgifter om fastighetens totala fjärrvärmeanvändning för perioden tillhandahölls och genom att räkna med att 80 % av fastighetens totala energianvändning används i radiatorkretsen, samt konstant fjärrvärmepris och elpris kunde täckningsgraden och besparingen beräknas enligt kap 3.3.

Dessa beräkningar sammanställdes och finns presenterade i diagram 7, och i tabell 4.

5. Resultat

Resultaten beräknades enskilt för varje system och finns presenterade var för sig i kapitel 5.1, 5.2 och 5.3. En sammanställning av dessa resultat presenteras i tabell 5.

Resultat	Västergatan	Toras väg	Södra järnvägsgatan
Period	3/3 - 20/5 -13	7/1 - 8/4 -13	11/4 - 15/5 -13
COP	3,14 - 3,47	1,89	3,8
Täckningsgrad	56,3% (april)	67%	91% (radiatorkrets)
Besparing [kr/månad]	4 900	8500	8600
Besparing/boyta [kr/månad*m2]	1,52	-	3,16
Avgiven [kWh/månad]	21600	12900	25700
Avgiven/boyta [kWh/månad*m2]	6,72	-	9,44

Tabell 5: Resultatjämförelse. Tabellen innehåller sammaställd data för de tre systemens resultat. För Toras väg beräknades medelvärden för de åtta fastigheternas resultat.

5.1 Västergatan 21

Energiförbrukningen för perioderna 3 mars – 27 mars, 27 mars – 26 april, och 26 april – 20 maj för fastigheten sammanställdes ur bilaga 2. Dessa mätvärden användes enligt metoden i kap 3 och 3.1, se bilaga 7 för sammanställda tabellvärden. De separata COP-värdena för de två värmepumparna finns presenterade i diagram 1, där värmepump 1 även fördelats mellan tappvarmvattenkrets och radiatorkrets. I diagrammet ingår även det sammanvägda COP-värdet för systemet.

Värmepumparna har under vinter och tidig vår inte fungerat som tänkt, vilket har orsakat driftstopp och således negativ inverkan på mars månads täckningsgrad. Värmepumpen uppges ha fungerat som tänkt sedan början av april månad.

COP för vp1 varierade för radiatorkretsen mellan 2,9 och 3,76, och för varmvattenkretsen mellan 2,5 och 2,8. För vp2 var COP i spannet 3,58 - 4,02. Maj var den månad som uppvisade högst COP och mars lägst. En jämförelse med effekt- och COP-kurvorna i figur 17- och 18 ger att värmepumparnas resultat följer trenden med ökad utomhustemperatur.

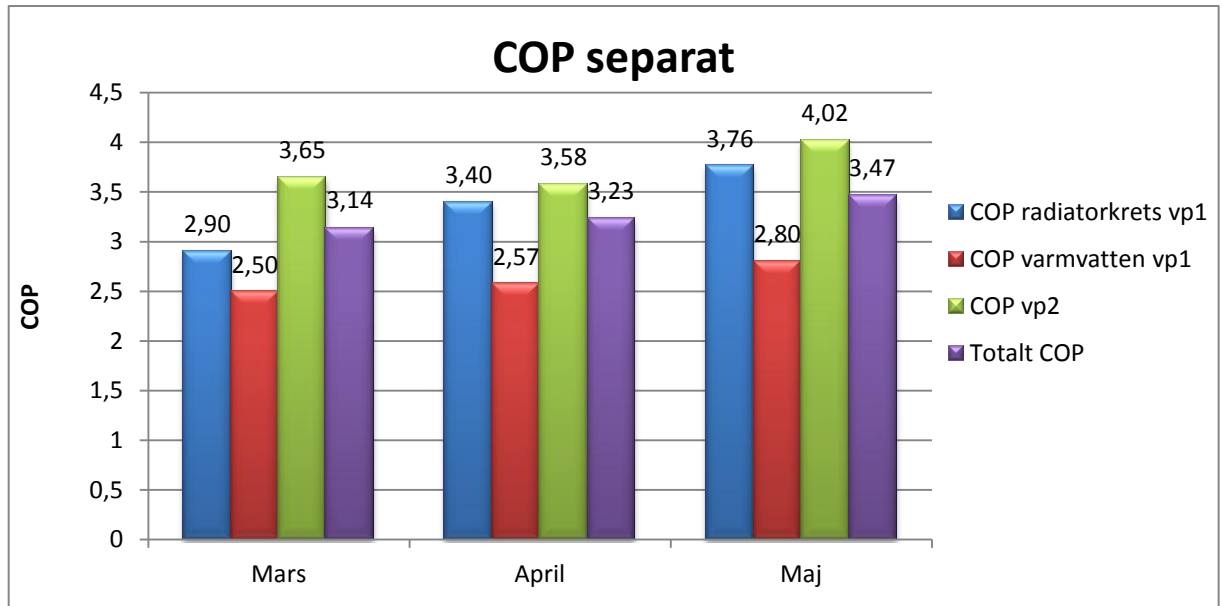


Diagram 1: Diagrammet beskriver separata COP-värden som beräknats för mars, april och maj 2013. För värmepump 1 har COP fördelats i radiatorkrets och tappvarmvattenkrets. COP för värmepump 2 berör endast radiatorkretsen. Diagrammet beskriver även systemets sammanvägda COP för perioderna.

Fastighetens täckningsgrad var under mars månad ca 30% och under april månad ca 56%. Värmepumpens levererade energi för mars var ca 16000kWh, vilket är 24% lägre än motsvarande levererad energi för april på 22000kWh. Ovan nämnda driftstopp är en faktor i denna differensskillnad i kombination med att fjärrvärmeanvändningen var 57% högre enligt bilaga 7.

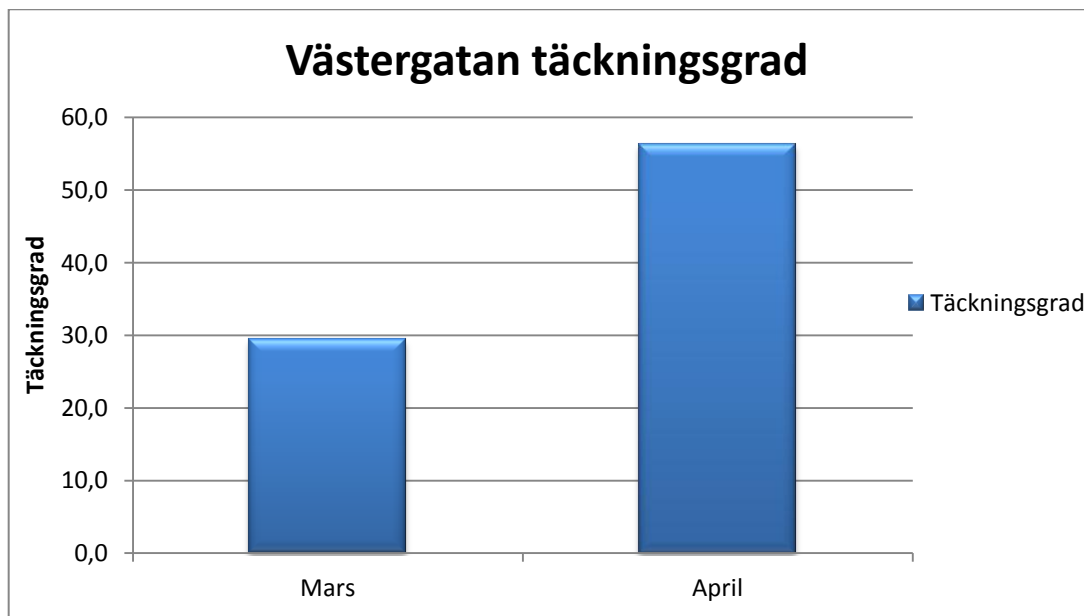


Diagram 2: Diagrammet beskriver fastighetens täckningsgrad, d.v.s hur stor del av värmepumpens levererade energi som täckt fastighetens totala energibehov, för mars och april.

Installationen medförde en energikostnadsbesparing på ca 3500kr för mars och 4900 för april. Detta motsvarar en procentuell besparing på 9,6% för mars och 19,36% för april. I diagram 3 åskådliggörs dessa data som extraherats ur bilaga 2.

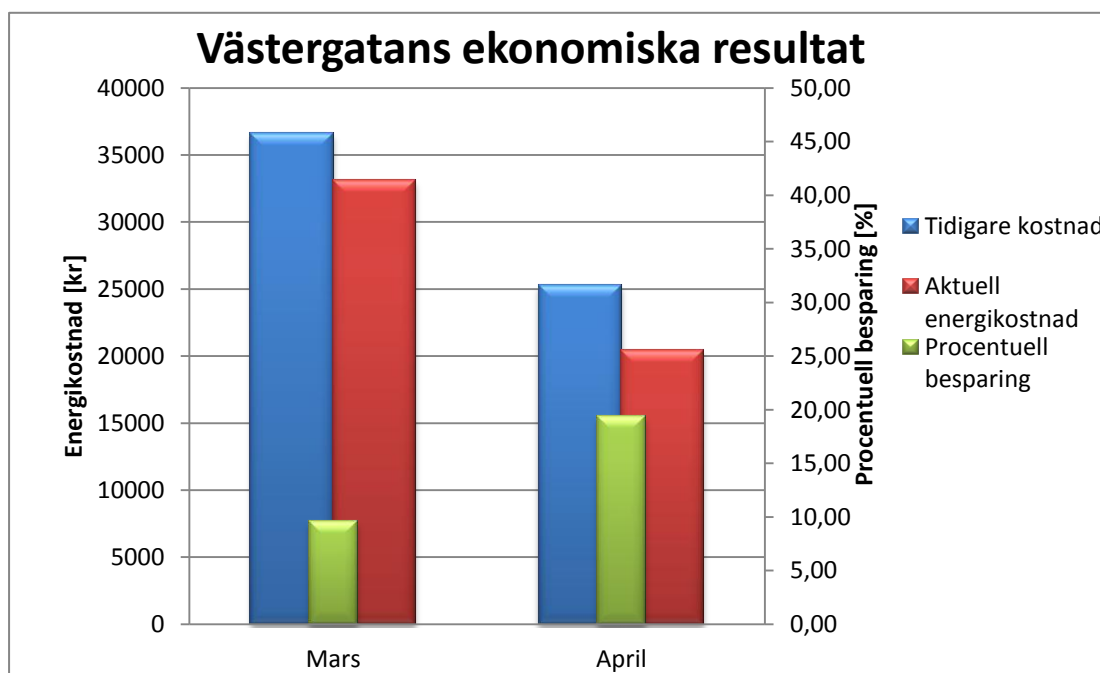


Diagram 3: Diagrammet beskriver aktuell energikostnad för mars och april 2013, samt de energikostnader som hade gällt vid tidigare uppvärmningssystem. Den högra y-axeln beskriver den procentuella besparing som värmepumpsinstallationen inneburit gentemot tidigare uppvärmningssystem.

5.2 Toras väg

Energiförbrukningen för perioden, 7:e Januari till den 8:e April, från samtliga mätare i fastigheterna finns angivna i bilaga 3. Dessa mätvärden användes enligt kap 3 och 3.2 och finns sammanställda i bilaga 8. De första uträkningarna rörande frånluftvärmepumparnas COP under perioden presenteras i diagram 4. COP-värdena låg i intervallet 1,76 – 2,08 med ett beräknat medel-COP på ca: 1,9. De fastigheter som uppvisat bäst resultat med avseende på COP var hus D och H. Den fastighet som uppvisat sämst COP-resultat var hus A.

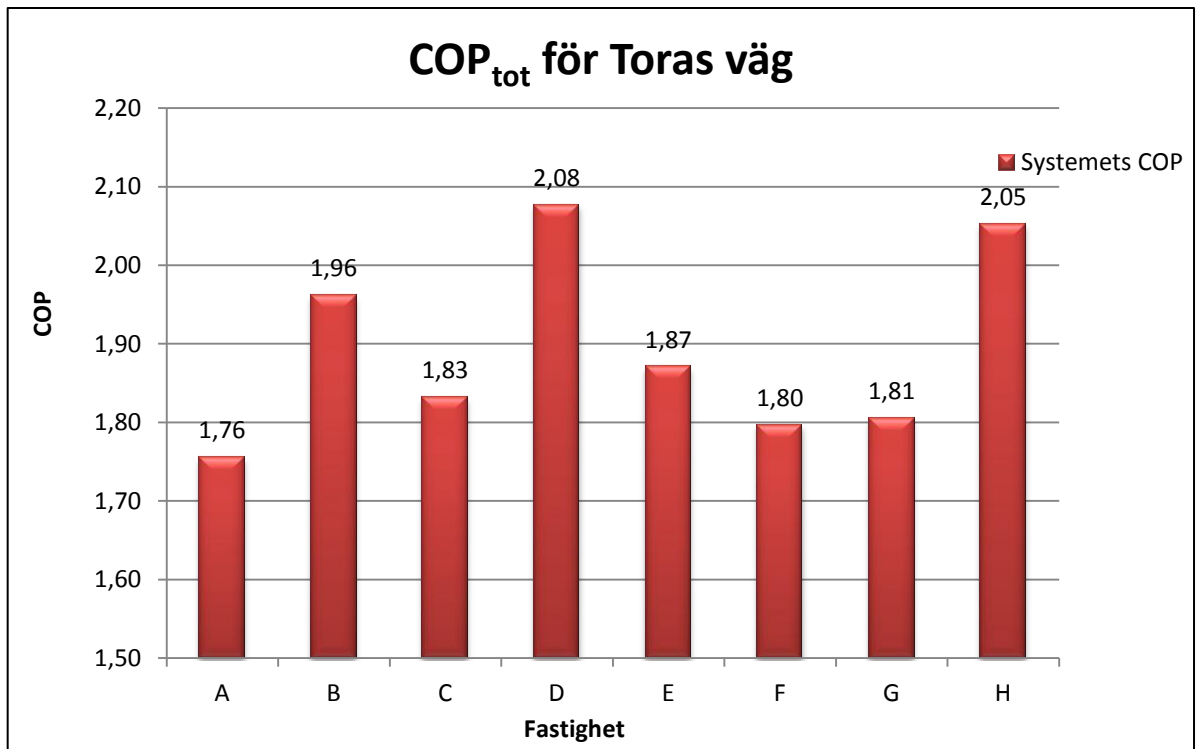


Diagram 4: Diagrammet beskriver system-COP för respektive frånluftsvärmepump i de åtta fastigheterna på Toras väg under perioden januari till mars 2013. I dessa COP-värden inkluderas även den elförbrukning som härrör från systemets pumpar och fläktar.

Installationen på Toras väg uppvisade, enligt diagram 5, totala täckningsgrader för systemen i spannet 45% - 80%. Hus B uppvisade högst täckningsgrad och hus C sämst. Värmepumparna täckte i genomsnitt ca 67% av fastigheternas totala uppvärmningsbehov för perioden. Enligt diagrammet är täckningsgraden för fastigheternas radiatorkrets genomgående högre än för tappvarmvattenkretsen. Värmepumpsystemet täckte för fastigheternas radiatorkrets i genomsnitt ca 75%, och för tappvarmvattenkretsen ca 39%.

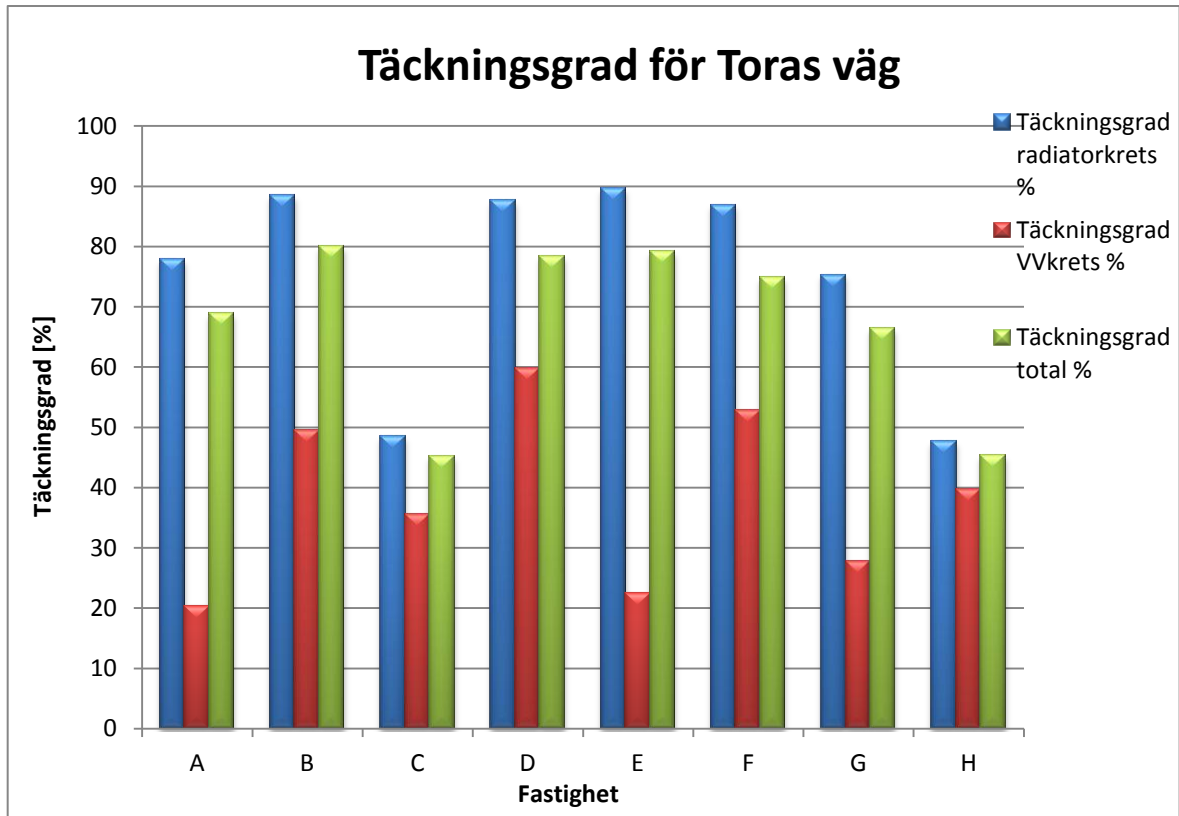


Diagram 5: Diagrammet beskriver täckningsgrader för radiatorkrets, tappvarmvattenkrets, samt för systemet som helhet för de åtta frånluftvärmepumpsystemen på Toras väg. Dessa data är tagna över perioden januari till mars 2013.

Värmepumparnas ekonomiska resultat finns presenterat i diagram 6. Den procentuella besparingen för värmepumparna gentemot det tidigare direktverkande elsystemet låg i spannet 21% till 41% för perioden. Den totala kostnadsbesparingen låg mellan 37000kr och 18000kr, där hus D visat bäst resultat och hus C sämst. Den genomsnittliga energikostnadsbesparingen för kvarteret motsvarade ca: 25500 kronor per fastighet, vilket motsvarar dryga 8000kr per månad.

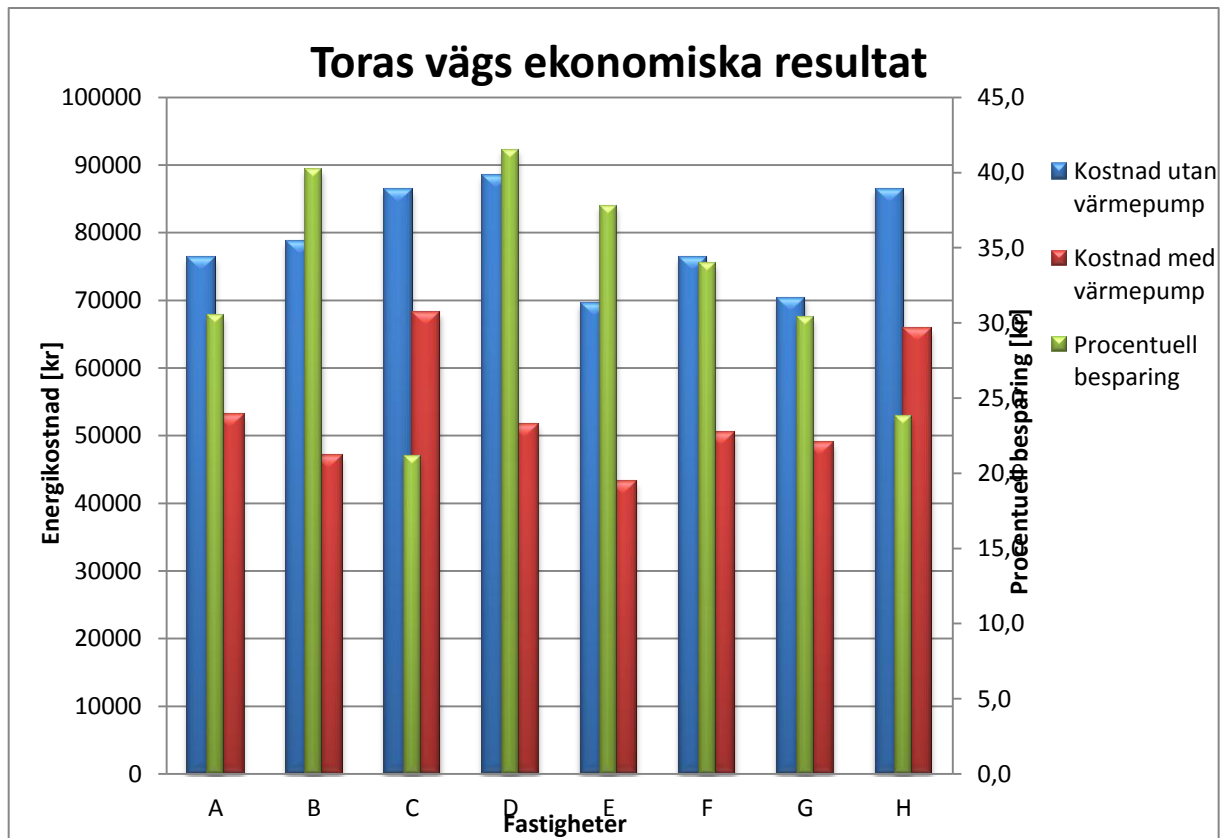


Diagram 6: Diagrammet beskriver aktuell energikostnad för perioden januari till mars 2013, samt de energikostnader som hade gällt vid tidigare uppvärmningssystem. Den högra y-axeln beskriver den procentuella besparing som värmepumpsinstallationen inneburit gentemot tidigare uppvärmningssystem.

5.3 Södra Järnvägsgatan

Energiförbrukningen för perioden 11 april till 15 maj togs rakt ur driftsprogrammet, se bilaga 6. Dessa mätvärden användes enligt kap 3 och 3.3 och finns sammanställda i tabeller i bilaga 9.

Frånluftsvärmepumpens COP-värde för perioden var ca: 3,8, och täckningsgraden beräknades till dryga 91% av radiatorkretsens värmebehov varav resten spetsades med fjärrvärme. Dessa resultat presenteras i tabell 1.

COP	Täckningsgrad radkrets [%]
3,80	91

Tabell 4: Tabellen beskriver COP för värmepumpen på Södra järnvägsgatan för perioden 11 april till 15 maj. Den högra y-axeln beskriver värmepumpens beräknade täckningsgrad för radiatorsystemet.

Under perioden innebar installationen en kostnadsbesparing på ca: 8600kr, vilket är en besparing på ca 46,2% gentemot den tidigare fjärrvärmeuppvärmda radiatorkretsen.

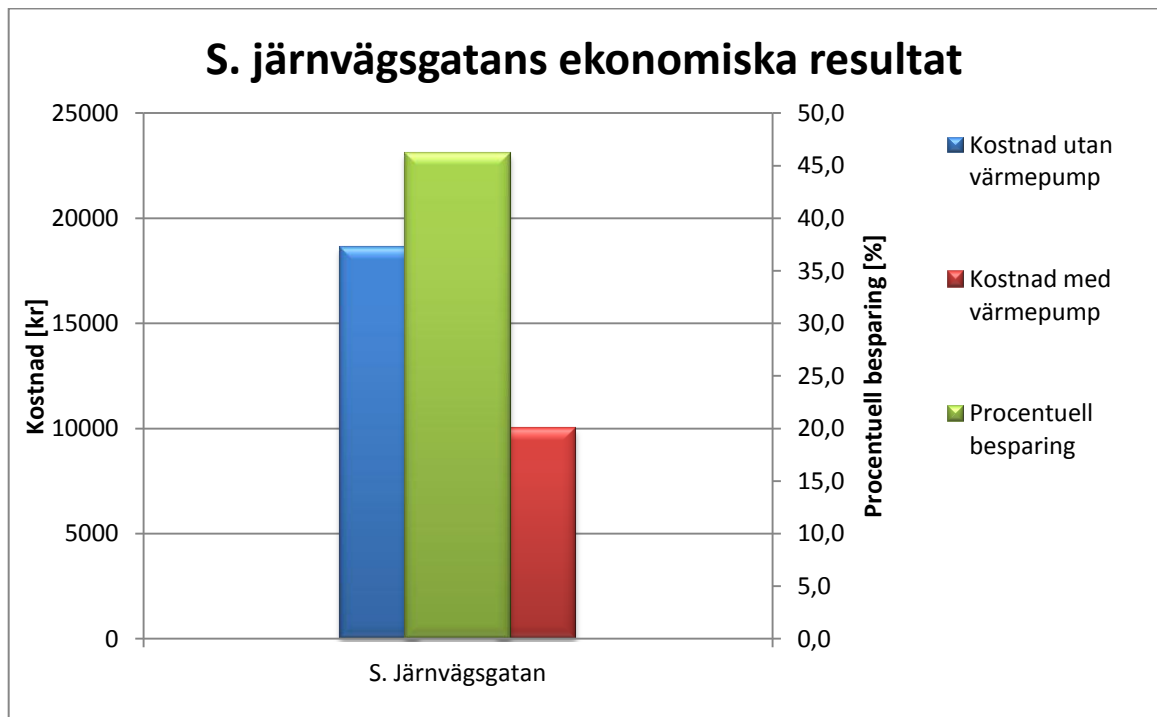


Diagram 7: Diagrammet beskriver fastighetens radiatoruppvärmningskostnad mellan 11 april och 15 maj 2013, samt de energikostnader som hade varit ett faktum vid tidigare uppvärmningssystem. Den högra y-axeln beskriver den procentuella besparing som värmepumpsinstallationen inneburit gentemot tidigare uppvärmningssystem.

6. Diskussion och slutsats

Eftersom driftsdatan för de tre systemen var tagna över tre olika perioder av året kommer jämförelsen mellan systemen innehålla vissa felkällor. En frånluftsvärmepumps COP och effektuttag ökar med en ökande utomhustemperatur, vilket medför att Västergatan och Södra järnvägsgatan därför kan ha uppvisat ett något bättre resultat relativt Toras väg. Slutsatser rörande jämförelsen av systemens prestanda drogs alltså med detta i åtanke.

Avvikelser i de olika systemens COP kan bero av flera parametrar:

Eftersom systemen på Toras väg blandar sin frånluft med uteluft medför detta att systemet blir än mindre effektivt vid låg utomhustemperatur än rena frånluftssystem. Eftersom driftsdatan för Karlskrona är tagen från vintermånader borde alltså detta vara en starkt bidragande faktor till det lägre COP-värdet. Den inkommande lufttemperaturen till förångaren är till skillnad från Västergatan och S. Järnvägsgatan inte konstant över året. Detta medför att kretsprocessen inte kan optimeras för ett visst temperaturintervall, vilket också borde resultera i ett lägre COP. En uppföljning av hur Toras vägs värmepumpar presterar under vår/sommar vore intressant i sammanhanget. En åtgärd för att kunna höja COP och driftstiden för ett mixat ute-/frånluftssystem hade varit att installera ett reglage som kan variera uteluftflödet till värmepumpen beroende på utetemperaturen. Detta hade dock kanske, p.g.a det lägre effektuttaget, krävt en varvtalsreglerad kompressor vilket inte finns i anläggningen på Toras väg.

Icke varvtalsstyrda kompressorer är en av de parametrar som också kan vara en orsak till varför värmepumparna i Karlskrona uppvisat lägre COP än dem i Växjö. Icke varvtalsstyrda kompressorer vid drift går mellan full effekt och ingen effekt, d.v.s startar och stoppar för att hålla en jämn effektkurva. Enligt affinitetslagarna, som förklaras i kapitel 2.2.2.1, medför denna drift stora effektförluster relativt en varvtalsstyrd effektkurva där kompressorn istället låts varva ner. Förutom detta så bidrar icke varvtalsreglerade kompressorer till ökat slitage och därmed serviceavgifter. Dessutom kan boendemiljön påverkas negativt av högre bullernivåer.

De värmepumpsystem som förser tappvarmvattenkretsar har på grund av den högre framledningstemperaturen uppvisat ett lägre COP. På Södra järnvägsgatan i Växjö har man valt att låta värmepumpen förse endast radiatorkretsen, och detta antas vara en faktor till att systemets COP-värde är högre (3,8) än för det för Västergatan (3,14 - 3,47) och Toras väg (1,89).

En intressant observation är att det separat räknade COP-värdet för vp2 för Västergatan, som också endast försörjer radiatorkretsen, är högre (4,02) än för S. järnvägsgatan, se diagram 1. En skillnad mellan S. Järnvägsgatan och vp2 är att vp2 kyler frånluften till -10 °C via återcirkulering medan S. Järnvägsgatan endast kyler ned till ca +2 °C. Enligt kapitel 2.2.2 medför en ökad temperaturdifferens mellan förångare och kondensator ett lägre COP, vilket till viss del motsäger resultaten i detta fall. Förklaringen kan ligga i att den economizer som finns ansluten i vp2 gör det möjligt att kyla luften lägre utan att ge avkall på COP, i kombination med att systemet får ett ökat ångbildningsentalpitillskott från ökad kondens.

Installationer för endast radiatorkrets, som S. Järnvägsgatan, innebär förutom ett högre totalt COP en enklare och billigare installation, då varken ackumulatortank, trevägsventiler, ducar eller rörledningar till ändamålet behövs. Detta medför också att

systemet blir drifttekniskt mer lättmanövrerat och lättskött. Utmaningen med installationen är att täcka så stor del av det totala uppvärmningsbehovet av radiatorkretsen som möjligt, d.v.s. nå en hög täckningsgrad. Täckningsgraden för S. Järnvägsgatan uppgick till 91%, vilket troligen kan härledas till den enkla systemuppbyggnaden. Kostnadsbesparingen över perioden uppgick dessutom till hela 46%. I de övriga installerade systemen ingår fler parametrar som komplicerar styrningen. Detta kan medföra att förhållandet mellan värmepumpens arbete och effektspetsning blir svår att optimera. Vid alla frånluftsvärmepumpinstallationer eftersträvas att värmepumpen ska gå på full effekt innan spetsning av systemet startar. Detta är en faktor som dock inte verkar ha uppfyllts på Toras väg där täckningsgraden för tappvarmvatten i genomsnitt var 39 %.

För att uppfylla uppsatta EU-mål krävs energibesparingsåtgärder i det befintliga fastighetsbeståndet. Resultatet i denna rapport har visat att installation av frånluftsvärmepumpar medför kommersiellt hållbara energibesparingar. Därav kan slutsatsen dras att denna typ av installationer kan ha stor betydelse för att nå dessa mål. Teoretiskt räknat innebär, för ett godtyckligt frånluftsvärmepumpsystem med COP-värde 3, en sänkning av den totala nettoenergitillförseln till en tredjedel av ursprungsvärdet förutsatt att ingen spetsning förekommit. I och med den lag om byggnadsuppförande som träder i kraft 2019, se kap 1.1, är det också av stor vikt att redan nu ta fram möjliga modeller för hur energieffektiva byggnader kan utformas. Frånluftsvärmepumpen kan mycket väl vara en god kandidat vid nybyggnationer av nollhus alternativt plushus.

I denna rapport har alla energibärare hittills behandlats likvärdigt oberoende av energikvalitet. Det är dock viktigt att nämna att el är exergi och fjärrvärme är anergi. I och med detta måste det finnas väl underbyggda argument för att använda el som uppvärmningskälla. Eftersom två av de jämförda systemen spetsas med fjärrvärme blir denna diskussion särskilt relevant. Om den el som driver värmepumpen produceras av ett kraftvärmeverk, produceras cirka 2 delar spillvärme för varje del el. Förutsatt att fjärrvärmeledningar är dragna innebär detta ur ett samhällsekonomiskt perspektiv att fjärrvärme kan betraktas som gratis i det avseende att den måste förbrukas. Att installera en värmepump i ett fjärrvärmeområde kan därför vara kontroversiellt även om den totala energianvändningen minskat. I fastigheter där uppvärmningen endast sker genom direktverkande el innebär däremot en frånluftsvärmepump en ren exergibesparing. Någoting som kan tala emot installationer av frånluftsvärmepumpar för fastigheter med direktverkande el är att det i regel inte finns befintliga vattenburna radiatorkretsar, vilket kan ha stor inverkan på installationskostnaderna.

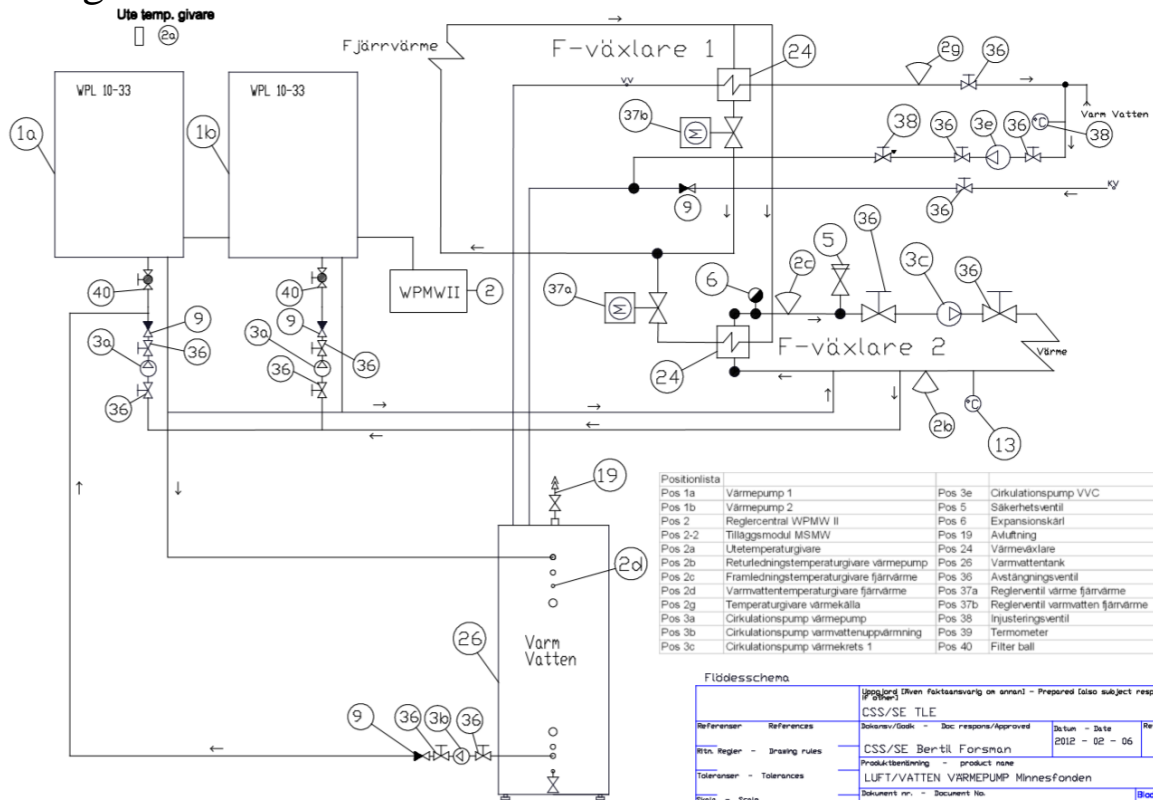
Sammantaget råder det ur resultaten ingen tvekan om att frånluftsvärmepumpinstallationer för flerbostadshus medför kostnadsbesparingar. För Södra järnvägsgatan innebar perioden 11 april – 15 maj en kostnadsbesparing gentemot fjärrvärmen på motsvarande 8600kr. Om denna månadsbesparing hade varit konstant för årets alla månader hade, om vi bortser från räntor och inflationer, återbetalningstiden för installationen blivit ca fem år. Eftersom denna rapport endast bygger på driftsdata från korta perioder av året ansågs en livscykelanalys vara alltför opålitlig för att inkluderas. När driftsdata från hela året finns tillgängligt vore det för kommande utvärderingar intressant att utföra en lönsamhetskalkyl och en livscykelanalys för att fastställa de olika systemens årsprestanda och återbetalningstider.

7. Referenser

- Abdul Hakim Abdul Ali ”Energieffektivisering av ett flerbostadshus från miljonprogrammet” Akademin för hållbar samhälls- och teknikutveckling 2010
- Abel. Enno & Elmroth. Arne, Byggnaden som system 2006
- Alvarez. Henrik, Energiteknik, 2006, upplaga 3:5.
- Badliali. Stefano & Colombo. Stefano, “Dynamic Modelling of Mechanical Heat Pumps for Comfort Heating”, Royal Institute of Technology Politecnico di Milano 2010
- Berglöf kylteknologi, Funktionskontroll och Felsökning, 2013
<http://www.berglof-kylteknologi.se/Textdokument/felsok1.pdf>
- Bernstad. Anna, ”Fjärrvärme idag och i framtiden”. Handelskammaren rapport 4 2009
http://www.handelskammaren.com/uploads/media/Rapport_4_09_final_01.pdf
- Björk. Erik, ”Effektiva förångare till kyl och frysskåp” 2002.
- Boverket, Förslag till revidering av Boverkets Byggregler kapitel 9, 2013.
- Climate solutions, Artikel Energi-miljö 2011
- <http://www.energi-miljo.se/2011/01/franluft-ska-ge-ny-varme/>
- Cookes Renewables, Heat pump, 2013
<http://www.cookesrenewables.co.uk/images/heatpump.jpg>
- EHPA, Heat Pump Compressors Overview, 2013
http://www.ehpa.org/uploads/media/13_20100520_EHPA_Zamana_Heat_Pump_Compressors_Overview_-_ECT_01.pdf
- Energimyndigheten, Energianvändning i hemmet, 2012
<http://energimyndigheten.se/Hushall/Din-ovriga-energianvandning-i-hemmet/Hembelysning/Alternativ-till-glodlampan/Hur-mycket-sparar-jag/>
- Energimyndigheten, Energiläget 2012
- Energimyndigheten, Energistatistik för flerbostadshus, 2011
ISSN – 1654-7543, art.nr. 2442, utgivet år 2012
- Energimyndigheten, Luftvärme, 2013
<http://www.energimyndigheten.se/sv/Hushall/Din-uppvarmning/Varmepump/Luftvarme/>
- Energimyndigheten, Värmepump, 2013
<http://www.energimyndigheten.se/sv/Hushall/Din-uppvarmning/Varmepump/>
- Fläkt woods, Teknisk handbok i luftbehandlingsteknologi, 2013.
- Forsman. Bertil, general manager - Climate solutions 2013

- Hiller. Carolina, Sustainable energy use in houses Report TVBH-3041. Department of building physics, Lund University 2003.
- IV-Produkt, 2013
- Isover, U-värdesberäkning, 2013
<http://www.isover.se/konstruktionsl%C3%B6sningar/bbr/ber%C3%A4kna+u-v%C3%A4rden>
- Johansson. Louise, Siemens 2012
- Klint. Ulf, Karlskronahem 2013
- Lanskröna stad, Energiavgifter, 2013
<http://www.lanskröna.se/Documents/Lanskröna/Documents/TSB/Bo%20&%20bygga/energiavgifter.pdf>
- Motala kommun, ”Särskilda regler för CFC, HCFC och HFC”, 2012
<http://www.motala.se/sv/Invanare/Miljo-och-trafik/Miljobestammelser/Koldmedia/Sarskilda-regler-for-CFC-HCFC-och-HFC/>
- Nationalencyklopedin, Termodynamik, 2013
- Olsson. Daniel, ”Tappvarmvatten i flerbostadshus” 2013
http://www.effektiv.org/pdf_filer/Tappvarmvatten.pdf
- Palm. Björn & Nowacki. Jan-Erik, ”Värmepumpars inverkan på effekttoppar i elnätet” 2010
- Petersson. Leif, Föreläsning Energiteknik II 2012
- Pettersson. Per-Johan och Ingemarsson. Sebastian “Economizer I bostadsvärmepumpar”. Hamstad högskola 2012
- SCB, Prisutveckling på el och naturgas samt leverantörsbyten, SCB 2012. (Bildreferens)
http://www.scb.se/Statistik/EN/EN0304/2012K01/EN0304_2012K01_SM_EN24SM1202.pdf
- Schultz. Linda, Normalårskorrigerigering av energianvändningen i byggnader – en jämförelse av två metoder, Rapport EFFEKTIV- 2003:01. ISSN 1650-1489, ISBN 91-7848-932-6.
- SMHI, Graddagskorrigering, 2013
http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.3483!GD_korrigering.pdf
- Staffell Iain, “A review of domestic heat pumps” 2012
- Svensk ventilation, Frånluftssystem, 2013
<http://www.svenskventilation.se/franluftssystem>
- Wickman. Per, Energiexpert 2013

8. Bilagor



Bilaga 1: Flödesschema Västergatan 21.

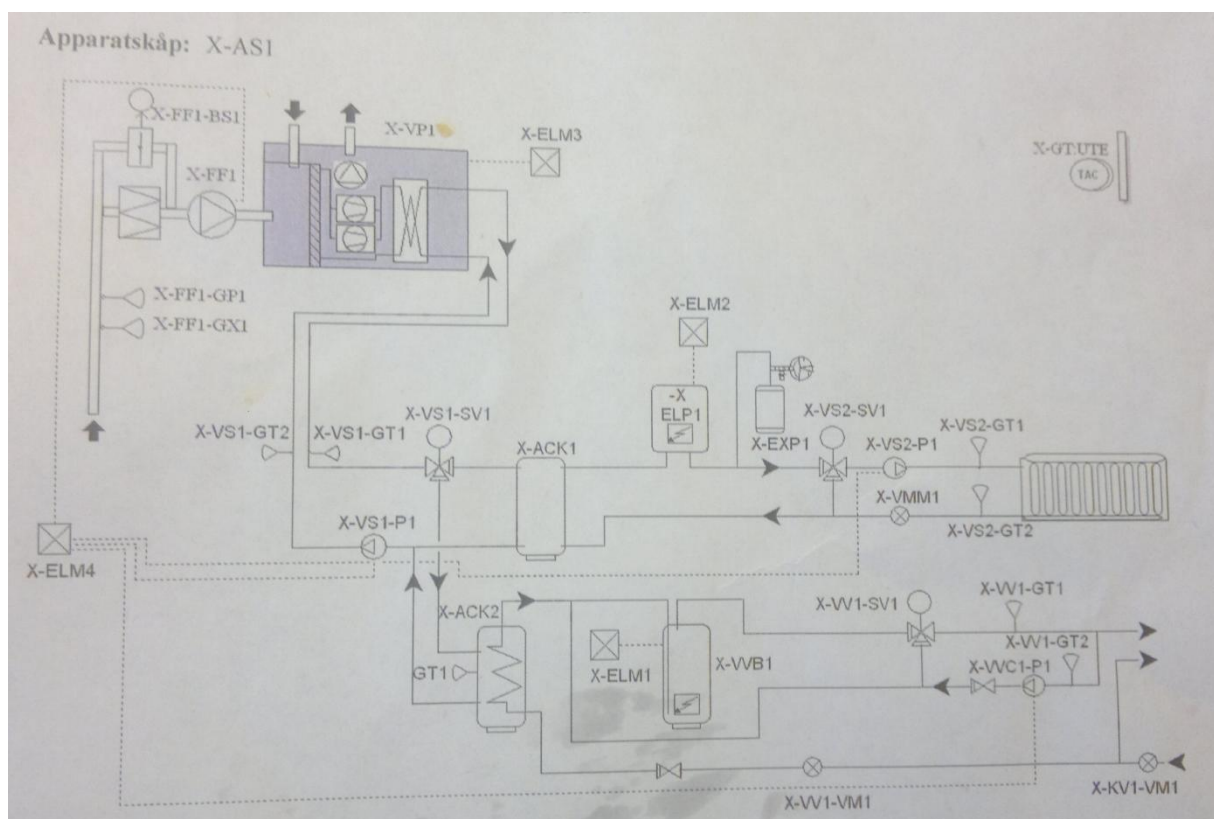
Datum	Tid	Utetemp	Värmepump 1				
			ant.dagar	Från VP kWh		Till VP kWh	
			Värme	VV	El för Värme	El för VV	
2012-08-20	10:00	Acku	0	0	0	0	
2013-03-03	09:00	195,00	Dygn	97,8	123,9	26,2	45,3
2013-03-03	09:00	Acku	19 072	24 154	5 111	8 825	
2013-03-27	09:00	24,00	Dygn	143,0	158,8	49,3	63,6
2013-03-27	09:00	Acku	22 505	27 966	6 293	10 352	
2013-04-26	0,38	30,00	Dygn	180,53	172,53	53,07	67,03
2013-04-26	09:00	Acku	27 921	33 142	7 885	12 363	
2013-05-20	09:00	24,00	Dygn	82,8	113,0	22,0	40,3
2013-05-20	09:00	Acku	29 908	35 853	8 413	13 330	

Datum	Tid	Värmepump 2			
		Från VP kWh	Till VP kWh		
		Värde som tappats bort	Ny avläsn	Värme	El
2012-08-20	10:00			0	0
2013-03-03	09:00			95	26,0
2013-03-03	09:00			18 516	5074
2013-03-27	09:00			380	104,1
2013-03-27	09:00	26475,00	1160	27 635	7573
2013-04-26	0,38			366,20	102,40
2013-04-26	09:00		12146	38 621	10645
2013-05-20	09:00			146	36,3
2013-05-20	09:00		15654	42 129	11517

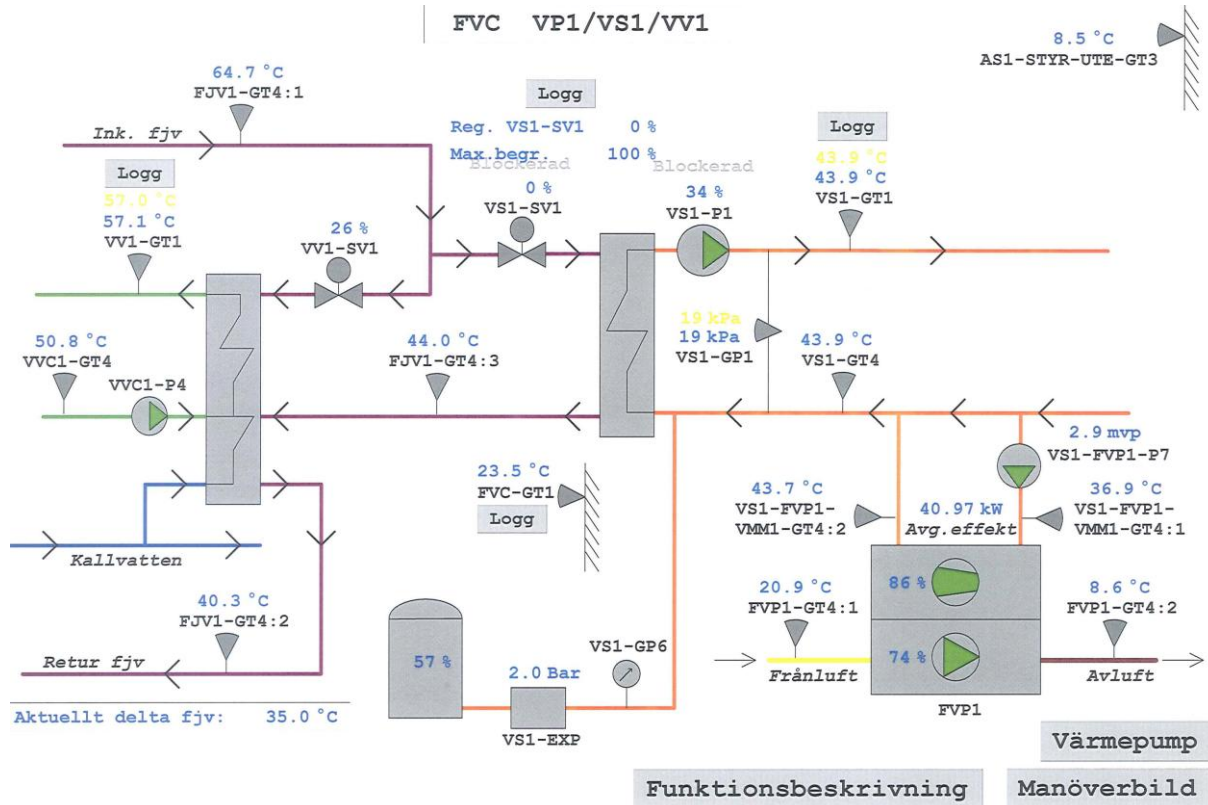
Bilaga 2: Driftsdata Västergatan 21.

	Hus A 2013-1-3	Hus B 2013-1-1	Hus C 2013-1-3	Hus D 2013-1-3	Hus E 2013-1-3	Hus F 2013-1-3	Hus G 2013-1-1	Hus H 2013-1-3	Sa 2013-1-3				
VM (MWh)	47,9	48,97	51,77	46,88	43,48	38,01	42,66	51,28	367,95				
VV (MWh)	6,68	3,25	9,88	17,28	6,28	16,66	7,62	18,44	84,0				
ELM1 W (kWh)	5320	4668	6381	6936	4889	7798	5903	6295	47778				
ELM2 ELP (kWh)	10552	5402	26671	5650	4472	4818	10518	28820	95185				
ELM3 VP (kWh)	20446	22866	14028	23050	28312	22838	17726	12587	152269				
ELM4 AS (kWh)	1592	1480	1592	1326	1284	1225	1247	1344	11092				
Andel tillskottel %	28,2	17,9	53,6	19,9	18,8	23,4	31,9	52,5	31,8				
Andel tillsats värme %	22,1	11,5	51,6	12,3	18,3	12,1	24,7	52,3	24,7				
Andel tillsats VV %	79,6	50,5	64,3	40,1	77,5	47,1	72,2	68,3	61,5				
Verkningsgrad	1,46	1,24	1,70	1,48	1,73	1,31	1,64	1,56	1,46	1,48	1,33	1,32	1,52
Värmeeffekt VP	1,8	2,1	2,1	2,2	2,3	1,9	1,9	2,3	2,34				

Bilaga 3: Driftsdata Toras väg.



Bilaga 4: Flödesschema Toras väg.



Bilaga 5: Flödesschema Södra järnväggsgatan.

FjärrVärmeCentral

Fjärrvärme		Logg
FJV1-VMM1 Energi /Total	9.526 MWh	
FJV1-VMM1 Flöde /Total	265.27 m ³	
FJV1-VMM1 Flöde /Mwh	29.4 m ³ @ Mwh	
FJV1-VMM1 Akt. Effekt uttag	7.9 kW	
FJV1-VMM1 Flöde /mom. /h	0.20 m ³ /h	
FJV1-GT4:1 Tilloppstemp.	68.0 °C	
FJV1-GT4:2 Returtemp.	33.0 °C	
FJV1-VMM1 Temp. Differens	35.0 °C	

Återvinning från FVP1		Logg
VS1-FVP1-VMM1 Energi /Total	25.65 MWh	
VS1-FVP1-VMM1 Akt. Effekt (Avg.)	40.74 kW	
VS1-FVP1-VMM1 Flöde /mom. /h	5.16 m ³ /h	
VS1-FVP1-GT4:1 (Före FVP)	36.8 °C	
VS1-FVP1-GT4:2 (Efter FVP)	43.7 °C	
VS1-FVP1-VMM1 Temp. Differens	6.9 °C	
Aktuell Verkningsgrad FVP1	3.57 COP	

Frånluftsvärmepump		Logg
FVP1	Manöver	Auto Till
FVP1	Önskad effekt	86 %
FVP1-ELM1	Akt. Effektuttag (E1)	11.36 kW
FVP1-ELM1	Mätareställning (E1)	67.43 kWh
FVP1-GT4:1	Frånluftstemp.	20.9 °C
FVP1-GT4:2	Avluftstemp.	8.6 °C
VS1-FVP1-GT4:1	Inkommande värme	36.1 °C
VS1-FVP1-GT4:2	Utgående värme	43.0 °C
FVP1-GF1	Luftflöde	1567 l/s
FVP1-GP1	Kanaltryck	150 Pa
FVP1-FF1	Varvtal Fläkt	75 %
FVP1-GP8	Tryckfall filter	0 Pa
FVP1-KPR1	Varvtal Kompressor	86 %
FVP1	S.larm Pri:A	Från
FVP1	S.larm Pri:B	Från
FVP1	S.larm Pri:C	Från

Bilaga 6: Driftsdata Södra järnvägsgatan.

VP1		Radiator [kWh]	Varmvatten [kWh]	El radiator [kWh]	El varmvatten [kWh]		
Dygnsmedel	Mars	143	159	49	64		
	April	181	173	53	67		
	Maj	83	113	22	40		
VP1		COP radiator	COP varmvatten	COPtot			
Dygnsmedel	Mars	2,90	2,50	2,67			
	April	3,40	2,57	2,94			
	Maj	3,76	2,80	3,14			
VP2		Radiator [kWh]	El radiator [kWh]	COP radiator			
Dygnsmedel	Mars	380	104	3,65			
	April	366	102	3,58			
	Maj	146	36	4,02			
VP1 & VP2	COPtot	Täckningsgrads- beräkning		VP tot levererat [kWh]	Tot förbrukn. [kWh]	Täckningsgrad [%]	
	3,14						
	3,23			Mars	16 364	55 519	29,5
	3,47			April	21 578	38 322	56,3
Kostnad med värmepump		Elanvändning [kWh]	Elpris [kr/kWh]	Elkostnad [kr]			
	Mars	5 208	1,4	7 291			
	April	6 675	1,4	9 345			
	Maj	2 367	1,4	3 314			
Kostnad med värmepump		Fjärrvärmeanv. [kWh]	Fjärrvärmepris [kr/kWh]	Fjärrvärmekostnad [kr]	Total kostnad [kr]		
	Mars	39155	0,66	25842	33134		
	April	16744	0,66	11051	20396		
	Maj		0,66				
Kostnad utan värmepump		VP levererad [kWh]	Fjärrvärmeanv. [kWh]	Total [kWh]	Fjärrvärmepris [kr/kWh]	Total kostnad [kr]	
	Mars	16 364	39 155	55 519	0,66	36643	
	April	21 578	16 744	38 322	0,66	25293	
Total besparing		Kostnad utan [kr]	Kostnad med [kr]	Total besparing [kr]	Besparing [%]		
	Mars	36643	33134	3 509	9,58		
	April	25293	20396	4 896	19,36		

Bilaga 7: Tabeller över exceluträkningar för Västergatan. Datan är tagen ur bilaga 2.

Hus	A	B	C	D	E	F	G	H
Värmemängdsmätare [MWh]	47,9	47,0	51,8	45,9	43,4	38,0	42,7	51,3
Tappvarmvatten [MWh]	6,7	9,3	9,9	17,3	6,3	16,6	7,6	10,4
Elm 1 [MWh]	5,3	4,7	6,4	6,9	4,9	7,8	5,5	6,3
Elm 2 [MWh]	10,6	5,4	26,7	5,7	4,5	5,0	10,5	26,8
Elm 3 [MWh]	20,4	22,1	14,0	23,1	20,3	22,0	17,7	12,6
Elm 4 [MWh]	1,6	1,5	1,6	1,3	1,3	1,2	1,2	1,3
<i>Qtot</i>	56,2	57,7	63,3	64,5	51,0	55,8	51,5	63,1
Andel tillsatsel vattenuppvärmning [MWh]	15,9	10,1	33,1	12,6	9,3	12,8	16,0	33,1
Andel tillsatsel vattenuppvärmning %	29,2	17,9	53,6	19,9	18,8	23,4	31,9	53,6
Systemets tekniska data								
Hus	A	B	C	D	E	F	G	H
Systemets verkningsgrad	1,76	1,96	1,83	2,08	1,87	1,80	1,81	2,05
COP	1,89	2,09	2,04	2,20	1,99	1,90	1,93	2,27
Elpris [kr/kWh]	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Elkostnad för perioden [kr]	53117	47036	68170	51748	43284	50442	48992	65876
Elkostnad utan VP [kr]	76412	78708	86380	88494	69594	76384	70378	86422
Besparing för perioden [kr]	23295	31672	18210	36746	26310	25942	21386	20546
Procentuell besparing [%]	30,5	40,2	21,1	41,5	37,8	34,0	30,4	23,8
Systemets energidata								
Hus	A	B	C	D	E	F	G	H
Total energimängd [MWh]	56,2	57,7	63,3	64,5	51,0	55,8	51,5	63,1
Vp nyttig energi [MWh]	38,7	46,1	28,6	50,6	40,4	41,8	34,2	28,6
Täckningsgrad radiatorkrets %	77,9	88,5	48,5	87,7	89,7	86,9	75,3	47,7
Täckningsgrad VV-krets %	20,4	49,5	35,6	59,9	22,5	52,9	27,8	39,7
Täckningsgrad total %	68,8	80,0	45,2	78,4	79,2	74,9	66,5	45,4

Bilaga 8: Tabeller över exeluträkningar för Toras väg.

S. Järnvägsgatan		
Period	Fjärrvärmeanvändning [MWh]	9,58
	Fjärrvärmepris [kr/kWh]	0,66
	Fjärrvärmekostnad [kr]	6320
	Total energimängd [MWh]	35,23
 		
	Elpris [kr/kWh]	1,4
	Elkostnad [kr]	9440
 		
	Total kostnad uppvärmning [kr]	10008
	Kostnad utan värmepump [kr]	18599
	Besparing [kr]	8592
	Procentuell besparing [%]	46,2
 		
	Värmepumpens energibidrag [MWh]	25,65
	Värmepumpens elförbrukning [MWh]	6,74
	COP	3,80
	Total radiatorkretsuppvärmning [MWh]	28,18
	Täckningsgrad radkrets [%]	91,02
 		
Installation	Aggregatet exkl. Moms	150000
	Total kostnad inkl. Moms	500000

Bilaga 9: Tabell över exceluträkningar för Södra järnvägsgatan