

# **Driftoptimering av värmepumpssystem**

– behovsstyrning av värme och varmvatten

Fredrik Karlsson  
SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut  
Borås

## Förord

Arbetet som presenteras i denna rapport har utförts inom eff-Sys, Energimyndighetens utvecklingsprogram Effektivare kyl- och värmepumps-system. Programmet har pågått under en treårsperiod och startades i mars 2001 som en fortsättning på de tidigare kollektivforskningsprogrammen Klimat 21 och Alternativa köldmedier. eff-Sys är ett samarbete mellan statens energimyndighet, fyra svenska högskolor, ett fyrtiotal företag inom kyl- och värmepumpsindustrin och ett flertal energiföretag. Målet är att programmet på lång sikt ska bidra till en nationell utveckling på kyl- och värmepumpsområdet som karakteriseras av en hög energieffektivitet och liten miljöpåverkan till en låg kostnad.

Detta projekt har finansierats av Statens Energimyndighet, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut AB, JEFF Electronics AB, Danfoss A/S, IVT Industrier AB, Nibe AB, Thermia Värme AB, Wilo Sverige AB, Grundfos AB, Uponor Wirsbo AB, Carrier AB, LK Lagerstedt & Krantz AB, REHAU AB samt Thermopanel AB.

Författaren vill särskilt tacka professor Per Fahlén, Chalmers Tekniska Högskola, Installationsteknik, för handledningen samt industrirepresentanterna för ett mycket gott samarbete.

## Sammanfattning

Arbetet som presenteras i denna rapport bygger direkt på det tidigare avslutade eff-Sys-projektet ”Integrerad styrning av kyl- och värmepumpsanläggningar” (Karlsson<sup>[8]</sup>), och har bedrivits under perioden 2003-03-01 till 2004-12-31. Arbetet kan delas in i följande tre delar:

- Vidareutveckling av kapacitetsreglerad värmepump
- Uppskattning av energibesparingspotential
- Strategier för tappvattenuppvärmning
- Kunskapssammanställning

Vidareutvecklingen av värmepumpen innebär att en ny värmepump konstruerats med en kompressor utvecklad för varvtalsstyrning. Provningsresultat med varvtalsstyrning och intermitterent styrning visar att varvtalsstyrningen ger en värmefaktor som är 8-22 % (beroende på driftpunkt) bättre än den intermitterenta styrningen. Att varvtalsstyrning ger en förbättrad energieffektivitet har visats tidigare. Det kanske intressantaste med detta resultat är att det nu finns lämpliga kompressorer även för villavärmepumpar.

Tappvarmvattenuppvärmning med kapacitetsreglerad värmepump har undersökts med en serie laboratorieprov. Syftet med proven var att jämföra prestanda vid fast kompressorvarvtal med den vid varvtalsstyrning. Resultaten indikerar att effektiviteten inte förändras nämnvärt men att uppladdningstiden blir kortare med kapacitetsreglering. Dvs man får varmt vatten snabbare utan att försämra energieffektiviteten.

Kunskapssammanställningen syftar till att sammanställa hur vanliga uppvärmningssystem är uppbyggda, typiska värden för bla termiska massor, vilka signaler de styrs av mm. Dessa uppgifter utgör sedan ett bakgrundsmaterial för det fortsatta arbetet med att finna lämpliga on-line optimeringsmetoder.

## Summary

The work presented in this report, is a continuation of the former eff-Sys-project "Integrated control of refrigeration and heat pump systems" (Karlsson<sup>[8]</sup>). The work was carried out between 2003-03-01 and 2004-12-31. The work project can be divided into the following three parts:

- Further development of capacity controlled heat pump
- Estimate of energy saving potential
- Strategies for domestic hot water heating
- State-of-the-art review of hydronic heating systems

A new heat pump with a capacity controlled compressor developed for variable-speed operation was developed. Variable-speed operation and constant-speed operation were compared in laboratory tests. These tests showed the variable-speed operation to be 8-22 % more efficient than the constant-speed operation. That variable-speed operation is more efficient than constant-speed operation has been showed before, but the most interesting with these tests is that it reveals that variable-speed compressors are available also in sizes suitable for domestic heat pumps.

Heating of domestic hot water using a capacity-controlled heat pump has been investigated in a series of laboratory tests. The purpose was to, also here, compare constant-speed operation and variable-speed operation. The results indicate that the energy efficiency is not changed to a considerable extent but the heating-up period is shortened. Thus hot water can be available in a shorter time without a reduction in energy efficiency.

The purpose of the state-of-the-art review is to collect information regarding how common hydronic heating systems is designed and how they are controlled. This together with mathematical models of these systems constitutes background material for the future work of developing on-line optimization strategies for heat pump systems.

# Innehåll

|                                                    |           |
|----------------------------------------------------|-----------|
| <b>Bakgrund och motiv</b>                          | <b>6</b>  |
| <b>Syfte och mål</b>                               | <b>7</b>  |
| <b>Deltagande parter</b>                           | <b>8</b>  |
| <b>Projektets genomförande</b>                     | <b>9</b>  |
| <b>Resultat</b>                                    | <b>9</b>  |
| 1. Vidareutvecklad värmepump .....                 | 9         |
| 2. Uppskattning av energibesparingspotential ..... | 13        |
| 3. Strategier för uppvärmning av tappvatten .....  | 14        |
| 4. Kunskapssammanställning.....                    | 17        |
| <b>Energi-, miljö- och industriell relevans</b>    | <b>18</b> |
| <b>Examina</b>                                     | <b>18</b> |
| <b>Internationell samverkan</b>                    | <b>18</b> |
| <b>Slutsatser och diskussion</b>                   | <b>18</b> |
| <b>Projektets planerade fortsättning</b>           | <b>19</b> |
| <b>Spridning av resultat</b>                       | <b>19</b> |
| <b>Referenser</b>                                  | <b>21</b> |

# Bakgrund och motiv

Nedan beskrivs bakgrunden och idén till hela projektet som sträcker sig längre än perioden för eff-Sys.

I det tidigare projektet ”Integrerad styrning av kyl- och värmepumpsanläggningar” (Karlsson<sup>[8]</sup>) studerades hur värmepumpens interna drift kan optimeras. Genom att mäta två tryck och tre temperaturer i köldmediekretsen kan värmefaktorn bestämmas och om även den till kompressorn tillförda eleffekten mäts kan avgiven värmeeffekt bestämmas. På så sätt är hela processen kartlagd och den kan därmed optimeras med avseende på önskad parameter. Naturligt är att optimera mot minimal energianvändning, men även andra alternativ är möjliga, såsom minimeringen av antalet inkopplingar av tillskottseffekt. I projektet undersöktes även hur nya styrningar såsom elektroniskt styrda expansionsventiler och varvtalsstyrda kompressorer och pumpar påverkar energieffektiviteten och hur de kan användas för att optimera driften.

Syftet med detta projekt, ”Driftoptimering av värmepumpssystem – behovsstyrning av värme och varmvatten”, är att fortsätta arbetet med att finna lämplig metod för att optimera värmepumpens drift. I det arbetet ingår att vidga systemgränsen och inkludera värmesänkan. Detta för att optimera driften av värmepumpssystemet, inte enbart värmepumpens interna drift.

Hur optimering och styrning av värmepumpens drift påverkas av olika, främst vattenburna, värmesystems karakteristika kommer att undersökas. Exempel på två system som vid normalutförande utgör varandras motsatser i vissa avseenden är fläktkonvektorsystem och golvvärmesystem. Ett konvektorsystem har normalt en mycket mindre tröghet än ett golvvärmesystem och dessa system ställer därför olika krav på snabbhet hos optimeringsmetod och styrsystem. Den totala energianvändningen analyseras för de olika systemen och det är denna som avses att optimeras (dvs minimeras). Olika värmesystem innehåller även olika former av ”parasiteffekter” såsom cirkulationspumpar och fläktar. Dessa får olika stor inverkan på den totala energieffektiviteten beroende på driftstrategi och verkningsgrad och är därför viktiga att ta med i analysen (Fahlén<sup>[4]</sup>).

Den föreslagna arbetsgången innebär att erfarenheterna från dagens system sammanställs (BFR-rapporter, databassökning, kontakter med branschfolk). Med detta som bakgrundsinformation tillsammans med arbetet i det tidigare eff-Sys-projektet (Karlsson<sup>[8]</sup>) utvecklas en eller flera optimeringsmetoder. Därefter utförs simuleringar och provningar på de mest intressanta kombinationerna av värmesystem och värmepump. Om möjligt kommer sista ledet i utvärderingen att innebära provning med realtidssimulering (Ruud, et al.<sup>[13]</sup>). Detta innebär att den fysiska värmepumpen kopplas in mot ett simulerat hus med värmesystem. Det simulerade huset med värmesystem återverkar hela tiden på värmepumpen. På detta sätt kan värmepumpens funktion analyseras mot olika värmesystem under exakt samma förutsättningar. Inga korrekationer eller omräkningar och

uppskattningar måste göras pga olika brukarmönster eller olika former av hus etc. Tidigare undersökningar pekar just på problemet med omfattande och komplicerade mätningar (Glas, et al.<sup>[6]</sup>) samt problem med att dra slutsatser pga skillnader i brukarmönster etc (Björk, et al.<sup>[1]</sup>).

I analysen inkluderas även vilka krav som ställs på system där värmepumpen värmer tappvatten. En kapacitetsreglerad värmepump med ett utvecklat styrsystem gör det relativt enkelt att inkludera metoder för värmning av tappvatten. Möjligheten att reglera ner kompressorns kapacitet då temperaturen på tappvattnet närmar sig önskad nivå innebär att antalet start och stopp kan minskas och på så sätt kan en högre tappvattentemperatur uppnås vilket minskar behovet av värmning med tillskottseffekt samt ger förutsättningar för att minska problemen med tex legionella.

För värmepumpar med luft som värmekälla finns det ytterligare en aspekt att ta hänsyn till vid driftoptimeringen, nämligen avfrostningen. Ett förslag på en energioptimal avfrostningsstrategi beskrivs av Fahlén<sup>[3]</sup>. Denna strategi vägs in i optimeringsstrategin för hela systemet.

Genom att på det ovan beskrivna sättet införa ett systemtänkande skapas det möjligheter för att ytterligare effektivisera värmepumpssystem och på så sätt erhålla energibesparingar.

## Syfte och mål

Projektet är en utvidgning av det tidigare eff-Sys-projektet H6, ”Integrerad styrning av kyl- och värmepumpsanläggningar”. Det skisserade projektet sträcker sig längre än eff-Sys-programmet, se figur 1. Slutmålet är att få fram en optimeringsmetod som kan anpassas för olika värmepumpssystem och som påtagligt sänker energianvändningen. Metoder för att on-line optimera värmepumpssystemets (värmepump plus värmesystem) drift samt värmesänkans inverkan på dessa metoder studeras. Arbetet innefattar även utvecklingen av metoder för att förbättra värmning av tappvatten.





Uponor Wirsbo AB

Carrier AB

LK Lagerstedt & Krantz AB

REHAU AB

Thermopanel AB

## Projektets genomförande

Arbetet för aktuell projektperiod kan delas in i följande steg:

1. Mätningar på vidareutvecklad värmepumpsprototyp
2. Uppskattning av energibesparingspotential
3. Strategier för tappvattenuppvärmning
4. Kunskapssammanställning

Kunskapssammanställningens syfte är att samla in den information som finns om olika uppvärmningssystemens principiella uppbyggnad, tekniska prestanda, tillämpning samt matematiska modeller för dessa system (stationära och dynamiska). Uppgifterna från sammanställningen utgör bakgrundsdata för det fortsatta arbetet med en optimeringsmetod. Inom projektgruppen fanns ett önskemål om att undersöka vilka möjligheter en värmepump med kapacitetsreglerad kompressor kan ge för att effektivisera värmningen av tappvarmvatten. Detta har undersökts genom en serie laboratorieprovningar. Punkt 1 är en direkt fortsättning på det tidigare eff-Sys-projektet. En ny värmepump, med samma uppbyggnad, konstruerades med en kompressor speciellt utvecklad för varvtalsstyrning och jämförande provningar mellan varvtalsstyrning och intermittent styrning utfördes. Resultaten från dessa provningar användes sedan för att bedöma energibesparingspotentialen på årsbasis.

## Resultat

Resultat från projektet finns redovisade i de publikationer som redovisas under rubriken ”Redovisning av resultat”. Resultaten från punkterna 1 - 3 ovan planeras att redovisas i en SP Arbetsrapport. En kortare sammanfattning ges i denna rapport.

### 1. Vidareutvecklad värmepump

I det tidigare eff-Sys-projektet konstruerades och provades en bergvärmepump med varvtalsstyrd kompressor (Karlsson<sup>[8]</sup>). Kompressorn var inte utvecklad för

varvtalsstyrning vilket visade sig i resultaten, effektiviteten var sämre vid varvtalsstyrning än vid konventionell intermittent styrning. Det kan förefalla märkligt att välja en kompressor som inte är utvecklad för applikationen, men det fanns vid detta tillfälle ingen lämplig kompressor på marknaden. För större kompressorer (>ca 20 kW) och för mindre (< ca 3-4 kW) fanns det men inte för segmentet där emellan, vilket är det mest intressanta när det gäller bergvärmepumpar för villabruk.

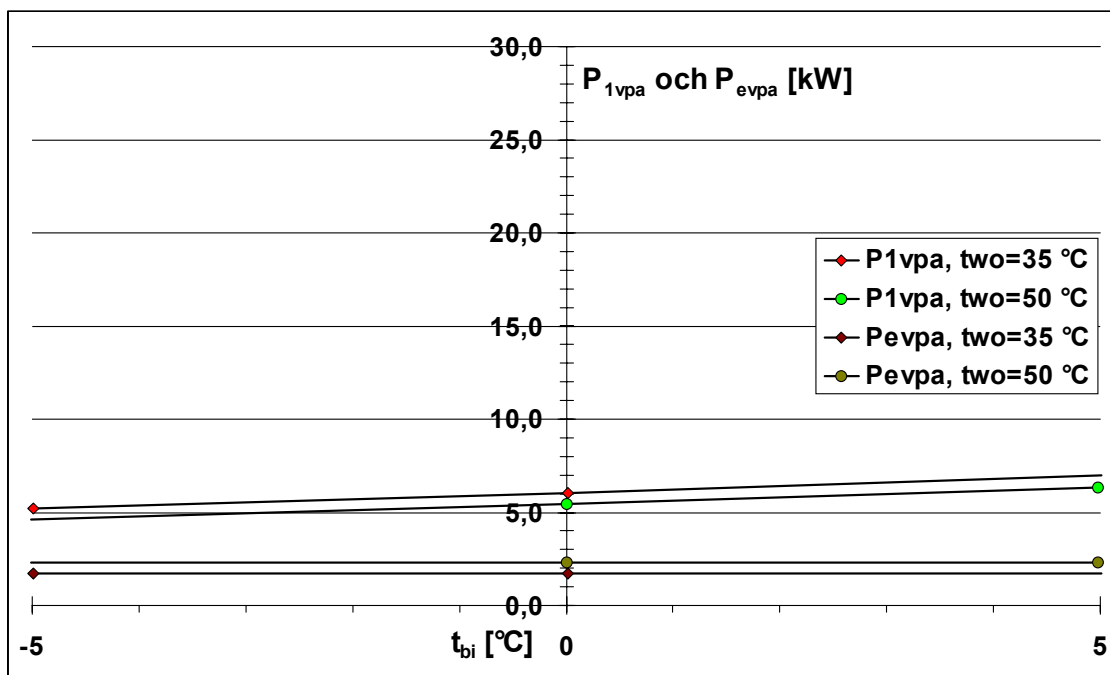
När detta, andra, projekt startades fanns det en kompressor tillgänglig. Det är en scrollkompressor från Mitsubishi som kan varvtalsstyras i frekvensområdet 30-120 Hz. Avgiven värmeeffekt ligger då i området ca 5-30 kW beroende på driftpunkt. En bergvärmepump byggdes för att återigen jämföra varvtalsstyrning och intermittent styrning. Värmeväxlarna dimensionerades för kompressorns kapacitet vid 80 Hz. En bild på värmepumpen med en komponentlista finns i Figur 2 nedan.



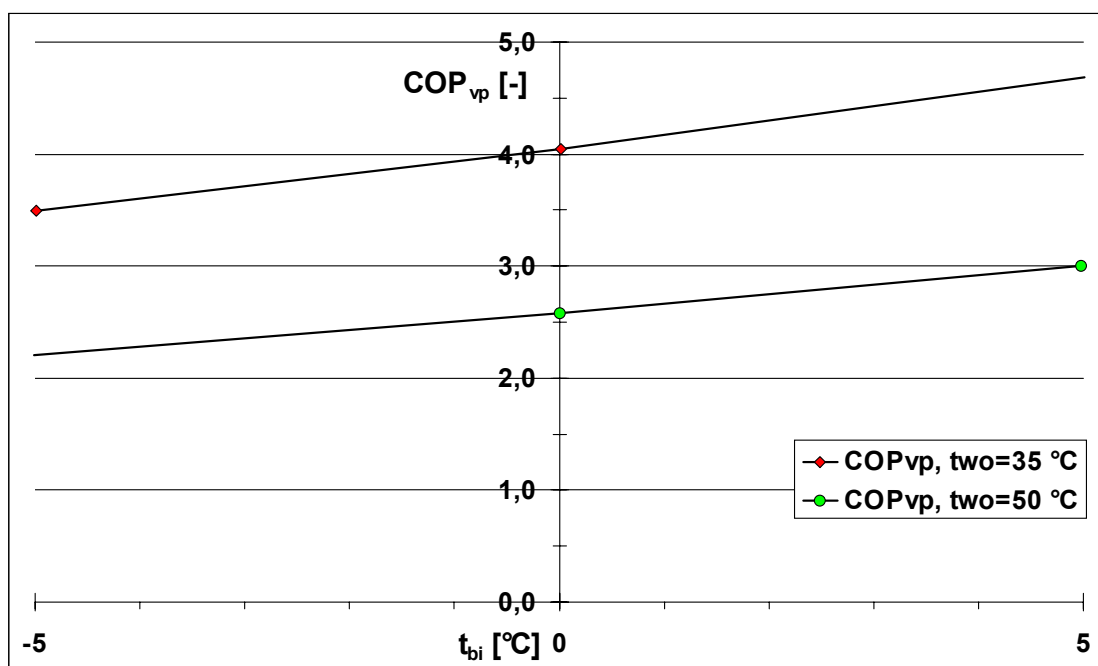
| Komponent                       | Beteckning                           |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| Kompressor                      | Mitsubishi AEV60F (scroll)           |
| Kondensor                       | CP 415-50 (50 plattor)               |
| Förångare                       | CP 415-60 (60 plattor)               |
| Expansionsventil (termostatisk) | Danfoss AKV10-7 (regulator AKC 114A) |
| Expansionsventil (elektronisk)  | Danfoss TCAE, 068U4325               |
| Cirkulationspump (värmebärare)  | Grundfos UPE 25-80 180               |
| Cirkulationspump (köldbärare)   | Wilo Stratos 30/1-12                 |
| Frekvensomformare               | Danfoss VLT                          |
| Köldmedium (mängd)              | R407C (2,5 kg)                       |

**Figur 2** Prototypvärmepump och komponentförteckning

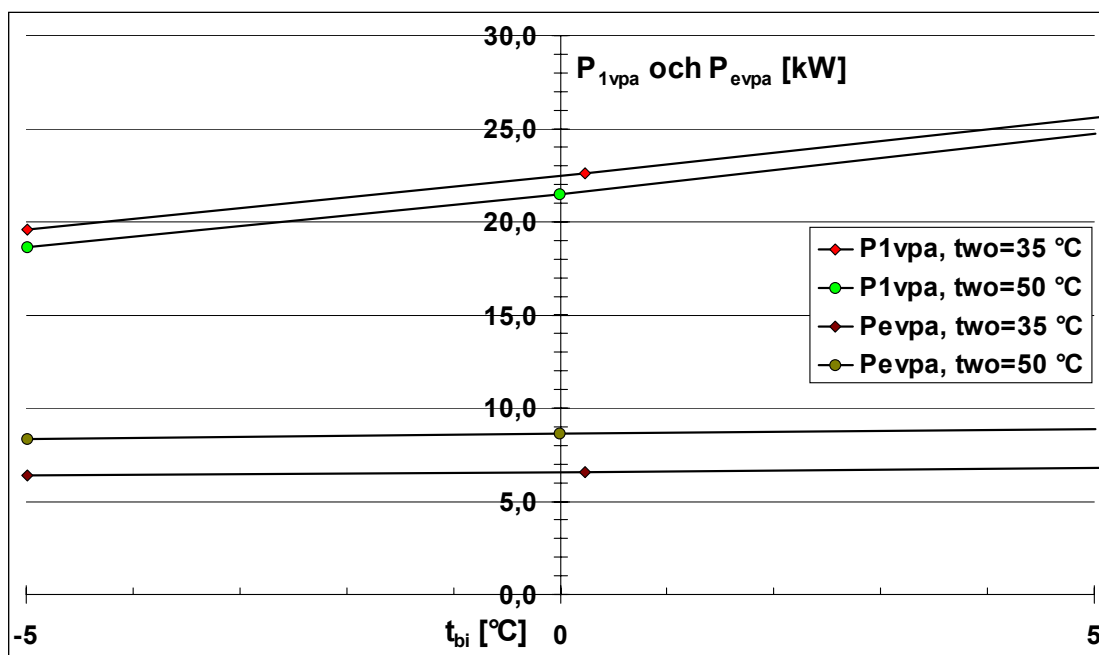
Mätningar av värmeeffekt och värmefaktor utfördes enligt SS-EN 255-2<sup>[14]</sup>, vid olika driftpunkter för de tre frekvenserna 30, 80 och 120 Hz. Några av resultaten visas i nedanstående diagram.



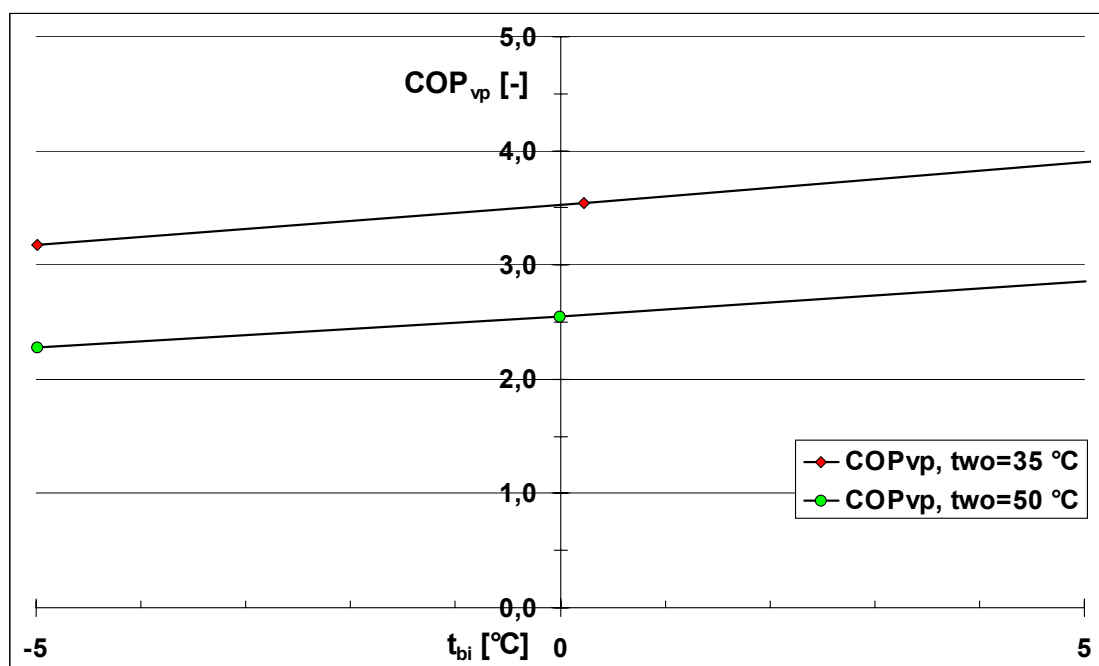
**Figur 3** Avgiven värmeeffekt och upptagen eleffekt vid frekvensen 30 Hz.



**Figur 4** Motorvärmefaktorn vid 30 Hz



**Figur 5** Avgiven värmeeffekt och upptagen eleffekt vid 120 Hz



**Figur 6** Motorvärmefaktorn vid 120 Hz

Jämförelsen mellan varvtalsstyrning och intermittent styrning gjordes enligt CEN/TS 14825<sup>[2]</sup>. Full last (100 %) definierades som kapaciteten vid kompressorfrekvensen 80 Hz. Inkommande köldbärar- och värmebärartemperatur hölls för alla provpunkter lika med värdena vid full last. Dellasten justeras in med varvtalet vid varvtalsstyrning respektive relationen mellan tiden av och på för

intermittent styrning. I Tabell 1 nedan visas kvoten mellan värmefaktorererna för de olika styrningarna. Resultaten visar på att denna kompressor blir effektivare vid dellast. Motorvärmefaktorn blir 8-22 % bättre vid varvtalsstyrning än vid intermittent styrning.

Ökningen för den totala värmefaktorn blir sämre pga att cirkulationspumparna som använts i denna experimentvärmepump är onödigt stora för ändamålet. Vidare är det så att vid intermittent drift stängs cirkulationspumpen för köldbärarsystemet av då kompressorn stängs av. Vid varvtalsstyrning stängs inte kompressorn av och således heller inte pumpen, som då även relativt kompressorn är större eftersom pumparna i dessa provningar gått med samma varvtal för alla driftfall. Detta medför att pumparna, även om de är små, kommer att påverka värmefaktorn mer vid dellast med varvtalsstyrning än med intermittent styrning. Ett sätt att undvika detta kan vara att reglera ner cirkulationspumparna då kompressorn regleras ner i varvtal.

**Tabell 1** Tabellen visar kvoten mellan värmefaktorn med varvtalsstyrd kompressor och intermittent styrd kompressor.  $t_{bi}$  = inkommande köldbärartemperatur,  $t_{wi}$  = inkommande värmebärartemperatur,  $COP_{vp}$  = motorvärmefaktorn,  $COP_{vpa}$  = totala värmefaktorn.

| Driftpunkt $t_{bi}/t_{wi}$ [°C]   | 5 / 26,6 | 0 / 27,7 | 0 / 27,7 | 5 / 42,1 | 0 / 43,1 | 0 / 43,1 |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Last [%]                          | 50       | 75       | 50       | 50       | 75       | 50       |
| $COP_{vp;varv}/COP_{vp;interm}$   | 1,22     | 1,13     | 1,20     | 1,17     | 1,08     | 1,10     |
| $COP_{vpa;varv}/COP_{vpa;interm}$ | 1,16     | 1,10     | 1,14     | 1,13     | 1,07     | 1,06     |

## 2. Uppskattning av energibesparingspotential

Baserat på mätningarna utfördes en beräkning av energibesparingspotentialen enligt metoden framtagen av Fehrm, et al.<sup>[5]</sup> modifierad för att ta hänsyn till varvtalsstyrningen. Modellen för värmesystemet finns även beskriven i Karlsson<sup>[7]</sup>. Förutsättningarna för beräkningen var ingen varmvattenberedning, fram- och returledningstemperaturerna i värmesystemet vid dimensionerande utomhustemperatur (DUT) är 55 °C respektive 45 °C. Totala värmeenergiebehovet var 25 000 kWh och tillsatsenergin förutsattes vara elektricitet med verkningsgraden 95 %. Beräkningarna utfördes både med värmepumpen som intermittent styrd och som varvtalsstyrd för storlekar motsvarande 40-100 % effekttäckning (vid nominell frekvens 80 %) vid DUT.

Resultaten redovisas i Tabell 2 och Tabell 3 nedan. Ur dem framgår det att värmepumpen är ca 10 % effektivare då kompressorn är varvtalsstyrd än då den är intermittent styrd. Detta uppnås dessutom med en ca 20 % mindre kompressor (54 % jämfört med 67 %).

$$SPF = \frac{\text{Värmeenergiebehov}}{\text{Elenergi värmepump} + \text{Elenergi tillsats}}$$

**Tabell 2** Årsvärmefaktor för olika dimensioneringssätt, intermittent styrning.

| <b>Effekttäckning<br/>(% av maximal effekt)</b> | <b>SPF (Seasonal<br/>Performance Factor)</b> |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 50                                              | 2,8                                          |
| 60                                              | 3,0                                          |
| 70                                              | 3,0                                          |
| 80                                              | 3,0                                          |
| 90                                              | 2,9                                          |
| 100                                             | 2,8                                          |

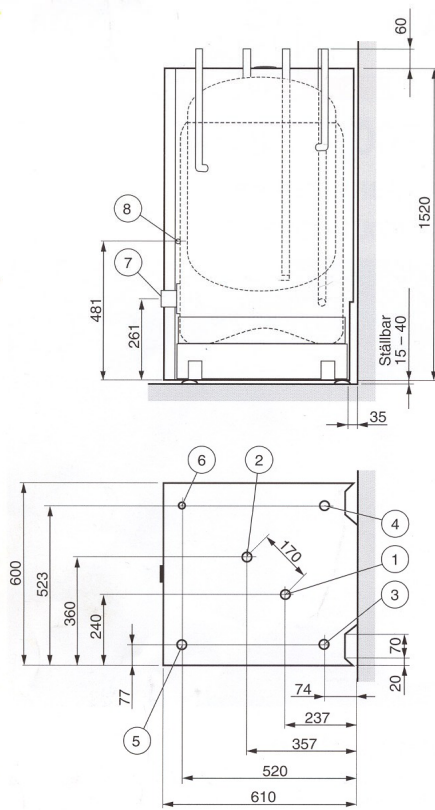
**Tabell 3** Årsvärmefaktor för olika dimensioneringssätt, varvtalsstyrning.

| <b>Effekttäckning<br/>(% av maximal effekt)</b> | <b>SPF (Seasonal<br/>Performance Factor)</b> |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 40                                              | 3,1                                          |
| 50                                              | 3,3                                          |
| 60                                              | 3,2                                          |
| 70                                              | 3,1                                          |
| 80                                              | 3,0                                          |
| 90                                              | 2,8                                          |
| 100                                             | 2,7                                          |

### 3. Strategier för uppvärmning av tappvatten

Möjligheterna för en effektiv uppvärmning av tappvarmvatten med hjälp av en värmepump med varvtalsstyrd kompressor har undersökts i en serie provningar. Proven har utförts med den prototypvärmepump som beskrivits i Figur 2 inkopplad mot en dubbelmantlad beredare, Nibe 200/70. Beredaren har 205 liter i tanken och 66 liter i manteln, se Figur 7 för ytterligare beskrivning. Kombinationen värmepump och beredare blir något extrem då värmepumpens kapacitet är mycket större än den som normalt kan överföras av manteln.

## Måttskiss VPA 200/70



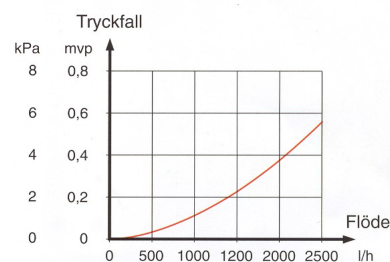
## Utrustning

- 1 Kallvatteninlopp, Ø 28 mm
- 2 Varmvattenutlopp, Ø 28 mm
- 3 Dockningsanslutning, framledning (från värmepump), Ø 28 mm
- 4 Dockningsanslutning, returledning till värmepump/radiator retur, Ø 28 mm
- 5 Framledning till radiatorer, Ø 28 mm
- 6 Luftning, dubbelmantelutrymme
- 7 Elpatronanslutning, G 50 inv
- 8 Dykrör (inv Ø 8 mm, längd: 85 mm), styrning varmvattenberedning

## Tryckfallsdiagram

### Primärsida

Anslutning (3) och (4).



**Figur 7** Måttskiss över beredaren (källa: Nibe AB)

Syftet har varit att undersöka om möjligheten att kontinuerligt anpassa värmepumpens avgivna effekt kan ge en effektivare värmning av tappvarmvatten. Följande provserie har körts:

1. Provning med fast varvtal (frekvens) 45 Hz
2. Provning med fast varvtal (frekvens) 80 Hz
3. Prov med varvtalsstyrning; kompressorfrekvensen varierar mellan 30-120 Hz

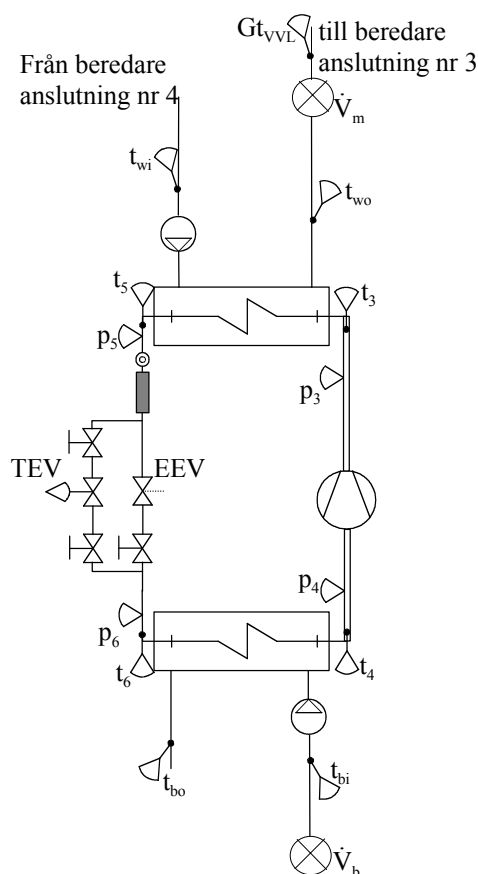
Provuppställningen beskrivs i Figur 8 nedan. Start av varmvattenberedning styrdes med en givare placerad på beredarens ytermantel. Stopp styrdes på returtemperaturen ( $t_{wi} = 48 \text{ °C}$ ). Vid prov med varierande kompressorvarvtal styrdes detta på laddtemperaturen, dvs temperaturen på framledningen,  $t_{wo}$ , in i beredaren. Börvärdet för denna var  $50 \text{ °C}$  för alla proven. Provningarna utfördes enligt SS-EN 255-3<sup>[15]</sup>.

Resultaten från proven med fasta frekvenser visas i Tabell 4 nedan. Ur tabellen framgår det att värmefaktorn inte förändras så väldigt mycket med varierande frekvens. Bäst värmefaktor fås vid den lägre frekvensen 45 Hz. Värmeeffekten

vid denna frekvens stämmer även väl med den effekt som beredaren kan överföra. Om prov utförts vid den lägsta möjliga frekvensen 30 Hz hade resultaten antagligen visat på en större uttappad energimängd, delvis pga en förbättrad skiktning, men troligen hade inte värmefaktorn blivit bättre. Uppladdningstiden hade blivit ännu något längre och cirkulationspumparna därmed en längre gångtid med medföljande elanvändning.

**Tabell 4** Resultaten från prov med fast kompressorfrekvens.  $COP_t$  = värmefaktorn vid tappvattenvärmning,  $COP_{tes}$  = som  $COP_t$  men utan korrigering för tomgångsförbrukningen,  $t_h$  = uppladdningstiden,  $Q_t$  = uttappad energimängd,  $P_{es}$  = tomgångsförbrukningen.

| Frekvens (Hz) | $COP_t$ (-) | $COP_{tes}$ (-) | $t_h$ (min) | $Q_t$ (kWh) | $P_{es}$ (W) |
|---------------|-------------|-----------------|-------------|-------------|--------------|
| 80            | 2,24        | 2,15            | 26          | 2,73        | 180          |
| 45            | 2,34        | 2,19            | 54          | 3,38        | 200          |



**Figur 8** Figuren visar mätpunkterna för provningarna med tappvarmvattenuppvärmning.

I ett försök att förbättra värdena i Tabell 4 kördes prov enligt punkt 3 ovan. Kompressorernas varvtal styrdes så att laddtemperaturen in i beredarens ytermantel skulle vara konstant 50 °C. Detta innebär att vid en start från 20 °C kommer



kompressorn att varva upp till maximalt varvtal. Varvtalet kommer sedan att sjunka allt eftersom laddtemperaturen närmar sig börvärdet. På så sätt skulle man, idealt sett, kunna få varmt vatten relativt snabbt med god verkningsgrad. Temperaturen i manteln kommer initialt att öka snabbt, men temperaturskillnaden mellan mantel och beredare kommer också att vara stor. När sedan kompressorvarvtalet och därmed effekten minskas kommer det att finnas tid för att värmen i manteln ska hinna sprida sig in i beredaren. Hela provet har inte körts och därmed har inte tomgångsförbrukningen bestämts.

**Tabell 5** Resultat från prov med varierande kompressorvarvtal. Beteckningar enligt tabell 2.

| Frekvens (Hz) | $COP_t$ (-) | $COP_{tes}$ (-) | $t_h$ (min) | $Q_t$ (kWh) | $P_{es}$ (W) |
|---------------|-------------|-----------------|-------------|-------------|--------------|
| 30-120        | -           | 2,18            | 44          | 3,42        | -            |

Resultaten visar att värmefaktorn (utan korrigering för tomgång) och urtappad energimängd är lika som för proven vid 45 Hz fast frekvens. Fördelen är att detta uppnås med en 10 minuter (18 %) kortare uppladdningstid.

#### 4. Kunskapssammanställning

Syftet med denna del av projektet är att sammanställa hur olika värmesystem, för småhus, är uppbyggda och hur de styrs. Detta utgör sedan ett bakgrundsmaterial för val av optimeringsmetod och för modellering i senare delar av projektet.

Undersökningen har delats upp i följande punkter:

- Effekt- och energiavgivning
- Systemlösningar
- Styrsignaler
- Växlingar mellan rumsuppvärmning och tappvattenuppvärmning
- Modeller av värmesystem

De systemlösningar som undersöks är olika lösningar för radiatorsystem, golvvärmesystem och fläktkonvektorsystem. Det vill säga att det är vattenburna värmesystem för småhus som undersöks. Alla systemen styrs normalt med sk kurvstyning där börvärdet för temperaturen i värmesystemet är en funktion av utomhustemperaturen. Den individuella rumsregleringen sker sedan på lite olika sätt. På radiatorer styrs flödet genom radiatören med en termostat. För fläktkonvektorsystem kan effektagivningen styras med temperatur och flöde (både på vatten- och luftsidan).

Andra uppgifter viktiga för modellering och optimering är typiska termiska massor och tidskonstanter för de olika systemen, liksom värmegenomgångstal och temperaturnivåer.

# Energi-, miljö- och industriell relevans

Ett av projektets syften är att minska elenergianvändningen och därmed den miljöpåverkan som elproduktion innebär. I Sverige dimensioneras villavärmepumpar för att täcka 55-60 % av det maximala effektbehovet. Den tillskottseffekt som behövs för att klara de kallaste dagarna under året består ofta av en elektrisk värmare. Med ett stort antal värmepumpar installerade bidrar detta extra elbehov till en ökad toppeffekt vilken kan behöva tillgodoses med dyr och miljömässigt ofördelaktigt producerad el (tex producerad i kolkondenskraftverk). Med utnyttjande av kapacitetsreglerade kompressorer skapas möjligheter för att minska eller helt ta bort den elektriska värmaren och därmed försvinner värmepumparnas bidrag till denna toppeffekt och därmed fås en ekonomisk och miljömässig vinst. Startströmmarna från kompressorn kan minskas och frekvensen med vilka de belastar elnätet minskas. Den industriella relevansen säkerställs genom att ett antal svenska och danska industriföretag deltagit i projektet. De flesta av dessa är små eller medelstora som inte själva har möjligheter för att bedriva FoU-verksamhet i denna omfattning.

## Examina

Ingen examen har avlagts inom detta projekt, men under föregående projekt ”Integrerad styrning av kyl- och värmepumpsanläggningar” avlade Fredrik Karlsson en licentiatexamen.

## Internationell samverkan

Samverkan har skett med Danmarks Tekniska Universitet, samt även i viss mån med University of Illinois at Urbana-Champaign.

## Slutsatser och diskussion

Kapacitetsprovningarna med den varvtalsstyrda kompressorn visar på att varvtalsstyrning är energieffektivare än intermittert styrning. Detta har visats i ett flertal studier tidigare (Marquand, et al.<sup>[9]</sup>, Miller<sup>[10]</sup>, Poulsen<sup>[11]</sup>, Poulsen<sup>[12]</sup>, Tassou, et al.<sup>[16]</sup>) det kanske mest intressanta är att det nu finns kompressorer anpassade för varvtalsstyrning även i det segment som är intressantast för villavärmepumpar. Däremot är det viktigt att observera att det inte alltid blir en förbättring med varvtalsstyrning, som visades i det förra eff-Sys-projektet (Karlsson<sup>[8]</sup>). Försök med tappvarmvattenuppvärmning indikerar att man med den kapacitetsreglerade värmepumpen kan få ut samma energimängd till samma energianvändning men med kortare uppladdningstid än då kompressorn går med fast varvtal.

## Projektets planerade fortsättning

Planen för framtiden är att fortsätta arbetet med driftoptimering av värmepumpssystem. Arbetet framöver kommer att ägnas åt strategier för driftoptimering, genom att kartlägga funktionen hos olika värmesystem, modellering och förhoppningsvis också praktiska prov av de mest lovande strategierna. Arbetet syftar till att finna generella metoder men fokus kommer att ligga på villavärmepumpar.

Varvtalsstyrning och metoder för driftoptimering prövas även på en luftvärmepump där avfrostningen kommer att ställa ytterligare krav på optimeringsstrategierna.

Den vetenskapliga rapporteringen och meritering av forskarna sker genom minst två artiklar i vetenskapliga tidskrifter. Arbetet bildar underlag för en doktorsavhandling.

## Spridning av resultat

Nedanstående lista redovisar de föredrag, artiklar och rapporter som skrivits för att sprida resultaten från de båda projekten ”Integrerad styrning av kyl- och värmepumpsanläggningar” och ”Driftoptimering av värmepumpssystem – behovsstyrning av värme och varmvatten”.

- 1 Karlsson, F and Fahlén, P, 2001. Nya styrningar leder till energibesparingar. 16 Nordiske Kølemøde og 9 Nordiske Varmepumpdage, p 43-52. Copenhagen, Denmark.
- 2 Karlsson, F and Fahlén, P, 2002. Integrerad styrning av kyl- och värmepumpsanläggningar. 1:a eff-Sys-dagen, Stockholm.
- 3 Karlsson, F and Fahlén, P, 2002. Parametric study of energy saving potential for capacity controlled heat pumps - optimal condensation temperature. 7th IEA Conference on Heat Pumping Technologies - Heat Pumps Better by Nature, vol 1, p 566-576. Beijing, China.
- 4 Karlsson, F and Fahlén, P, 2003, Integrated control of refrigeration and heat pump systems - a literature survey. (SP Swedish National Testing and Research Institute.) SP AR 2002:15. Borås, Sweden.
- 5 Karlsson, F and Fahlén, P, 2003. Integrerad styrning av kyl- och värmepumpsanläggningar. 2:a eff-Sys-dagen, CTH, Göteborg.

- 6 Karlsson, F, Fahlén, P and Lidbom, P, 2003, Integrerad styrning av kyl- och värmepumpsanläggningar - resultat från provningar. (SP Swedish National Testing and Research Institute.) SP AR 2002:16. Borås, Sweden.
- 7 Karlsson, F, Fahlén, P and Lidbom, P, 2003, Givare för intern värmefaktormätning. (SP Swedish National Testing and Research Institute.) SP Arbetsrapport 2003:12. p. 42. Borås.
- 8 Karlsson, F, 2003. Integrerade styrsystem för kyl- och värmepumpsanläggningar.
- 9 Karlsson, F, 2003, Integrated control of heat pumps. (Chalmers University of Technology.) D2003:03. Göteborg.
- 10 Karlsson, F and Fahlén, P, 2003. Energy saving potential of capacity controlled brine-to-water heat pumps. 21st International Congress of Refrigeration, Washington, USA.
- 11 Karlsson, F, 2003. Energieffektiv kapacitetsreglering av värmepumpar. KYLA, n 5, p 14-17.
- 12 Karlsson, F, 2004. Driftoptimering av värmepumpssystem. 3:e eff-Sys-dagarna, Eskilstuna.
- 13 Karlsson, F, 2004. Kapacitetsreglering av bergvärmepumpar, Scanref, n 6, p. 38-39

# Referenser

- 1 Björk, E and Wiklund, S, 1980, Praktisk provning av vattenburet värmesystem med värmepump och konvektorer / radiatorer. (Byggforskningsrådet.) R131:1980. p. 77.
- 2 CEN/TS 14825, 2003, Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling - Testing and rating at part load conditions. (CEN.)
- 3 Fahlén, P, 1999. Optimized defrost control. 20th International Congress of Refrigeration, n 90, Sydney, Australia.
- 4 Fahlén, P, 2002. Ground-source heat pumps - recharging of boreholes by exhaust-air coils. 7th IEA Heat Pump Center Conference - Heat Pumps Better by Nature, vol 2, p 1027-1040. Beijing, China.
- 5 Fehrm, M and Hallén, T, 1981, Beräkningsmetod för bestämning av energisparfaktor för energisparlån avseende värmepumpar. (SP Swedish National Testing and Research Institute.) SP-MET A3 528. p. 14. Borås, Sweden.
- 6 Glas, L-O and Figueroa-Karlström, E, 1992, Värmepumpar för direktelvärmda villor. (Byggforskningsrådet.) R28:1992. p. 89.
- 7 Karlsson, F, 2003, Integrated control of heat pumps. (Chalmers University of Technology.) D2003:03. Göteborg.
- 8 Karlsson, F, 2003, Integrerad styrning av kyl- och värmepumpsanläggningar - Slutrapport. (Eff--Sys.) p. 7.
- 9 Marquand, C J, Tassou, S A, Wang, Y T, et al., 1984. An economic comparison of a fixed speed, a two speed, and a variable speed vapour compression heat pump. Applied Energy, n 16, p 59-66. Great Britain.
- 10 Miller, W A, 1988. Laboratory examination and seasonal analyses of the dynamic losses for a continuously variable-speed heat pump. ASHRAE Transactions, vol 94, n 2, p 1246-1268.
- 11 Poulsen, C S, 1998, Individuelle eldrevne varmepumper. (Teknologisk Institut.) B1.2. p. 29. Taastrup, Denmark.

- 12 Poulsen, C S, 1998, Individuelle eldrevne varmepumper. (Teknologisk Institut.) delrapport B1, B1.1. p. 27. Taastrup, Denmark.
- 13 Ruud, S and Fahlén, P, 1999. Description of and experience with the SPsim/ber building simulation programme. Building Simulation 99, Kyoto, Japan.
- 14 SS-EN 255-2, 1997, Luftkonditioneringsaggregat, vätskekylare och varmepumpar med eldriven kompressor - värmedrift - Del 2: Provning och krav för märkning av aggregat för rumsuppvärmning. (CEN.) Brussels, Belgium.
- 15 SS-EN 255-3, 1997, Luftkonditioneringsaggregat, vätskekylare och varmepumpar med eldriven kompressor - värmedrift - Del 3: Provning och krav för märkning av aggregat för tappvattenvärmning. (CEN.) Brussels, Belgium.
- 16 Tassou, S A, Marquand, C J and Wilson, D R, 1983. Comparison of the performance of capacity controlled and conventional on/off controlled heat pumps. Applied Energy, vol 14, n 4, p 241-256. GB.