

Forskningsprogram Effsys+ EP07 Kapacitetsreglering i värmepumpsystem		Projekt <input type="checkbox"/> Pågående <input checked="" type="checkbox"/> Avslutat	
Total kostnad 1 136 kkr	Tidplan, förväntade delrapporter		
Universitet/Högskola/Företag KTH, Kungliga Tekniska Högskolan		Avdelning/Institution Energiteknik, Avd. Tillämpad Termodynamik och Kylteknik	
Adress Brinellvägen 68 100 44 Stockholm			
Fullständigt namn och E-post till forskningsledare/kontaktperson Hatef Madani, hatef.madani@energy.kth.se Per Lundqvist perlundq@energy.kth.se			
Slutrapport, namn och förlag Kapacitetsreglering i värmepumpsystem, Kungliga Tekniska Högskolan			

Sammanfattning

Uppnådda huvudresultat

Det primära syftet med projektet var att utveckla en strukturerad metod för att förbättra kapacitetsstyrning av värmepumpsystem för typiska enfamiljshus i Sverige. Som exempel på tillämpning av den strukturerade metoden, gjordes en jämförande analys mellan årliga prestanda för olika storlekar av on/off-styrda och varvtalsstyrda bergvärmepumpsystem (GSHP = Ground Source Heat Pump). Resultaten visar tydligt hur viktig roll tillsatsvärmen (om den baseras på el) spelar för prestanda för ett värmepumpsystem som styrs on/off, särskilt vid installation i ett nordligt klimat. Exempelvis, om ett GSHP system som dimensionerats för 55-57% av värmeeffektbehovet den kallaste dagen (DUT) ersätts av ett väl dimensionerad system med variabel kapacitet, kommer årsvärmefaktorn (SCOP) att förbättras med cirka 10-15%.

Ett andra exempel är en annan jämförande analys, denna gång för att jämföra tre vanliga strategier för on/off styrning för GSHP system. Baserat på resultaten från en detaljerad analys av dessa tre styrningsstrategier rekommenderas att inte använda "konstant hysteres metoden" för att undvika stora variationer i framledningstemperatur eller stor avvikelse från de temperaturerna som önskas. Resultaten visar att årsvärmefaktor (SCOP) i systemet kan förbättras med ca 6% när en "konstant hysteres" kontrollmetod ersätts av grad-minut eller flytande hysteres metoder.

Utöver de visade exemplen, kan den utvecklade metoden tillämpas för att förbättra använda strategier för styrning och bör kunna leda till ökade möjligheter till att spara både energi och pengar, vilket i sin tur kan minska utsläpp av växthusgaser samt öka användningen av energieffektiva värmepumpsystem.

Dessutom har en experimentell analys genomförts på en varvtalsstyrd värmepump utrustad med en scrollkompressor med en extra inloppsport för ånginjektion och med en permanentmagnetmotor. Köldmediet som användes i systemet var R410A. Experimenten gjordes på värmepumpen med och utan ånginjektionen inkopplad. När ånginjektion används, utvärderas värmepumpens prestanda för två olika köldmediefyllningar: 1.15kg och 1.28kg. Värme kapaciteten ökar med cirka 20% i genomsnitt när ånginsprutning används i värmepumpen. Testerna på värmepumpen med två olika köldmediefyllningar visar att den större fyllningen, gav högre vinst av ånginjektion, men endast vid höga kompressorhastigheter. Experimenten visar att ånginjektion förbättrar värmepumpens COP mellan 6,8% och 9,4% i genomsnitt, beroende på belastningen. Enligt våra experiment, finns det ingen vinst med ånginjektion när kompressorns varvtal är så låg som 30 Hz.

Ett annat möjligt sätt för att öka systemets effektivitet är att återvinna värme via en vätskekyld frekvensomriktare. För att testa detta har en prototyp av en vätskekyld frekvensomriktare utvecklats och en experimentell analys genomförts för att utvärdera den möjliga effektivitetsförbättringen av systemet, orsakad av värmeåtervinningen från frekvensomriktaren. De experimentella resultaten visar att systemets COP kan förbättras med 0,5% till 3% om en vatten- eller brine kyld frekvensomriktare med återvinning används istället för en luftkyld frekvensomriktare.

Tolkning av dessa i förhållande till forskningens syfte/mål

Ansökan: "Målet med det föreslagna projektet, som är en fortsättning av det förra, är att använda de utvecklade modellerna till att utvärdera årsprestanda för några av de nyare teknikerna och nya utvecklade strategier för kapacitetsreglering i värmepumpssystem"

Kapitel 3 i rapporten och kapitel 5 i doktorsavhandlingen visar exempel på en jämförande analys mellan en on/off-styrd och varvtalsstyrd bergvärmepump (GSHP = Ground Source Heat Pump). Resultaten visar tydligt hur viktig roll tillsatsvärmens (om den baseras på el) spelar för prestanda av ett värmepumpssystem som styrs on/off, särskilt vid installationer i ett nordligt klimat. Exempelvis, om ett GSHP system som dimensionerats för 55-57% av värmeeffektbehovet den kallaste dagen (DUT) ersätts av ett väl dimensionerad system med varvtalsstyrning så kan årsvärmefaktorn (SCOP) komma att förbättras cirka 10-15%.

En "konventionell on/off-styrning" av värmepumpssystem används ofta som jämförelseobjekt när man vill utvärdera andra styrstrategier såsom varvtalsstyrning eller andra nya komplexa strategier, t.ex. system med klimatprognoser. Emellertid är det kanske inte helt klart vad som menas med "konventionell on/off-styrning" och hur den arbetar, vilka parametrar som ligger till grund för styrningen och hur den påverkar resultatet. En beskrivning av tre vanliga metoder som användas vid on/off styrning redovisas därför i Kapitel 4 i rapporten: metod A kallas "konstant hysterese metoden", metod B kallas "grad-minut metoden", och metod C kallas "flytande hysterese metoden".

Baserat på resultaten från en detaljerad analys av dessa tre styrningsstrategier rekommenderas att inte använda "konstant hysterese metoden" för att undvika för stora variationer i framledningstemperatur eller avvikelse från de temperaturerna som önskas. Resultaten visar att årsvärmefaktorn (SCOP) i systemet kan förbättras med ca 6% när en "konstant hysterese" kontrollmetod ersätts av grad-minut eller flytande hysterese metoder.

Ansökan: Exempelvis kommer årsprestandan för en ny systemkonfiguration samt ett system med kompressor med permanentmagnetiserad elektrisk motor att utvärderas."

Dessutom har en experimentell analys genomförts på en varvtalsstyrd värmepump utrustad med en scrollkompressor med en extra inloppsport för ånginjektion och permanentmagnetmotor. Detta redovisas närmare i Kapitel 5 i doktorsavhandlingen. Det köldmedium som användes i systemet var R410A. Experimenten gjordes med och utan ånginjektion. När ånginjektion användes, utvärderades värmepumpens prestanda för två olika köldmediefyllningar: 1.15kg och 1.28kg. Värme kapaciteten ökade cirka 20% i genomsnitt när ånginsprutning används i värmepumpen. Testerna av värmepumpen med två olika köldmediefyllningar visar att den större fyllningen, ger större vinst av ånginjektion, men endast vid höga kompressorvarvtal. Experimenten visar att ånginjektion förbättrar värmepumpens COP mellan 6,8% och 9,4% i genomsnitt, beroende på belastningen. Enligt våra experiment, finns det ingen vinst med ånginjektion när kompressorvarvtalet är så låg som 30 Hz.

Ansökan: Dessutom kommer de experimentella studierna kring varvtalsreglerade värmepumpssystem att fortsätta och fokusera på hur förlusterna i systemet beter sig vid olika lastfall samt att eftersöka optimala designparametrar, såsom frekvensomriktarens inre frekvens både ur ett elektriskt och termodynamiskt perspektiv. Den experimentuppställning som redan är byggd vid KTH Energiteknik kommer att användas för detta ändamål.

Sammanfattningar av resultaten från några av de experimentella studierna presenteras i kapitel 5 och 6 i doktorsavhandlingen. Dessutom har två experimentella uppställningar byggts inom projektet i laboratoriet vid Institutionen för Energiteknik vid Kungliga Tekniska Högskolan, KTH. De används både för modellvalidering och för att ge en bättre förståelse av den senaste tekniken, såsom varvtalsreglerat värmepumpssystem utrustat med ånginjektionsport, permanentmagnetmotor (kapitel 5 och bilaga II i rapporten), och även värmeåtervinning via vätskekyld frekvensomriktare (kapitel 6 och bilaga III i rapporten).

När det gäller optimal switchfrekvens, visar resultaten att omvandlingsförlusten varierar från 9% till 3% av den totala kompressoreffekten beroende på både kompressor hastighet och switchfrekvens. Ju högre switchfrekvens, desto högre omvandlingsförluster i förhållande till den totala kompressoreffekten (%). Emellertid, mätningarna visar att ökande kopplingsfrekvens minskar förlusten i motorn nästan lika mycket som den ökar omvandlingsförlusten i frekvensomriktaren. Detta innebär att förlusterna flyttas från motorn till invertern när switchfrekvensen ökar. Detta resultat används i de senare stegen av projektet där vi försökte att återvinna denna förlust i frekvensomriktaren med högre switchfrekvens via en vätskekyld frekvensomriktare (kapitel 6 och bilaga III i rapporten). Därför har en prototyp av en vätskekyld frekvensomriktare utvecklats och en experimentell analys genomförts för att utvärdera den möjliga effektivitetsförbättringen av systemet av att återvinna värmen från frekvensomriktaren. De experimentella resultaten visar att systemets COP kan förbättras med 0,5% till 3% om en vatten- eller brine frekvensomriktare med återvinning används istället för en luftkyld frekvensomriktare.

Ett annat exempel på att hitta optimala designparametrar som beskrivs i kapitel 7 i doktorsavhandlingen är en undersökning av inverkan av variation av hastigheten i både kompressor och pumpar för en bergvärmepump med U-rörs värmväxlare. Studien syftar till att hitta den optimala pumpen och kompressorhastigheten för att få högsta prestanda vid olika driftförhållanden. Resultaten visade att den högsta totala värmefaktorn, COP, för fem testade kompressorhastigheter uppnås om Pumping Power Ratio (PPR) är mellan 0,01 och 0,03. För ytterligare information, se kapitel 7 och paper V i doktorsavhandlingen.

Projektpresentation

Problemställning

Enbart i Sverige har uppskattningsvis 414 000 bergvärmepumps-anläggningar installerats med en sammanglad effekt av ungefär 4.5 GW(t) (Forsen och Nowacki 2011). Under 2011 användes ca 4.5 TWh el för att driva vätska-vatten värmepumpar i Sverige samtidigt som de levererade omkring 13.5 TWh värme till byggnader (Ibid). Det anses ofta att marknadsvärdet ökar för fastigheter med effektiva bergvärme-installationer, bergvärmesystem har blivit en statussymbol, men det viktiga är naturligtvis att förbättringar av energiutbytet kan spara avsevärda mängder energi och därmed reducera utsläpp av växthusgaser, samtidigt som det ökar tilltron till bergvärmesystem.

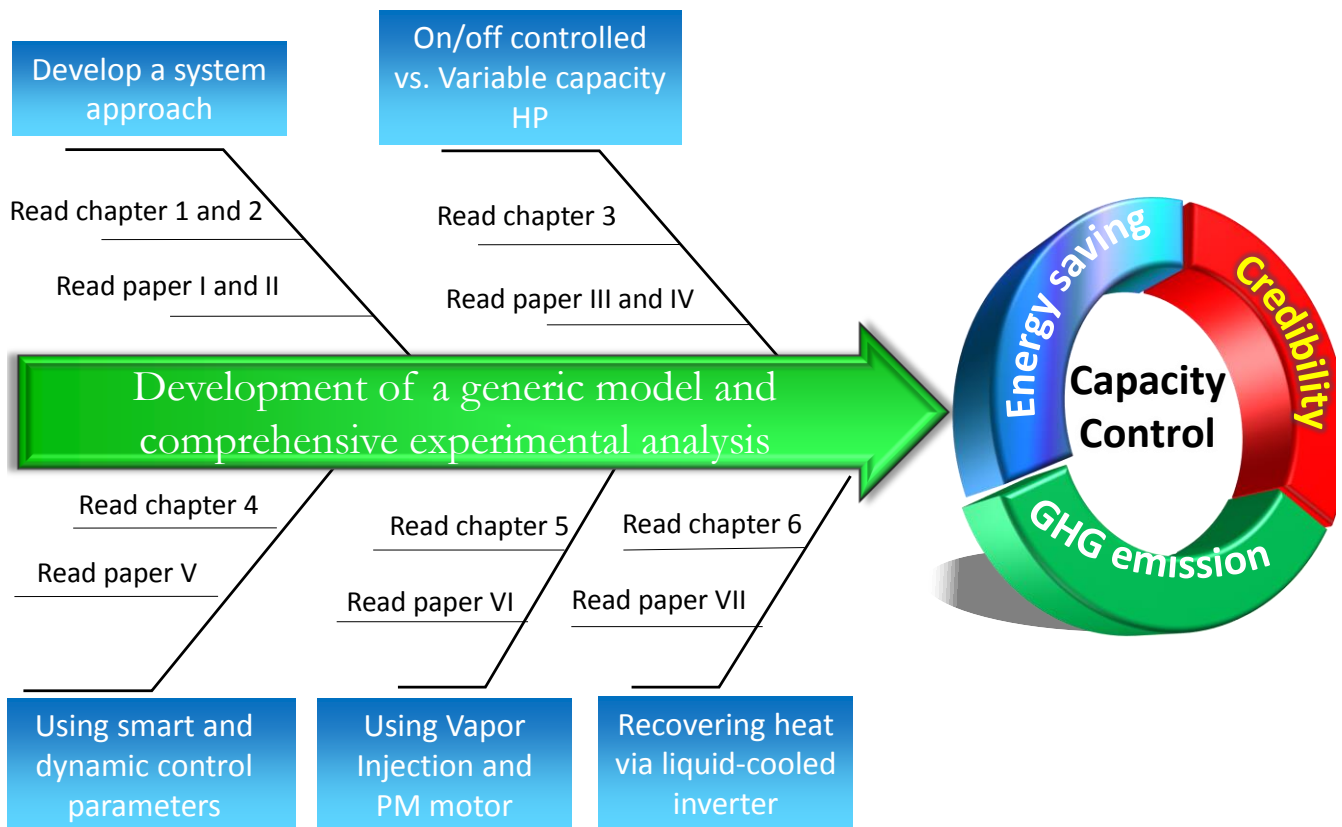
Syfte och mål

Målet med det föreslagna projektet, som är en fortsättning av ett tidigare, är att använda de utvecklade modellerna och de experimentella uppställningarna till att utvärdera prestanda för några av de nyare teknikerna och nya utvecklade strategierna för kapacitetsreglering i värmepumpssystem, främst bergvärmesystem.

Förväntad nytta med forskningen i relation till Energimyndighetens uppdrag att ställa om energisystemet.

Om resultaten från detta projekt används är det möjligt att förbättra årsvärmefaktorn för värmepumpssystem med mer än 20%. Med 20% högre årsvärmefaktor för endast bergvärmepumpar, är det möjligt att spara cirka 1 TWh el per år. Det leder också till reducerade utsläpp av växthusgaser, samtidigt som det ökar tilltron till bergvärmepumpssystem.

Capacity control in Heat pump systems: a system approach



Doctoral thesis

- I. Madani H., 2012 "Capacity controlled Ground Source Heat Pump Systems for Swedish single family dwellings", Royal Institute of Technology, KTH, Stockholm, Doctoral thesis.

Scientific papers

- II. Madani H., Claesson J., Lundqvist P. 2011 "Capacity control in ground source heat pump systems, Part I: modeling and simulation", International Journal of Refrigeration, Volume 34 (6), Issue 6, pp 1338-1347.
- III. Madani H., Claesson J., Lundqvist P. 2011 "Capacity control in ground source heat pump systems, Part II: Comparative analysis between on/off controlled and variable capacity systems", International Journal of Refrigeration, Volume 34 (8), pp 1934-1942.
- IV. Madani H., Lundqvist P. 2011 "Evaluation of the annual performance of Ground Source Heat Pump systems: A comparison between single speed and variable speed systems", 23rd IIR International Congress of Refrigeration, Prague, Czech Republic, ID 843.
- V. Madani H., Claesson J., Lundqvist P. "A descriptive and comparative analysis of three common control techniques for an on/off controlled Ground Source Heat Pump (GSHP) system", submitted to International Journal of Energy and Buildings.

Master of Science Thesis

- VI. Awan U.K., 2012 “Experimental Analysis of Variable Capacity Heat Pump System Equipped with Vapor Injection and Permanent Magnet Motor”, Royal Institute of Technology, KTH, Stockholm, Master of Science thesis.

- VII. Ebraheem T. 2013 “Experimental Analysis of Variable Capacity Heat Pump Systems equipped with liquid-cooled frequency inverter”, Royal Institute of Technology, KTH, Stockholm, Master of Science thesis.