

Effsys Expand forskarkonferens 2018 – deltagande projekt

Sammanfattning

EFFSYS EXPAND är ett forskningsprogram där industrin, högskolor och statens energimyndighet samverkar för forskning, utveckling och innovation inom resurseffektiva kyl- och värmepumpsystem samt kyl- och värmelager. Programmets totala budget uppgår till 96 miljoner kronor där energimyndigheten bidrar med 48 miljoner kronor. Programmet löper över tidsperioden 2014-09-01 till 2018-09-01.

EFFSYS EXPAND är en fortsättning på de tidigare programmen "Alternativa köldmedier", "Klimat 21", "eff-Sys", "Effsys2" och EFFSYS+ vilka sammantaget löpt sedan 1994. Där de tidigare forskningsprogrammen har varit en bidragande orsak till Sveriges industri och forskningsinstitutioners starka internationella ställning inom kylteknik och värmepumpar.

Det övergripande syftet med programmet är att med forskning, utveckling och innovation inom kyl- och värmepumpsystem samt kyl- och värmelager bidra till samhällets och omvärldens omställning till en alltmer resurseffektiv och hållbar energianvändning och en reduktion av miljökadliga ämnen i termiska lager och värmepumpande system.

Nedan återfinns en kort sammanfattning av de projekt som delvis finansierats genom Effsys Expand och som deltog i den avslutande forskarkonferensen våren den 17 och 18 april 2018 i Tranås. Projektsammanfattningarna finns dels på svenska och dels på engelska där det redogörs för vad som gjorts i projekten tillsammans med en lista på de publikationer som gjorts inom projektet.

Summary

Effsys Expand is a research program where industry, universities and the Swedish Energy Agency cooperate for research, development and innovation within the field of resource efficient cooling, heat pumps and thermal storage for cooling and heating. The total budget of the program is 96 million SEK where the Swedish Energy Agency contributes with 48 million. The program is running from 2014-09-01 until 2018-09-01.

Effsys Expand is a continuation of the earlier programs Alternativa köldmedier, Klimat 21, eff-Sys, Effsys2 and EFFSYS+ with the first program starting in 1994. The earlier programs have contributed to the strong international position of the Swedish industry and research institutions within the field of heat pumps and cooling technology.

The main target of the program is to encourage research, development and innovation within the field of cooling, heat pumps and thermal storage for cooling and heating, as a means to contribute to the transition to a more resource efficient and sustainable use of energy and a reduction of environmentally harmful substances within thermal storage and heat pumping systems.

Below is a short summary of the different projects that to a part have been financed through the Effsys Expand program and that participated in the final research conference, held in Tranås, April 17th and 18th. The project abstracts in Swedish and English together with a publication list are found in these conference proceedings.

Innehållsförteckning

P01	Magnetokaloriska kylprocesser för konsumentprodukter	3
P02	Absorptionsprocess med energilagring - processförbättring med kompressor	6
P03	Adsorberande korrosionsinhibitorer, gröna korrosionsinhibitorer och alternativa köldbärare för indirekta kylsystem.....	9
P04	Morgondagens energieffektiva livsmedelsbutik.....	15
P05	Utveckling av effektivare indirekta luftvärmepumpar.....	20
P06	Vidareutveckling av värmepumpssystem för Nära-Noll-Energi-hus (NNE-hus)	22
P07	Effektivare avfrostning av luftberörda förångare	25
P08	Köldmedier med låg växthuseffekter.....	27
P09	Utveckling av ytbeläggningar på värmeväxlare som motverkar isuppbyggnad och nedsmutsning.....	32
P10	Utvärdering av innovativ värmeväxlare i kyldisk för effektivare energianvändning i butiker..	35
P11	Energieffektiv mjölkproduktion	38
P13	Design- och reglerstrategier för högtemperaturkyllning av svenska kontorsbyggnader med hjälp av direkta marklagersystem.....	41
P14	Effektivare förångning i smala kanaler	44
P15	Hybridsystem för frikyla från kompressorkylanläggningar	47
P16	Komparativ experimentbaserad utredning av prestanda och effektivitet av markkolektorer för vertikala borrhålsapplikationer.	48
P17	Metodutveckling – Utvärdering av buller från värmepumpar.....	50
P18	Smarta kontrollstrategier för värmepumpssystem	52
P19	Djupa borrhålsvärmväxlare för bergvärmepumpar	55
P20	Korttidslagring av energi med fasändringmaterial för effektiv integrering med värme- och kylsystem i byggnader.....	60
P21	Bergvärmepumpar för svenska flerfamiljshus: Innovativa strategier för samproduktion och värmelagring	62
P22	Värme och kyla från akviferlager: en inblick i framtiden.....	65
P23	Värmepumpar i fjärrvärmesystem	66
P24	Teknikbärare - Bästa teknologi för miljövänlig bergvärmepump	69
	Medlemmar i rådet för Effsys Expand	71

P01 Magnetokaloriska kylprocesser för konsumentprodukter

Projektledare, Björn Palm - Projektutförare, Bezhad Monfared -Institution, KTH energiteknik

Sammanfattning

Den magnetokalorisk kylprocessen föreslås av vissa forskare som ett alternativ till kompressorkylprocessen för att minska utsläppen av köldmedier i atmosfären och minska energianvändningen för kylsystem i allmänhet. Magnetkyla för tillämpningar kring rumstemperatur är ämnet för detta projekt vars delstudier presenteras nedan.

I den första studien jämfördes miljöinverkan av magnetkylaprocessen med kompressorkyla genom en livscykelanalys. Resultaten indikerar att på grund av miljöinverkan vid utvinningen av de sällsynta jordartsmetaller som används för tillverkning av magneterna, så är det inte självklart att magnetkyla är mer miljövänligt än kompressorkyla. För att minimera miljöeffekterna bör minsta möjliga mängd magnetiskt material användas, och energieffektiviteten måste förutsättas vara högre för processen för att den ska kunna ge miljöfördelar jämfört med kompressorkyla.

För att optimera processen, t.ex. för att ge hög energieffektivitet, används med fördel en datormodell. Inom projektet har en sådan modell utvecklats och validerats. Jämfört med tidigare modeller som beskrivits i litteraturen är den nya mer detaljerad, vilket ger högre precision i resultaten.

En av de parametrar som kan varieras i modellen är valet av magnetokaloriskt material i vart och ett av de skikt som den aktiva generatoren, processens kärna, består av. Genom att använda modellen kan valet av material för varje lager väljas så att energieffektiviteten eller temperaturlyftet för processen blir högsta möjliga.

Den prototyp av en magnetokalorisk kylmaskin som finns på KTH utformades ursprungligen för att ersätta kompressorkylsystemet för ett restaurangkylskåp. Tyvärr kunde prototypen, designad utanför KTH, inte uppfylla de krav som ställts upp under designfasen. Simuleringsmodellen användes för att undersöka hur mycket prestanda skulle kunna förbättras utan att ändra geometrin på regeneratorerna. Resultaten visade att med den befintliga geometrin för regeneratorerna och existerande magnetokaloriska material kan de ursprungliga målen inte uppnås.

I nästa delstudie undersöktes hur mycket bättre de magnetokaloriska materialen skulle behöva bli för att magnetkylaprocessen ska kunna konkurrera med kompressorkyla med avseende på prestanda. För de två undersökta fallen visade det sig att befintliga magnetokaloriska material skulle duga, under förutsättning att vissa andra problem, såsom låg mekanisk stabilitet och inhomogena egenskaper, kunde lösas. För mer krävande applikationer, t.ex. transport av stora effekter över höga temperaturdifferenser, med användning av måttliga mängder magnetiskt material, så behövs magnetokaloriska material med bättre egenskaper än de nu tillgängliga.

Ett mindre utforskat område är temat för den sista delstudien, i vilken magnetkyla kombineras med aktiva termiska ventiler i form av Peltier-block. Sådana system har modellerats och de preliminära försöken att optimera sådana system visar inte på några positiva resultat. Möjligen kan passiva termiska ventiler utvecklas och ge bättre resultat i kombination med magnetkyla.

Abstract

As an alternative to vapor-compression technology, magnetic refrigeration is proposed by some researchers to eliminate the release of refrigerants into the atmosphere and to reduce the energy consumption of refrigeration systems. Magnetic refrigeration for room-temperature applications is the subject of this project and is investigated in a number of studies summarized below.

In the first study, the environmental impacts associated to magnetic refrigeration are looked at through a life cycle assessment. The results indicate that because of the environmental burdens related to the rare-earth materials used in magnets, the reduction in the environmental impacts is not guaranteed by switching to magnetic refrigeration technology. Accordingly, the magnetic refrigeration systems should use magnetic materials frugally and operate with higher efficiency compared to vapor-compression systems to have environmental advantages, at least in some impact categories.

A practical method to optimize the design of magnetic refrigeration systems, e.g. to have a compact design or high efficiency, is utilizing a simulation software model. Such a model is developed and validated in this project. Compared to the older works, more details are added to the model, resulting in high accuracy of its predictions.

One of the adjustable parameters in the developed model is the choice of the magnetocaloric materials for each layer in a layered magnetic regenerator. A parametric study reveals that for maximizing different outputs of the systems, such as energy efficiency or temperature lift sustained at the two ends of the regenerators, different choice of materials for the layers are needed. In addition, the optimum choices of materials (all from the same family) are determined for maximizing the temperature lift and efficiency.

The prototype existing at KTH Royal Institute of Technology was initially designed for replacing the vapor-compression system of a professional refrigerator. However, it could not fulfil the requirements for which it was initially designed. The developed simulation model is used in a study to see how much the performance can be improved while the geometry of the regenerators is kept to avoid major changes. The results showed that with the current geometry of the regenerators and the existing magnetocaloric materials the initial goals of the prototype cannot be achieved.

In the next study the required improvements in magnetocaloric materials, so that magnetic refrigeration systems can compete with vapor-compression ones in terms of performance, is investigated. For the two investigated cases, the magnetic-field dependent properties of the currently existing materials are enough provided that some other issues such as low mechanical stability and inhomogeneity of the properties are solved. Nevertheless, for more demanding design criteria, such as delivering large cooling capacity over a considerable temperature span while the magnetic materials are used sparingly, the magnetic-field dependent properties need to be enhanced, as well.

A less explored area is the subject of the last study, in which solid-state magnetic refrigeration systems with Peltier elements as heat switches are modeled. The preliminary attempts on optimizing the modeled system does not give promising results. Accordingly, focusing on passive heat switches can be more beneficial.

Publikationer

Journal articles:

- [1] Monfared, Behzad, Richard Furberg, and Björn Palm. 2014. "Magnetic vs. vapor-compression household refrigerators: A preliminary comparative life cycle assessment." *International Journal of Refrigeration* 42 (0):69-76. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2014.02.013>.
- [2] Monfared, Behzad, and Björn Palm. 2015. "Optimization of layered regenerator of a magnetic refrigeration device." *International Journal of Refrigeration* 57:103-111. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2015.04.019>.
- [3] Monfared, Behzad. 2017. "Simulation of solid-state magnetocaloric refrigeration systems with Peltier elements as thermal diodes." *International Journal of Refrigeration* 74:322-330. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2016.11.007>.
- [4] Monfared, Behzad. 2018. "Design and optimization of regenerators of a rotary magnetic refrigeration device using a detailed simulation model." *International Journal of Refrigeration* 88:260-274. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2018.01.011>.
- [5] Monfared, Behzad, and Björn Palm. "Material requirements for magnetic refrigeration applications." (Submitted to) *International Journal of Refrigeration*.

Conference papers:

- [1] Monfared, Behzad. 2016. "Simulation of magnetic refrigeration systems with thermal diodes and axial conductive heat transfer." 7th International Conference on Magnetic Refrigeration at Room Temperature, Thermag VII, Turin. doi: <http://dx.doi.org/10.18462/iir.thermag.2016.0143>.
- [2] Monfared, Behzad, and Björn Palm. 2016. "New magnetic refrigeration prototype with application in household and professional refrigerators." 7th International Conference on Magnetic Refrigeration at Room Temperature, Thermag VII, Turin. doi: <http://dx.doi.org/10.18462/iir.thermag.2016.0142>.
- [3] Monfared B., Palm B., 2017, Redesigning the regenerators of a rotary prototype. (Abstract) Danish Days on Calorics, Risø, Denmark
- [4] Navickaitė, Kristina, Behzad Monfared, David Martinez, Björn Palm, Christian Bahl, and Kurt Engelbrecht. 2018. "Experimental investigation of fifteen-layer epoxy-bonded La(Fe,Mn,Si)₁₃H₇ active magnetic regenerator." (Submitted to) 8th International Conference on Magnetic Refrigeration at Room Temperature, Thermag VIII, Darmstadt.

Popular scientific publications:

- [1] An interview published in *energi & Miljö* issue 4, April 2012
- [2] An interview published in *Fastighetstidningen* nr.6, September 2014
- [3] Monfared, Behzad, and Björn Palm. 2017. "Forskning om Magnetisk kylteknik vid KTH." *Kyla & Värme*, 44-45.
- [4] Contribution to newsletters from division of Applied Thermodynamics and Refrigeration, KTH Royal Institute of Technology, December 2016 and February 2018. <https://www.kth.se/en/itm/inst/energiteknik/forskning/ett/prenumerera-pa-vart-nyhetsbrev-1.437429>

P02 Absorptionsprocess med energilagring - processförbättring med kompressor

Projektledare, Björn Palm - Projektutförare, -Institution, KTH energiteknik

Sammanfattning

Intermittenta absorptionsprocesser är intressanta för att de möjliggör rationell användning av spillvärme eller solenergi, samtidigt som processen i sig innebär möjlighet till lagring av energi under lång tid utan förluster.

I detta projekt vill vi undersöka möjligheten att förbättra prestanda för processen genom att under vissa förhållanden använda en kompressor. Kompressorn kan DELS användas för att öka effektuttaget, DESSUTOM användas för att påskynda återladdningsprocessen.

Projektets huvudsakliga moment är följande (rubrikerna följer sammanfattningen i ansökan)

- Genomföra en teoretisk studie för att uppskatta prestanda för processen med kompressor.

Denna del genomfördes genom att en datormodell för processen konstruerades. Modellen kan köras med och utan kompressor och användas dels vid design av försöksupställningen, dels för optimering av processen i olika applikationer.

- Identifiera lämplig kompressor för processen med något eller några köldmedier.

I ett tidigt stadium av arbetet beslutades att ammoniak skulle användas som köldmedium. Detta för att ammoniak används i den applikation som var av huvudsakligt intresse för ClimateWell (som nu bytt namn till SaltX). Ursprungligen var förhoppningen att kunna hitta en kommersiell oljefri kompressor av lämplig storlek som var kompatibel med ammoniak. Detta för att det finns risk att olja från kompressorn inte kan återföras till kompressorn, och för att oljan kan påverka den övriga processen. Någon sådan kompressor kunde dock inte uppbringas. Efter samråd med företaget beslutades att användning av en oljesmord kompressor i kombination med en oljeavskiljare är acceptabel för utvärdering av metoden. Om försöken utfaller väl kommer företaget att söka kontakt med kompressortillverkare för att ta fram en specialbyggd oljefri kompressor för ammoniak. Eftersom det inte finns några hermetiska kompressorer för ammoniak i lämplig storlek föll valet på en öppen kompressor från Bitzer, avsedd för bl.a. ammoniak.

- Genomföra experimentell verifiering av funktion och prestanda för processen under olika driftsbetingelser

Avsikten var ursprungligen att testerna skulle utföras på en prototyp hos företaget. Då företaget haft förseningar i andra projekt, delvis förorsakade av flytt till nya lokaler, beslutades i ett sent skede att testriggen skulle byggas upp, och testerna genomföras, på KTH, huvudsakligen användande komponenter från företaget. Detta arbete är ännu inte avslutat.

- Bestämma driftsdata för varierande förhållanden som underlag för simulering

Resultaten från testerna kommer att användas för att validera datormodellen.

- Simulera processen i en tillämpning och därmed bestämma den möjliga årliga energibesparingen.

Modellen kommer därefter att användas för utvärdering av principen under olika arbetsförhållanden.

Abstract

Intermittent absorption processes are interesting as they allow rational use of excess heat and solar energy, while the process in itself allows the possibility of storing energy during long time intervals without losses.

In this project we will investigate the possibilities to boost the process by, under certain conditions, using a compressor. The compressor may be used for increasing the power during discharge or for speeding up the recharging process.

The main tasks in the project are the following: (headings according to the abstract in the application).

- Perform a theoretical study to determine the performance of the process using a compressor.

This part of the project was done through the design of a computer model of the process. The model, which can be run with or without the compressor, is used first in the design of the experimental setup, and later for optimizing the process under different running conditions.

- Identify a suitable compressor for the process with at least one refrigerant.

At an early stage of the project it was decided to use ammonia as refrigerant. The choice was made because ammonia is used in the type of application of main interest to the company, ClimateWell (which has now changed name to SaltX). Originally, the aim was to find a commercially available oilfree compressor of suitable size which was compatible with ammonia. Oil-free was desired first, because there is a risk that oil leaving the compressor with the refrigerant will not be returned to the compressor, and second because the oil may have negative influence on other stages of the process. However, no such compressor could be identified. After discussions with the company it was decided that an ordinary oil-lubricated compressor could be used, in combination with an oil separator, for the evaluation of the process. If the tests show promising results, the company will contact a compressor manufacturer and ask them to develop an oil-free compressor for ammonia. As there are no hermetic ammonia compressors of suitable size available on the market, it was decided to use an open compressor from Bitzer, which is designed for ammonia (as well as other refrigerants).

- Perform an experimental verification of the performance of the process under different running conditions

The original plan was that the tests should be performed on a test rig in the company's laboratory. As the company had delays in other projects, partly due to a move to new premises, it was decided at a late stage to that the test rig should be built, and the tests be run, at KTH, mainly using components from the company. This work is not yet finalized.

- Determine characteristics for varying running conditions as a basis for a detailed simulation

The results of the tests will be used to validate the computer model.

- Simulate the process in an application and thereby determine the possible annual energy savings.

The model will then be used to evaluate the principal idea under different running conditions.

Publikationer

P03 Adsorberande korrosionsinhibitorer, gröna korrosionsinhibitorer och alternativa köldbärare för indirekta kylsystem

Projektledare, Björn Palm - Projektutförare, Monika Ignatowicz -Institution, KTH energiteknik

Sammanfattning

Flertalet typer av köldbärare är vattenbaserade lösningar av organiska eller oorganiska ämnen (t.ex. alkoholer eller salter) och har använts länge i olika indirekta kylsystem och värmepumpar. Kommersiella köldbärare är komplexa blandningar som innehåller korrosionsinhibitorer, pH-justerande medel, antioxidanter, antiskummedel, stabilisatorer, färgämnen m.m. Dessa tillsatser har en mindre väl känd inverkan på köldbärarens termofysikaliska egenskaper. Tyvärr har många av de idag använda köldbärarna korrosiv karaktär men det är möjligt att minimera korrosionsriskerna genom att använda rätt typ av inhibitorer.

Mål:

1. Validera egenskaper för etanol-isopropanol blandningar med hjälp av mätningar av termofysikaliska egenskaper.
2. Identifiera och testa potentiella adsorberande korrosionsinhibitorer och gröna korrosionsinhibitorer kompatibla med etanol samt undersöka potentiella gröna korrosionsinhibitorer som ersättare till farliga korrosionsinhibitorer som tillhör cancerframkallande mutagen reproduktiv störande (CMR) gruppen.
3. Validera termofysikaliska egenskaperna för olika syntetiska dieseloljor och organiska salter med tillämpningar vid såväl låga som höga temperaturer.
4. Slutföra mätningar och utredning av de viktigaste termofysikaliska egenskaperna för glykoler och salter med tillsatser.
5. Validera, med hjälp av experimentella tester, effekten på värmeöverföringsprocessen av korrosionsinhibitorer som bildar fysiska barriärer och adsorberande korrosionsinhibitorer.
6. Hjälpa producenterna att förbättra sina produkter genom nya data om verkliga köldbärarens egenskaper, alternativa gröna korrosionsinhibitorer samt att kunna ge mer detaljerad information till kunderna som underlag för dimensionering av indirekta köldbärarsystem och deras komponenter.

Resultat:

Mål 1 och 6: Erhållna resultat visar att den kemiska karaktären och koncentrationen hos olika denatureringsmedel med etanol kan påverka de termofysiska egenskaperna. Dessutom visade prover med isopropanol (PA) och n-butanol (BA) något högre specifik värmekapacitet och värmeledningsförmåga än ren etanol-vatten (EA) och etanolbaserade blandningar med ketoner och metanol. Etanol med isopropanol och n-butanol som vanligtvis används i Sverige ger de bästa egenskaperna, dvs. högst värmeöverföring (upp till 10%) och lägst tryckfall (upp till 3%) bland de olika tillsatser som undersökts medan andra produkter som innehåller högre koncentrationer av denatureringsmedel presenterade de sämsta resultaten i form av lägre värmeöverföring och högre

tryckfall än en ren etanolbaserade lösning. Bergvärmepumpar i andra europeiska länder samt USA skulle kunna få bättre prestanda genom att byta från denatureringsmedel i form av ketoner och metanol till ovan presenterade blandningar. Dessa resultat hjälpte att justera en koncentration av isopropanol (7-9 vikt-%) och 2 vikt-% n-butyl alkohol i en svensk kommersiell produkt till 8 vikt-% isopropanol och 2 vikt-% n- butanol.

En annan viktig del av projektet var att fortsätta utvecklingen av ett alternativ och mer miljövänligt typ av alkoholbaserad köldbärare, en optimal blandning av etanol och isopropanol, som bör ge högre flampunkt och bättre termofysikaliska egenskaper. Resultaten av dessa studier visade att blandningar med upp till 2 vikt-% isopropanol, (EA18 + PA1.6 + BA0.4) och 8 % (EA18.4+PA1.6), ger de bästa termofysikaliska egenskaperna. Speciellt etanol med 1.6 vikt-% isopropanol (EA18.4+PA1.6) presenterade de bästa egenskaperna med avseende på värmeöverföringen och tryckfallet jämfört med EA20. Blandningarna ger högre värmeöverföringskoefficient med 9 % än EA20. Dessutom ger båda blandningarna lägre tryckfall än EA20 med upp till 3%.

Mål 2 och 6: Olika typer av adsorberande och traditionella (oxidbildande) korrosionsinhibitorer kompatibla med etanolbaserade köldbärare har undersökts. Resultat visar att vissa korrosionsinhibitorer har en negativ påverkan på egenskaper som fryspunkt, värmeledningsförmåga och specifik värmekapacitet. Korrosionsinhibitorerna påverkar dock inte viskositet som man trodde förut. Denna studie visade att både bensotriazol och 2-merkaptobensotiazol verkar vara den mest lovande korrosionshämmaren för etylalkoholbaserade köldbärare. Mer miljövänlig korrosionsinhibitor som natriumglukonat verkar ha för stort inverkan på värmeledningsförmåga (14% lägre värmeledningsförmåga) och kanske inte borde användas alls. Dessa studier hjälpte att förstå en koppling mellan molekyl struktur och koncentration av olika oorganiska och organiska korrosionsinhibitorerna samt hjälpa en av projekt partner att lansera en bioetanol produkt med bensotriazol som en korrosionsinhibitor. Några tester för växtbaserade korrosionsinhibitorerna är fortfarande pågående och sista resultat kommer att publiceras i slutrapport.

Mål 3 och 6: Testerna gjordes för olika syntetiska dieseloljor för att analysera hur sammansättning, fraktioneringsmetoder och molekyllängd kan påverka slutproduktens termofysikaliska egenskaper. Det visade sig att molekyllängden kan påverka tillämpningsområdet signifikant och kort kedjade isoparaffiner är de mest lämpliga för tillämpningar vid låga temperaturer. Ytterligare tester utförs för att välja ut de mest lovande isoparaffinblandningar för olika applikationer och den första kommersiella isoparaffinbaserade produkter lanserades på den svenska marknaden. Resultaten visade att den nya generationen av isoparaffiner med frysningstemperaturen på -50 °C eller lägre vid mycket låga temperaturer hade signifikant lägre viskositet (mellan 75% och 98%) jämfört med 60 vikt-% propylenglykol och 60 vikt-% etylenglykollösning. Således kan isoparaffiner bli ett intressant alternativ för kylningstillämpningar med mycket låg temperatur.

Resultaten visar att olika typer av katjon (t.ex. litium, natrium, ammonium, cesium) påverkar egenskaper på olika sätt och mer forskning behövs för att hitta framtidens köldbärare. Bland alla undersökta alternativa formiatsalter och acetatsalter visade cesiumformiat ge det längsta viskositet och ammoniumformiat lösningar ger de bästa prestanda vid låga temperaturer genom att ge låg viskositet samt hög specifik värmekapacitet och värmeledningsförmåga. Cesiumacetat visade sig vara ett bra och billigare alternativ till cesiumformiat, vilket behöll sina goda egenskaper med hög

densitet och låg viskositet men c:a. 16% lägre värmeövergångstal än cesiumformiat. Dessutom visade sig cesiumformiat vara minst korrosiv bland alla andra formiat- och acetatsalter.

Mål 4 och 6: Utredning av de viktigaste termofysikaliska egenskaperna för blandningar av kaliumacetat samt kaliumformiat med vatten slutfördes. Resultaten visar några avvikelser med referensdata baserade mest på kommersiella produkter med olika additiver och kan bidra till förbättring av tabeller för rena blandningar av kaliumformiat och kaliumacetat med vatten samt komplettera data för koncentrationer med fryspunkt -25, -35 samt -45 °C. Kommersiella produkter verkar innehålla högre koncentrationer av glykoler än man hade tänkt pga. deras tillverkningsprocess. Utredning av de viktigaste termofysikaliska egenskaperna för blandningar av etylenglykol och propylenglykol tester pågår fortfarande och resultaten ska presenteras i slutrapport.

Mål 5: Några tester är fortfarande pågående och sista resultat kommer att publiceras i slutrapport.

Abstract

Most types of secondary fluids are aqueous solutions of organic or inorganic substances (e.g. alcohols or salts) and have been used for a long time in different indirect refrigeration systems and heat pumps. Commercial secondary fluids are complex mixtures that also contain corrosion inhibitors, pH adjusting agents, antioxidants, antifoams, stabilizers, dyes, etc. The effect of these additives on the thermophysical properties of the corrosion inhibitors have been little known. Many of the currently used secondary fluids have unfortunately a corrosive character, but it is possible to minimize corrosion risks by using the correct corrosion inhibitor.

Objectives:

1. Validate properties of ethyl alcohol and propyl alcohol mixtures by measuring the thermophysical properties.
2. Identify and test potential adsorption corrosion inhibitors and green corrosion inhibitors compatible with ethyl alcohol as well as investigate potential green corrosion inhibitors to replace dangerous corrosion inhibitors belonging to the Carcinogenic Mutagenic and Reprotoxic (CMR) group.
3. Validate the thermophysical properties of various synthetic diesel oils (isoparaffins) and organic salts with applications at both low and high temperatures.
4. Complete measurement and investigation of the major thermophysical properties of glycols and salts with additives.
5. Validate, using experimental tests, the effect on the heat transfer process of corrosion inhibitors that form physical barriers and adsorption corrosion inhibitors.
6. Help manufacturers to improve their products by providing the thermophysical properties of actual secondary fluids, alternative green corrosion inhibitors, and to provide more information to customers as a basis for dimensioning of indirect refrigeration systems and their components.

Results:

Objectives 1 and 6: The results obtained demonstrate that the chemical nature and concentration of different denaturing agents with ethyl alcohol can affect the thermophysical properties. In addition, samples of propyl alcohol (PA) and n-butyl alcohol (BA) showed higher specific thermal capacity and thermal conductivity than pure ethanol (EA) and ethanol-based mixtures with ketones and methanol. Ethanol with the additives commonly used in Sweden give the best properties, ie. highest heat transfer (up to 10%) and lowest pressure drop (up to 3%) among the various additives tested while products with higher concentrations of denaturants gave the worst results in terms of lower heat transfer and higher pressure drop than a pure ethyl alcohol water based solution. Ground source heat pumps in other European countries and the United States could achieve a better performance by switching from denaturing agents in the form of ketones and methyl alcohol to the above mentioned mixtures. These results helped adjust a concentration of propyl alcohol (7-9 wt-%) and 2 wt-% n-butyl alcohol in a Swedish commercial product to exact 8 wt-% propyl alcohol and 2 wt-% n-butyl alcohol.

Another important part of the project was to continue the development of an alternative and more environmentally friendly type of alcohol based secondary fluids, an optimal mixture of ethyl alcohol and propyl alcohol, which should give higher flash point and better thermophysical properties. The results of these studies showed that mixtures with up to 2 wt-% of propyl alcohol give the best thermophysical properties compared to pure ethanol - water. These mixtures gave between 8 to 9 % higher heat transfer coefficient than EA20. In addition, both mixtures give lower pressure drop than EA20 by up to 3%.

Objectives 2 and 6: Different types of adsorption and traditional (oxide forming) corrosion inhibitors compatible with ethyl alcohol based secondary fluids were investigated. Results show that some corrosion inhibitors significantly affect properties such as freezing point, thermal conductivity and specific heat capacity. The corrosion inhibitors do not affect viscosity as previously thought. This study showed that both benzotriazole and 2-mercaptobenzothiazole appear to be the most promising corrosion inhibitor for ethyl alcohol based secondary fluids. More environmentally friendly corrosion inhibitors like sodium gluconate appear to have a significant effect on thermal conductivity (14% lower thermal conductivity) and should maybe not be used at all. These studies helped to understand a link between molecule structure and concentration of various inorganic and organic corrosion inhibitors as well as helping one of project partners to create a commercial alcohol product with benzotriazole as a corrosion inhibitor. Some tests for plant based corrosion inhibitors are still ongoing and the results will be published in the final report.

Objectives 3 and 6: The tests were made for different synthetic diesel oils to analyse how composition, fractionation methods and molecular weight can affect the thermophysical properties of the final product. It was found that the molecular weight can significantly affect the thermal properties and short chained isoparaffins are the most suitable for low temperature applications. Further tests helped to select the most promising isoparaffins blends for different applications and the first commercial isoparaffin based products were launched on the Swedish market. The results showed that the new generation of isoparaffins with a freezing temperature of -50 °C or less at these very low temperatures had significantly lower viscosity (between 75 and 98 %) compared to 60 wt-%

propylene glycol and 60 wt-% ethylene glycol solution. Thus, isoparaffins can be an interesting alternative for cooling applications with very low temperatures.

The results showed that different types of cation (e.g lithium, sodium, ammonium, cesium) can affect properties in different ways and more research is needed to find future salt based secondary fluids. Among all the investigated alternative formate and acetate salts, cesium formate and ammonium formate solutions showed the best performance at low temperatures by providing the lowest viscosity in case of cesium formate and low viscosity, high specific heat capacity and thermal conductivity in case of ammonium formate. Cesium acetate proved to be a good and cheaper alternative to cesium formate, which maintained its good properties with high density and low viscosity but about 16% lower heat transfer than cesium formate. In addition, cesium formate was found to be least corrosive among all formate and acetate salts tested.

Objectives 4 and 6: Investigation of the most important thermophysical properties of mixtures of potassium acetate and potassium formate was completed. The results showed some deviation with reference data that are mostly based on commercial products with different additives. Moreover, these data may contribute to the improvement of tables for pure mixtures of potassium formate and potassium acetate and provide data for concentrations with freezing point -25, -35 and -45 °C. Additionally, commercial products appear to contain higher concentrations of glycols than has been thought due to their manufacturing process. An examination of the most important thermophysical properties of ethylene glycol and propylene glycol mixtures is still ongoing and the results will be presented in the final report.

Objective 5: Some tests are still ongoing and final results will be published in the final report.

Publikationer

1. Gunasekara S.N., Ignatowicz M., Chiu J. N.W., Martin V., 2018. Thermal conductivity measurement of erythritol, xylitol and their blends for Phase Change Materials design- a methodological study, 14th International Conference on Energy Storage 2018, Adana, Turkey
2. Ignatowicz M., Melinder Å., Palm B., 2017. Different ethyl alcohol secondary fluids used for GSHP in Europe. 12th IEA Heat Pump Conference, Rotterdam, the Netherlands.
3. Ignatowicz M., Melinder Å., Palm B., 2017. Alternative formate salts as low temperature secondary fluid. 5th IIR International Conference on Thermophysical Properties and Transfer Processes of Refrigerants, Seoul, South Korea.
4. Ignatowicz M., Schöning N., Dufva S., Melinder Å., Palm B., 2017. Iso-paraffins as low temperature secondary fluids. 5th IIR International Conference on Thermophysical Properties and Transfer Processes of Refrigerants, Seoul, South Korea.
5. Ignatowicz M., Melinder Å., Palm B., 2017. Properties of different ethyl alcohol based secondary fluids used for GSHP in Europe and USA. IGSHA Technical/Research Conference and Expo, Denver, USA.
6. Ignatowicz M., Mazzotti W., Acuña J., Melinder Å., Palm B., 2016. Methods of BHE flushing, charging and purging in Sweden, European Geothermal Congress 2016 Strasbourg, France.

7. Ignatowicz M., Mazzotti W., Acuña J., Melinder Å., Palm B., 2016. Alternative alcohol blends as secondary fluids for ground source heat pumps, 12th IIR Gustav Lorentzen Natural Working Fluids Conference, Edinburgh, UK.
8. Ignatowicz M., Melinder Å., Palm B., 2016. Ethyl alcohol based secondary fluid – effect of corrosion inhibitors on thermophysical properties, 12th IIR Gustav Lorentzen Natural Working Fluids Conference, Edinburgh, UK.
9. Ignatowicz M., Melinder Å., Palm B., Measurements of standard seawater calls for minor adjustments of seawater ice slurry properties, 11th IIR Conference on phase change materials and slurries for refrigeration and air conditioning / [ed] Kauffeld, M, 2016, 162-170 p.
10. Ignatowicz M., Melinder Å., Palm B., 2015. Ethyl and isopropyl alcohol blends as alternative secondary fluids. 24th IIR International Congress of Refrigeration, Yokohama, Japan
11. Ignatowicz M., Acuña J., Melinder Å., Palm B., 2015. Investigation of ethanol based secondary fluids with denaturing agents and other additives used for borehole heat exchangers, World Geothermal Congress, Melbourne, Australia.
12. Melinder, Å., Ignatowicz, M., 2015, Properties of seawater with ice slurry use in focus, International Journal of Refrigeration, (Volume/Issue): 52C, pp. 51-58.

Artiklar i magasin:

1. Prestanda för olika etanolbaserade kommersiella köldbärare i Europa (Kyla & Värme 2018)
2. Framtida Köldbärare (Kyla & Värme 2017)
3. Properties of different ethyl alcohol based secondary fluids used for GSHP in Europe and USA, IGSHPA GeoOutlook, Publisher: Oklahoma State University and the International Ground Source Heat Pump Association (IGSHPA)
4. Prestanda av etanolbaserade köldbärare med olika denatureringsprodukter (Kyla & Värme 2016)
5. PO3: Adsorberande korrosionsinhibitorer, gröna korrosionsinhibitorer och alternativa köldbärare för indirekta kylsystem – projekt uppdatering (Kyla & Värme 2016)

P04 Morgondagens energieffektiva livsmedelsbutik

Projektledare, Samer Sawalha - Projektutförare, Mazyar Karmapour - Institution, KTH energiteknik

Sammanfattning

Detta projekt undersökte ökning av effektiviteten i dagens koldioxidkylsystem i livsmedelsbutiker genom att analysera designmodifieringar och integrationsmöjligheter med andra energisystem i livsmedelbutiker.

Undersökningarna har baserats på teoretisk simulering och analys av fältmätningar från antal livsmedelbutiker på olika ställen i Sverige. Huvudparametrar som har undersökts är: värmeåtervinning vid två temperaturnivåer, tillhandahålla luftkonditionering genom kylsystemet, användningen av parallell kompressor, värmelagring i berg via borrhål, översvämmande förångare, mekanisk underkylning, och evaporativ avkylning av gaskylare.

Projektet definierade och presenterade analysen av det state-of-the-art integrerade CO₂-systemet, som är energieffektivt, miljövänligt och allt- i- en kompakt lösning som kan täcka effektivt hela termiska krav i livsmedelbutiker i kall och varm klimat. Systemet ger minst 15% årliga energibesparingar jämfört med standard CO₂-system och minst 25% jämfört med konventionella system med HFC i Stockholm-Sverige. Vilket gör systemet det mest energi- och kostnadseffektiva som kan installeras.

Projektet gav högkvalitativ detaljerad analys av fältmätningar som saknats i litteraturen inom området av livsmedelbutikers energisystem. Teoretisk simulering har verifierats av fältmätningensresultaten och utvidgats till att inkludera konventionella och framväxande alternativ. Den omfattande och detaljerade analysen som gjorts i detta projekt har inkluderats i 5 tidskriftsartiklar (4 tidskriftsartiklar har redan publicerats och ytterligare 1 artikel ska lämnas in inom en snar framtid). 8 konferensartiklar är utarbetade totalt (4 konferensartiklar är redan publicerade, 1 godkänd och kommer att publiceras i juni, 2 lämnats in för att publiceras i juni, och 1 artikel ska lämnas in om två veckor).

En av konferensartiklarna prisades som den bästa uppsatsen vid konferensen och dessutom som den bästa uppsatsen på temat hållbarhet. En av examensarbete rapporterna vann priset från en regional förening i Spanien.

De detaljerade och dokumenterade resultaten i detta projekt kommer att ge mer uppmärksamhet åt miljövänlig teknik och kommer att höja kraven på framtida system för att vara effektivare och miljövänligare.

Nästa forskningssteg inom detta område förväntas fokusera på att demonstrera prestanda i det state-of-the-art energisystemet. I nuläget existerar inte systemet i en livsmedelsbutiks installation. Vissa nyinstallerade system kan ha några gemensamma funktioner med det state-of-the-art systemet, men de behöver nödvändigtvis optimeras i design och kostnad. Ett demonstrationsprojekt kommer att erbjuda en stor möjlighet där forskare kan vara involverade i ett tidigt skede för att utforma det state-of-the-art systemet och samla all nödvändig information om fallstudien. Forskarna kan se till att systemet är instrumenterad, övervakat och utvärderat som om det skulle vara en testrigg som körs i ett laboratorium.

Abstract

This project explored increasing the efficiency of today's CO₂ refrigeration systems in supermarkets by investigating design modifications and integration possibilities with other energy systems in the supermarket.

The investigations have been based on computer simulation modelling and analysis of field measurements from number of supermarkets in different places in Sweden. Key parameters that have been investigated are: heat recovery at two temperature levels, providing air conditioning, parallel compression, ground energy storage, flooded evaporators, mechanical sub-cooling, and gas cooler evaporative cooling.

The project defined and presented the analysis of the state-of-the-art integrated CO₂ system, which is energy efficient, environmentally friendly, and all-in-one compact solution able to provide the entire thermal demands of supermarkets efficiently in cold and warm climates. The system offers at least 15% annual energy savings compared to standard CO₂ system and at least 25% compared to conventional systems with HFC's in Stockholm-Sweden; making the system the most efficient and cost effective that can be installed in Sweden today.

The project provided high quality detailed analysis of field measurements which has been missing in literature in the area of supermarket energy systems. The computer modelling has been verified by the field measurement results and expanded to include conventional and emerging alternatives. The extensive and detailed analysis done in this project has been included in 5 journal papers (4 journal papers published already and 1 more paper is to be submitted in the near future). 8 conference papers are prepared in total (4 conference papers are already published, 1 accepted to be published in June, 2 submitted to be published in June, and 1 to be submitted in two weeks). One of the conference papers won two prizes for the best student paper on the theme of sustainability the best overall student paper in major international conference and one of the MSc thesis reports won prize from regional association in Spain.

The detailed and documented results in this project will give more attention to environmentally friendly technologies and will put more pressure on the future systems to be more efficient and environmentally friendly.

The next research step in this area is expected to focus on demonstrating the performance of the state-of-the-art energy system. The system does not exist yet in a supermarket installation. Some newly installed systems may have some common features with the state-of-the-art system but they are not necessarily to be optimized in design and cost. A demonstration project will offer great opportunity where researchers can be involved at early stage of designing the state-of-the-art system and gather all needed information on the case study. The researchers can make sure that the system is instrumented, monitored and evaluated as if it would be a test rig running in a laboratory.

Publikationer

One of the conference papers won two prizes in major international conference and one of the MSc thesis reports won prize from regional association in Spain. Details are in the list below.

The project publications are listed below. The contribution of the key publications to the project activities and objectives is clear in the results chapter.

Journal papers

4 published and 1 to be submitted to International Journal of Refrigeration:

1. Sawalha, S., Karampour M., and Rogstam J., Field measurements of supermarket refrigeration systems. Part I: Analysis of CO₂ Trans-critical Refrigeration Systems, Applied Thermal Engineering, 2015. 87 (8), pp. 633-647.
2. Sawalha, S., Piscopiello S., Karampour K., Manickam L., and Rogstam J., Field measurements of supermarket refrigeration systems. Part II: Analysis of HFC refrigeration systems and comparison to CO₂ trans-critical, Applied Thermal Engineering, 2017. 111 (1), pp. 170-182.
3. Karampour, M., Sawalha, S., Energy efficiency evaluation of integrated CO₂ trans-critical system in supermarkets: A field measurements and modelling analysis, International Journal of Refrigeration. 2017. 82(10), pp. 470-486
4. Karampour, M., Sawalha, S., State-of-the-Art Integrated CO₂ Refrigeration System for Supermarkets: a Comparative Analysis, International Journal of Refrigeration. 2018. 86(2), pp. 239-257
5. Draft to be submitted in the near future:
Karampour, M., Sawalha, S., Mateo-Royo C., and Rogstam J., Geothermal Storage Integration into Supermarket's CO₂ Refrigeration System. Planned for the International Journal of Refrigeration in April 2018

Conference papers:

8 in total: 4 published, 1 accepted to be published in June, 2 submitted to be published in June, and 1 to be submitted in two weeks:

1. Karampour M., Sawalha, S., Abdi A., Arias J., and Rogstam J., Review of Supermarket Refrigeration and Heat Recovery Research at KTH-Sweden. IIR Ammonia and CO₂ Refrigeration Technologies Conference. 2015: Ohrid, Republic of Macedonia.
2. Karampour M. and Sawalha, S., Theoretical Analysis of CO₂ Trans-critical System with Parallel Compression for Heat Recovery and Air Conditioning in Supermarkets, the 24th IIR International Congress of Refrigeration (ICR). 2015: Yokohama, Japan.
3. Karampour M. and Sawalha, S., Integration of Heating and Air Conditioning into a CO₂ Trans-Critical Booster System with Parallel Compression. Part I: Evaluation of key operating parameters using field measurements. 2016: 12th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants. IIF/IIR, Edinburgh, Scotland.
4. Karampour M. and Sawalha, S., Integration of Heating and Air Conditioning into a CO₂ Trans-Critical Booster System with Parallel Compression. Part II: Performance analysis based on field measurements. 2016: 12th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants. IIF/IIR, Edinburgh, Scotland.

The paper won two prizes in the conference:

- Prize for the best student paper on the theme of sustainability
- and prize of the best overall student paper

5. Mateu-Royo C., Karampour M., Rogstam J., and Sawalha S. Integration of Geothermal Storage in CO₂ Refrigeration Systems for Supermarkets. 2018: 13th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants. IIF/IIR, Valencia, Spain.

6. Karampour M. and Sawalha S. Integration of Geothermal Storage in CO₂ Refrigeration Systems for Supermarkets. 2018: 13th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants. IIF/IIR, Valencia, Spain.

7. Piscopiello S., Karampour M., Michele Pressiani M., and Sawalha S. Guidelines of How to Instrument, Measure and Evaluate Refrigeration Systems in Supermarkets; With Focus On CO₂ Trans-Critical Booster Systems. 2018: 13th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants. IIF/IIR, Valencia, Spain.

8. Karampour, M., Sawalha, S., Mateo-Royo C., and Rogstam J., Geothermal Storage Integration into Supermarket's CO₂ Refrigeration System. To be submitted to International Ground Source Heat Pump Association-Sweden Second Biennial Conference, September 2018.

Master theses:

1. Mateu-Royo C., Field Measurements and Modelling Analysis of CO₂ Refrigeration Systems with Integrated Geothermal Storage, 2017.

1st prize winner of the Spanish Association of Refrigeration and Air Conditioning (ATECYR) competition for best MSc thesis work. Currently the thesis is nominated to the European student competition. This competition will be in Brussels (Belgium) and is organized by Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations (REHVA). Results expected in April 2018.

2. Adnan R., Energy Efficiency of CO₂ Trans-critical booster systems, 2015

Technical magazine articles:

1. Karampour, M., Sawalha, S., 2017. Morgondagens energieffektiva livsmedelsbutik. Kyla & Värme NR 3, 18–19.

2. Karampour, M., Sawalha, S., 2015. Morgondagens energieffektiva livsmedelsbutik. Kyla + Värmepumpar NR 7, 39.

Presentations and conference presentations:

Participating in ATMOSphere Europe, September 2017, Berlin

Participating in ATMOSphere Europe, April 2016, Barcelona

Poster presentation oral presentations at:

Svenska Kyl & Värmepumpdagen 2017- 20 October 2017, Stockholm

Svenska Kyl & Värmepumpdagen 2016- 21 October 2016, Göteborg

Svenska Kyl & Värmepumpdagen 2015- 16 October 2016, Göteborg

KTH Energy Dialogue day - 24 Nov 2017, KTH, Stockholm, Sweden

KTH Energy Dialogue day - 24 Nov 2016, KTH, Stockholm, Sweden

KTH Energy Dialogue day - 26 Nov 2015, KTH, Stockholm, Sweden

Effsys Expand forskardagar, 16 May 2016, Tranås, Sweden

Norwegian refrigeration association meeting, 19 April 2017, Trondheim, Norway

PhD thesis:

It is expected to be published in September 2018.

P05 Utveckling av effektivare indirekta luftvärmepumpar

Projektledare, Ola Gustafsson - Projektutförare, Ola Gustafsson - Institution, RISE

Sammanfattning

Tidigare forskning samt mätningar på RISE visar att värmeväxlare med andra geometrier än sådana med flänsade runda tuber ger indirekta värmepumpssystem mycket lovande energi- och ljudprestanda som ser ut att kunna kompensera nackdelarna med ett extra värmeöverföringssteg. Då indirekta värmepumpar får en energiprestanda som matchar de bäst presterande direktexpanderande kommer de kunna konkurrera fullt ut på marknaden. Detta kommer leda till att vi får värmepumpar som är lättare att installera, säkrare ur driftsynpunkt och som dessutom kommer att orsaka betydligt mindre bullerstörning. Syftet med projektet är att hitta och utvärdera en design på en värmeväxlare som möjliggör en energieffektiv och tyst indirekt värmepump vilken värmepumpstillverkare kan vidareutveckla för hemma- och exportmarknaden.

Med hjälp av en modell baserad på empiriska korrelationer och värmeväxlarteori har vi utvärderat flera värmeväxlartyper med syfte att hitta den mest effektiva designen. Modellen har utgått ifrån en befintlig värmepump som tillverkas av det ena deltagande företaget Danfoss. Geometriska parametrar och flöden har således varit fastställda för att kunna jämföra med den befintliga produkten. En av värmeväxlarna som undersökts designas och tillverkas av det andra deltagande företaget Airec. Denna design är en plattvärmväxlare som har luft på ena sidan och vätska på andra. Modelleringen visar på att den konventionella designen på värmeväxlare som består av runda tuber med flänsar är sämre än både värmeväxlare med platta tuber och designen som görs av Airec. Anledningen är att de runda tuberna inte är optimala för en indirekt värmepump där det inte sker någon förångning i utevärmväxlaren utan endast en uppvärmning vätskan.

Enligt den initiala projektplanen skulle vi experimentellt utvärdera den mest lovande värmeväxlaren i en befintlig värmepump. Tyvärr har vi inte lyckats få fram någon värmeväxlare i fullskala trots att flera försök har gjorts. Detta har ändrat förutsättningarna för projektet och vi ligger relativt långt efter i tidsplanen. Vi hoppades in i det längsta att vi skulle kunna göra fullskaletester men förbereder nu för att göra mätningar i mindre skala i förhållanden som är relevanta för en värmeväxlare i en värmepump. Värmväxlaren som var tänkt att vi skulle mäta på bestod av 6 mindre enheter som sedan skulle monteras ihop. En av dessa ska vara tät och denna kan vi då använda i för mätningar i en kanal där vi kan mäta tryckfall, värmeöverföringseffektivitet, påverkan av frost, avfrosthöghetsförmåga mm, för att sedan kunna skala upp resultaten till fullskala. Däremot kommer vi inte kunna mäta hur ljudet från hela uteenheten påverkas vilket var tanken från början. Detta får vi istället beräkna fram.

Abstract

Research and measurements at SP show that heat exchangers with other geometries than finned round tube setting gives indirect heat pump systems promising energy and noise performance. This could compensate the disadvantages that come with an extra heat exchange stage. When indirect heat pumps have similar energy performance as the best direct expansion heat pumps the indirect technology can compete fully on the market. This will result in heat pumps that are easier to install, that provide more reliable operation and that will cause much less noise related disturbance. The aim of the project is to develop and examine a heat exchanger design that enables an energy efficient and quiet heat pump that the heat pump manufacturers can continue to develop for both the Swedish and the European heat pump market. Therefore, we will examine different heat exchangers with a model based on empirical correlations and heat exchanger theory and build and perform measurements on heat pump prototypes.

Using a model based on empirical correlations and heat exchange theory we have evaluated several heat exchanger types with the aim of finding the most effective design. The model has been based on an existing heat pump manufactured by one participating company Danfoss. Geometric parameters and flows have thus been determined to be able to compare with the existing product. One of the heat exchanger tested is designed and manufactured by the other participating company Airec. This design is a plate heat exchanger that has air on one side and liquid on the other. The modelling shows that the conventional design of heat exchangers consisting of rounded tubes with flanges is worse than both flat-tube heat exchanger and the design made by Airec. The reason is that the round tubes are not optimal for an indirect heat pump where there is no evaporation in the exchanger but only one heating fluid.

According to the initial project plan, we would experimentally evaluate the most promising heat exchanger in an existing heat pump. Unfortunately, we have not managed to produce any heat exchanger in full scale despite the fact that several attempts have been made. This has changed the conditions for the project and we are relatively far behind in the schedule. We hoped for the longest we could do full scale tests but are now preparing to do measurements on a smaller scale in conditions relevant to a heat exchanger in a heat pump. The heat exchanger that we intended to measure consisted of 6 smaller units that would then be assembled. One of these is proven not to leak and we can use this for measurements in a channel where we can measure pressure drop, heat transfer efficiency, frost protection, defrosting ability, etc., and then scale the results to full scale. On the other hand, we will not be able to measure how the sound from the whole unit is affected, which was the idea from the beginning. Instead we must calculate this.

Publikationer

O. Gustafsson (2015), Utveckling av effektivare indirekta värmepumpar, Kyla+

P06 Vidareutveckling av värmepumpssystem för Nära-Noll-Energi-hus (NNE-hus)

Projektledare, Caroline Haglund-Stignor - Institution, RISE

Sammanfattning

I framtiden kommer de flesta byggnader vara så kallade Nära-Noll-Energi-hus (NNE-hus). Värmepumpar är vanliga uppvärmningssystem i svenska enfamiljshus, men ofta används de i hus med betydligt högre uppvärmningsbehov än morgondagens NNE-hus. I detta projekt har driftsparametrar från fältmätningar, såsom värmevatten- och brinetemperaturer analyserats i detalj i två NNE-hus, som är mycket lika varandra men har värmepumpssystem med olika typer av styrning. Resultaten från mätningarna har jämförts med driftsparametrar specificerade i den standard som utvecklats för att bli harmoniserad med ekodesign- and energimärkningsförfordningarna, EN14825, eftersom dessa förfordningar har stor påverkan på hur värmepumpssystem utvecklas och optimeras.

Resultaten från denna del av projektet visar att de uppmätta brinetemperaturerna ofta var betydligt högre än vad som är specificeras i EN14825. De visar även att på-av-styrning i kombination med en tank leder till högre arbetstemperaturer för värmepumpen på varma sidan jämfört med kontinuerligt varierad kapacitetskontroll, vilket man bör ta hänsyn till då den projekterade energianvändningen beräknas, särskilt vid överdimensionerade värmepumpar i hus med lågt energibehov. Värmekurvorna som specificeras i standarden för olika värmesystem överensstämde relativt väl med mätningarna. En annan slutsats från mätningarna var att värmepumpens och värmesystemets styrning bör optimeras och styras integrerat, och inte separat som idag, för att bästa möjliga energiprestanda ska uppnås. Från mätningarna kan man också utläsa att NNE-hus är mer känsliga för att brukarna gör korrigeringar av värme- och ventilationssystemet och därför bör alla installationstekniska produkter i huset ha en robust integrerad, gemensam styrning.

Tidigare fältmätningar i NNE-hus har visat att övertemperaturer inte är ovanliga under sommartid i välisolerade hus, också i Sverige. I ett hus med bergvärmepump kan borrhålet användas för frikyla och om huset har ett balanserat ventilationssystem, kan den kylda luften enkelt distribueras i byggnaden. Syftet med denna del av projektet var därför att undersöka potentialen att bromsa eller hindra övertemperaturer med hjälp av kyla från borrhålet. Till att börja med gjordes simuleringar av ett enfamiljs NNE-hus. Olika fall där effekten av fönsteröppning, ventilationsflöde, och installation av frikyla via borrhålet simulerades. För att bekräfta resultaten från modellen, installerades en prototyp i ett av de utvärderade NNE-husen. Mätningarna bekräftade att det är möjligt att sänka inomhustemperaturen betydligt med hjälp av frikyla från borrhålet, även om kylkapaciteten är begränsad av ventilationsflödet och tilluftstemperaturen.

Eftersom värmning av tappvarmvatten utgör en allt större del av det totala värmebehovet i ett NNE-hus, har en testmetod för att utvärdera prestandan av ett värmepumpssystem som samtidigt värmer både rumsvärmevatten och tappvarmvatten utvecklats under detta projekt.

Under projekttiden har nya värmepumpsmodeller för NNE-hus utvecklats av de deltagande företagen. Vissa av dessa ska utvärderas både med avseende på energianvändning och på livscykelkostnad inom projektet.

Abstract

Further development of heat pump systems for Nearly Zero Energy Buildings (nZEB)

In the future, most buildings will be nearly Zero Energy Buildings (nZEBs). Heat pumps are frequently used as heating system in Swedish single family buildings, but in most cases they are used in buildings with higher heating demand than the nZEBs of tomorrow. In this project, operation parameters such as heating water and brine temperatures were analysed in detail in real operation in two very similar nZEBs, but with different types of control of the heat pumps system. The results were compared to the operating conditions described in the standard developed to be harmonized with the ecodesign and energy labelling regulations - EN14825, since these regulations have a major impact on how heat pumps are developed and optimized.

The results from this part of the project showed that the brine temperatures were often considerably higher than the test conditions described in EN14825 in the evaluated nZEB-buildings. It was also shown that on-off control and a tank in the system results in higher working temperatures for the heat pump compared to variable capacity control which must be accounted for when calculating projected use of energy, especially in “oversized” heat pumps in houses with low energy demand. However, the heating curves of the standard EN14825 coincide mostly well with the measurements. Another finding was that in order to reach the highest overall energy performance the heat pump and the heating system must be optimized together and not separately, which often is the case today. A low energy building is more sensitive to user adjustments etc and therefore all building services engineering equipment should have a robust integrated control.

Earlier field measurements in nearly Zero Energy Buildings (nZEB) have shown that excess temperatures can easily occur during summertime in well-insulated houses, also in Sweden. In a heating system with a ground source heat pump the borehole can be used for free cooling in summertime. If the house has a bidirectional ventilation system, the chilled air can easily be distributed throughout the building. The aim of this part of project was therefore to investigate the potential for such a system to curb excess temperatures. First, a simulation of a single family nZEB was conducted. Several different cases investigating the effect of window opening, ventilation air flow rate and installation of a free cooling system was simulated. To validate the simulation results, a prototype was installed in a real nZEB. The measurements confirmed that it is possible to lower the indoor temperature considerably by free cooling by use of the borehole and supply the air system, even though the cooling capacity is limited due to restrictions on ventilation rates and supply air temperature.

Since domestic hot water heating constitutes a larger part of the total heating demand in a nZEB, a test method for evaluating the performance of a heat pump system which supply space and domestic hot water heating simultaneously, has been developed during the project.

During the project time, new heat pump models for nZEBs have been developed by the participating companies. Some of these will be evaluated from energy use and LCC perspectives.

Publikationer

Publicerade vetenskapliga artiklar

C. Haglund Stignor, O. Gustafsson, J. Persson, (2018), "Evaluation of Two Ground Source Heat Pump Systems in Nearly Zero Energy Buildings", Cold Climate HVAC, March 12-15, 2018, Kiruna, Paper No. 2124.

O. Gustafsson, C. Haglund Stignor, H. Nakos Lantz, (2018), "Evaluation of Two Heat Pump Systems in Nearly Zero Energy Buildings (nZEB)", 12th IEA Heat Pump Conference, May 15-18, 2017, Rotterdam, P.1.3.2.

Publicerade populärvetenskapliga artiklar

C. Haglund Stignor, O. Gustafsson (2017), "Vidareutveckling av värmepumpssystem för NNE-hus", KYLA och Värme 2017:X, p ?-?

O. Gustafsson (2018), "Vidareutveckling av värmepumpssystem för NNE-hus", KYLA och Värme 2018:X, p ?-?

O. Gustafsson, K. Rubensson (2017), "Heat pumps in buildings with low energy demand – comparisons with a current test standard", IEA Heat Pumping Technologies Magazine 2017:3, p. 44-46.

P07 Effektivare avfrostning av luftberörda förångare

Projektledare, Björn Palm - Projektutförare, Erik Björk - Institution, KTH energiteknik

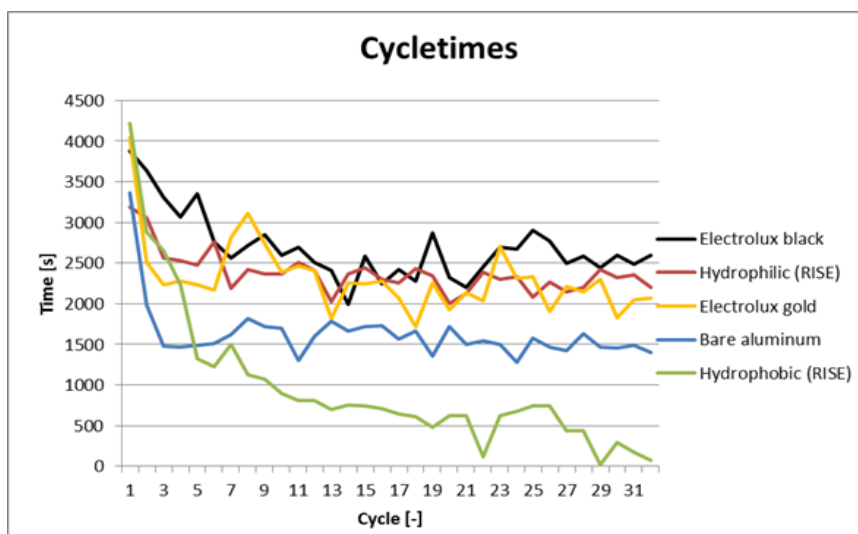
Sammanfattning

I alla värmepumpande processer där värme tas ur omgivningsluften, för kylning eller uppvärmning, finns risk för frostbildning på förångarytorna. Frosten ökar tryckfallet, leder till högre fläktarbete och försämrar värmeövergången, dvs sänker förångningstemperaturen vilket leder till lägre energieffektivitet. I detta projekt har olika metoder för att minska påfrostningen och effektivisera avfrostningen studerats för att på detta sätt öka effektiviteten för värmepumpen som helhet.

Efter en inledande litteraturstudie och ett examensarbete inriktat mot effektivare avfrostning koncentrerades arbetet på olika ytbeläggningar. En välinstrumenterad vindtunnel byggdes för att studera frosttillväxt och avfrostning under typiska förhållanden för en luftvärmepump. Samtidigt inleddes ett samarbete med RISE Surface, Process and Formulation som har kunskapen och möjligheten att tillverka superhydrofoba och superhydrofila ytbeläggningar.

De experimentella resultaten visade tydligt att hydrofila ytbeläggningar har fördelaktiga egenskaper för en luftvärmepump under frostande förhållanden med cykellängder 30 till 70 % längre än obehandlad aluminium. Förklaringen var de hydrofila ytbeläggningarnas mer effektiva avfrostning vilken lämnade en i det närmaste torr yta efter sig vilket i sin tur gjorde den efterföljande on-cykeln längre. Den superhydrofoba ytbeläggningen fick efter efter ett fåtal cykler problem med vattendroppar som hängde kvar efter avfrostningen vilket gav cykellängder kortare än den obehandlade aluminiumytan.

I figuren nedan visas en sammanställning av några av de ytbeläggningar som undersöktes. De båda kommersiella ytorna från Electrolux var båda hydrofila. Under experimenten var lufttemperaturen 2 °C, luftfuktigheten 84 %, ytans temperatur -8 °C, luftens hastighet förbi torr yta 2 m/s. Avfrostning initierades då luftens hastighet halverats (pga ökat tryckfall från frost) och avbröts då ytans temperatur nådde 1 °C (så kallad passiv avfrostning där avfrostningsvärmets togs från omgivande luft).



Figur 1 Resultat med olika ytbeläggningar

Abstract

In all heat pumping processes where heat is extracted from the ambient air, for cooling or heating, there is a risk of frost formation on the evaporator surfaces. The frost increases the pressure drop, leading to increased pumping power and decreased heat transfer, i.e. decreases the evaporation temperature and thereby lower energy efficiency. In this project we will investigate different methods of defrosting, or of decreasing the frost growth, thereby increasing the energy efficiency of the process during one cycle. Particularly when using the new flat multichannel tubes, the defrosting has become a problem.

The main result of the project was that hydrophilic surface treatments prolonged the cycle-times and will therefore increase the overall efficiency of the heat pump system. The explanation is that the defrost is more efficient in terms of water retention. After a defrost the hydrophilic surface was almost completely dry which led to a longer on-period.

Publikationer

Inom projektet utfördes två examensarbeten. I det på Electrolux utförda arbetet "Novel defrost techniques on air source heat pumps" studerades olika lösningar, dels de på marknaden förekommande och dels de i litteraturen beskrivna. En lösning med termiskt PCM lager testades experimentellt. I ett på KTH snart avslutat examensarbete jämfördes experimentellt olika ytbeläggningar. Resultat från dessa mätningar ses i Figur 1.

1. Björk, Effektivare avfrostning i luftberörda förångare, KYLA+ nr 7 2016
2. Shoaib Azizi och Luis Castello Perez, Novel defrost techniques on air source heat pumps, Examensarbete 2016
3. Carl Andersson, An experimental study of frost free surface coatings, Examensarbete KTH Energiteknik (pågående) 2018
4. Evaluation of surface coatings on plate heat exchangers for air-to-air heat pumps (pågående sampublicering med RISE Surface, Process and Formulation) 2018
5. Hydrophilic or hydrophobic surface coating on air source heat pumps evaporators, which is best? (planerad sampublicering med RISE Surface, Process and Formulation), 2018

Av dessa är (1) populärvetenskaplig artikel, (2) och (3) examensarbeten, (4) och (5) vetenskapliga artiklar. Obs endast (1) och (2) är i dagsläget publicerad.

P08 Köldmedier med låg växthuseffekter

Projektledare, Rahmatollah Khodabandeh - Projektutförare, Pavel Makhnatch -Institution, KTH energiteknik

Sammanfattning

Det finns en långsiktig trend av global medeltemperatur ökning sedan början av den industriella revolutionen. I 136-årig övervakningshistoria, 17 av de 18 varmaste åren har inträffat under det aktuella talet; till stor del som ett resultat av ökad koldioxidutsläpp och andra utsläpp av mänskliga relaterade växthusgaser. IIR (the International Institute of Refrigeration) uppskattar att 7,8% av de globala växthusgasutsläppen är kopplade till kylsektorn. Mer än en tredjedel av dem är direkta utsläpp av fluorerade köldmedier, medan resten är växthusgasutsläppen från energianvändning av sådan utrustning.

Effsys Expand P08-projektet syftar till att ta fram underlag och förutsättningar för alternativa köldmedier med låg GWP (global warming potential) vid utfasning av R134a, R410A och R404A köldmedier för befintliga och nya värmepumpar/kylanläggningar. Fokus ligger på nya köldmediers egenskaper, krav som ställs på säkerhetsutrustning, komponenter och anläggningens energiprestanda.

Med tanke på kraven i EU: s förordning om fluorerade gaser (F-gasförordningen) måste mängden av sådana gaser som placeras på EU-marknaden minska avsevärt: till 21% (mätt i koldioxidekvivalenter) av bas nivå senast 2030. Som ett resultat kommer EU:s förbrukning senast 2030 att behöva förlita sig på att använda köldmedier med reducerad GWP.

Medan potentiella långsiktiga låga GWP-köldmediealternativ har identifierats (naturliga kylmedel, hydrofluorolefiner, R152a, R32 och blandningar därav) är deras användning fortfarande begränsad på grund av deras brännbarhet och/eller toxicitet, eller, i fall av CO₂, höga arbetstrycknivåer. Därför har ett antal lägre GWP alternativ ansetts ersätta höga GWP köldmedier.

R449A har experimentellt studerats som en retrofit ersättare till R404A i ett antal livsmedelsbutikskylsystem. Det visade sig att R449A kunde anses vara ett lägre GWP alternativ till R404A i livsmedelsbutikskylsystem där en minskning av kylkapaciteten är acceptabel. Emellertid bör konsekvenserna av högre hetgastemperaturen vid kompressorutlopp och dess lägre köldmediummassaflöde beaktas vid övervägande av detta köldmedium i stället för R404A.

R513A och R450A har experimentellt studerats som ersättare till R134a i ångkompressionskylsystem. Resultaten av studierna tyder på att dessa köldmedier kan betraktas som en drop-in ersättning till R134a i kylsystem med liten kapacitet där en minskning av köldmediets GWP är nödvändig. En liten minskning av energiprestanda och kylkapacitet kan dock förutses i fall när R450A ersätter R134a. Dessa nackdelar kan potentiellt mildras i nydesignade system där komponenter är helt optimerad för att användas med dessa köldmedier.

R32 som ersättning för R410A har också undersökts. Resultaten tyder på att R32 presenterar liknande eller något högre prestanda än R410A i kyl- och värmelägen för kyl- och luftkonditioneringssystem. Men modifieringar i systemet är nödvändiga för att minska de alltför höga kompressors urladdningstemperaturerna.

Abstract

There is a long-term trend of global mean temperature increase since the beginning of the industrial revolution. In the 136-year record history, 17 of the 18 warmest years have occurred during the current century; largely as a result of the increased carbon dioxide and other human-made greenhouse gases emissions. The International Institute of Refrigeration estimates that 7.8% of global greenhouse gas emissions are accounted to refrigeration sector. More than a third of them are direct emissions of fluorinated refrigerants, whereas the rest is due to the emissions from energy use of such equipment.

The Effsys Expand P08 project aims to develop prerequisites and conditions for alternative refrigerants with low global warming potential (GWP) when phasing out R134a, R410A and R404A refrigerants for existing and new heat pumps/refrigeration plants. The focus of the project is on the properties of new refrigerants, requirements for safety equipment, components and the energy performance of a refrigeration system.

Given the requirements of the European Union's (EU) regulation on fluorinated gases (F-gas Regulation) the amount of such gases that can be placed on the EU market will have to be significantly reduced, decreasing to 21% (measured in CO₂ equivalent emissions) of baseline level by 2030. As a result, the EU consumption by 2030 will have to rely on using refrigerants with reduced GWP.

While potential long term low GWP refrigerant alternatives have been identified (natural refrigerants, hydrofluoroolefins, R152a, R32 and mixtures thereof), their use is still limited due to the implication of their flammability and/or toxicity, or, in case of CO₂, excessive working pressure levels. Therefore, a number of lower GWP alternatives have been considered to replace high GWP refrigerants.

R449A have been experimentally studied as a light retrofit replacement to R404A in a number of supermarket refrigeration systems. It was shown that R449A could be considered to be a lower GWP alternative to R404A in supermarket refrigeration systems where a decrease in cooling capacity is acceptable. However, the implications of higher compressor discharge temperatures and its lower refrigerant mass flow should be taken into account when considering this refrigerant as a replacement to R404A.

R513A and R450A have been experimentally studied as replacements to R134a in vapour compression refrigeration system. The results of the studies suggest that these refrigerants can be considered as a drop-in replacement to R134a in small capacity refrigeration systems where a reduction in refrigerant GWP is necessary. However, a slight reduction in energy performance and cooling capacity can be anticipated in case of R450A as an R134a replacement. These drawbacks can be potentially mitigated in newly designed systems where components are fully optimized for being used with these refrigerants.

R32 as a replacement to R410A have been investigated. The results indicate that R32 presents similar or slightly higher performances than R410A in cooling and heating modes of refrigeration and air-conditioning systems. However, modifications in the system are necessary to reduce the excessive compressor discharge temperatures.

Publikationer

List of journal publications

1. P. Makhnatch, A. Mota-Babiloni, J. Rogstam and R. Khodabandeh, "Retrofit of lower GWP alternative R449A into an existing R404A indirect supermarket refrigeration system," *International Journal of Refrigeration*, vol. 76, pp. 184-192, 2017.
2. P. Makhnatch, A. Mota-Babiloni and R. Khodabandeh, "Experimental study of R450A drop-in performance in an R134a small capacity refrigeration unit," *International Journal of Refrigeration*, vol. 84, pp. 26-35, 2017.
3. Mota-Babiloni, P. Makhnatch, R. Khodabandeh and J. Navarro-Esbrí, "Experimental assessment of R134a and its lower GWP alternative R513A," *International Journal of Refrigeration*, vol. 74, pp. 682-688, 2017.
4. Mota-Babiloni, P. Makhnatch and R. Khodabandeh, "Recent investigations in HFCs substitution with lower GWP synthetic alternatives: Focus on energetic performance and environmental impact," *International Journal of Refrigeration*, vol. 82, pp. 288-301, 2017.
5. Mota-Babiloni, J. Navarro-Esbrí, P. Makhnatch and F. Molés, "Refrigerant R32 as lower GWP working fluid in residential air conditioning systems in Europe and the USA," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 80, pp. 1031-1042, 2017.
6. J. Belman-Flores, A. Mota-Babiloni, S. Ledesma and P. Makhnatch, "Using ANNs to approach to the energy performance for a small refrigeration system working with R134a and two alternative lower GWP mixtures," *Applied Thermal Engineering*, vol. 127, pp. 996-1004, 2017.
7. Mota-Babiloni, P. Makhnatch, J. Navarro-Esbrí, F. Moles and R. Khodabandeh, "Design of an environmentally friendly refrigeration laboratory based on cooling capacity calculation for graduate students," *International Journal of Engineering Education*, vol. 34, pp. 1-10, 2018.

List of conference publications

1. P. Makhnatch and R. Khodabandeh, "Applicability of global temperature change potential (GTP) metric to replace GWP in TEWI environmental analysis of heat pump systems," in *ICR2015: The 24th IIR International Congress of Refrigeration*, Yokohama, Japan, 2015.
2. P. Makhnatch and R. Khodabandeh, "Evaluation of cycle performance of R448A and R449A as R404A replacements in supermarket refrigeration systems," in *ICR2015: The 24th IIR International Congress of Refrigeration*, Yokohama, Japan, 2015.
3. P. Makhnatch, "New lower GWP R404A nonflammable replacements in commercial refrigeration applications," in *The 7th International Conference on Applied Energy – ICAE2015*, Abu Dhabi, 2015.
4. P. Makhnatch and R. Khodabandeh, "An experimental investigation of refrigerant R449A as replacement for R404A in supermarket refrigeration system," in *4th IIR Conference on Sustainability and the Cold Chain*, Auckland, 2016.
5. P. Makhnatch and R. Khodabandeh, "Uncertainty of life cycle climate performance (LCCP) analysis," in *12th IIR Gustav Lorentzen natural working fluids conference*, Edinburgh, UK, 2016.
6. Mota-Babiloni, P. Makhnatch, R. Khodabandeh and J. Navarro-Esbrí, "R1234ze(E) and R450A as R134a alternatives in refrigeration systems: from fluid properties to experimental comparison," in *Fifth IIR Conference on Thermophysical Properties and Transfer Processes of Refrigerants*, Seoul (South Korea), 2017.

7. P. Makhnatch, A. Mota-Babiloni and R. Khodabandeh, "The effect of temperature glide on the performance of refrigeration systems," in Fifth IIR Conference on Thermophysical Properties and Transfer Processes of Refrigerants, Seoul (South Korea), 2017.
8. P. Makhnatch, H. Madani and R. Khodabandeh, "Multi-criteria decision making analysis in refrigerant selection for residential heat pump systems," in 12th IEA Heat Pump Conference, Rotterdam (Netherlands), 2017.

List of publications in Kyla + Värme

1. P. Makhnatch, R. Khodabandeh and B. Palm, "Nya möjligheter för R32," KYLA+ Värmepumpar, no. 03, Apr 2015.
2. P. Makhnatch, R. Khodabandeh and B. Palm, "Något om Köldmediers brännbarhet," KYLA+ Värmepumpar, no. 04, Jun 2015.
3. P. Makhnatch, R. Khodabandeh and B. Palm, "Något om HFO köldmedier," KYLA+ Värmepumpar, no. 05, Jul 2015.
4. P. Makhnatch, R. Khodabandeh and B. Palm, "Senaste nytt om köldmedier med låg växthuseffekt från "IIR International Congress of Refrigeration" i Yokohama Japan," KYLA+ Värmepumpar, no. 06, Sep 2015.
5. P. Makhnatch, R. Khodabandeh and B. Palm, "Potentiella faror med "TriFluorättiksyra" (TFA)," in KYLA+ Värmepumpar, 2015.
6. P. Makhnatch, R. Khodabandeh and B. Palm, "Utvecklingen på köldmediefronten under året som gått," in KYLA+ Värmepumpar, 2015.
7. P. Makhnatch, R. Khodabandeh and B. Palm, "Några frågor från våra läsare," KYLA+ Värmepumpar, Stockholm, 2016.
8. P. Makhnatch, R. Khodabandeh and B. Palm, "Källor för köldmediers termodynamiska egenskaper," KYLA+ Värmepumpar, Stockholm, 2016.
9. P. Makhnatch, R. Khodabandeh and B. Palm, "Miljöindikatorer TEWI och LCCP," KYLA+ Värmepumpar, Stockholm, 2016.
10. P. Makhnatch, A. Mota Babiloni, R. Khodabandeh and B. Palm, "Möjligheter och utmaningar för R152a. Del 1," KYLA+ Värmepumpar, no. 04, 2016.
11. P. Makhnatch, A. Mota Babiloni, R. Khodabandeh and B. Palm, "Möjligheter och utmaningar för R152a. Del 2.," KYLA+ Värmepumpar, no. 05, 2016.
12. P. Makhnatch, A. Mota Babiloni, R. Khodabandeh and B. Palm, "Senaste nytt från "Gustav Lorentzen Natural Working Fluids Conference" i Edinburgh UK," KYLA+ Värmepumpar, no. 06, 2016.
13. P. Makhnatch, R. Khodabandeh, B. Palm and A. Mota Babiloni, "Ett alternativ för att ersätta R404A i små kylsystem," KYLA+ Värmepumpar, no. 07, 2016.
14. P. Makhnatch, R. Khodabandeh and B. Palm, "Detta hände på köldmediefronten under året som gått," KYLA+ Värmepumpar, vol. 08, 2016.
15. P. Makhnatch, "Miljövänliga köldmedier för framtiden," KYLA+ Värmepumpar, vol. 08, 2016.
16. P. Makhnatch, R. Khodabandeh and B. Palm, "Standarder och deras roll i kylindustrin," KYLA+ Värmepumpar, vol. 01, 2017.
17. P. Makhnatch, R. Khodabandeh and B. Palm, "Köldmedier: vad förväntas i framtiden," KYLA+ Värmepumpar, vol. 02, 2017.
18. P. Makhnatch, R. Khodabandeh and B. Palm, "Framtiden för R404A och andra köldmedier med höga GWP-värden när priserna stiger," KYLA+ Värmepumpar, vol. 03, 2017.
19. P. Makhnatch, R. Khodabandeh and B. Palm, "Köldmedier: den aktuella utvecklingen," KYLA+ Värme, vol. 04, 2017.

20. P. Makhnatch, R. Khodabandeh and B. Palm, "Tio icke-brännbara alternativ till R404A," KYLA+ Värme, vol. 05, 2017.
21. P. Makhnatch, R. Khodabandeh and B. Palm, "Utsläppen av fluorerade gaser och deras utsläppsminskning," KYLA+ Värme, vol. 06, 2017.
22. P. Makhnatch, R. Khodabandeh and B. Palm, " F-gaser: vet vi vilka de är?," KYLA+ Värme, vol. 07, 2017.
23. P. Makhnatch, R. Khodabandeh and B. Palm, " Utvecklingen på köldmediefronten under året som gått," KYLA+ Värme, vol. 08, 2017.
24. P. Makhnatch, R. Khodabandeh and B. Palm, "F-gasförordningens kvoter är på plats – men är vi på väg att uppfylla målen?," KYLA+ Värme, vol. 01, 2018.
25. P. Makhnatch, R. Khodabandeh and B. Palm, "Effekterna av F-gasförordningen oroar värmepumpsindustrin," KYLA+ Värme, vol. 02, 2018.

P09 Utveckling av ytbeläggningar på värmeväxlare som motverkar isuppbyggnad och nedsmutsning

Projektledare, Mikael Järn - Projektutförare, kenth.johansson -Institution, RISE

Sammanfattning

Isuppbyggnad på värmeväxlare i luft-luft värmepumpstillämpningar leder till energiförluster i form av ökat behov av avfrostning. Detta är ett problem under vinterförhållanden i Sverige och begränsar därmed användningen av värmepumpar. Målsättningen med projektet har varit att utveckla ytbeläggningar som motverkar/fördröjer isuppbyggnaden vilket skulle leda till minskad nertid och avfrostningsbehov samt kortare avfrostningstider. Ett speciellt fokus har lagts på utveckling och testning av s.k. superhydrofoba, dvs. starkt vattenavvisande ytor samt superhydrofila, dvs. ytor där vätskan sprider ut sig till en tunn film. Ytbeläggningarna har initialt formulerats och ytbelagts på aluminiumplattor och testats på labbskala. Ytbeläggningarna var nanopartikelbaserade för att skapa ytstrukturen som behövs för att erhålla superhydrofoba och superhydrofila egenskaper. Beläggningarnas vätningsegenskaper var utvärderade med kontaktvinkel- och roll-offvinkelmätningar, både vid torra och våta förhållanden. Vid våta förhållanden bildades kondens på ytorna innan kontaktvinkel och roll-offvinkelmätningarna. Ytmorfologin hos beläggningarna studerades med elektronmikroskopi. Kondensations- och frostbildningsstudier gjordes både makroskopiskt med fotografering och mikroskopiskt med ljusmikroskop. Beständighetsstudier för beläggningarna utfördes också. De mest lovande koncepten valdes ut och applicerades på riktiga värmeväxlare. Även kommersiellt tillgängliga ytbeläggningar har utvärderats. En hel del arbete utfördes på uppskalningen av ytbeläggningsprocessen eftersom en ihopsatt värmeväxlare är ett utmanande objekt att ytbelägga. I projektet ytbelades värmeväxlarna med dipcoating, sprayning, och en nyutvecklad aerosol-baserad metod, nFOGTM. De ytbelagda värmeväxlarna testades slutligen i fullskaliga värmepumpstillämpningar hos deltagande industriföretag.

En av de utvecklade superhydrofila beläggningarna visade lovande resultat i de fullskaliga testerna, med förlängd drifttid mellan avfrostningscyklerna och kortare avfrostningstid. Denna beläggning på värmeväxlaren ledde till totalt 4% ökning i verkningsgrad hos värmepumpen jämfört med den icke-belagda referensen. Beläggningen applicerades genom dipcoating. Den superhydrofoba beläggningen var aningen överraskande sämst i testet, vilket tros bero på att vattendropparna fastnar mellan lamellerna vid avfrostningen pga. det korta avståndet mellan dem. Detta försämrar dräneringen vilket i sin tur försvårar fortsatt drift.

Den kommersiella superhydrofoba beläggningensom utvärderades i projektet applicerades genom sprayning. Detta visade sig vara en sämre ytbeläggningsmetod än dipcoating eftersom det visade sig vara svårt att erhålla bra täckningsgrad. Denna beläggning hade ingen positiv effekt på COP i värmepumpstesten utförda av Danfoss.

Abstract

Ice accretion on heat exchangers in air-to-air heat pumps leads to energy losses due to an increased need for defrosting. This is a problem in Sweden due to the cold climate and limits the use of heat pumps. The aim of the project has been to develop surface coatings that resist/delay the ice build-up, which would lead to less down-time and a decreased need for defrosting and shorter defrosting times. A special focus has been on the development and testing of so called superhydrophobic, i.e. strongly water-repellent surfaces, and superhydrophilic, i.e. surfaces that are completely wetted by

water. The surface coatings were initially formulated and coated on aluminum coupons and characterized in the laboratory. The developed coatings were nanoparticle-based, in order to create the required surface topography for achieving superhydrophobic or superhydrophilic properties. The coatings were evaluated in terms of wettability by water contact angle measurements and roll-off angles, both at dry and wet conditions. In the wet conditions water vapor was allowed to condensate on the surface before the contact angle and roll-off angle measurement. The morphology of the coatings was characterized by electron microscopy measurements. Condensation and frosting studies were also performed on the different coatings, both studied on a macroscopic level by photographing and on a microscopic level by light microscopy. Durability studies of the coatings were also performed. Based on the lab tests, the most promising coatings were selected and applied on real heat exchangers. Also commercially available coatings have been evaluated. Quite some work was spent on the upscaling of the coating procedure, since ready-assembled heat-exchangers are a challenging coating object. In this project ready-assembled heat-exchangers were coated by dip coating, spray coating, and a novel aerosol-based method, nFOGTM. The coated heat-exchangers were finally tested in full-scale heat pump applications by the participating companies.

One of the in-house developed superhydrophilic coatings showed promising results in the full-scale tests performed by Nibe, by exhibiting prolonged time of operation between the defrosting cycles and shorter defrosting time. This coating led to a 4% increase in capacity for the heat pump as compared to the uncoated reference. The coating was applied by dipcoating. A bit surprisingly, the superhydrophobic coating performed the worst, which is believed to be due to that water droplets get stuck between the fins during defrosting due to the small space between them. This lowers the draining rate which in turn complicates reoperation.

The commercial superhydrophobic coating that was evaluated in the project was applied by spraycoating. This appears to be a poor coating method since it is difficult to achieve a good coating coverage. This coating did not show a positive effect on the COP in the heat-pump tests performed by Danfoss.

Publikationer

Järn, M., Johansson, K., Tuominen, M., Posterpresentation, Development of surface coatings on heat exchangers for reduced ice accretion 16 oktober 2015, Göteborg, Svenska Kyl och Värmepumpsdagen

Järn, M., Johansson, K., Tuominen, M., Development of surface coatings on heat exchangers for reduced ice accretion, Muntlig presentation Järn, M, 18 maj 2016, Tranås, Effsys Expand forskarkonferens

Järn, M., Johansson, K., Tuominen, M., Posterpresentation, Development of surface coatings on heat exchangers for reduced ice accretion, 21 oktober 2016, Göteborg, Svenska Kyl och Värmepumpsdagen

Johansson, K., Järn, M., Tuominen, M., Utveckling av ytbeläggningar på värmeväxlare som motverkar isuppbbyggnad och nedsmutsning, Muntlig presentation Johansson, K., 20 oktober 2017, Göteborg, Svenska Kyl och Värmepumpsdagen

Järn, M., Johansson, K., Utveckling av ytbeläggningar på värmeväxlare som motverkar isuppbbyggnad och nedsmutsning, Kyla & Värme nr5, 2017

Järn, M. et al., Evaluation of performance of surface coatings on fin-tube heat exchangers in air-to-air heat pumps, Manuscript to be submitted 2018

P10 Utvärdering av innovativ värmeväxlare i kyldisk för effektivare energianvändning i butiker

Projektledare, Pia Tiljander- Projektutförare, Sara Jensen-Institution, RISE

Sammanfattning

En ny innovativ typ av luft-till-vätska -värmeväxlare, kallad HEALEX (High Efficiency Air to Liquid Heat Exchanger), har testats och demonstrerats i en öppen kyldisk i en livsmedelsbutik. HEALEX är konstruerad för att uppnå bra värmeöverföringsprestanda även vid laminära flöden på vätskesidan, vilket ofta är fallet i indirekta system i livsmedelsbutiker. Värmeväxlaren består av parallella plattor, med vätska i varannan passage och luft i de andra passagerna. Syftet med demonstrationen var att visa potentialen för energieffektivisering genom att installera HEALEX i butikernas kyldiskar. På längre sikt var syftet var att öka intresset och acceptansen för denna typ av värmeväxlare och på så sätt öka mängden energieffektiva värmeväxlare i livsmedelsbutiker, vilket i sin tur skulle leda till energibesparingar.

Ett av målen med projektet var att bekräfta resultat från en tidigare studie där HEALEX hade testats i en kyldisk i laboratorium. Resultaten från laboratorietesterna visade att framledningstemperaturen på kölbäraren kunde ökas 60C med bibehållen kylkapacitet och samma matvarutemperatur kyldisken. Framledningstemperaturen på köldbäraren var -7 ° C i det konventionella kylbatteriet och -10C med HEALEX.

Projektet har inte haft som ambition att göra en direkt jämförelse av de båda värmeväxlarna avseende effektivitet. En fältundersökning lämpar sig inte för att göra exakta jämförelser av olika värmeväxlare eftersom för många yttre faktorer (luftens egenskaper i butiken, kundernas beteende etc.) har en stor inverkan på kylsystemets prestanda. Proving i laboriemiljö under väl definierade förhållanden krävs för att en jämförelse ska bli helt rättvisande.

Testerna startades med att mätningar gjordes när det ursprungliga kylbatteriet fortfarande var installerat i kyldisken. Då dessa mätningar var klara ersattes värmeväxlaren med HEALEX. I projektet mättes luft- och väsketemperaturer på de olika sidorna i värmeväxlarna, lufttemperaturer och luftfuktigheter i kyldisken, tryckfallet på både vätske- och luftsidan i värmeväxlarna och volymflöde på vätskan. Temperaturen och luftfuktighet i butiken mättes också. Samtliga mätvärden loggas och fjärravlästes via dator.

Resultaten från denna fältstudie visar att det finns en potential för energibesparing genom att installera HEALEX i livsmedelsbutikernas kyldiskar. Framledningstemperaturen ökades med 60C efter att HEALEX hade installerats i kyldisken och då erhöles i stort sett samma kylkapacitet och temperatur inne i kyldisken som för det ursprungliga kylbatteriet. Dessa resultat bekräftar därmed resultaten från laborietesterna i många avseenden.

Resultaten från studien indikerar att avfrostning behövs mycket sällan då HEALEX är installerad i kyldisken. Mätningarna visar inte på någon tryckfallsökning över värmeväxlarna under hela mätperioden. Avfrostningen är tidstyrd och startar kl. 06:00 och 19:00. För att undersöka om det verkligen fanns ett behov av avfrostning eller inte skulle tidsintervallet behöva ökas vilket inte var möjligt under denna studie.

Tidigare studier har visat att kylmaskinernas COP ökar med ungefär 2,5% då kölbärarens temperatur ökas med 10C. En höjning med 60C skulle därmed innebära en minskning av energibehovet med 15%.

Abstract

In this study, a new innovative type of air-to-liquid heat exchanger, called HEALEX (which stands for High Efficiency Air to Liquid Heat Exchanger), has been tested and demonstrated in an open display cabinet at a supermarket. HEALEX is adapted for obtaining good heat transfer performance even at a laminar flow regime on the liquid side, which is often the case in indirect cooling systems in supermarkets. The heat exchanger consists of parallel plates, with liquid in every second passage and air in the other passages. The purpose of the demonstration was to show the potential of increasing the energy efficiency by replacing the conventional cooling coils by HEALEX. On the long term, the purpose of the project was to raise the interest and acceptance for this type of heat exchanger, and through raised acceptance increase the amount of energy efficient heat exchangers in supermarkets, which in turn would result in energy savings.

One of the objectives of the project was to confirm results from a previous study where tests had been performed in a laboratory. The results from the laboratory tests showed that the same cooling capacity and average temperature of the “food packages” could be obtained with around 6 K higher inlet temperature of the liquid, -7°C with the traditional coil and 1°C with HEALEX.

The project was not intended to directly compare the performance of the original heat exchanger and the one of HEALEX regarding efficiency. A field study is not well suited for direct comparisons of different heat exchanger performances, since there are too many hard-to-control variables (ambient climate, customer behavior etc.) that affect the performance of the cooling system. Studies for direct and exact comparisons should always be carried out in a laboratory, where parameters that affect the result can be controlled.

The first tests were made with the original heat exchanger placed in the bottom of the display cabinet, and thereafter the heat exchanger was replaced with HEALEX. The data collected in the project were air- and liquid temperatures before and after the heat exchangers, air temperatures and humidities in the display cabinet, liquid and air pressure drop and liquid volume flow. Temperature and humidity of the ambient air is also measured.

The results from this study show that there is a potential of energy savings by using HEALEX in display cabinets at supermarkets instead of conventional cooling coils. The inlet temperature of the secondary refrigerant could be raised 6°C after the installation of HEALEX and almost the same cooling capacity and average temperature in the display cabinet as for the original heat exchanger could be obtained. These results confirm to a large extent the results from the laboratory tests.

The results from this study also indicate that the need for defrosting will occur much more seldom for HEALEX compared to a conventional cooling coil. Defrosting was initiated by time control at 6.00 am and at 7.00 pm. Since the pressure drop is constant during the measurement period it is likely to believe that there is no frosting and thereby no need for defrosting. In order to find out if defrosting is needed or not, the it would have been necessary to increase the intervals between the defrosts, which was not possible in this study.

Earlier studies have shown that COP increase with approximately 2.5% per oC increased liquid temperature. Thereby an increase of the liquid temperature with 6oC implies energy savings of about 15% for the compressor drive energy.

Publikationer

Publicerade vetenskapliga artiklar

Haglund Stignor, C., Tiljander, P., Lindberg, U., Lidbom, P., Axell, M., Masgrau, M., (2018), "New Type of Energy Efficient Heat Exchanger for Indirectly Cooled Display Cabinets – Laboratory and Field Tests", 5th IIR Conference on Sustainability and the Cold Chain (ICCC2018), April 6-8, 2018, Beijing, China

Publicerade populärvetenskapliga artiklar

Jensen, S., (2015), "Utvärdering av innovativ värmeväxlare i kyldisk för effektivare energianvändning i butiker", Kyla + Värmepumpar, 2015:7, s. 45-46

P11 Energieffektiv mjölkproduktion

Projektledare, Jörgen Rogstam - Projektutförare, Philip Ring – Företag, Ekanalys

Sammanfattning

Mjölkkylning är en energimässigt intressant applikation med kombinerat kyl- och värmebehov. Stora mängder varmvatten går åt för diskning av mjölkrobotar och kyltankar, där de rekommenderade vattentemperaturerna är 85-90°C. HFC-medier är som bekant föremål för utfasning enligt F-gasförordningen så andra köldmediekandidater är intressanta. Naturliga medier är en framtidssäkrad lösning där en av dessa är koldioxid.

Projektet har utvecklat ett indirekt och ett direkt CO₂-system inklusive värmeåtervinning för gårdsbaserad mjölkkylning. En av de stora utmaningarna är utformningen av en CO₂-förångare för integration i mjölktanken. Vidare så behövdes ett småskaligt CO₂-system med en enkel, billig och robust systemlösning. Med dessa pusselbitar så kan de inbyggda fördelarna med CO₂ utnyttjas vilket är en nödvändighet för att kommersiellt lyckas. Referensen vad gäller kostnad och energianvändning är dagens produktionssystem som använder R134a som köldmedium, vilket för energitesterna uppgraderats med frekvensstyrning.

Tillsammans med Green & Cool så har projektet anpassat en CO₂-kylmaskin vilken i grunden är baserad på en sk "condensing unit". Genom att kombinera projektets specifika krav med en standardplattform så är förhoppningen att en livskraftig produkt ska kunna komma till marknaden. Kombinationen borgar för användning av standardkomponenter för grundmodulen men anpassningar har gjorts för att klara applikationens speciella krav. Dessa krav består i hög energieffektivitet vid kyl drift och inte minst bra prestanda för värmeåtervinningsfunktionen.

Den drivande partnern i projektet är Wedholms AB som är tillverkare av just mjölkkylltankar. Tillsammans med dem har projektet utvecklat en integrerad CO₂-förångare som anpassats till en av deras mjölkkylltankar. Denna typ av förångare har varit en utmaning att realisera men under 2017 har flera prototyper tillverkats och klarat testning så nu kan skarpa drifttester också genomföras. Även det anpassade kylsystemet har testats m.a.p. kylprestanda och värmeåtervinning enligt standardtest och klarat projektets krav. En ytterligare systemlösning som bygger på en indirekt lösning med köldbärare har också utvecklats och testats för att ha olika alternativ när CO₂-systemen nu ska till marknaden.

En ytterligare finess som projektet testat är en ny typ av sensor för styrning av expansionsventilen – med flödande förångning! Sensorn (HBX) har tagits fram av ett danskt företag och syftet är att kunna styra på en ånghalt i förångarutloppet. Utan att gå in på alla underbara detaljer så kan sensorn känna av ånghalten inom ett visst intervall och ge en signal till expansionsventilen. Detta är naturligtvis intressant för många kyltekniska tillämpningar men det är extra intressant där förångarens storlek är kritisk. Överhettningsarean kan som bekant vara stor i en förångare och om ytan är dyr eller svår att åstadkomma så blir det mer intressant med flödande drift. Testerna har än så länge utförts på plattformförångare och resultaten ser mycket lovande ut. Om det blir en lösning för serieproduktion återstår att se.

Abstract

Summary of the project Energy efficient milk production

Milk cooling is an interesting field from the energy perspective, due to its combined refrigeration and heating demand. A lot of hot water is needed for the cleaning of milk robots and cooling tanks, where the recommended water temperature is around 85-90°C. As HFC-based refrigerants are currently being phased out in line with the F-gas Regulation, other alternatives have gained more interest. Natural refrigerants are considered sustainable solutions and out of them CO₂ has perhaps received most attention lately.

This project has developed an indirect and a direct CO₂-system including heat recovery function for farm-based milk cooling. One of the big challenges has been the design of evaporator that can be integrated to the milk tank. Furthermore, the system was required to be a simple, cheap, and robust solution of smaller scale. CO₂ has favorable properties as a refrigerant that combined with the abovementioned requirements still can be utilized, which is a requirement for commercial success. As a reference in terms of cost and energy use today's production system is used, which applies R134a as the refrigerant and has been upgraded with capacity control for the energy tests.

This project has with help from Green & Cool modified a CO₂ cooling unit, which is based on a so called "condensing unit", to be applied in milk cooling. By combining the specific requirements of the project together with a standard platform the hope is that a competitive product can be introduced to the market. This combination allows for the use of standard of components in the base module, while certain adjustments have been done in order to fulfill the specific requirements of the application. The main requirements are high energy efficiency in the refrigeration process as well as good performance of the heat recovery function.

The leading partner of the project has been Wedholms AB, a company that manufactures milk cooling tanks. The project has in cooperation with Wedholms developed a CO₂-evaporator that can be integrated into one of their milk tanks. This type of evaporator has turned out to be quite a challenge to successfully implement, but in 2017 many of the manufactured prototypes passed the tests which means that operational tests can now also be performed. The modified refrigeration system has also been tested in terms of performance in the refrigeration process and heat recovery according to standards, with satisfying results that fulfill the requirements of the project. An indirect system solution with a secondary refrigerant has also been developed and tested in order to bring variations of the CO₂-system to the market.

An additional feature that has been tested in the project is a new type of sensor for the control of the expansion valve – with flooded evaporation! The sensor (HBX) has been developed by a Danish company and allows for control based on the humidity level in the evaporator outlet. Without going deep into all the details, the sensor is able to measure the humidity level within a certain interval and can send signals to the expansion valve. While a very interesting feature for refrigeration applications in general, this one becomes even more interesting when the size of the evaporator becomes critical. The area of superheating can get quite big in an evaporator, and if the surface is expensive or difficult to produce flooded evaporation becomes more interesting. The tests have so far been carried out with plated evaporators and the results look very promising. Whether it will be a solution that can be put into mass production remains to be seen.

Publikationer

Ring, P., 2017. Mjölkkylning med CO2. Innovation och Design, Examensarbete högskoleingenjör 15 hp. KTH SÖDERTÄLJE, SVERIGE.

Rogstam, J., Ring, P. 2018. Artikel från projektet Energieffektiv mjölkproduktion, Kyla +, Nummer 2/2018.

Rogstam, J., et al. 2018. Slutrapport från projekt P11 Energieffektiv mjölkproduktion, Energi & Kylanalys AB och EffsysExpand 2014-2018.

P13 Design- och reglerstrategier för högtemperaturkyllning av svenska kontorsbyggnader med hjälp av direkta marklagersystem.

Projektledare, Saqib Javed- Projektutförare, Taha Arghand, -Institution, Chalmers tekniska högskola

Sammanfattning

I det här forskningsprojektet studeras kylkapaciteten hos markkylsystem med olika rumsterminaler. Fokus ligger på hur systemens prestanda påverkar olika sätt att styra mot önskad rumstemperatur. Andra aspekter som studeras är utformning av systemen och dimensionering av terminalerna och borrhålen i marken inkl. värmeväxlare.

Experimenten genomförs i ett testrum som ska motsvara ett kontorsrum med 12,6 m² golvyta, där värme från sol, en person och ljus, kan simuleras. Värmebelastningen i rummet genererades i det här fallet intermittent, mellan 16 W/m² and 75 W/m², med regelbundet intervall på 2 timmar.

System med två olika rumsterminaler, en fan-coil och en kyld takpanel, testades separat. Ett direkt markkylsystem användes för att leverera kylt vatten med hög temperatur från 12 ° C till 22 ° C till rumsterminalerna. Den systemlösningen som testades bestod av två vätskekretsar, en primär (marksystem) och en sekundär (terminalsystem) åtskilda av en värmeväxlare. Två olika metoder att uppnå önskad rumstemperatur i intervallet 22 ° C till 27 ° C testades separat, on-off-styrning av flödet i primär- respektive sekundärkretsen.

Resultaten är ganska lika för båda systemen (fan-coil resp. kyld takpanel). Presentationen kommer att fokusera på resultaten för systemet med en fan-coil.

Systemet med on-off-styrning av flödet i sekundärkretsen (terminalkretsen) och konstant flöde i primärkretsen (markkretsen) gav en mycket stabil rumstemperatur med en liten avvikelse från börvärdet. Vidare låg tillloppstemperaturen till terminalen ganska konstant vid den lägsta möjliga temperaturen, oberoende av rumstemperaturen. Emellertid krävde kontinuerligt arbete hos primärpumpen vid dimensionerande (maximalt) flöde mycket energi.

Systemet med on-off-styrning av primärkretsen (markkretsen) och konstant flöde i sekundärkretsen (terminalkretsen) gav å andra sidan en variation i rumstemperatur då värmebelastningen varierade. Variation hos rumstemperaturen var dock inte större än de 2 °C/h som nämns i standarder. Tillloppstemperaturen till terminalen var i det här fallet väsentligt högre än i fallet med konstant flöde i primärkretsen. Detta minskar risken för att kondens bildas på rörens och terminalernas ytor. Det här systemets ger också ett lägre elbehov än systemet med konstant flöde i primärkretsen.

Abstract

This research project experimentally investigates the general design characteristics of passive ground cooling systems from a cooling capacity control standpoint. The focus has been to identify methods for control of room temperature and the cooling system energy performance. Other issues have been design considerations for terminal unit, piping system and boreholes in the ground.

The experiments are conducted in a mock-up of an office room with 12.6 m² floor area, where heat from sun, a person, and lights, is simulated. The heat load in the room was in this case generated intermittently, between 16 W/m² and 75 W/m², at regular interval of 2 hours.

Two terminal units, namely fan-coil unit and chilled ceiling panels, were tested separately. A direct ground cooling system was used to supply the terminal units with high temperature chilled water ranging from 12 °C to 22 °C. The water distribution system consisted of two loops, primary (ground) and secondary (terminal) loops, separated by a heat exchanger. Two control methods, on-off water flow rate in either primary or secondary loop, to achieve desired room temperature in the range of 22 °C to 27 °C, were tested separately.

The results are rather similar for both terminal units (fan-coil unit; chilled ceiling panel). The presentation will focus on the results using the fan-coil unit.

According to the results, on-off flow rate in the secondary (terminal) loop and constant flow rate in primary (ground) loop resulted in a very stable room temperature with very small deviation around the set-point temperature. Furthermore, water supply temperature to the terminal was rather constant at the lowest temperature achievable, regardless of the room temperature. However, continuous work of the primary pump at the design (maximum) flow rate requires a lot of energy.

On-off flow in the primary (ground) loop and constant flow rate in the secondary (terminal) loop, caused, on the other hand, variation in room temperature as the heat load varied. Nevertheless, the room temperature drift with on-off primary flow method did not violate the imposition of a 2 °C/h mentioned in standards. Water supply temperature of the terminal unit was substantially higher than that with the other control alternative. This is of importance to prevent condensation from forming on the pipes, coils and panels' surface. The electricity demand of the cooling system was lower than with the other control methods, due to lower operation time of the primary pump.

Publikationer

Populärvetenskapliga

Effsys Expand Forskardagar 2016 – Saqib Javed

Javed, S., 2016-05-17, Design and Control Strategies for High-Temperature Cooling of Swedish Office Buildings using Direct Ground Systems. Project Presentation, EFFSYS Expand Research Conference 2016, Tranås. Sweden.

Javed, S., 2015-10-16. Malmö Police-House – A cool and heat case. Invited presentation, Swedish Refrigeration and Heat Pump Day (Svenska Kyl & Värmepumpdagen), Gothenburg, Sweden.

Vetenskapliga:

Arghand, T., Trüschel, A., Javed, S., Dalenbäck, J., Dynamic thermal performance and controllability of Dry Fan-Coil unit, Published in The 9th International Cold Climate Conference 2018, Kiruna, Sweden.

Bournas, I., Abugabbara, M., Balcerzak, A., Dubois, M.C. and Javed, S., 2016. Energy renovation of an office building using a holistic design approach. Journal of Building Engineering, 7, pp.194-206.

Abugabbara, M.Y., 2017. Validation of TEKNOsim 5: Verification Against Different Standards and Building Energy Simulation Tools. Master's thesis, Energy and Building Design, Lund University, Sweden.

Proshyn, S. and Bulich, I., 2017. Waste heat storage and utilization for the case of National Veterinary Institute (SVA), Uppsala, Sweden. Master's thesis, Energy and Building Design, Lund University, Sweden.

Javed S, Lechner R, Behrens J, 2016. Testing and validation of TEKNOsim: A building energy simulation program. Proceedings of 12th REHVA World Congress (CLIMA 2016), Aalborg, Denmark.

Lechner R, Javed S, 2016. Life cycle cost-optimized cooling systems for European office building. Proceedings of 12th REHVA World Congress (CLIMA 2016), Aalborg, Denmark.

P14 Effektivare förångning i smala kanaler

Projektledare, Björn Palm - Projektutförare, Qingming Liu - Institution, KTH energiteknik

Sammanfattning

Flöda kokning i mikro-kanaler är ett intressant forskningsämne på grund av sin komplexitet och på grund av den ökande användningen av smala förångarkanaler både i kyl- och värmepumpsystem, för elektronikkyllning och i mikro-mekaniska system (MEMS). Trots stora forskningsinsatser, kan vissa delar av de fenomen som uppstår fortfarande inte helt förklaras.

Det finns två metoder att beräkna värmeöverföringstalen vid flödande kokning i större kanaler: 1) ett genomsnittsvärde beräknas för hela kokprocessen; 2) lokala värden för värmeöverföringen beräknas som en funktion av ångkvaliteten. Den senare metoden är bättre att använda i mikro kanaler eftersom olika flödesregimer ger olika värmeöverföringskaraktär. Visualiseringsexperiment visar fyra huvudsakliga flödesregimer: bubbelkokning, flöde med isolerade bubblor, flöde där bubblorna fyller kanalvärsnittet, flöde med tåg av långa bubblor samt annulärt flöde. Två av dessa förekommer sällan i makro kanaler och kan förväntas ha annorlunda värmeöverföringsmekanism än bubbelkokning.

Utveckling av fenomenologiska modeller kräver djup förståelse för varje flödesregim och övergångsprocessen mellan dessa. Studier av alla individuella flödesregimer finns presenterade i litteraturen. Däremot är mekanismerna vid övergångarna inte tidigare väl beskrivna.

Ett syfte med detta projekt har varit att genomföra en omfattande numerisk undersökning av dessa övergångsprocesser. En sofistikerad och robust numeriska modell har utvecklats och den huvudsakliga nyheten är kombinationen av vad som på engelska kallas coupled level set method (CLSVOF) och en icke-jämvikts fasändringsmodell, som möjliggör en korrekt beskrivning av tvåfas-gränssytan, såväl som gränssytans temperatur.

De övergångar mellan flödesregimer som studerades i projektet innefattar: flöde med isolerade bubblor till flöde där bubblorna fyller kanalvärsnittet, samt övergången från flöde där tåg av bubblor fyller kanalvärsnittet (slug flow) till annulärt flöde. Effekter av ytspänning, värmeflöde, massflöde, och vätskeegenskaper undersöktes också. Alla dessa regimer studerades först separat, vilket gav ett lämpligt inledande tillstånd för simuleringarna av övergångarna mellan regimerna. För inloppet och uppstarten av processen användes en förenklad modell baserad på en delvis utvecklad temperaturoch hastighetsprofil, samt redan genererade små bubbelkärnor.

Den första övergången befanns bestå av tre faser: glidande bubblor, sammanslagning och efter-sammanslagning. De två senare faserna är båda extremt snabba processer som tar mindre än en millisekund. Dynamiken och värmeöverföringen är mycket olika i dessa tre steg.

Övergången från slug till annulärt flöde är komplicerad speciellt i det skede där expansionen av bubblan orsakar genombrott på vätskepluggen till nästa bubbla. Vid genombrottet skapas små droppar i centrum av kanalen.

Abstract

Boiling phenomena in micro scale has been emerging as an interesting topic (J. R. Thome, Revellin, Agostini, & Park, 2008) due to its complexity and increasing usage in heat pumps, refrigeration systems as well as micro electronic and micromechanical systems (MEMS). In spite of large research efforts (H. Chen, Xu, Xie, Xing, & Li, 2014; Dhir, Abarajith, & Li, 2007; Satish G. Kandlikar, 2010a), parts of the heat transfer mechanism remains unclear. There have been two ways to estimate heat transfer coefficient of flow boiling in macro channels: 1) an average value for the whole boiling process, 2) local heat transfer coefficient as a function of vapor quality. The latter method is proved to be better in micro channels because different flow regimes have different heat transfer characteristics. Experimental visualization has discovered five main flow regimes: nucleate boiling, isolated bubbles, confined bubbly flow, elongated bubbly (or slug) flow, and annular flow. Two of these patterns (confined bubbles, slug flow) are rarely found in macro channels and believed to have very different heat transfer mechanism other than that of nucleate boiling.

Development of phenomenological model demands a deep understanding of each flow regime as well as the transitions process between them. While studies in every individual flow pattern are available in literatures, the mechanisms of transition processes between them remain as mysterious. More specifically, how the isolated bubbles evolve to confined bubbly flow, and how it further evolves to elongated bubble and finally annular flow. The effects of boundary conditions such as wall heat flux, surface tension, and interfacial velocity are unclear, too.

The scientific novelties (or aims) presented in this report and the attached publications are the development and validation of a new numerical algorithm, used to perform a comprehensive numerical study on the transition processes between flow regimes, to uncover the transition mechanisms and investigate the effects of boundary- and operating conditions.

Firstly, a sophisticated and robust numerical model was developed by combining of coupled level set method (CLSVOF) and a non-equilibrium phase change model, which enabled an accurate capture of the two-phase interface, as well as the interface temperature.

Secondly, several flow regime transitions were studied in this thesis: nucleate bubbles to confined bubbly flow, multi confined bubbles moving consecutively in micro-channel, and slug to annular flow transition. Effects of surface tension, heat flux, mass flux, and fluid properties are examined. All these regimes are studied separately, which means an appropriate initial condition is needed for each regime. A simplified model based on energy balance to set the initial and boundary conditions was developed and used.

The nucleate to confined transition process is found to be consisting of three stages: sliding, merging and post-merging stages. The latter two stages are both extremely fast processes which take less than one millisecond. The dynamics and heat transfer are very different in these three stages.

After the merger of nucleate small bubbles, the larger confined bubbles move along the tube consecutively. The first bubble has the highest growth rate (due to initial boundary conditions) and the rest have similar but lower growth rates. Their movements are still obeying the lubrication theory.

The transition from slug to annular regime is complicated where the expansion of the bubble makes a notch at the end of the annulus. This notch will contract and produces small droplets when the bubble and

Publikationer

Projektets vetenskapliga publikationer

Liu, Qingming. and Palm, Björn. (2016). "Numerical study of bubbles rising and merging during convective boiling in micro-channels." Applied Thermal Engineering 99:1141-1151.

Liu, Qingming. Wang, Wujun. and Palm, Björn. (2017a). "A Numerical study of the transition from slug to annular flow in micro-channel convective boiling." Applied Thermal Engineering 112:73-81.

Liu, Qingming. Wang, Wujun. and Palm, Björn. (2017b). "Numerical study on the interactions and merge of multiple bubbles in micro channel flow boiling." International Communications in Heat and Mass Transfer 80:10-17.

Liu, Qingming. and Palm, Björn. "On the dynamics and heat transfer of flow boiling bubble chain in micro-channels." (submitted to International Communications in Heat and Mass Transfer)

Projektets populärvetenskapliga publikationer och presentationer

Liu, Qingming, 2015, Poster presentation vid Kyl- och Värmepumpdagen 2015, Göteborg.

Liu, Qingming, 2016, Poster presentation vid Kyl- och Värmepumpdagen 2016, Göteborg.

Liu, Qingming, 2016, Presentation vid Effsys-dagarna 2016

P15 Hybridsystem för frikyla från kompressorkylanläggningar
Projektledare, Björn Palm - Projektutförare, Ehsan Bitaraf Haghighi - Institution, KTH energiteknik

Sammanfattning

Abstract

Publikationer

P16 Komparativ experimentbaserad utredning av prestanda och effektivitet av markkolektorer för vertikala borrhålsapplikationer.

Projektledare, Saqib Javed - Projektutförare, Saqib Javed - Institution, CHALMERS Tekniska Högskola

Sammanfattning

Saqib Javed, CHALMERS Tekniska Högskola

Antalet värme- och kylsystem som använder vertikala borrhål ökar hastigt i Sverige. För närvarande finns det över 400 000 installationer, huvudparten av dessa använder U-rörskolektorer. Många av de nya kolektorer som har lanserats under de senaste åren påstås erbjuda såväl bättre termisk prestanda som enklare installation. Detta forskningsprojekt syftar till att utföra komparativa experimentbaserade utredningar av markkolektorer som finns på marknaden eller är i utvecklingsstadiet. Det specifika målet med projektet är att utvärdera termisk och hydraulisk prestanda hos olika typer av markkolektorer under likande förhållanden. Baserat på utkomsten av den komparativa analysen kommer bäst presterande kolektortyp, för olika scenarier av driftlägen, värmeöverföring (uppvärmning/kylning), temperaturskillnad över kolektorn och flöde att identifieras.

Presentationen, som är uppdelad i tre delar, kommer att omfatta forskningsprojektets status och de första resultaten. I den första delen sammanfattas och diskuteras de viktigaste resultaten från de beräkningar som genomförts för att öka förståelsen för den värmetekniska funktionen hos kolektorer. I den andra delen presenteras tester av olika typer av kolektorer. Först presenteras utvecklingen av testutrustning och testställen på och utanför Chalmers. Sedan sammanfattas de testresultat som erhållits inom projektet de senaste tre åren. Till sist visas och diskuteras de viktigaste resultaten från jämförelser av termiska och hydrauliska prestanda för olika kolektortyper. I den tredje delen diskuteras ny kunskap och dess implementering i tillämpningar. Här visas de matematiska och empiriska modeller som tagits fram eller validerats med hjälp av genomförda tester. Presentationen avslutas med en sammanfattning av uppnådda resultat, återstående frågeställningar och inriktning av framtida arbeten.

Abstract

The number of heating and cooling systems using vertical boreholes is increasing rapidly in Sweden. Currently, there are over 400,000 installations, mostly using U-tube ground collectors. Many new collectors have been launched in recent years which claim to offer better thermal performance as well as ease of installation. This research project aims at performing comparative experimental investigations of ground collectors currently available in market and under development stages. The specific objective is to compare thermal and hydraulic properties of different types of collectors under identical experimental conditions. Based on the outcomes of the comparative analysis, best performing collector types, for different scenarios of operating modes, heat injection/extraction rates, temperature difference over the collector and flow rates, will be identified.

This presentation describes the current status of the research project and provides an overview of the major results obtained so far. The presentation is divided into three sections. The first section presents summary of modelling and simulation activities which have been carried out during this research project. Key findings from modelling work, which have contributed to improved

understanding of thermal behavior of ground collectors, are presented and discussed. The second section presents experimental testing of various ground collector types. This section first presents the development of test equipment and test infrastructure at and outside Chalmers. It then provides a summary of the experimental tests conducted in the research project during the last three years. Finally, main results from experimental tests are shown and discussed. Results of the experimental testing include comparison of thermal and hydraulic performance of different ground collectors. The third section discusses the creation of new knowledge from this research project and its implementation in applied practice. This section shows mathematical and empirical models derived from or validated against from the experimental test from this research project. The presentation concludes with a summary of achievements, open issues, and future directions.

Publikationer

Claesson, J., & Javed, S. (2018). Explicit Multipole Formulas for Calculating Thermal Resistance of Single U-Tube Ground Heat Exchangers. *Energies*, 11(1), 214.

Beier, R. A., Mitchell, M. S., Spitler, J. D., & Javed, S. (2018). Validation of borehole heat exchanger models against multi-flow rate thermal response tests. *Geothermics*, 71, 55-68.

Vieira, A., Alberdi-Pagola, M., Christodoulides, P., Javed, S., Loveridge, F., Nguyen, F., ... & Lysebetten, G. V. (2017). Characterisation of ground thermal and thermo-mechanical behaviour for shallow geothermal energy applications. *Energies*, 10(12), 2044.

Javed, S. and Claesson, J., 2017. Second-order multipole formulas for thermal resistance of single U-tube borehole heat exchangers. In *Research Conference Proceedings: International Ground Source Heat Pump Association Conference & Expo*, March 14-16, 2017 p.102-112.

Javed, S. and Spitler, J., 2017. Accuracy of borehole thermal resistance calculation methods for grouted single U-tube ground heat exchangers. *Applied Energy*, 187, pp.790-806.

Bourne-Webb, P., Burlon, S., Javed, S., Kürten, S. and Loveridge, F., 2016. Analysis and design methods for energy geostructures. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, pp.402-419.

Javed S, Spitler J. 2016. Calculation of borehole thermal resistance. In: Rees S, editor. *Advances in ground-source heat pump systems*. Woodhead Publishing, pp. 63-95.
<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100311-4.00003-0>.

Spitler J, Grundmann R, Javed S, 2016. Calculation tool for effective borehole thermal resistance. *Proceedings of 12th REHVA World Congress (CLIMA 2016)*, Aalborg, Denmark.

Spitler J, Javed S, Ramstad R, 2016. Natural convection in groundwater-filled boreholes used as ground heat exchangers. *Applied Energy*, vol. 164, pp. 352-365.

P17 Metodutveckling – Utvärdering av buller från värmepumpar

Projektledare, Ola Gustavsson - Projektutförare, Ola Gustavsson - Institution, RISE

Sammanfattning

Idag utvärderas störningen från en värmepump som en A-vägd ljudnivå, uppmätt i ett driftläge, normalt betecknat som "standard rating condition". Denna A-vägda nivå är vad konsumenter ser på den europeiska energimärkningen och den A-vägda nivån är därmed huvudindikatorn för bullerstörning. Den A-viktiga nivån i ett driftläge kan emellertid ge dålig återspeglning av det faktiska bullret på grund av varierande termisk belastning och drifttillstånd. Utveckling av en ny bullerindikator behövs för att ge konsumenten bättre vägledning om den deklarerade ljudnivån, eftersom den A-vägda nivån kan vara otillräcklig för att bedöma störning.

Denna studie undersöker buller hos luft- och bergvärmepumpar, för att identifiera variationen i ljudnivå över tid och i olika belastningsfall. Fältprov på 11 värmepumpar visade att ljudkaraktären hos de båda luft- och bergvärmepumparna domineras av tonalt brus i lågfrekvensområdet. Detta är en anledning till att använda C-vägda nivå för en bättre förutsägelse av bullerstörning. En indikation på stark dominans av lågfrekventa ljud ges om skillnaden mellan C- och A-viktiga nivåer är över 10 dB. Resultaten från denna studie visar att detta mycket ofta fallet, och den C-vägda nivån kan variera medan den A-vägda nivån är stabil. Detta beteende är vanligare hos bergvärmepumpar, på grund av frånvaron av maskeringsbuller från fläkten. Detta tyder på att separata utvärderingsmetoder för luft- och bergvärmepumpar kan vara fördelaktigt.

Laboratoriemätningar har använts för att identifiera variationen i buller vid olika belastningar för ett antal olika värmepumpar. Värmepumpstandarden EN14825 har använts som en inspiration för att utvärdera bullret över hela värmepumpens driftområde. Resultaten visar att skillnaderna i både A-viktad ljudnivå och bruskaraktäristik är stora för olika driftspunkter. Upp till 10 dB skillnader identifierades. Både kompressorfrekvensen och temperaturerna i förångare och kondensor påverkar bullret. Resultatet bekräftas därför att ljudeffektmätningen vid "standard rating condition" är ganska långt från maximal nivå av en inverterstyrd värmepump.

För närvarande undersöker en ljudpanel de olika ljuden från laboratoriemätningarna för att hitta relationen mellan värmepumpens brus och störningar. Hypotesen är att det inte bara är ljudnivån som påverkar störningsnivån utan även karaktären. Målet med denna aktivitet är att hitta vilken egenskap som är viktigast och att hitta relationen till störningen.

Abstract

Method development - Declaration of noise from heat pumps

Today heat pump noise is evaluated as an A-weighted sound power level measured in one operating condition, normally referred to as the standard rating condition. The A-weighted level at the standard rating condition is what the consumer will read on the European energy label and the A-weighted level is the main indicator for noise pollution. However, the A-weighted level at one operating condition can give poor reflection of the actual noise, due to varying thermal load and operating states. Development of new noise indicators are needed to give the consumer better guidance of the declared noise level, as the A-weighted level can be insufficient to assess noise annoyance.

This study investigates the noise behavior of air- and ground-source heat pumps, to identify the variation in noise level over time and at different loads. Field tests of 11 heat pumps showed that the character of the both air- and ground-source heat pumps have a noise character which is dominated by tonal noise in the low frequency region, a reason to use the C-weighted level for more sufficient prediction of annoyance. An indication of strong dominance of low frequency noise is given if the difference between C- and A-weighted levels is above 10 dB. The results from this study show that this is very often the case, but the C-weighted level can vary while the A-weighted level is steady. This behavior is more common with ground source heat pumps, because of the absence of masking noise from the fan. This suggests that separate evaluation methods for air- and ground-source heat pump might be needed.

Laboratory measurements have been used to identify the variation in noise at different loads for a variety of heat pumps. Heat pump testing standard EN14825 have been used as an inspiration to evaluate the noise over the whole operation range of the heat pumps. The results show that the differences in both A-weighted sound power level and noise characteristic is large for different operation points. Up to 10dB differences are identified. Both compressor frequency and temperatures in evaporator and condenser affect the noise. Hence, the results confirm that the sound power measurement at the standard rating point is quite far from the maximum level of an inverter-controlled heat pump.

Currently a noise panel is investigating the different noises from the laboratory measurements to find the relation between heat pump noise and disturbance. The hypothesis is that it is not only the sound power level that is affecting the level of disturbance but also the character. The goal of this activity is to find what characteristic is most important and to find the relation to the disturbance.

Publikationer

Publicerade vetenskapliga artiklar

H. Hellgren, O. Gustafsson, P. Bergman, Improved measurement method for heat pumps noise, 12th IEA Heat Pump Conference 2017 Rotterdam

Publicerade populärvetenskapliga artiklar

Ola Gustafsson, Metodutveckling – Utvärdering av buller från värmepumpar, Kyla+ Januari 2016

P18 Smarta kontrollstrategier för värmepumpsystem

Projektledare, Hatf Madani - Projektutförare, Davide Rolando - Institution, KTH energiteknik

Sammanfattning

Abstract

Heat pump industry development has reached a mature state over the last 20 years and the research and development efforts for further performance improvement of unit components such as compressors or heat exchangers is becoming less and less sustainable. On the other hand, the computational power of electronic device has been increasing together with storage and connection capability. For these reasons, a growing interest has been dedicated to the possibility to introduce advanced features in the heat pump system controllers in order to improve the overall system performance by enhancing the control logic algorithms.

In the EffSys project P18 “Smart Control Strategies for Heat Pump Systems”, research has been dedicated to the overall performance improvement of a heat pump system, with particular focus on single family house applications. Additional inputs have been considered in order to develop control strategies that allow a decrease of the energy consumption while maintaining the thermal comfort conditions. The work carried out in the first part of the project consisted in an improvement potential analysis considering weather data, user behavior and building characteristics. The results have been presented at the 13th IEA Conference in Rotterdam (Rolando et al. 2016) and in a Master Thesis work (Braidà and Tomasetig, 2016). Since the results showed a good energy saving potential by considering the exploitation of the weather instantaneous and forecasted, further work has been dedicated to the analysis of the weather data and forecast from five different weather services over 8 different Swedish cities. An uncertainty analysis based on actual data has been carried out. Moreover, a model for the indirect measurement of the solar radiation has been developed and tested. As a result, the solar energy gain can potentially be taken into account to maximize the energy saving maintaining the indoor thermal comfort. Worth noticing, the developed method can be employed in large part of current installations without the need of installing additional measurement devices. The results of this work will be published in April 2018 in a Master Thesis (Monteggia, 2018) and are being organized for a journal publication.

A database containing the measurement data from thousands of heat pump installations has been analyzed to describe the potential and limitation of the common system monitoring set up. A large part of the single family house heat pump systems is monitored without allowing a complete evaluation of the system performance, typically for the lack of energy meters on the source or sink side. The evaluation of the control performance is anyway possible in many cases and a Master Thesis is being developed on this topic (Rampinelli, 2018).

A practical issue related to the installation of a heat pump unit is the selection of a proper heating curve that is commonly used by traditional controllers. The proper heating curve function depends, among others, on the building and the heating distribution characteristics. The selection of a wrong heating curve leads the system to operate in not optimal conditions with resulting inefficiencies and thermal non-comfort conditions. A numerical algorithm for the automatic adjustment of the heating curve function has been developed in a Master Thesis (Andricciola, 2018) and the results are intended to be included journal publication. A field installation sited in Åkersberga (Stockholm) has been instrumented and monitored over several months in 2017 and 2018. The installation consists in

a propane ground source heat pump with desuperheater that has been installed retrofitting a previous heating system based on a wooden boiler.

One of the main points of interest of this installation is the minimal control logic implementation. The system layout is based on a relatively large buffer tank that is used for the space heating and the preheating of the Domestic Hot Water (DHW). A second tank is dedicated to the DHW. The control is merely based on a single and fixed set point temperature on the return to the heat pump condenser. The heat pump unit and the system have been completely modelled using IMST-ART and TRNSYS and the modelling and validation results have been included in a Master Thesis (Mengod, 2018). The Domestic Hot Water (DHW) production represent an important share of a building overall energy consumption. The Swedish legislation for the prevention of Legionella proliferation requires that the water temperature in a storage tank must be higher than 60°C. For this reason, the possibilities to modify the set point temperature in the tank in order to optimize the energy consumption for DHW production are quite limited. Despite this, the use of auxiliary heater can be reduced when the DHW request can be handled with lower priority with no negative effect on thermal comfort. Adaptive control logics are being developed for this purpose.

A side activity of the project consisted in the investigation on the possibility to employ Hardware-in-the-loop (HIL) approach to develop a tool for testing new control strategies in a simulated environment. A basic implementation has been developed and tested.

Publikationer

Andricciola A. MSc Thesis 2018

“Development of a numerical algorithm for the adjustment of the building heating curve” Supervisors: Davide Rolando (KTH), Luca Molinaroli (Polytechnic University of Milan); Co-supervisor: Hatef Madani (KTH).

Braida, G. and Tomasetig, R.: “Preliminary analysis of the potential energy saving achievable with a predictive control strategy in a Heat Pump System for a single-family house”. Supervisors: Hatef Madani (KTH, Energy Technology), Luca Molinaroli (Polytechnic University of Milan); Co-supervisor: Davide Rolando (KTH)

Kyla och Värme, September 2016 “Smarta kontrollstrategier för värmepumpsystem”.

Mengod Bautista F. MSc Thesis 2018. Not yet published. “Modelling and monitoring of a brine-to-water propane heat pump: performance analysis and system control improvements”. Supervisors: José Miguel Corberan (UPV Universidad Politecnica de Valencia), Davide Rolando (KTH); Examiner: Hatef Madani (KTH)

Monteggia M. MSc Thesis 2018. Not yet published. “Weather data for heat pump system control improvement: analysis of instantaneous and forecasted measurements and evaluation of potential energy savings” Supervisors: Davide Rolando (KTH), Luca Molinaroli (Polytechnic University of Milan); Co-supervisor: Hatef Madani (KTH).

Rampinelli M. 2018. Not yet published. (preliminary title) “Analysis of heat pump system measurement data from Swedish single family house applications” Supervisors: Davide Rolando (KTH), Luca Molinaroli (Polytechnic University of Milan); Co-supervisor: Hatef Madani (KTH).

RolandoD., H. Madani, G. Braidà, R. Tomasetig, Z. Mohammadi. "Heat pump system control: the potential improvement based on perfect prediction of weather forecast and user occupancy". 12th IEA International Energy Agency Heat Pump Conference, Rotterdam, 2017.

P19 Djupa borrhålsvärmväxlare för bergvärmepumpar

Projektledare, José Acuna - Projektutförare, Willem Mazzotti- Institution, KTH energiteknik

Sammanfattning

För- och nackdelar med djupa borrhålsvärmväxlare (BHEs) för bergvärmepumpar har undersökts i projektet med fokus på energi och ekonomi. Denna undersökning startades med anledning av en marknadstrend som visade en ökning i både antal djupa borrhål (>300 m) och det maximala djupet som nåddes (upp till 800 m), dock var lönsamheten med denna typ av system inte fastställd.

De specifika målen med projektet var att:

1. identifiera affärsmöjligheter för lokal värmeproduktion från djupa borrhålsvärmväxlare;
2. beräkna och analysera hur KTHs nya värmepumpsanläggning skulle fungera minst 5% effektivare med hjälp av ett antal koaxialkolektorer inom rimliga temperaturnivåer;
3. skriva en rekommendationsguide för design av borrhålsystem med djupa borrhål och med koaxialkolektorer;
4. examinera cirka 5st studenter på civilingenjörs- och kandidat-nivå inom projektramen;
5. mäta, dokumentera och utvärdera prestandan hos 3st djupa borrhålsvärmväxlare;
6. öka den allmänt tillgängliga kunskapsmängden avseende faktisk drift i svenska bergvärmesystem med ca 10%;
7. bidra till kunskapsspridning och utökning av kompetensen inom bergvärmeteknik, både akademiskt genom kurser/labmodeller och på näringslivsnivå genom seminarier;
8. kvantifiera termisk påverkan mellan grannfastigheter med grunda och djupa borrhålsystem;
9. bygga en laboriemodell av borrhålslager (BTES) för grunda och djupa borrhål.

Nedanstående listan beskriver hur dessa mål har uppfyllts och vilka andra aktiviteter har vidtagits inom projektramen.

1. En teknoekonomisk analys valdes som verktyg för att utvärdera affärsmöjligheterna hos djupa borrhålsvärmväxlare. Information om borrhåls-/investeringskostnad för medium till djupa borrhål samlades in genom en enkätundersökning som skickades ut till svenska borrhålsföretag (ca 25 svarande). Enkäten användes för att skapa en enkel prismodell. Driftskostnaderna kan uppskattas genom befintliga borrhåls värmeöverföringsmodeller och data från övervakade installationer med djupa borrhål. En TRNSYS modell som simulerar en bergvärmepump med djupa borrhål kopplad till fjärrvärme skapades.
2. Historisk energidata från KTH:s värmepumpssystem samlades in för att identifiera de olika energiflödena (Sankey diagram) och bedöma hur koaxialkolektorer skulle kunna anslutas med syftet att minimera energiförluster.
3. Pågående arbete. Rekommendationsguiden ska huvudsakligen bestå av praktiska rekommendationer med hänsyn till koaxialkolektorer.
4. Totalt handleddes 15 studenter på Civ.Ing./kandidat nivå inom projektramen. Det resulterade i publiceringen av fem examensarbete och tre rapporter motsvarande examensarbete. Huvudutfallen från deras arbete är: dimensionering och konstruktion av en Termisk Respons Test (TRT) enhet, dimensionering (se punkt 9) och konstruktion (pågående) av laboriemodellen, sensorinstallation

och övervakning av en anläggning med djupa borrhål, utveckling av en numerisk modell för simulering av djupa (5 km) slutna geotermiska system, utveckling av en modell för uppsökning av optimala flöden i bergvärmepumpssystem med djupa borrhål, utvärdering och prestanda förbättring av KTH:s värmepumpssystem (pågående), simulering av en hög-temperatur BTES kopplad till en avfalldriven CHP anläggning, implementering av en ny konvergens algoritm för TRT, utveckling av en TRNSYS modell som simulerar en bergvärmepump med djupa borrhål kopplad till fjärrvärme, undersökning om mätteknik med fiberoptik, utveckling om en vertikalskalad numerisk modell.

5. Fem olika anläggningar med djupa borrhål har undersökts, tre av vilka i mer detalj. Tre värmeuttag Distribuerade TRT (DTRT) och en värmeförsel DTRT utfördes i ett 800 m djupt borrhål med koaxialkolektor i Asker, Norge. Den hydrauliska kurvan (ΔP vs \dot{V}) mättes också.

Två DTRT genomfördes i Stockholm i ett 510 m djupt borrhål med U-rör. Hela anläggningen (4x510m BHEs) övervakades sedan under ett år (pågående). Positionen av de fyra borrhålen kartlades. Två konsekutiva DTRTs utfördes i ett 336 m djupt borrhål i Uppsala. Det första DTRT genomfördes när hålet var vattenfyllt medan det andra genomfördes efter hålet återfyllets.

Alla DTRT utfördes mha fiberoptik. En ny konvergens algoritm baserad på Newton-Raphson metoden togs fram för utvärdering av testen.

6. Den allmänt tillgängliga kunskapsmängden avseende faktisk drift i svenska bergvärmsystem är knappast mätbar men det anses att projektet har bidragit med en ökning av denna kunskap genom övervakning av anläggningar samt den påbörjade undersökningen om optimala flöden (se nedan).

7. Publicering av populära och vetenskapliga artiklar (se publikationslista), deltagande i nationella och internationella konferenser och seminarier (2016: SKVP dagen, ASHRAE summer meeting, Brunnsborrardagen, IEA Annex 27, KTH GSHP seminar. 2017: Asker Kommune seminar, KTH Energy dialogue, Fiberoptikdagar, Kyltekniska föreningsmöte) har bidragit till kunskapsspridning.

8. Undersökningen om kvantifiering av termisk påverkan mellan grannfastigheter med grunda och djupa borrhålsystem påbörjades men slutfördes inte. Nya värmeöverföringsmodeller behöver utvecklas för att kunna kvantifiera denna påverkan.

9. Downscaling krav till design av laboriemodellen har analytiskt fastställt och verifierats genom numerisk modellering. Dessa krav föreslås som en möjlig förklaring till den uppmärksade skillnaden i den enda befintliga studien där en liknande laboriemodell användes. Den numeriska modellen används för att dimensionera laboriemodellen så att den termiska responsen kan fastställas med låg osäkerhet. Konstruktion av laboriemodellen har påbörjats

Förutom de ovannämnda aktiviteter, har andra uppgifter utförts som en del av projektet. I dessa ingår:

1 undersökning besläktad med mätteknik, kalibrering, och osäkerhet med temperaturmätningar genom fiberoptiska kablar;

2 utveckling av en vertikalskalad numerisk modell som simulerar 3D värmeledning och 1D konvektion i ett U-rör

3 undersökning av optimala flödena i GSHP system med djupa borrhål. Det är speciellt relevant för djupa borrhål pga. termisk kortslutning och tryckfall som kan vara höga då.

4 enkla beräkningar om flytkraft och resulterande belastning på kolektorn.

Projektet var ambitiöst med hänsyn till antal mål. De flesta målen slutförs i skrivande stund. Många dataset skapades under projektet genom test, modeller och enkät. Dessa dataset skulle kunna undersökas ytterligare för att utnyttja dem till fullo. Särskilt kan det vara värt att förbättra den

teknø-ekonomisk analysen genom att inkludera fler parametrar och använda laboratoriemodellen för att framalstra referens termiskrespons faktorer.

Abstract

Advantages and drawbacks of using deep borehole heat exchangers (BHEs) for ground-source heat pump (GSHP) systems have been investigated in this project with a focus on energy and economy issues. This investigation was initiated in response to a market trend showing an increase in both the amount of deep BHEs (>300 m) and the maximum depth reached (up to 800 m), although the cost-effectiveness of such systems still had to be determined.

The specific goals of the project were to:

1. identify the business opportunities related to deep BHEs;
2. calculate and analyze how KTH's new heat pump system could operate at least 5% more efficiently using some coaxial BHEs within reasonable temperature limits;
3. write a recommendation guide for designing deep BHEs with coaxial collectors;
4. supervise about 5 master/bachelor students;
5. measure, document and evaluate the performance of 3 deep BHEs;
6. increase the amount of universally-available knowledge on actual operation of Swedish GSHP systems by about 10%;
7. contribute to the dissemination of knowledge and the competence increase in the field of GSHP, both academically through courses/labs and in the industry through seminars;
8. quantify the thermal influence between neighboring systems with shallow and deep boreholes;
9. build a laboratory-scale borehole thermal storage (BTES).

The following list describes how these objectives have been addressed and what other relevant activities have been undertaken within the project framework.

1. A techno-economic is chosen as the tool to assess the opportunities with deep BHEs. Information on the drilling/investment costs for medium to deep boreholes has been gathered through a survey submitted to Swedish drilling companies (about 25 responses). The survey is used to create a simple price model. The operating costs can be estimated from existing borehole heat transfer models and data from one monitored installation with deep BHEs. A TRNSYS model simulating a GSHP with deep BHEs coupled to a district heating substation was created.
2. On-going work. Historical energy data from KTH heat pump has been gathered in order to identify the different energy flows in the system (Sankey chart) and assess how should coaxial BHEs be connected in order to minimize energy losses.
3. On-going work. The recommendation guide will mainly consist in practical recommendations with regards to coaxial BHEs.
4. A total of 15 master/bachelor students have been directly or indirectly supervised within the framework of this project. This has resulted in the publication of 5 master theses and 3 master-theses-equivalent reports. The main outcomes of their work are: the design and construction of a Thermal Response Test (TRT) unit, the design (see point 9) and construction (on-going) of the lab-scale BTES, the instrumentation and monitoring of an installation with deep BHEs, the development of a numerical model for simulations of deep (5 km) close-loop geothermal systems, the development of a model to find optimum flow rates in a GSHP system, the evaluation and efficiency improvement of KTH heat pump system (on-going), simulation of a high-temperature BTES coupled

to a waste-driven CHP plant, the implementation of a new convergence method for TRTs, the development of a TRNSYS model simulating a GSHP with deep BHEs coupled to a district heating substation, investigation related to the measurement technique with optical fibers, the development of a depth-scaled numerical model.

5. Five different installations with deep BHEs have been investigated, 3 of which more in details. 3 cooling Distributed Thermal Response Tests (DTRTs) and 1 heating DTRT were performed in an 800 m BHE with coaxial collector, in Akser, Norway. The hydraulic borehole curve (ΔP vs \dot{V}) was also measured experimentally. 2 DTRTs were performed in Stockholm in a 510 m BHE with U-pipe collector. The whole GSHP system (4x510m BHEs) has been later instrumented and monitored over one year (on-going). The position of the 4 boreholes has been mapped through directional measurement. 2 consecutive DTRTs were performed in a 336 m deep BHE in Uppsala. The 1st DTRT was performed when the BHE was water-filled while the 2nd one was performed after the BHE had been grouted. All DTRTs were performed using fiber optic cables. A new converging algorithm based on the Newton-Raphson method for multiple variables was developed to fasten the analysis of TRTs and DTRTs.

6. The amount of universally-available knowledge on actual operation of Swedish GSHP systems is hardly quantifiable but it is considered that the project has contributed with increasing this knowledge through the monitoring and tests of installations, as well as the started investigation about optimal flow rates (see below).

7. The publication of popular and scientific article (see publication list), participation in national and international conferences and seminars (2016: SKVP dagen, ASHRAE summer meeting, Brunnsborrhordagen, IEA Annex 27, KTH GSHP seminar. 2017: Asker Kommune seminar, KTH Energy dialogue, Fiberoptikdagar, Kyltekniska föreningsmöte) have contributed to the dissemination of knowledge

8. The investigation about the quantification of thermal influences between neighboring has been initiated but not completed. New heat transfer models may need to be developed in order to quantify this influence.

9. Downscaling requirements for the design of the lab-scale BTES have been determined analytically and verified through numerical modelling. Those requirements are proposed as a possible explanation for the observed discrepancy in the sole existing study using a similar lab-scale test rig. The numerical model is used to size the lab-scale BTES so that experimental thermal response factors are determined with a low uncertainty. The construction of the lab-scale BTES has been initiated and is on-going at the time of writing. The lab-scale BTES is also planned to be used for educational purposes.

Besides the above-mentioned activities related to the project objectives, some other tasks have been performed as part of the project. Those notably include:

- 1 investigations related to measurement technique, calibration and uncertainties of temperature measurement with optical fiber;
- 2 development of a depth-downscaled 3D numerical heat conduction model with 1D modelling of the fluid convection in a U-pipe;
- 3 investigations as regards optimum flow rates in GSHP systems with deep BHEs. This is especially relevant for deep boreholes as thermal shunt and pressure drop may be large then;
- 4 simple calculations about buoyancy forces and the resulting stress on the borehole collector.

This project was ambitious in terms of the amount of set objectives. Most of the project objectives are under completion at the time of writing. Many data sets have been generated during this project, through experimentations, models and surveys, and those data sets could be additionally investigated to unleash their full potential. In particular, it may be worth to improve the techno-economic analysis by including more parameters and use the lab-scale BTES to generate reference thermal response factors.

Publikationer

Vetenskapliga artiklar / Scientific articles

Ignatowicz, M., Acuña, J., Mazzotti, W., Melinder, A., & Palm, B. (2016). Methods of BHE flushing, charging and purging in Sweden. In European Geothermal Congress 2016 Strasbourg, 19-23 September 2016.

Ignatowicz, M., Mazzotti, W., Acuña, J., Melinder, Å., & Palm, B. (2016). Alternative alcohol blends as secondary fluids for ground source heat pumps. In Proceedings. Edinburgh, United Kingdom: IIR/IIF. <https://doi.org/10.18462/iir.gl.2016.1098>

Ignatowicz, M., Mazzotti, W., Melinder, A., & Palm, B. (2017). Different ethyl alcohol secondary fluids used for GSHP in Europe. In 12th IEA Heat Pump Conference, Rotterdam, 2017.

Malmberg, M., Mazzotti, W., Acuña, J., Lazzarotto, A., Lindståhl, H. (2018). High temperature borehole thermal energy storage – A case study. Submitted to: IGSHPA Research Track, Stockholm September 18-20, 2018.

Mazzotti, W., Firmansyah, H., Acuña, J., Stokuca, M., Palm, B. (2018). A Newton-Raphson algorithm for Thermal Response Tests. Submitted to: IGSHPA Research Track, Stockholm September 18-20, 2018.

Mazzotti, W., Jiang, Y., Monzó, P., Lazzarotto, A., Acuña, J., Palm, B. (2018). Design of a Laboratory Borehole Storage model. Submitted to: IGSHPA Research Track, Stockholm September 18-20, 2018.

Populär artiklar / Popular articles

Interview in Avantisystem's yealy newsletter.

Forskning om djupare borrhål för bergvärmepumpar (Kyla +, 2016).

Norsk-svenskt samarbete: preliminär utvärdering av 800 m djupa borrhål för bergvärmepumpar (Submitted to: Kyla & Värme, 2017)

P20 Korttidslagring av energi med fasändringmaterial för effektiv integrering med värme- och kylsystem i byggnader

Projektledare, Samer Sawalha - Projektutförare, Tianhao Xu- Institution, KTH energiteknik

Sammanfattning

Abstract

PCM (Phase-Changing Materials)-TES (Thermal Energy Storage) could replace sensible heat storage solutions when it is actively connected to building energy systems. Such unit utilizes the phase change of a substance to store and release energy in a certain temperature range, resulting in 5-15 times larger storage density than with the commonly used sensible heat storage. This makes it possible to design a compact system that fits in the limited space available in buildings but with much greater storage capacity, thereby allowing for an increased use of renewable energy and waste heat, when heating existing buildings in the EU.

The general aim of this project is to experimentally and theoretically investigate the integration of PCM thermal storage units into energy systems for heating and cooling in buildings. The investigation has been conducted in the following aspects: the experimental characterization of a PCM-TES unit in large-scales and simulation on the systematic performance of residential space heating systems integrating such units in terms of the potential savings.

The objectives of the experimental characterization are firstly to develop a storage tank which can firmly contain large amounts of PCM and it can provide a good environment for the heat transfer between the PCM and heat transfer fluids (HTF) when the thermal energy is stored or recovered in the tank. The hydraulic systems are capable of stably supplying the HTF to the PCM-TES tank at desired temperature (from -10 oC to 90 oC) and volumetric flow rates (from 0,5 m³/h to 4,0 m³/h). The experimental results show the effects of the supply temperature and the volumetric flow rate of the HTF to the performance of charging and discharging the PCM-TES tank. Such results are presented in the following parameter: the total charging/discharging time, the temperature evolution of the PCM, the storage/retrieving thermal power and capacity. In general, increasing the temperature difference between the HTF and the phase-changing temperature of the PCM, as well as increasing the volumetric flow rate of the HTF, has the positive effects on accelerating the charging/discharging processes.

Another objective of the project is to investigate the coupling of the developed PCM-TES unit with space heating systems in residential buildings when the load shifting is achieved from non-peak to peak hours through such unit. The space heating system integrates a variable-capacity air-source heat pump (ASHP) and a PCM-TES unit as the heat source. The model output illustrates how a PCM-TES unit can contribute to the load shifting in an electricity tariff-oriented operational strategy based on the experimentally validated performance map of the storage unit and the heat pump. Additionally, the potential savings in electricity bills are calculated by the model.

Publikationer

T. Xu, S. Sawalha, 2018. Space Heating Systems Integrating Heat Pumps and PCM Thermal Energy Storage Units in Swedish Single-family Houses: A Case Study 6th International Conference on Cryogenics and Refrigeration (ICCR 2018)

Kyla+, Korttidslagring av energi med fasändringmaterial för effektiv integrering med värme- och kylsystem i byggnader-Effsys Expand projekt på KTH, 2016

P21 Bergvärmepumpar för svenska flerfamiljshus: Innovativa strategier för samproduktion och värmelagring

Projektledare, Hatef Madani - Projektutförare, Nelson Summerfeldt - Institution, KTH energiteknik

Sammanfattning

Över 80% av svenska flerfamiljshus är anslutna till fjärrvärmenät. Ett ökat intresse för förnybar energi och Boverkets nya regler kring nära-nollenergihus innebär däremot att värmepumpar kan komma att spela en större roll i Svenska energisystemet. Bergvärmepumpar är vanliga i Sverige tack vare den höga effektiviteten som kan uppnås under uppvärmningssäsongen, men flerfamiljshus byggs ofta i tätbefolkade områden som ofta har brist på utrymme till borrhål. Integrering av solenergi tillsammans med en bergvärmepump skulle kunna tillföra nog med tilläggsenergi att samma prestanda kan uppnås trots sämre borrhålsförutsättningar. Detta möjliggör även viss säsongslagring av solenergi, som är en betydande möjlighet för nordiska länder som söker höja andelen solenergi byggnader.

Solvärmepumpsforskningen har för det mesta riktat in sig på solfångare. Däremot har nu solceller blivit populära på Europeiska samt Svenska marknader och det finns ett ökat intresse för att sammankoppla solceller med värmepumpar. Det finns också en solenergiteknik med högre effektivitet som skulle kunna vara ett bra komplement till bergvärme – kombinationen av solceller och solfångare till en kollektor, en så kallad PVT-lösning.

Målet för projektet är att identifiera möjligheter till systemintegration och kvantifiera tekniska- och ekonomiska prestationsvärden för solenergilösningar kopplade till bergvärmesystem för svenska flerfamiljshus. I projektet ingår flera teoretiska och praktiska aktiviteter. Först undersöks systemintegrationstekniker och potentiella kandidater väljs ut. Nyckeltal identifieras på flera systemgränsnivåer som mäter teknisk och ekonomisk prestanda för komponenter och systemet som helhet, på ett sätt som är relevant för fastighetsägaren och samhället. TRNSYS17 används till att modellera systemen som verifieras mot mätdata från liknande befintliga bergvärmesystem. Parametriska simuleringar används för att kvantifiera potentiella systemprestationer med hänsyn till byggnadstyp, borrhålsmått, och systemstyrning. Slutligen designas ett prototypsystem som sedan byggs och utrustas med mätningssensorer för att kunna jämföra faktisk prestanda med teoretiska modeller.

Förstudieresultat tyder på att det seriekopplade PVT systemet erfordrar högst balans mellan praktisk integreringspotential och prestanda. Simuleringsresultat tyder på att för en given borrhålskonfiguration kommer jordtemperaturen öka med ett PVT system, vilket leder till bättre prestanda. Ökningen räcker dock inte till för att motivera den ökade kostnaden för PVT-lösningen kontra solceller. Systemgränsen är viktig vid bedömningen av den totala prestandan för solcellsintegrerade system på grund av elens inneboende flexibilitet, som kan användas till mer än bara värmepumpen. Husägare/fastighetsägare som vill se över energianvändningen på högsta systemgränsnivån finner att bergvärmesystem kopplade till solceller ger störst möjlighet att öka andelen förnybar energi i byggnader på ett sätt som är lönsamt. Projektresultaten kan komma till nytta för husägare/fastighetsägare och ingenjörer som ska designa mer hållbara och kostnadseffektiva boenden.

Abstract

Over 80% of Swedish multi-family houses are connected to district heating but increased interest in renewable energy and the upcoming building regulations towards net-zero energy mean heat pumps could have an increasing role. Ground source heat pumps (GSHP) are popular in Sweden for their superior efficiency during peak heating seasons, however multi-family houses are often built in densely populated areas with limited space for boreholes. Integrating solar collectors into GSHP could provide the additional heat needed to build GSHP systems with undersized borehole lengths or spacing. The integration with boreholes also makes it possible to store solar energy seasonally, a critical challenge for northern European countries seeking high solar energy fractions in buildings.

Historically, solar heat pump research has been focused on solar thermal (ST) collectors. More recently, solar photovoltaic (PV) installations have become more popular in the European and Swedish marketplaces, leading to a growing interest in PV heat pumps. There is also a less-utilized solar technology with higher efficiencies that could be a good complement to GSHP; the combination of PV and ST into a single collector, known as PV-thermal or PVT.

The objective of this project is to identify systems integration opportunities and quantify the technical and economic performance of solar PVT+GSHP systems for Swedish multi-family houses. This is accomplished via several theoretical and practical activities. First, system integration techniques are reviewed and potential candidates identified. Key performance indicators are defined at multiple boundary levels that can describe component and system techno-economic performance in ways that are beneficial to the building owner and society. TRNSYS17 is used to construct complete system models that are verified against measured data of existing GSHP systems. Parametric simulations are used to quantify potential systems performance considering various building types, borehole field geometries, and system controls. Finally, a prototype system is designed and constructed with extensive monitoring equipment to compare real-world performance against the models.

Pre-study results identify the series-connected PVT system as the ideal balance between integration practicality and performance. The simulation results show that for a given borehole field geometry, the ground temperature is increased by the PVT system leading to higher seasonal performance factors, however the gains are not enough to justify the extra cost of PVT over PV. In describing the performance, the system boundaries are found to play a significant role with PV modules due to the inherent flexibility of electricity, which can be used for other loads in the building and not just the heat pump. For a building owner considering energy needs at the highest boundary level, not just the heat pump system, PV only systems provide a greater opportunity for increasing renewable energy fractions with positive economic returns. The results of this project can be used by building owners and engineers towards the design of cost effective housing with increased sustainability.

Publikationer

Sommerfeldt N, Madani H, Palm B. Innovativ strategier för elproduktion och värmelagring för svenska flerfamiljshus. Kyla och Värmepumpar 2016, Nr2, 42-45

Sommerfeldt N, Madani H. Review of solar PV/thermal plus ground source heat pump systems for European multi-family houses. Conference Proceedings of ISES Eurosun 2016, Palma de Mallorca, Spain, October 11-14, 2016. doi:10.18086/eurosun.2016.08.15

Sommerfeldt N, Madani H. Integrating solar PVT collectors with GSHP in multi-family houses. 12th IEA Heat Pump Conference Workshop, Rotterdam, May 15-18, 2018. <http://hpc2017.org/workshop-combination-heat-pumps-solar-energy/>

Sommerfeldt N, Ollas P. Reverse engineering prototype solar PV/thermal collector properties from empirical data for use in TRNSYS Type 560. Conference Proceedings of ISES Solar World Congress 2017, Abu Dhabi, October 29 – November 2, 2017

Poppi S, Sommerfeldt N, Bales C, Madani H, Lundqvist P. Techno-economic review of solar heat pump systems for residential heating applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2018; 81: 22-32. doi:10.1015/j.jrser.2017.07.041

SUBMISSIONS AND WORK IN PROGRESS

Sommerfeldt N, Madani H. A techno-economic comparison between PV and PVT integrated ground source heat pumps for multi-family houses, submitted to the conference ISES Eurosun 2018

Sommerfeldt N, Madani H. The impact of boundary levels on solar heat pump performance, to be submitted to the journal Energy and Buildings, summer 2018

Sommerfeldt N, Madani H. A parametric study of PV/thermal plus ground source heat pump systems for multi-family houses in northern climates, to be submitted to the journal Solar Energy, summer 2018

Razzetti E. (2018) Potential for seasonal electricity storage in borehole thermal energy stores with heat pumps. KTH Msc Thesis, to be completed June 2018

Andersson M. (2018) PV versus ST – which is the best solar resource for heat pumps? KTH Msc Thesis, KTH, to be completed June 2018

P22 Värme och kyla från akviferlager: en inblick i framtiden

Sammanfattning

Abstract

Publikationer

P23 Värmepumpar i fjärrvärmesystem

Projektledare, Markus Lindahl - Projektutförare, Jessica Benson, Tommy Walfridson - Institution, RISE

Sammanfattning

Värmepumpar i fjärrvärmesystem är ett nationellt forskningsprojekt inom Effsys Expand. Projektet leds av RISE och genomförs tillsammans med fem projektpartners; värmepumpstillverkarna Nibe, Bosch Thermoteknik och Danfoss Värmepumpar, fjärrvärmeleverantören Borås Energi och Miljö samt tillverkningsföretaget Volvo Cars. Syftet med projektet är att visa på fler möjligheter att integrera värmepumpar i fjärrvärmesystem. I tre fristående delprojekt undersöks olika möjligheter att kombinera värmepumpar och fjärrvärme.

Ett delprojekt har tittat närmare på hybridvärmepumpar som har möjlighet att variera uppvärmning av rumsvärme och tappvarmvatten mellan värmepump och fjärrvärme. Projektet har tagit fram en algoritm som beräknar när det är billigast att använda värmepump respektive fjärrvärme beroende på aktuella driftsbetingelser och energipriser samt välja det energislag med lägst timkostnad.

Algoritmen har testats i en fallstudie baserat på ett flerbostadshus i Linköping med både fjärrvärme och frånluftsvärmepump installerad och livscykelkostnaderna har beräknats. Studien visar att med de priser som gällde i Linköping på el och fjärrvärme 2015 så kommer algoritmen i huvudsak välja värmepumpsdrift under vinterhalvåret medan fjärrvärme dominerar på sommaren. Livscykelkostnaderna har beräknats med nuvärdesmetoden och resultatet visar att med ett krav på en återbetalningstid på fem år kan hybridvärmepumpens investering vara 50 000 kr dyrare än för en traditionell värmepump och ändå ha samma återbetalningstid (internränta 6%). Tillåter man en återbetalningstid på 10 år kan investeringen vara 70 000 kr dyrare.

Nästa delprojekt har studerat värmning av tappvarmvatten i kombination med lågtempererad fjärrvärme. Temperaturen på fjärrvärmereturen alternativt lågtemperaturfjärrvärme är i allmänhet tillräckligt hög för rumsuppvärmning. Problemet är att temperaturen på fjärrvärmen är för låg för att producera tappvarmvatten. Ett sätt att lösa tappvarmvattenproduktionen är med hjälp av en värmepump som använder sig av den lågtempererade fjärrvärmen som värmekälla och höjer upp temperaturen till rätt nivå på tappvarmvattnet.

Projektet har tittat närmare på hur en sådan värmepumpslösning kan se ut och vilken systemlösning som är lämplig. Värmepumpar för enskilda lägenheter eller villor kräver tank för tappvarmvatten, direktvärmning av varmvatten utan tank kräver för högt effektuttag från värmepumpen.

Projektet visar också att för flerbostadshus är en centralt placerad värmepump att föredra, även om det ger större värmeförluster från varmvattencirkulationen, jämfört med små värmepumpar för varje lägenhet. Större centrala värmepumpar går utföra direktvärmande, men kräver snabb reglering för att fungera.

Det tredje delprojektet fokuserar på värmepumpar i kombination med fjärrvärme i tillverkningsindustrin. Två värmepumpar på Volvo Cars i Torslanda har utvärderats i projektet. De använder värme från kylvattnet från anläggningens kyltorn som värmekälla och har en storlek på 2,5 MW. Värmepumparna används idag i kombination med fjärrvärme och driften styrs delvis av priset på el och fjärrvärme. Samtidigt kräver systemet så höga framledningstemperatur att värmepumpen

inte kan leverera rätt temperatur vintertid, utan fjärrvärmespets krävs för att få tillräckligt hög framledningstemperatur. Tack vare att det varma kylvattnet på ca 25°C kan användas som värmekälla kan värmepumpens COP hållas förhållandevis konstant över året och värmepumpens medel-COP har mätts upp till 5,2. En slutsats från projektet är att värmepumpens placering inte är optimal. Den är idag placerad i serie med fjärrvärmecentralen men en parallellkoppling hade varit att föredra.

Abstract

Heat pumps in District Heating Systems is a national research project within Effsys Expand. The project is led by RISE and conducted together with five project partners; the heat pump manufacturers Nibe, Bosch Thermoteknik and Danfoss Värmepumpar, the district heating supplier Borås Energy and Environment and the manufacturing company Volvo Cars. The aim of the project is to investigate heat pumps integrated in district heating systems. In three independent sub-projects, new possibilities are being explored for combining heat pumps and district heating.

One of the sub-projects has studied hybrid heat pumps that have the possibility to vary the heat production between a heat pump and district heating. The project has developed an algorithm that calculates the cost related to the choice of heat pump or district heating, depending on current operating conditions and energy prices, as well as selecting the energy production with the lowest hourly cost.

The algorithm has been tested in a case study based on a multi-family house in Linköping with both district heating and an exhaust air heat pump installed and the life cycle costs have been calculated. The study shows that with the energy prices in Linköping in 2015, the algorithm will mainly choose heat pump operation during the winter months, while district heating dominates in the summer. Life cycle costs have been calculated using the net present value method and the result shows that with payback time of five years, the investment of the hybrid heat pump can be 50,000 SEK higher compared to the traditional heat pump and still have the same payback time (internal rate 6%). With a payback time of 10 years, the investment can be 70,000 SEK higher.

The next sub-project has studied heating of domestic hot water (DHW) in combination with low-temperature district heating. The temperature of the return flow of district heating or low-temperature district heating is generally high enough for space heating but too low for DHW-production. The hot water production can be solved by using a heat pump with low-temperature district heating as a heat source.

The project has looked into how such a heat pump solution should be designed. Heat pumps for individual apartments or villas require a tank for DHW, direct heating of DHW without a tank requires too high power output from the heat pump. The project also shows that, for multi-family houses, a centrally placed heat pump is preferable, although it leads to larger heat losses from the DHW circulation, compared to small heat pumps for each apartment. Larger centrally placed heat pumps can be used for direct heating without any tank, but it requires a quick regulation to work.

The third sub-project focuses on heat pumps in combination with district heating in the manufacturing industry. Two heat pumps at Volvo Cars in Torslanda has been evaluated. It uses cooling water from the plant's cooling towers as a heat source and has a heating capacity of 2.5 MW.

The heat pumps are today used in combination with district heating and the operation is partly controlled by the electricity and district heating prices.

The heating system requires a high supply temperature and the heat pump cannot provide the correct temperature during winter, thereby district heating is required to obtain a sufficiently high supply temperature. Due to the use of warm cooling water (approximately 25°C) as a heat source, the heat pump's COP can be kept relatively constant throughout the year and the average COP has been measured to 5.2. One conclusion is that the heat pump location is not optimal today. It is placed in series with the district heating substation, but a parallel connection would have been preferable.

Publikationer

Projektets vetenskapliga publikationer

Lindahl M, Gustafsson O, Markusson C, Haglund Stignor C, 2017, Hybrid Heat Pumps in Combination with District Heating, 12th IEA Heat Pump Conference, 2017

Projektets populärvetenskapliga publikationer

Lindahl Markus, 2017, Värmepumpar i fjärrvärmesystem, Kyla & Värme, 2017 nr 1, sid 44 – 45

Ytterligare en populärvetenskaplig artikel är planerad men ännu inte publicerad. Preliminärt i IEA HPT newsletter, Issue 2, 2018

P24 Teknikbärare - Bästa teknologi för miljövänlig bergvärmepump

Projektledare, Klas Andersson - Projektutförare, Klas Andersson, Företag Klas Andersson
Engineering

Sammanfattning

Projektet har utvecklat ett system för en miljövänlig bergvärmepump för enfamiljshus, kännetecknad av rent vatten som köldbärare och det naturliga köldmediet propan som köldmedium.

Målet var att bygga ett system som verkar under realistiska förhållanden, med mindre än 150 gram propan, 5 kW uppvärmningskapacitet, rimlig effektivitet och utan att frysa köldbärarvattnet. Med mindre än 150 gram propan betraktas risken för brand som låg enligt gällande standarder.

Bergvärmekollektorn är av, koaxial typ, med ungefär hälften av värmemotsåndet jämfört med en standard U-kollektor. Det medför högre effektivitet för värmepumpen.

Förångaren och kondensorn är plattvärmväxlare med liten kanalhöjd på köldmediesidan och något större på vattensidan. De utvecklades och tillverkades specifikt för detta projekt med en ny typ av pressmönster, inklusive en speciell liten volym för underkylning av köldmediet i slutet av kondensorn.

En scrollkompressor med likströmsmotor för luftkonditionering i elfordon användes, kännetecknad av små inre volymer, liten oljemängd och stort kapacitetsområde (900-9000 rpm).

Systemet inkluderar också en specialbyggd saggasvärmväxlare med minikanaler. Olika expansionsanordningar testades och systemet fungerade väl med vanlig termostatisk expansionsventil.

I rapporten presenteras provresultat för värmekapacitet i området 2-10 kW. Systemet fungerade med goda prestanda i detta intervall med en total fyllnadsmängd av 100 gram propan. Kompressoroljan, av PAG-typ, orsakade vissa problem, särskilt i förångaren.

Erforderlig fyllnadsmängd bestäms vid lägsta kapacitet, vid låg kompressorhastighet och högt förångartryck. En lägre fyllnadsmängd är fördelaktig vid högre kapacitet.

Abstract

The project have developed technology for an environmental friendly ground source heat pump for a single family home, characterized by pure water as coolant and propane as refrigerant. The objective was to build a test system, operating under realistic conditions, using less than 150 gram propane, providing 5 kW heating capacity with reasonable efficiency and without freezing the coolant water.

The borehole heat exchanger was of coaxial type, providing about half the thermal resistance compared to a standard U-collector.

The evaporator and condenser where asymmetrical plate heat exchangers with small channel height on the refrigerant side. They were developed and manufactured exclusively for this project with a

new type of press pattern, including a special, small volume sub cooling section at the end of the condenser.

A DC-motor scroll compressor for AC in electric vehicles was used, characterized by small internal volumes, small oil charge and wide capacity range (800-9000rpm). The system also included a specially built mini channel liquid/suction line heat exchanger. The expansion device was of standard thermostatic type in parallel with a manual metering valve.

The report presents test results for a heating capacity range of 2-10 kW.

The system managed to operate with acceptable efficiency in this range with a charge of 100 gram propane.

The lubricant oil, of PAG type, caused some problems, especially in the evaporator.

The charge that is required is determined at the lowest capacities, at low compressor speed and high evaporating pressures. A lower charge is beneficial at higher capacities.

Publikationer

Conference proceedings papers

Andersson, K., Granryd, E. & Palm, B. 2018. Water to Water Heat Pump with Minimum Charge of Propane, 13th IIR Gustav Lorentzen Conference on Natural Refrigerants

Projects popular science publications and presentations

Article in the magazine Kyla & Värmepumpar 2016

Article in the magazine Kyla & Värmepumpar 2017

Presentation at the EffsysExpand research meeting in Tranås 2016

Presentation at the Swedish Refrigeration and Heat Pump association annual conference in Gothenburg 2016

Presentation at the Swedish Refrigeration and Heat Pump association annual conference in Stockholm 2017

Medlemmar i rådet för Effsys Expand

Signhild Gehlin	Ordförande
Martin Forsén	Vice ordförande
Per Jonasson	
Eric Granryd	
Kjell Gustavsson	
Peter Rohlin	
Per-Erik Jansson	
Bahram Moshfegh	
Axel Knutsson	
Trygve M. Eikevik	
Emina Pasic	Energimyndigheten
Pontus Cerin	Energimyndigheten
Viktor Ölén	Sekreterare