

Absorptionskyla driven med lågtemperaturkälla

Slutrapport för projekt D1 inom Klimat 21

Fredrik Setterwall
Avdelningen för teknisk strömningslära
Institutionen för kemiteknik
Kungliga Tekniska Högskolan

Sammanfattning

Projekt D 1 inom Klimat 21 "Absorptionskyla driven med lågtemperaturrenergi" har syftat till att ta fram en kylmaskin vars drivenergi har en temperatur på 70 °C eller mer. Maskinen skall ha en effektivitet (COP) och kostnader som är jämförbara med alternativa metoder att tillfredsställa kundens kylbehov.

Inom projektet har en kylmaskin med en kyleffekt på 1,2 MW leverats till Göteborgs Energi AB. Maskinen leverar kyla till Akademiska Hus för komfortkyla inom Chalmers Tekniska Högskola. Drivenergin utgörs av fjärrvärmevatten i allmänhet med en temperatur på 90 °C. Tillverkare av maskinen har varit Berglunds Rostfria AB i Boden.

Maskinen kännetecknas av hög flexibilitet beträffande utformning. Detta medför att maskinen kan anpassas till det fysiska utrymme som finns tillgängligt för uppställning av maskinen. Den skiljer sig från konventionella absorptionskylmaskiner genom

- Lamellvärmväxlare i stället för tubvärmväxlare

- 2-metyl-pentanol i stället för 2-etyl-hexanol som värmetransporthöjande additiv

Den installerade maskinen har en effektivitet, COP, som är lägre än motsvarande alternativa kylmaskiner. Inom projektet har förslag tagits fram för att rätta till detta. Åtgärderna har dock ännu inte genomförts.

Det finns stort utrymme för förbättringar av maskinen för att uppnå lägre kostnader och högre effektivitet.

Abstract

A 1,15 MW absorption chiller has successfully been installed at Chalmers Institute of Technology in Gothenburg. Berglund Rostfria AB, a small company from Boden in the north of Sweden, erected the chiller. The development has been a cooperation between Berglunds Rostfria AB, KTH (Department of chemical engineering and technology), Göteborg Energi AB, Akademiska Hus, Fjärrvärmeföreningen, Elforsk and Tekniska verken Linköping. The main features of the chiller are

- Driven by district heating water of 90 °C

- Lamella instead of tubular heat exchangers in mass transfer operations

- 2-methyl-pentanol instead of 2-ethyl-hexanol has heat transfer additive

- Flexible with regard to geometry

During the project the main problems studied are

- Liquid distribution on the lamellas

- Corrosion of lithiumbromide solutions

- Optimization and design methods

Three generations of chillers have been constructed, 1 kW, 30 kW and 1,15 MW. The aim of the first was to establish design parameters. The second confirmed the parameters and design methods and the third finally serves as a demonstration unit.

Remaining problems are low COP caused by high liquid flow rate between absorber and condenser and bad performance of the pumps. The design of a chiller for down to 70 °C driving energy temperature has not been proven.

Innehållsförteckning

Bakgrund och motiv för projektet	1
Syfte och mål.....	1
Forskare och industrirepresentanter som arbetat i projektet	1
Projektets genomförande.....	2
Resultat.....	2
Ettapp 1.....	2
Korrosion.....	3
Spridning	3
Additiver.....	3
Ettapp 2.....	4
Värmeväxlare	4
Cirkulationspumpar	5
Designvärden ur Klabbe.....	5
Design av ny maskin	6
Ettapp 3.....	6
Industriell relevans	7
Examina.....	7
Publicering	7
Internationell samverkan	8
Slutsatser och diskussion.....	8

Bakgrund och motiv för projektet

Behovet av kyla ökar i samhället. Anledningen till detta är att för att spara energi byggnader är bättre isolerade än tidigare. Samtidigt installeras fler värmeavgivande apparater. Exempel på sådana apparater är datorer och annan elektrisk/elektronisk utrustning.

Inom många kommuner har därför system för fjärrkyla byggts ut. Kylbehovet tillgodoses antingen med frikyla (kallt bottenvatten från Värtan i Stockholm) eller med särskilda kylmaskiner. I de fall när billig energi finns att tillgå från sopförbränning eller från industriell spillvärme kan man med fördel använda sig av absorptionsteknik för att omvandla värme till kyla. Det kan i sådana fall vara lämpligt att leverera kyla distribuerat dvs att kylan produceras vid kunden med hjälp av det system för fjärrvärme som normalt redan finns utbyggt. Det blir i så fall inte nödvändigt att bygga ett särskilt nät för att distribuera kyla inom kommunen. Ett sådant system tillämpas bland annat inom Göteborgs kommun av Göteborg Energi AB.

Några standardmaskiner finns inte på marknaden gjorda för att drivas med de låga temperaturer som fjärrvärme har speciellt sommartid. Göteborgs Energi har därför hittills köpt maskiner avsedda för att drivas med hetvatten eller ånga med en temperatur på över 120 °C. Detta innebär att dessa maskiner har onödigt stor och dyr kondensator, absorbatör och förångare. Anledningen till att de stora kylmaskintillverkarna inte har lågtemperaturdrivna maskiner på sitt program är att fjärrvärmenät i allmänhet inte är utbyggda i länder med de största kylbehoven. Marknaden för lågtemperaturdrivna kylmaskiner bedöms därför inte som stor annat än lokalt

Tillgången på billig lågtemperaturenergi kommer att öka i och med utbyggnad av distribuerad elproduktion i kraftvärmeanläggningar. Sådana anläggningar har hög verkningsgrad under förutsättning att de drivs nära fullast. Vid delast går verkningsgraden ner och miljöbelastningen ökar både vad avser utsläpp av klimatpåverkande ämnen och vad avser övriga miljöstörande ämnen. Genom att ha avsättning för den värme som produceras parallellt med elektricitet kan produktionskapaciteten hållas hög. Ett avsättningsområde är att producera kyla med hjälp av den tillgängliga värmen.

Syfte och mål

Projektet har syftat till att ta fram en svensktillverkad absorptionskylmaskin som drivs med spillvärme med temperaturer ner till 70 grader..

Målet för projektet var att kunna leverera en kylmaskin till en kund innan projektet var slut. Maskinen skulle ha prestanda och kostnader i paritet med alternativa lösningar för kundens kylbehov.

Forskare och industrirepresentanter som arbetat i projektet

Projektledare för projektet har varit Mikael Andersson från Berglunds Rostfria AB.

Vetenskaplig ledare har varit Fredrik Setterwall vid institutionen för kemiteknik vid Kungl. Tekniska Högskolan.

Som forskare har deltagit Mari Gustafsson och Bo Wikensten, båda doktorander vid kemiteknik, samt teknologie doktor Dmitrey Glebov, gästforskare från Ryssland.

Magnus Gustafsson har arbetat med additiver och dess inverkan på absorptionsförloppet. Hans arbete har legat utanför projektet men resultaten har legat till grund för val av additiv i maskinen..

Samarbete beträffande mätteknik för den slutliga prototypen har skett med dr Leif Nilsson samt Håkan Larsson vid Mätcentralen vid Chalmers.

I projektgruppens möten har deltagit, förutom ovanstående, Mile Elez från Tekniska Verken i Linköping, Lena Himmelstrand från Göteborg Energi, Georg Johansson, Göteborg Energi, och Per Löveryd, Akademiska hus

I styrgruppen har Stefan Hellberg, Göteborg Energi, varit ordförande. Mikael Berglund, Fredrik Setterwall, Stefan Montin, Elforsk och Anders Tvärne, Fjärrvärmeföreningen, har varit övriga deltagare i mötena.

Projektets genomförande

Projektledare för projektet har varit Mikael Andersson från Berglunds Rostfria AB. Genom hans försorg har vi haft 37 protokollförda möten med projektgruppen. Vid mötena har projektarbetet rapporterats och detaljplanerats. De flesta mötena har varit telefonmöten. Genom dessa projektmöten har arbetet bedrivits effektivt och de uppgjorda tidplanerna har kunnat hållas.

Styrgruppen för projektet har haft 12 protokollförda möten. Vid dessa möten har fattats beslut av mer övergripande karaktär.

Projektet har delats upp i tre etapper bestämda av storleken på de apparater som varit det huvudsakliga objektet för vårt arbete. Frågor av gemensam karaktär för apparaterna har behandlats parallellt över de tre etapperna.

Under etapp ett gjordes grundläggande studier av förloppen i en absorptionskylmaskin i en skala designad för 1 kW. Det huvudsakliga syftet med denna etapp var att hitta de kritiska parametrarna för det fortsatta arbetet samt att kontrollera att beräkningssambanden som använts vid design av anläggningen var tillförlitliga.

Nästa etapp avsåg en maskin med en nominell kapacitet på 30 kW och slutligen har en kommersiell demonstrationsanläggning uppförts med en nominell kapacitet av 1 150 kW.

De två första anläggningarna, "the baby" på 1 kW och "Klabbe" på 30 kW är båda placerade i apparathallen på KTH. Det innebär att temperaturen på kylvatten bestämdes av kranvattnet. Temperaturen var således väsentligt lägre än vad man kan erhålla i kommersiell drift där kyltorn eller i bästa fall älvvatten är det gängse kylmedlet. Hänsyn till detta har tagits vid utvärdering av resultaten från dessa anläggningar .

Resultat

Ettapp 1

I den lilla maskinen, kallad "the baby", studerades spridning av vätska på lamellererna, additivets inverkan på materie- och värmetransport, betydelsen av tillsatspunkten för additivet. Maskinens kapacitet och effektivitet noterades för skilda värden på driftparametrar såsom tryck, temperatur och flöden.

Resultaten från denna anläggning ledde till att speciella studier på spridning av vätska på lamellerna har utförts. Syftet med dessa studier har varit dels att försöka hitta en effektiv anordning för spridning dels att få ett värde på erforderligt flöde för att få tillräckligt bra spridning på lamellerna. En otillräcklig spridning medför dåligt utnyttjande av ytorna för materie- och värmetransport. Ett problem vid dessa studier är att det inte är möjligt att använda lösningar av Litiumbromid i vatten på försök där Litiumbromid är i kontakt samtidigt med metaller och luft. Vid närvaro av syre är nämligen Litiumbromid starkt korrosivt.

Korrosion

Korrosionsbenägenheten medförde också en studie av korrosionshastigheten av Litiumbromid-lösningar på olika typer av metalliska material. Litteraturen redovisar få studier av korrosion av Litiumbromid-lösningar och inga vid den höga koncentration (c:a 60%) som används i absorptionskylmaskiner. Studien avsågs ligga till grund för materialval i den fullskaleanläggning som har byggts. Vägda bitar av olika metaller lades ner i lösningar av Litiumbromid i e-kolvar. De studerade materialen var SS2343, SMO, Titan, Inconel och normalt svart stål. E-kolvorna förvarades i ett skåp först vid 40 grader i två månader och därefter vid 70 grader i ytterligare knappt fyra månader. Korrosionstestet fortsatte, men när nästa vägning skulle äga rum hade den våg som använts gått sönder. En annan våg gav orimliga resultat varför ingen hänsyn togs till dessa resultat. Enbart visuella observationer togs med. Efter de första c:a sex månaderna följande resultat:

	Material	Startvikt	Vikt efter Ca 6 mån.	Vikt minskning		$\mu\text{m}/\text{år}$
1	SS2343	29,5846 g	29,5804 g	4,2 mg	0,014%	0,8
2	SMO	29,7988 g	29,7951 g	3,7 mg	0,012%	0,7
3	Titan	13,0837 g	13,0817 g	2,0 mg	0,015%	0,8
4	Inconel	30,6820 g	30,6756 g	6,4 mg	0,021%	1,2
5	Svart	28,3030 g	28,3012 g	1,8 mg	0,006 %	0,4

De uppmätta värdena har räknats om till $\mu\text{m}/\text{år}$. Noggrannheten i dessa data är låg på grund av den korta tid försöken pågått. Man kan dock förmoda att vid de temperaturer som kommer i fråga vid en lågtemperaturdriven absorptionskylmaskin korrosionen är liten.

Spridning

Det visade sig att spridning av vätska över lamellerna inte var lätt. Vi byggde apparater för att kunna studera spridningen med och utan additiver. Dessa bestod av en låda i vilken man kunde placera lameller med olika typer av spridarordningar. Vi testade rör som spred vätskan genom hål eller slitsar. Vi testade också lådor i vilka lamellerna stack upp. Spridningen skedde genom det statiska tryck som åstadkoms i lådorna. Vi konstaterade att spridningen var en funktion av vätskeflödet. Utan att göra anspråk på hög noggrannhet valde vi ett värde på $3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{meter lamell}$. Detta värde har använts vid senare beräkningar av flöden och utformning av lamellerna i de större anläggningarna.

Additiver

I en absorptionsmaskin används oftast fallfilm för materie- och värmeöverförande ytor. Detta val beror på att man är rädd för höga tryckfall på ångsidan. Ett högt tryckfall skulle allvarligt påverka jämviktstemperaturen vid absorptionen och därmed maskinens kapacitet. Fallfilmen har emellertid den nackdelen att speciellt materietransporten sker med låg hastighet. Detta beror på att det är dålig omblandning i den fallande filmen på grund av laminär strömning. Det blir därför svårt att utnyttja hela vätskemassans kapacitet. Vidare blir halten av vatten i fasgränssytan hög och därmed också jämviktstrycket högre. För att komma tillrätta med detta problem används tillsatser, s.k. additiver.

Additivets roll är att med hjälp ytspänningsskillnader längs fasgränssytan få en strömning i vätskefilmen som förstärker den tyngdkraftsberoende strömningen. Den vetenskapliga diskussionen om hur detta bäst skall åstadkommas är centrerat kring två olika förklaringsmekanismer.

Enligt den ena åstadkommes en ytspänningsskillnad genom att vatten absorberas i vätskefilmen. Denna ytspänningsskillnad är tillräckligt stor för att sätta igång en strömning i filmen. Detta innebär att additivet skall ha egenskaper som gör att ytspänningen ökar i filmens strömningsriktning. Den additivfria lösningens ytspänning faller med ökad vattenkoncentration och med fallande temperatur, dvs ytspänningen faller i filmens strömningsriktning. I den rena lösningen kommer alltså strömningen att motverkas av ytspänningsändringen.

Den andra förklaringsmodellen innebär att ytspänningsändringar förorsakas av att additivets koncentration i filmen ändras i strömningsriktningen på grund av avdunstning eller kondensation. Detta skulle ställa kravet på additivet att det är relativt flyktigt för att därigenom åstadkomma en stor ytspänningsgradient.

Det additiv som normalt används i kommersiella absorptionskylmaskiner är antingen n-octanol eller 2-etyl-hexanol dvs alkoholer med åtta kolatomer. Vi har testat att använda en mer flyktig alkohol, 2-metyl-pentanol, en alkohol med sex kolatomer. Denna har egenskapen att se till att ytspänningen stiger i strömningsriktningen samtidigt som den är mer flyktig än de normalt använda additivena.

De resultat vi uppnått visar att det nya additivet är överlägset det normalt använda. Genom att sätta till additivet till litiumbromidlösningen fick man en höjning av kyleffekten med c:a 20% jämfört med att inte använda något additiv alls. Den optimala koncentrationen var i detta försök 500 – 700 ppm. I ett annat försök tillsattes additivet i förångaren. På detta sätt kom additivet att vara i gasfas i absorbatoren och säkerställde därigenom att huvuddelen av additivet befann sig i fasgränssytan (i stället för i vätskefasens huvudmassa som i det tidigare försöket). Effektförhöjningen blev 32% och den tillsatta mängden additiv var i storleksordningen 1300 – 1500 ppm.

Försöken visar dels att 2-metyl-pentanol är ett kraftfullare additiv än 2-etyl-hexanol, dels att effekten åstadkommes genom en hög koncentration i fasgränssytan. Att sätta till additivet i förångaren i stället för i absorbatoren medför en väsentlig förbättring av effekten jämfört med att blanda det i litiumbromidlösningen.

Ettapp 2

Till den andra etappen byggdes en kylmaskin med en förväntad kapacitet på 30 kW. Några detaljer i utformningen av apparaten är värda att nämnas.

Värmeväxlare

Utbyte av termisk energi sker i en absorptionskylmaskin dels i samband med samtidig materietransport dels för att kyla eller värma vätskor. För den samtidiga värme- och materietransporten (förångare, absorbatör, generator och kondensör) är det viktigt att tryckfallet hålles lågt eftersom annars jämviktstryck och temperatur avviker från det optimala. För dessa delar av maskinen är det därför nödvändigt med fallfilmstyp av värmeväxlare.

För att hålla hög effektivitet (COP) måste den kalla vätskan från absorbatoren värmas av den varma vätskan från generatören. Vid transporten av vätskan mellan absorbatör och generator transporteras vätskan med en pump. Tryckfallet är då av mindre betydelse. Värmeväxlingen sker då med en effektiv värmeväxlare avsedd för behandling av två vätskor. En lämplig typ som vi har valt är plattvärmeväxlare.

I generatören skall värme tillföras den utspädda litiumbromidlösningen för att avdunsta vattnet. Vi har valt att värma upp lösningen maximalt i en plattvärmeväxlare och låta vatten avdunsta genom att tryckavlasta vätskan när den kommer in i generatören. Detta är ett sätt att minska på

storleken av värmväxlarytan i generatoren. Dess konstruktion är ju mindre effektiv än plattvärmväxlarens.

På samma sätt kyls den starka lösningen efter lösningsmedelsvärmväxlaren ytterligare i en plattvärmväxlare för att göra absorptionen mer effektiv.

Vår maskin innehåller därför fler värmväxlare än andra kylmaskiner utanför de delar som normalt anses utgöra en absorptionskylmaskin.

Cirkulationspumpar

Trycket i absorbatordelen bestäms bland annat av koncentrationen på den litiumbromidlösning som finns i absorbatoren. En hög koncentration i absorbatoren medför en högre kapacitet på maskinen. För att hålla koncentrationen så hög som möjligt låter man litiumbromidlösningen gå en gång genom absorbatoren. Fördelen är en hög kapacitet men nackdelen är att hela flödet måste pumpas till generatoren. Detta kräver stora pumpar och samtidigt kommer effektiviteten att sänkas. En av de irreversibiliteter som sänker COP är ju skillnaden i temperatur mellan den svaga och den starka litiumbromidlösningen när den går in i generatoren.

Ett annat alternativ är att låta lösningen gå flera gånger genom absorbatoren och få möjlighet att ta upp mer vatten, dvs få en större koncentrationsändring. Detta innebär att endast en liten delström av det totala flödet genom absorbatoren måste pumpas till generatoren för att koncentrera lösningen. Följden blir små pumpar och hög COP men låg koncentration i absorbatoren och därmed låg kapacitet.

I etapp 2, Klebbe, valde vi det senare alternativet dvs med cirkulation i absorbatoren. I etapp 3, pilotanläggningen i Göteborg, däremot valde vi alternativet med hög kapacitet, dvs med ingen recirkulation över absorbatoren.

Designvärden ur Klebbe

Vid körningar i Klebbe insamlades data på flöden, temperaturer, tryck och densitet. Alla data samlades i ett EXCELdokument i en dator. Genom att insamlingen skedde i ett EXCELdokument var det enkelt att utföra valfria beräkningar direkt ur data. Ur dessa data beräknades överföringstal.

I Klebbe var strömningshastigheten av kylvatten och det simulerade fjärrvärmvattnet avsevärt lägre än vad man kunde åstadkomma i en fullskalanläggning. Anledningen till detta var att vi var tvungna att använda vatten från det vanliga tappvattensystemet. Kapaciteten på detta var alldeles för låg i förhållande till den kyleffekt vi hade på maskinen. Av den anledningen var vi tvungna att räkna om våra transportkoefficienter till de som skulle komma att gälla i pilotanläggningen. Detta medför en osäkerhet i designen av den större maskinen. De resultat vi fick och de vi sedermera använde vid design av maskinen till Göteborg framgår av nedanstående tabell

	Uppmätt	Korrigerat
Förångare	450	1 500
Absorbator	235	800
Kondensor	300	2 500
Generator	560	1 500

Design av ny maskin

För beräkning av den nya maskinen som levererats till Göteborgs Energi har vi utarbetat ett program i EXCEL. De data man behöver för att använda detta program är

Önskad kyleffekt

Temperatur på ingående köldbärare

Önskad temperatur på utgående köldbärare

Ingående temperatur på kylvatten

Tillåten temperaturändring på kylvatten

Ingående fjärrvärmetemperatur

Erforderlig temperaturändring på fjärrvärme

U-värden för förångare, absorbatör, generator, kondensör och ingående värmeväxlare

Vidare måste man välja vilket flöde av litiumbromidlösning man skall ha mellan absorbatör och generator. Detta flöde bestäms antingen av minimalt flöde för spridning av vätskan på lamellerna eller av den koncentrationsändring man kan förvänta sig i absorbatören.

Vid optimering av detta flöde finns det flera faktorer att ta hänsyn till. Ett högt flöde innebär stora pumpar med hög elförbrukning. Samtidigt krävs stor yta på lösningsmedelsvärmeväxlaren för att hålla COP uppe. Å andra sidan kommer ett lågt flöde att kräva en stor yta i absorbatören för att hålla koncentrationsändringen uppe (den drivande kraften för materietransport minskar). Spridningen av vätska försvåras dels av det låga flödet dels av den stora ytan

Etapp 3

Maskinen i Göteborg invigdes av rektorerna vid KTH och Chalmers den 14 juni 2000. Förutom de båda rektorerna hölls invigningsanföranden av Christian Rogestam, chef för Akademisak Hus och av företrädare för Göteborgs Energi.

Av olika skäl lyckades vid detta tillfälle maskinen leverera ca 400 kW kyla. Ombyggnad av maskinen har skett vid två tillfällen.

Ett skäl till ombyggnad har varit risken för kavitation i lösningsmedelpumparna.

Ett annat har varit för höga tryckfall mellan kondensör och förångare. Detta medförde fördröjningar i styrningen av maskinen. Genom att nivån av vatten i förångaren var låg (eftersom vattnet var kvar i kondensorn) styrde systemet till att öppna fjärrvärmeventilen på max. Detta i sin tur medförde att koncentrationen steg på den starka lösningen och risk för kristallisation förelåg. Maskinen var då programmerad att stoppa.

Efter ombyggnad har det senare felet klarats av och styrningen sker nu som avsett.

Mätningar på trycken före pumparna har utförts men ännu inte utvärderats. Subjektiv uppfattning är att problemet med kavitation är eliminerat. Detta baseras på dels den höjda kapaciteten på lösningsmedelpumparna, dels på den sänkta ljudnivån.

Maskinens högsta uppmätta kapacitet är 950 kW. Detta har uppmätts med värden på driftparametrar som avviker från de avsedda. Omräkning till designvärden ger en kapacitet på 1,2 MW dvs något över vad som utlovats. Effektiviteten är dock lägre än avsett. Uppmätt COP är 0,55 till 0,65 mot utlovade 0,78.

Industriell relevans

Projektet har lett till att Berglunds Rostfria AB blivit en aktör på marknaden för absorptionsteknik för kyla och värme.

Intresset hos energibolag för den svenska kylmaskinen är stort och förfrågningar har förutom från Göteborgs Energi kommit från energibolagen i Halmstad, Sundsvall och Umeå.

Examina

Av familjeskäl avbröt Bo Wikensten sina forskarstudier och flyttade utomlands. Den licentiatexamen som varit avsikten att han skulle avlägga har därför skjutits på framtiden eller kommer aldrig att bli av.

Mari Gustafsson kommer att avlägga licentiatexamen inom ett närliggande område. Vår ansökan om fortsättningsanlag avser att användas för henne studier fram till en doktorsexamen.

Magnus Gustafsson har lagt fram sin doktorsavhandling inom ett närliggande arbetsområde. Hans arbeten ligger till grund för val av additiv.

Publicering

Projektet har presenterats i fackpress innan projektet startade och också i samband med invigningen av den maskin som Göteborgs Energi köpt och installerat på Chalmers Tekniska Högskola för leverans av kyla till Akademiska Hus.

Vetenskapliga artiklar som behandlar additiver har publicerats inom det projekt som Magnus Gustafsson. Dessa arbeten behandlas i hans doktorsavhandling.

Vidare planeras publikationer avseende spridning av vätska på lammeller, korrosion av Litiumbromid på olika material, styrning av absorptionsmaskiner samt metoder för snabb design av absorptionskylmaskiner.

Glebov, Dmitrey, Setterwall, Fredrik :”Experimental Study of Heat Transfer Additive Influence on the Absorption Chiller Performance” Submitted to International Journal Of refrigeration dec. 2000

Gustafsson, Magnus ”Heat&Mass Transfer Enhancement by Additives – a Theoretical&Experimental Study” Thesis Dep Chem.Engineering and Technology, Royal Institute of Technology, TRITA – KET R 122, ISSN 1104 – 3466, 2000

Gustafsson , Mari ”Fjärrkyla från fjärrvärme – med absorptionsteknik” EnergiTeknik nr1 1999, 84-87

Lindh,Lars: ”Ny absorptionskylmaskin tas fram” Fjärrvärmetidningen nr 5/99,

Setterwall, Fredrik: 1.2 MW ”Absorption Chiller Installed in Gothenburg” International Sorption Heat Pump Newsletter Vol 6. No 3 Fall 2000-12-05

Sörbo, Klas: ”Ny maskin skall ge billigare fjärrkyla” VVS – Forum no 9 sept. 2000, 62 – 64

Förutom på Klimat 21- dagarna har projektet presenterats på Fjärrkyladagen arrangerad av Svenska Fjärrvärmeföreningen i Västerås den 20 september 2000 samt på Elforskdagarna den 7 november i Stockholm.

En presentation av projektet kommer att hållas vid the 2nd International Heat Powered Cycles Conference, HPC 2001 Cooling, Heating and Power Generation Systems i Paris i september 2001. Presentationen görs av Fredrik Setterwall.

Internationell samverkan

Någon direkt samverkan med internationella forskare eller företag har inte skett. Avdelningen för teknisk strömningslära har arbetet som Operating agent inom Annex 24 “**Ab-sorption machines for heating and cooling in future energy systems**” till Implementing Agreement on Heat Pumping Technologies inom IEA. Detta innebär att information har lämnats till och inhämtats från internationella experter inom området. Vidare tjänstgjorde professor Felix Ziegler som opponent vid Magnus Gustafssons disputation. Felix Ziegler har samarbete med Entropie, det företag i Europa som prövat på samma idé som ligger bakom detta projekt.

Slutsatser och diskussion

Målet att tillverka en kylmaskin driven med lågtemperaturrenergi med prestanda och kostnader i paritet med alternativa lösningar för kundens kylbehov har bara delvis uppnåtts. Maskinen placerad i Göteborg har avsedd effekt men en för låg effektivitet. Vidare drivs maskinen med fjärrvärme med en temperatur på 90 °C. Vi har alltså inte visat att vi kan göra en maskin som drivs med en temperatur på 70 °C. Vi har däremot visat att vi kan utföra en design av kylmaskiner.

För att komma upp i effektivitet föreslår vi flera åtgärder.

1. Genom att koppla de värmeväxlare som finns installerade för att kyla den starka lösningen från generator till absorbatör på ett annat sätt kan man höja COP med 15 till 20 procentenheter. Enbart denna åtgärd skulle alltså medföra en med alternativa lösningar jämförbar effektivitet.
2. Genom att optimera storleken av flödet mellan absorbatör och generator kan ytterligare höjning av effektiviteten uppnås. Detta skulle också medföra lägre elförbrukning för lösningsmedelpumparna.

Under projektets gång har vi noterat vikten av god spridning av vätskan på lamellerna i främst absorbatören (men också i de övriga delarna av maskinen). Vi tror inte att vi nått till den bästa lösningen på detta problem och vi kommer att fortsätta med att hitta bättre lösningar på detta problem. En bättre spridning skulle innebära

Behov av mindre värmeytor vilket sänker kostnaderna

Lägre flöde mellan absorbatör och generator. Detta leder till låg energiförbrukning på pumpar, lägre kostnader för pumpar och högre COP.

Styrningen av maskinen skall ses över så att man effektivt skall kunna följa variationer i kylbehov, fjärrvärmetemperatur och kylvattentemperatur.

Vi har inte hunnit titta på dellastegenskaper hos maskinen. Detta är något som vi måste göra framöver.

Behovet av lågtemperaturdrivna kylmaskiner kommer att öka i framtiden på grund av införandet av distribuerad elproduktion. Denna tendens är redan tydlig i t.ex. Holland där lokal kraftvärmeproduktion kombineras med produktion av kyla.

För att en kylmaskin skall passa in i ett energisystem kan lagring av värme och kyla komma att spela en stor roll. Redan finns exempel på genomförda demonstrationsprojekt med långtidslagring av kyla och värme i underjordsbaserade lager (aquiferlagring). Ett sådant projekt är den nya parlamentsbyggnaden i Berlin. Korttidslagring av kyla och/eller värme kan väsentligt minska behovet av installerad effekt. Kylbehovet i Göteborg motsvarar endast under mycket kort tid den maximala effekten hos maskinen. I ett fortsättningsprojekt föreslår vi därför att lagringsmöjligheterna skall beaktas.