



KUNGL
TEKNISKA
HÖGSKOLAN

Värmeövergång och tryckfall vid förångning i små plattvärmewäxlare

Joachim Claesson
Inst. för Energiteknik
Avd. för Tillämpad termodynamik och kylteknik
Kungliga Tekniska Högskolan
Stockholm



Sammanfattning

Detta projekt har behandlat kokning av köldmedier i kompakta lödda plattvärmeväxlare. Experiment har utförts dels på kommersiella produkter och dels på värmeväxlare med speciell utformning. Vid sidan av experimenten har en omfattande litteraturstudie utförts. Plattvärmeväxlare i den internationella litteraturen är sällsynt, speciellt som förångare.

Experimenten visade inledningsvis att värmeövergångstalet vid kokning är en funktion av yteffekten, vilket är ett karaktäristiskt drag hos kärkokning. Detta experiment utfördes med hjälp av termokroma flytande kristaller (TLC). Dessa ändrar färg med temperaturen. Dessutom visades att redan vid måttlig överhettning används stor del av värmeväxlarytan till att överhetta köldmediet.

Utifrån detta utvecklades en (iterativ) metod att beräkna prestanda hos en förångare i ett kylsystem med en termostatiskt expansionsventil. Preliminära resultat från denna modell uppvisar god överensstämmelse med utförda experiment.

Visualisering av kokning inuti en plattvärmeväxlare har också utförts. Det visade sig att kokningen skedde med en viss pulsation. En viss intensivare kokning kunde också observeras på en halvan av ytan. Detta kan bero på en viss snedfördelning av flödet inom respektive kanal. Vi kunde inte observera någon "mist-flow" efter det att ytan blivit torr, d.v.s. inga fria vätskedroppar.

Sammanfattningsvis har en god insyn i kokning av köldmedier i plattvärmeväxlare erhållits. Kärkokning är den dominerande kokregimen och värmeövergångstalen kan predikteras genom att använda en korrelation framtagen för kärkokning.

Summary

This project concerns the evaporation of refrigerant inside compact brazed plate heat exchangers. Experiments have been conducted on commercial as well as specially designed heat exchangers. Along with the experiments, a comprehensive search in the international literature have been conducted. The number of publications on plate heat exchangers in the open literature is small, especially concerning plate heat exchangers used as evaporators.

Experiments conducted with Thermochromic Liquid Crystals (TLC) revealed that the heat transfer coefficient during boiling inside compact brazed plate heat exchangers (CBE) is dependent of the heat flux on the boiling surface. This is a characteristic feature of nucleate boiling. TLC is a temperature sensitive paint which change the displayed color as a function of temperature. The study also showed that the used area for superheating the refrigerant was significant at rather small superheat.

A model to predict the performance of the CBE used as an evaporator in a refrigerating system with a thermostatic expansion device was then developed. Preliminary results display good agreement with experimental data.



KUNGL
TEKNISKA
HÖGSKOLAN

A visual investigation of the evaporation of refrigerant inside a CBE was then conducted. It turned out that the evaporation was pulsating with a frequency of approximately 1 Hz. Somewhat more intense evaporation on one side of the evaporator could also be observed. The more intensive evaporation could be due to maldistribution of the fluids within each channel. Furthermore, no mist-flow beyond the point of wall dry-out could be observed.

In short, the project has led to a good insight of the evaporating process inside the compact brazed plate heat exchanger. The dominating boiling mechanism is nucleate boiling and the performance of the evaporator can be estimated by using an appropriate correlation developed for nucleate boiling.



Innehållsförteckning

Bakgrund	1
Syfte, Metod och Mål	1
Forskare och Industrirepresentanter i projektet	2
KTH:	2
SWEP:	2
Klimat 21s programstyrelse:	2
Projektets genomförande	2
Resultat	3
Vad finns i beskrivet i litteraturen?	3
Korrelation för värmeövergångstal vid förångning i plattvärmeväxlare	3
Geometris inverkan på värmeövergång och tryckfall	6
”Propane as refrigerant in residential heat pumps”, Olivier Pelletier, Tekn. Licentiat, 1998	6
Visualisering av kokförloppet hos köldmedie R134a med transparent platta	7
Prediktering av prestanda hos en Kompakt Lödd Plattvärmeväxlare	7
Övriga resultat	8
Energi & Miljö	9
Industriell Relevans	9
Examina	10
Publicering	10
Internationell samverkan	10
Slutsatser	11
Diskussion	11
Referenser	11
Publiceringar	11
Artikel Klimat 21 - dagen, December 1998, NUTEK, Liljeholmen, Stockholm	11
Artikel Klimat 21 - dagen, November 1999, Chalmers, Göteborg	11

Bakgrund

Plattvärmväxlare har använts under lång tid inom svensk industri. Denna typ av värmväxlare utvecklades ursprungligen för tillämpningar där det var nödvändigt att på enkelt sätt kunna rengöra de värmeöverförande ytorna, t. ex. inom mejeriindustrin. För ca 15 år sedan utvecklades tillförlitliga metoder att tillverka lödda plattvärmväxlare som klarar höga tryck. Detta medförde att plattvärmväxlarna kunde användas som förångare och kondensorer i kyl- och värmepumpanläggningar. Tack vare sina små yttermått och goda värmeöverförande egenskaper har plattvärmväxlarna blivit mycket populära i Nordeuropa för dessa applikationer och har till stor del slagit ut de tidigare vanliga koaxialvärmväxlarna. I övriga delar av världen har lödda plattvärmväxlare ännu inte nått samma popularitet men även på dessa marknader är man på väg att upptäcka plattvärmväxlarnas fördelar som förångare och kondensorer.

Utvecklingen av plattvärmväxlaren har från första början skett till största delen i Sverige. Ett par svenska företag, Alfa Laval och SWEP, står idag för en stor del av världsproduktionen. För användningen av alla typer av värmväxlare är det väsentligt med tillförlitliga dimensioneringsmetoder, dvs beräkningsmetoder för att förutsäga tryckfall och temperaturdifferenser under drift. För plattvärmväxlare med ren vätskeströmning finns idag sådana metoder, dels sådana som utvecklats av de tillverkande företagen, dels metoder framtagna vid universitet och forskningscentra. För värmeövergång och tryckfall vid förångning och kondensering finns däremot inga korrelationer i den öppna litteraturen. Över huvud taget finns mycket lite publicerat i den vetenskapliga litteraturen om plattvärmväxlare som förångare och kondensorer.

Med tanke på de svenska företagens ledande ställning och på den konkurrens som kan förväntas uppkomma i samband med att plattvärmväxlarnas fördelar blir allmänt kända är det av nationellt intresse att stötta den fortsatta utvecklingen av dessa. För att de svenska företagen ska kunna bibehålla sin ställning är det viktigt att kunskapsuppbyggnad sker inom landet.

Syfte, Metod och Mål

Projektets syfte har varit att genom detaljerad analys av värmetransporten, genom visualiseringsförsök och systematiska undersökningar av geometrins inverkan, öka förståelsen för de mekanismer som styr tryckfallet och värmeövergången vid förångning i plattvärmväxlare. Målet har varit att därigenom kunna få fram bättre dimensioneringskriterier för värmeövergång och tryckfall och att även kunna föreslå förändringar av geometrin så att högre prestanda kan erhållas.

Allmänt kan beskrivningen av förångningsprocessen i en plattvärmväxlare delas upp i fenomen som beror på snedfördelning mellan olika kanaler och fenomen inom en enskild kanal. Arbetet har varit inriktat på det senare, dvs på studier av flödet inom en enskild kanal.

Flödet i kanalen har studerats med hjälp av olika visualiseringsmetoder, såsom ytemperaturmätning med flytande kristaller och flödesstudier med fotografering av värmväxlare i genomskinligt material.

Inverkan av pilvinkeln har också studerats.

Forskare och Industrirepresentanter i projektet

Följande personer har varit aktiva i projektet:

KTH:

Björn Palm, Projektledare
Joachim Claesson, Doktorand
Damir Dovic, Examensarbete

SWEP:

Fredrik Strömer, kontroller & kontakt för enfas strömning
Olivier Pelletier, industridoktorand & kontakt för tvåfas strömning

Klimat 21s programstyrelse:

Mats Fehrm, Controller.

Projektets genomförande

I inledningsskedet av projektet avslutade Olivier Pelletier sitt arbete från programmet Alternativa Köldmedier och avlade en [licentiat examen](#).

Projektet har genomförts som en kombination av experiment och modellering. Experimenten har syftat till att ge information om hur kokning sker i en plattvärmeväxlare. Vidare har en kontinuerlig omvärldsbevakning skett [omvärlden](#) för att se om liknande arbeten eller andra resultat finns som är intressanta och applicerbara i detta projekt.

Projektet inleddes med att undersöka huruvida det skulle vara möjligt att använda temperaturkänsliga flytande kristaller, TLC, för att mäta temperaturen på plattorna. En utrustning för att genomföra detta köptes in, dator, kamera, TLC. Till detta byggdes även en ny mätutrustning, som blev helt manuell, vilket skulle ge mindre fluktuationer som annars existerar i större, mer komplicerade system. Detta första experiment resulterade i en [artikel](#) som presenterades vid IIR/IIF konferens i Sydney, Australien.

Parallellt med detta utfördes en del experiment där en kommersiell plattvärmeväxlare testades. Flertalet ingående parametrar varierades. Resultaten användes sedan för att utvärdera en modell för att prediktera [prestanda hos plattvärmeväxlare arbetande som förångare i kylsystem](#). Detta arbete fortgår och kommer att eskalera i intensitet den närmaste tiden. För att erhålla en stor mängd experimentella data har denna anläggning byggts om till att bli mer självgående. Detta innebär att den utan kontinuerlig tillsyn kommer att generera mätdata.

Samma testutrustning som användes för TLC försök har även utnyttjats för att visualisera kokningsförloppet genom en [transparent platta](#). Att se kokförloppet ger en helt ny möjlighet till förståelse för vad som egentligen händer inne i kanalen.

Vidare är en artikel under bearbetning som utvärderar mätningar utförda på SWEP där experiment med flertalet pilvinklar utförts.

Resultat

Nedan kommer mycket kort de resultat som erhållits att redovisas. För en mer utförlig information hänvisas till respektive rapport eller artikel.

Vad finns i beskrivet i litteraturen?

En omfattande insamling av internationella vetenskapliga artiklar har utförts. Antalet artiklar i den öppna litteraturen gällande plattvärmeväxlare är begränsat, i alla fall då det gäller kokning och förångning. Många artiklar handlar om kokning i annan geometri, såsom cirkulära rör. En litteratursammanställning är under bearbetning.

Utifrån det insamlade materialet kan flera slutsatser dras. Indikationer tyder på att mekanismerna som styr värmeövergång och tryckfall i ”små” rör kontra ”stora” rör inte är desamma. För kokning av köldmedier är små rör i storleksordningen $< 4\text{mm}$.

För större rör styrs kokning av två sammansatta mekanismer, konvektiv kokning och kärllkokning. Flertalet förslag existerar på hur dessa mekanismers båda bidrag skall ”avvägas”.

Vid kokning i små rör är rördimensionen i samma (mindre) storleksordning som den bildade ångbubblan. Bubblan kan då inte expandera fritt utan begränsas av tillgängligt utrymme. Minst två kriterier på när detta inträffar finns beskrivet i litteraturen. För R22 och 5°C förångningstemperatur visar det sig att båda dessa ger en hydraulisk diameter på ca 3-4 mm. Detta är i samma storleksordning som hydrauliska diametern i kompakta lödda plattvärmeväxlare.

Geometrin i plattvärmeväxlare ligger således i gränslandet mellan ”stor” kanal där flertalet korrelationer existerar och ”små” kanaler där det inte finns mycket beskrivet.

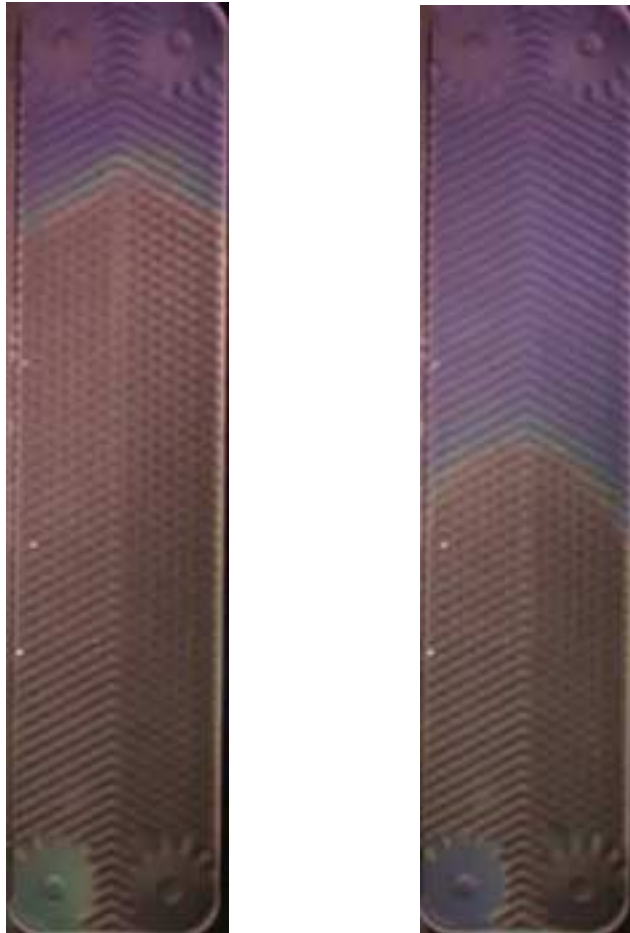
Antalet publikationer i den öppna litteraturen för plattvärmeväxlare i en-fas tillämpningar är betydligt fler. En omfattande litteraturstudie av detta har utförts inom projektets ram av Damir Dovic och har redovisats dels på en konferens i Dubrovnik, 2000, och dels i hans examensarbete.

Korrelation för värmeövergångstal vid förångning i plattvärmeväxlare

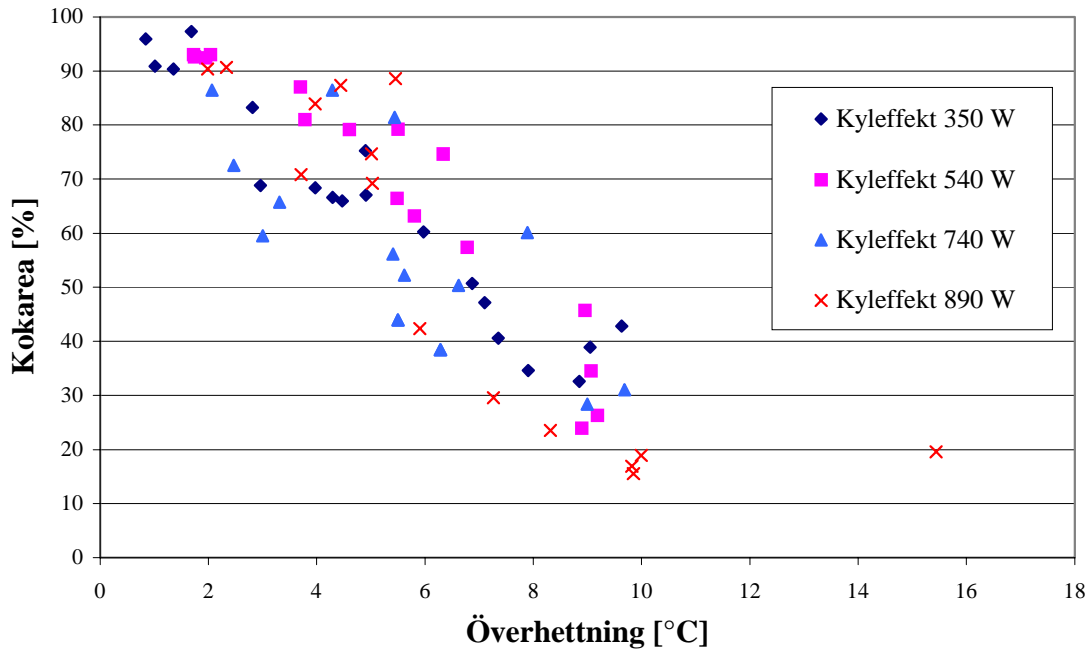
Experiment har utförts där den yttre korrugerade plattan målades med temperaturkänslig färg, TLC (Thermochromic Liquid Crystals). Dessa ändrar färg med temperaturen och ger relativt billigt och enkelt en indikation på vilken temperatur som råder på ytan. Genom att observera färgåtergivningen på plattan kunde delen av förångaren som köldmediet kokar i bestämmas.

Kombineras dessa observationer med rådande driftfall med avseende på temperaturer, tryck och massflöden kan den totala överförda effekten bestämmas och vilken yteffekt som råder på kokdelen i värmeväxlaren. Dessutom kunde det observeras att redan vid måttliga överhettningar används en relativt stor del till att överhätta köldmediet.

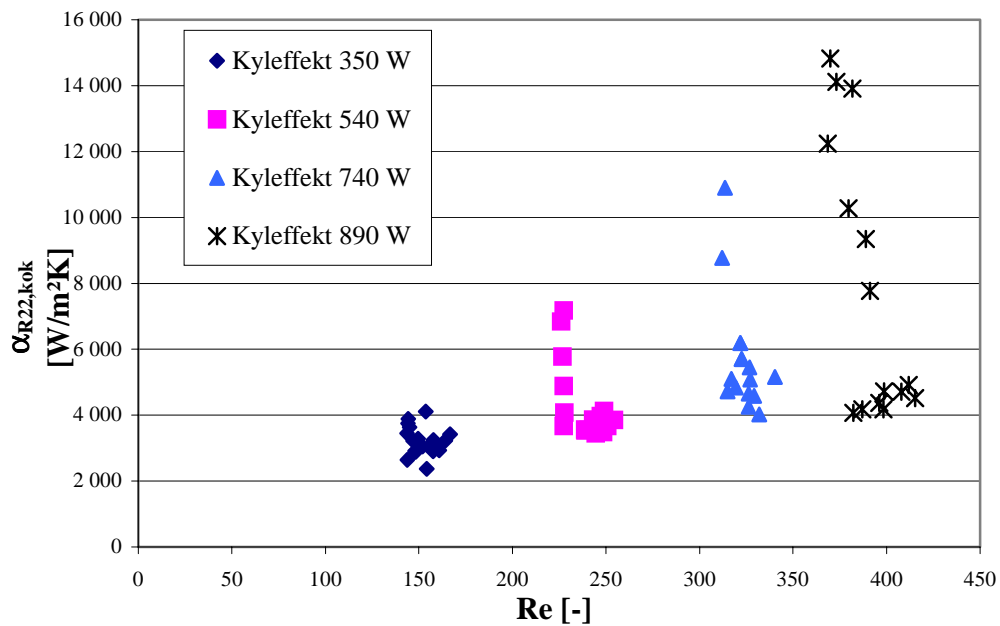
Försöken visade att det beräknade värmeövergångstalet i kokdelen är nästan helt oberoende av flödes hastigheten. Istället var värmeövergången starkt beroende av yteffekten. Detta är karakteristiska egenskaper för koktypen kärldkokning.



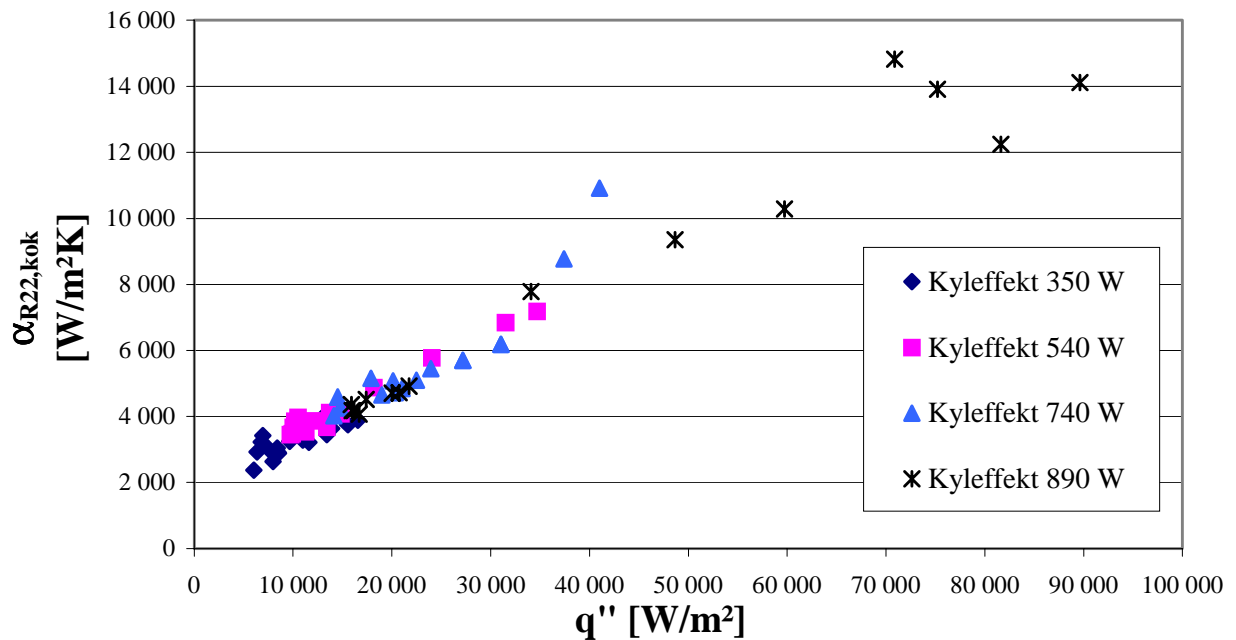
Figur 1: Plattvärmväxlare målad med TLC.
1-4°C överhettning till vänster och 3-6°C till höger.
Klicka på bild för film.



Figur 2: Använd kokarea som funktion av överhettning



Figur 3: Värmeövergångstal vid kokning som funktion av massflödet



Figur 4: Värmeövergångstal vid kokning som funktion av yteffekt

Värmeövergångstalet för kokning i plattvärmväxlare kan således beräknas med en korrelation för kärkokning, varav det finns ett flertal att använda. En mycket enkel sådan är den föreslagna av Cooper [1]. Denna korrelation ger en relativt god överensstämmelse med experimentella data om en förbättringsfaktor = 1.5 införs, samt att endast den aktiva kokyten används i beräkningen. Det har även visat sig att vid en överhettning på ca 5°C kan hela växlaren, inklusive den överhettade delen, uppskattas med Coopers korrelation utan modifiering. Detta beror på att den använda värmeöverförande ytan för den överhettade delen är ca 33 % av totala ytan.

Från litteraturen finns det åtminstone en föreslagna korrelation för kokning i "små" rör [2]. Även denna är stark yteffektdominerande och ger också god överensstämmelse. Dessutom kopplas värmeövergång och tryckfall ihop.

Geometrins inverkan på värmeövergång och tryckfall

En artikel om pilvinkelns påverkan för värmeövergång är på väg att sammanställas. I denna artikel redovisas experiment med olika pilvinklars inverkan på värmeövergångstal.

"Propane as refrigerant in residential heat pumps", Olivier Pelletier, Tekn. Licentiat, 1998

Projektet startade med att Olivier Pelletier slutförde och avlade sin licentiat examen, som behandlar ersättning av R22 i små villavärmepumpar. Jämförande tester mellan R22, propan, propen och kolväteblandningar baserade på propan utfördes. Som förångare och kondensorer användes kompakta lödda plattvärmväxlare.

Experimenten visade att kompressorns verkningsgrader i stort sett var oförändrade samt att värmeeffekten var cirka 10 % lägre med propan. Värmefaktorn visade sig bli cirka 5 % högre.

För samma överförda effekt i kondensorn kunde ingen större förändring i värmeöverföringstal urskiljas. Beroende på vilken typ av kompakt värmeväxlare som användes varierade dock värmeövergångstalet från något lägre i förhållande till R22 till upp till 35 % högre värmeövergångstal. Dessutom var tryckfallet upp till 30 %-45 % lägre för propan. Med värmeväxlare optimerade för propan (samma tryckfall som för R22) kan ett klart förbättrad värmeövergångstal förväntas.

Visualisering av kokförloppet hos köldmedie R134a med transparent platta

Vidare har kokförloppet för R134a i en kompakt lödd plattvärmeväxlare undersökts. En transparent ytterplatta användes för detta ändamål.

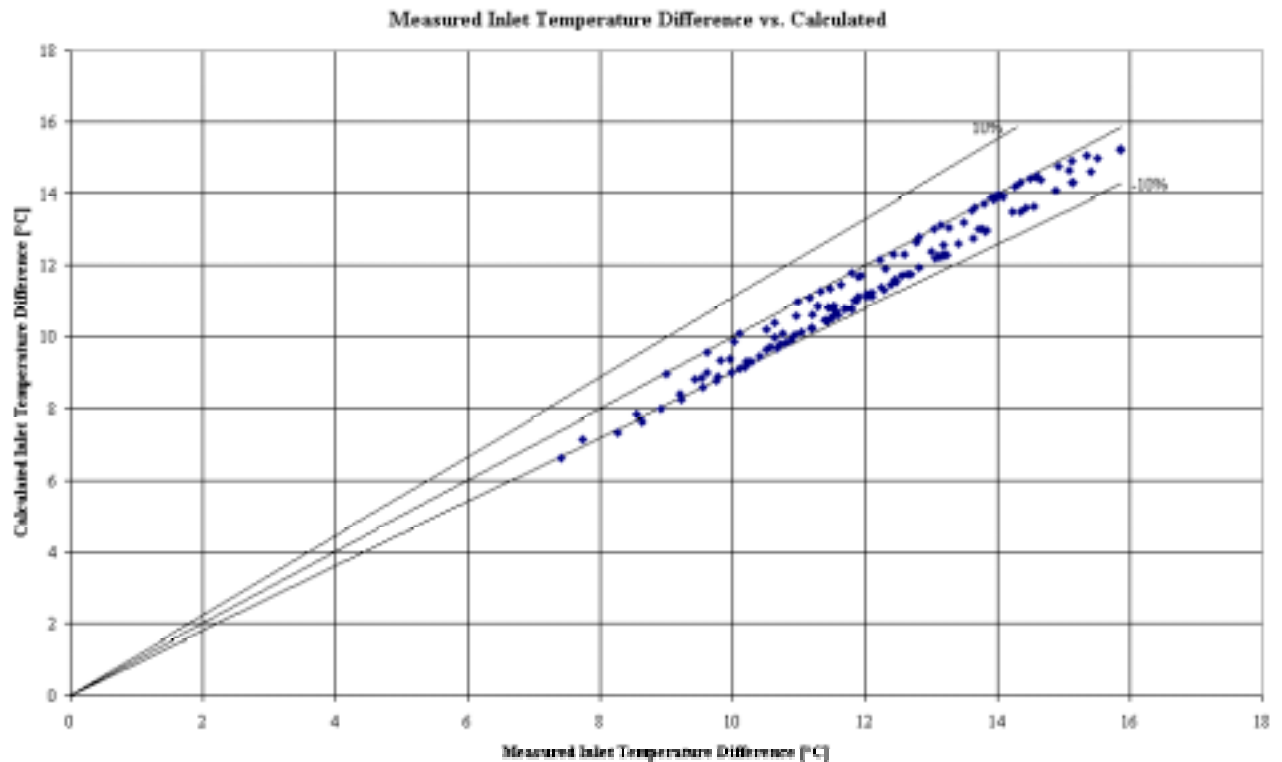


Figur 5: Bild på transparent platta

En tydlig pulsation av köldmediet sker inuti. En viss skillnad i kokningsintensitet mellan vänster och höger halva av värmeväxlaren kunde också observeras. Detta kan bero på att en viss ojämn flödesfördelning på både vatten- och köldmediesidan uppstår. Köldmediesidans inlopps- och utlopps-port är placerade på högra sidan. För vattensidan är det tvärtom. Således kommer mest mängd vatten att flöda i den vänstra halvan av värmeväxlaren, vilket resulterar i högre lokala värmeövergångstal. Detta leder till ökad väggtemperatur mellan vatten och köldmediet och kokförloppet blir därför något intensivare. Vidare kunde inget köldmedie i vätskefas observeras efter det att "dry-out" inträffat. Detta bekräftar antagandet i första artikeln att positionen då temperaturen, observerad med TLC, drastiskt ökade på väggen angav övre gränskurvans position i värmeväxlaren.

Prediktering av prestanda hos en Kompakt Lödd Plattvärmeväxlare

I enlighet med vad som redan berörts kan värmeövergångstalet vid kokning uppskattas med en korrelation framtagen för kärkokning. En artikel har förbereds som predikterar prestanda hos en kompakt lödd plattvärmeväxlare. Här utnyttjas dels en i litteraturen beskriven korrelation för "små" rör, dels en korrelation för kärkokning.



Figur 6: Preliminära resultat av prediktering av prestanda hos en kompakt lödd plattvärmeväxlare.

En beräkningsmetodik för hur värmeövergångstal i förångare skall predikteras föreslås dessutom. Anledningen är att för värmeväxlare i enfass applikationer anges ofta ingående temperaturer och givna massflöden. Utifrån given geometri beräknas sedan utgående temperaturer och överförd värmeeffekt. För en förångare är detta inte ett lämpligt angreppssätt. Istället bör förångaren simuleras utifrån dess faktiska funktion.

En förångare i ett kylsystem regleras så att en viss önskad överhettning erhålls. Således borde överhettningen vara ingående parameter. Vidare är ofta ingående köldbärartemperatur och massflöde känt. Således skall dessa anges. Efter förångaren sitter en kompressor med (nästan) konstant svept volym. Således borde denna vara indata. Utifrån detta beräknas sedan erhållen förångningstemperatur (-tryck). Överensstämmelse med uppmätt förångningstemperatur är då ett mått på hur väl modellen beskriver verkligheten.

Övriga resultat

I projektet har termokroma flytande kristaller (temperaturkänslig färg) använts för att se kokförloppen i en plattvärmeväxlare. Av detta kan slutsatsen dras att det är en fungerande metod som kan användas. Begränsning finns för mätning inne i köldmediekanalen, där vi ännu inte hittat lämplig metod.

För att på ett smidigt sätt kunna utvärdera alla mätvärden behövs metoder för att beräkna termodynamiska storheter. Detta behov fanns inte bara i detta projekt utan i flertalet andra, såväl som för industrin. På KTH används de-facto standarden "REFPROP" från NIST, USA. I detta program är källkoden tillgänglig. En inledande studie huruvida det skulle vara möjligt att kommunicera med detta från Excel utfördes. Från denna studie framgick att det gick men att det låg utanför ramen för detta projekt.

Energi & Miljö

Som redan noterats har lödda plattvärmeväxlare blivit mycket populära som förångare och kondensorer i kyl- och värmepumpanläggningar. Orsakerna till detta är i första hand att de har ett extremt kompakt format, och en form som lätt kan byggas till kompakta system. Det kompakta formatet kan förklaras dels av värmeväxlarens mycket stora värmeöverförande yta i jämförelse med yttermått, dels av att kanalernas utformning ger upphov till effektiv värmeövergång, dvs låga temperaturdifferenser mellan yta och fluid.

För att begränsa miljöpåverkan av de konstgjorda köldmedierna vid läckage är det nödvändigt att reducera fyllnadsmängden. Ur denna synvinkel lämpar sig plattvärmeväxlare utomordentligt väl i och med deras höga kompakthet. Plattvärmeväxlare eller andra kompakta värmeväxlare är en förutsättning för att erhålla riktigt låga fyllnadsmängder.

Ur energisynpunkt innebär användningen av plattvärmeväxlare klara fördelar då de möjliggör konstruktion av kyl- och värmepumpsystem med låga temperaturdifferenser i såväl förångare som kondensator. Detta medför i sin tur högre köld- eller värmefaktor för systemet och därmed besparingar i drivenergi.

Plattvärmeväxlare är även effektiva ur tillverkningsynpunkt (resurs-) då ingående material används mycket effektivt.

Goda dimensioneringsmetoder är viktiga ur energi- och miljösynpunkt eftersom detta innebär att den eftersträvade energieffektiviteten kan uppnås med minsta möjliga insats i material etc. Dessutom finns indikationer om att överdimensionering inte alltid ger förbättrade prestanda vilket ytterligare pekar på vikten av att kunna dimensionera rätt.

Industriell Relevans

Projektets industriella relevans har berörts ovan. För att svensk industri ska kunna bibehålla sitt försteg jämfört med konkurrentländernas är det väsentligt med den långsiktiga kunskapsuppbyggnad som kan ske genom högskoleforskning inom området.

Mer konkret innebär detta följande:

1. Tester & Utvärdering: Eftersom dessa är utförda på kommersiella kompakta plattvärmeväxlare de viktiga och direkt relevanta för industrin.
2. Utveckling av visualiserings- och utvärderingsmetoder: De som använts inom projektet är användbara även inom industrin. Fördelen att testa dessa metoder i projektet är dels att kunskapen om dess användande sprids, dels utvärderas lämpligheten för olika metoders användningsområden, t.ex. TLC istället för IR-kamera, 3D-frästa genomsynliga plattor i plast istället för gjutna plattor i epoxy eller glas.
3. Projektet bidrar, genom sin kartläggning av fenomen beroende av geometri och/eller driftfall vid förångning i kompakta plattvärmeväxlare, till verifiering och vidare utveckling av beräkningsverktyg.
4. Beräkningsverktyg baserad på kända eller nyutvecklade korrelationer för värmeöverföring och tryckfall ger möjligheten att producera mer noggranna beräkningsprogram som i sin

tur leder till mindre och effektivare plattvärmeväxlare hos slutanvändare. Vidare leder detta även till miljömässiga och tillverkningskostnadsmissiga positiva effekter.

Examina

Under projektiden har en licentiatexamen avlagts (Olivier Pelletier). Den nu engagerade doktoranden (Joachim Claesson) avser att fortsätta till doktorsexamen utan mellanliggande licentiatexamen. Doktorsexamen är planerad till våren 2003.

Publicering

Följande publikationer är publicerade eller skall publiceras inom kort.

1. Pelletier O., 1998, "Propane as Refrigerant in residential heat pumps", Tekn. Lic., Institutionen för Energiteknik, Avdelningen för tillämpad termodynamik och kylteknik, KTH, Stockholm, 132 p., Trita REFR No 98/24 ISSN 1102-0245.
2. Claesson J, Palm B., 1999, "Boiling Mechanism in a small Compact Brazed Plate Heat Exchanger (CBE) Determined by using Thermochromic Liquid Crystals (TLC)", 20th Int. Cong. of Refrigeration, IIR/IIF, Sydney, Australien.
3. Claesson J., Palm B., 2001, "Visualization of evaporation of refrigerant R134a inside a small compact brazed plate heat exchanger", Skall presenteras vid Int. Cong. Compact Heat Exchangers and Enhancement Technology for the Process Industries, Davos, Schweiz.
4. Claesson J., Palm B., 2001, "On the Influence of geometry on evaporation performance in compact brazed plate heat exchangers", Skall presenteras vid 4th Int. Conf. on Multiphase Flow, New Orleans, Louisiana, USA.
5. Claesson J., Pelletier O., Palm B., 2001, "Prediction of performance of compact brazed plate heat exchangers used as evaporator in refrigerating systems", Under arbete, skall skickas in till internationell tidskrift.
6. Dovic D., 2000, "The analysis of single phase flow in chevron channels of plate heat exchangers, Examensarbete, Institutionen för Energiteknik, Avdelningen för tillämpad termodynamik och kylteknik, KTH, Stockholm.
7. Dovic D., Palm B., Švaic S., 2000, "Performances of chevron-type plate heat exchangers", 4th Int. Symp. Power and process plants, Dubrovnik, Kroatien.

Internationell samverkan

Ett samarbete med ett spansk universitet har inletts där en doktorand varit på besök på KTH vid två olika tillfällen. Projektet har också lett till flertalet andra internationella kontakter, dels i samband med konferenser, dels via Internet och e-post.

Slutsatser

Det övergripande målet finns att läsa i titeln på projektet, ”Värmeövergång och tryckfall vid förångning i små plattvärmeväxlare”. Detta mål har, med avseende på värmeövergång vid kokning, uppfyllts. En god bild över hur köldmediet kokar inne i förångaren och vilken typ av kokning det är har erhållits. Värmeövergångstal i en plattvärmeväxlare kan med denna kunskap predikteras genom att använda en korrelation för kärkokning.

I litteraturen finns inte mycket angående kokning i ”små” kanaler. Därav är antalet korrelationer inte speciellt omfattande. För typen kärkokning finns ett flertal korrelationer för värmeövergång men inte för tryckfall. Detta är naturligt eftersom i ett stort stillastående vätskebad finns inget tryckfall. Endast ett par referenser har hittats som beskriver tryckfall vid flödeskokning i små kanaler.

Diskussion

I ett framtida projekt borde inriktningen av arbetet inriktas på mer experiment med kommersiella förångare, som tidigare, för att dels utreda tryckfall och dels för att vederlägga eller verifiera den föreslagna modellen för prediktering av prestanda hos förångaren. Denna bygger på att kärkokning råder inne i förångaren.

Vidare bör möjligheten att använda CFD i projektet, dvs. numerisk simulering av två-fas flöde, mer ingående granskas.

Föreliggande arbete fokuserar enbart över hela kokytan. I en framtida eventuell fortsättning vore det därför intressant att studera lokala värmeövergångstal och tryckfall. Genom lokala studier skulle bättre prediktioner kunna göras.

Hur påverkar oljan värmeövergången och tryckfallet vid kokning av köldmedier? Genom att studera kokningen i plattvärmeväxlare med enbart köldmedium för att sedan introducera en liten mängd olja skulle dess inverkan utredas.

Referenser

1. Cooper M.G., 1984, ”Heat flow Rates in saturated nucleate pool boiling - A wide ranging examination using reduced properties”, Advances in Heat Transfer, vol. 16, ed. Harnett J.P., Irvine T.F. Jr., Academic Press, Orlando, Florida, USA.
2. Tran T.N., 1999, “Pressure drop and heat transfer study of two-phase flow in small channels”, Doctoral Thesis, Texas Tech University, UMI Dissertation Service, Ann Arbor, MI 48103, USA, 226 p., UMI Number 9912778.

Publiceringar

[Artikel Klimat 21 - dagen, December 1998, NUTEK, Liljeholmen, Stockholm.](#)

[Artikel Klimat 21 - dagen, November 1999, Chalmers, Göteborg.](#)