

30. Setkání kateder mechaniky tekutin a termomechaniky



22.-24.6. 2011

Špindlerův Mlýn

Jednotlivý příspěvek ze sborníku



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Meranie koncentrácie roztoku pomocou stavových veličín

Michal MOLOTTA¹, Kristína KÁZMÉROVÁ²

¹ Ing. Michal Molotta, Ústav tepelnej energetiky, STU Bratislava, Nám. Slobody 17, michal.molotta@stuba.sk

² Ing. Kristína Kázmérová, Ústav tepelnej energetiky, STU Bratislava, Nám. Slobody 17, kristina.kazmerova@stuba.sk

Abstrakt: *V tomto článku bola vyšetrená možnosť merania koncentrácie vodného roztoku LiBr, ktorý plní funkciu pracovnej látky v malom absorpčnom chladiacom zariadení. Hodnota koncentrácie roztoku umožní rýchlejšiu a presnejšiu reguláciu chodu zariadenia v porovnaní s reguláciou na základe merania stavových veličín. Na základe teoretických podkladov bol vypracovaný algoritmus výpočtu koncentrácie roztoku v jednotlivých častiach zariadenia na základe merania stavových veličín teploty chladiča a roztoku a tlaku pár pri daných teplotách. Podľa tohto algoritmu sa potom vypočítava hodnota koncentrácie matematickým výpočtovým programom. Na potvrdenie tohto výpočtu sa stavia na pôde ústavu nový laboratórny model absorpčného chladiaceho zariadenia, ktorým chceme overiť tieto predpoklady.*

1. Úvod

V Európe v posledných desaťročiach významne rastie spotreba elektrickej energie na chladenie a klimatizáciu. Toto sa deje jednak v dôsledku zvýšenej vnútornej záťaže elektrickými spotrebičmi, ale takisto potrebou zvyšovania tepelného komfortu budov v letnom období. Prehrievanie sklenených budov je často prípadom aj v krajinách severnej Európy. Toto nechcené a často nepredvídané prehrievanie vedie k zaujímavému faktu, keď budovy na severe Európy spotrebujú viac elektrickej energie ako tie na juh od nej, ktoré dávajú viac architektonický dôraz na komfort prostredia v lete. Externá záťaž veľmi závisí od pomeru zasklenej plochy ako aj spôsobu tienenia týchto plôch. Na pokrytie chladenia a klimatizácie sa v súčasnosti využívajú tak elektricky ako aj tepelne poháňané zariadenia.

V posledných rokoch sa o vývoj malých absorpčných zariadení začalo zaujímať viacero tímov. Tieto zariadenia by mali plniť funkciu chladenia vzduchu v miestnostiach malých administratívnych budov alebo obytných

domov. Výhodou týchto zariadení je možnosť ich napojenia na tepelné solárne kolektory, ktoré im poskytnú hnaciu silu vo forme tepla na chod absorpčného chladiaceho cyklu. Preto sa v súčasnosti vývojové tímy snažia dostať tieto zariadenia do praxe, aby sa overilo ich praktické uplatnenie. Rôzne tímy pracujú na týchto zariadeniach z pohľadu ich konštrukcie, výroby, efektívnosti [1], pripojenia do systému ako aj ich údržby. V tomto článku sa venujem meraniu hodnoty koncentrácie LiBr, ktorá je z predošlých skúseností dôležitá tak pre efektívny chod zariadenia ako aj jeho bezpečnosť.

2. Koncentrácia roztoku

Po skúsenostiach s experimentálnym absorpčným chladiacim zariadením skonštruovanom na pôde Ústavu tepelnej energetiky [2], z ktorých výsledkov bolo zrejmé, že hodnoty koncentrácie výrazne ovplyvňujú chod zariadenia. V súčasnosti sa koncentrácia meria objemovou, hmotnostnou alebo inštrumentálnou metódou. Pre tieto účely je z absorpčného zariadenia extrahované

presné objemové množstvo a koncentrácia je určená mimo zariadenie. Touto metódou je ale roztok vystavený okolitému vzduchu a vplyvom jeho hygroskopických vlastností sa meranie a výsledky stretávajú s možnosťou nepresností. Romero a kol. [3] túto veličinu merali optickou metódou pomocou indexu lomu svetla v kvapalnej látke. Autori charakterizovali koncentráciu roztoku LiBr v rozmedzí 50-60 hmotnostných percent a v rozmedzí teplôt 25-70°C rovnicou. Táto určila vzťah medzi indexom lomu, teplotou a koncentráciou s maximálnou chybou 0.27%. Problémom s použitím tejto metódy však môže byť nečistota roztoku. Tieto nečistoty môžu byť spôsobené oxidáciou alebo galvanizáciou častí zariadenia, ako aj nečistotami v zariadení, ktoré tam pri výrobe ostali.

Koncentrácia roztoku zodpovedá množstvu rozpustenej látky, ktoré sa rozpustí v rozpúšťadle. Koncentrácia sa meria rôznymi jednotkami. V prípade použitia roztoku vody a bromidu lítneho sa najčastejšie pri meraniach a regulácii používa hmotnostná koncentrácia. Vyjadruje sa hmotnostným zlomkom zložiek roztoku. V tomto roztoku určuje hmotnostný zlomok podiel bromidu lítneho nasledovne:

$$X = \frac{m_l}{m_l + m_w} \quad (1)$$

Kde m_l je hmotnosť bromidu lítneho v roztoku v kg,

m_w je hmotnosť vody v roztoku v kg.

Ak sa hmotnostný zlomok bromidu lítneho vyjadrí v percentách, hovoríme o koncentracii LiBr v roztoku.

V súčasnosti sa v zariadeniach používajú nasledovné metódy princípy merania:

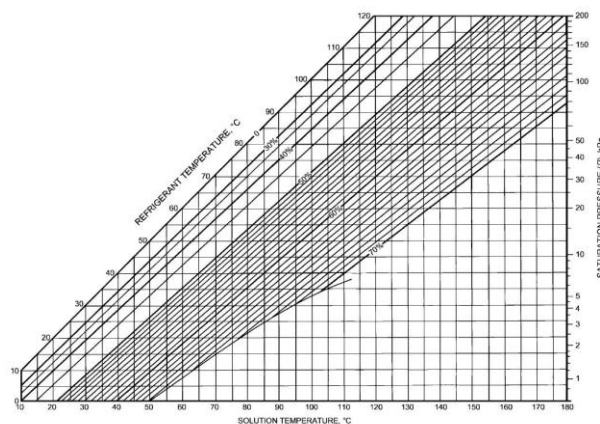
- Optický
- Vodivostný
- Hmotnostný

Optickou metódou sa meria pomocou indexu lomu svetla v kvapalnej látke. Vodivostná

metóda využíva vlastnosť slaných roztokov, kde so zvyšujúcou sa koncentráciou, zvyšuje sa aj vodivosť roztoku. Vodivosť je prevrátenou hodnotou elektrického odporu meraného v Ohmoch. Preto sa vodivosť využíva na meranie koncentrácie rozpustených tuhých látok, v našom prípade rozpusteného LiBr, ktoré boli ionizované v polárnom roztoku, napr. vo vode [4]. S touto metódou vyplýva v našom zariadení problém s galvanizáciou meracích elektród pri dlhodobom meraní. Hmotnostný typ merania spočíva v odoberaní vzoriek zo zariadenia, ktoré pracuje v podtlakovom režime. Toto odoberanie je nekontinuálne a preto zatiaľ nie je vhodné na použitie pri automatizácii zariadenia. Táto metóda však poslúži na overovanie hodnôt vypočítaných pri metóde meraním stavových veličín.

3. Postup výpočtu

Meranie koncentrácie roztoku pomocou merania stavových veličín vychádza z možnosti využitia už inštalovaných senzorov na meranie teploty a tlaku v zariadení. Pri malých absorpčných zariadeniach bude cena zariadenia určujúcim faktorom pri porovnávaní investičných a prevádzkových nákladov. Preto sa pri hľadaní možností určovania koncentrácie hľadali možnosti čo najjednoduchšieho a najlacnejšieho spôsobu merania.



Obr. 14 Rovnovážny diagram roztoku LiBr-voda [5]

Na základe empirických vzťahov popisu kriviek v jednotlivých oblastiach grafu bola zvolená

ako zaujímavá tá časť grafu, ktorá sa obsahuje pracovné teploty a tlaky ako v našom experimentálnom zariadení. Preto boli do úvahy zobrazené rozsahy teplôt chladiva – vody od -15°C po 110°C , rozsah teplôt roztoku 5°C až 175°C a rozsah pracovnej koncentrácie 45% až 70% hmotnostného podielu LiBr. V tomto rozsahu teplôt platí:

$$t = \sum_0^3 B_n X^n + t' \sum_0^3 A_n X^n \quad (2)$$

$$t' = (t - \sum_0^3 B_n X^n) / \sum_0^3 A_n X^n \quad (3)$$

kde t je teplota roztoku, ktorú meriame v zariadení, t' je teplota chladiva, ktoré po ustálení obehu takisto meriame. Riešením týchto dvoch rovníc pre koncentráciu X nám dá výsledok koncentráciu roztoku pri danom rovnovážnom stave [5]. Na riešenie tejto rovnice som použil program pre numerické výpočty MATLAB. Na základe tohto výpočtu sa využívajúc dáta z merania na experimentálnom zariadení určili teoretické hodnoty koncentrácie, ktoré uvádzam v tabuľke 1.

	Teplota	Koncentrácia v Absorbéri	Tlak v Absorbéri
	[$^{\circ}\text{C}$]	[%]	[kPa]
Teplota chladiva	10.99	47.5	1.38
Teplota roztoku	29		
Teplota chladiva	9.97	48.3	1.29
Teplota roztoku	29		
Teplota chladiva	9.76	47.09	1.27
Teplota roztoku	27		
Teplota chladiva	5.93	54.08	0.98
Teplota roztoku	34		

Teplota chladiva	36.6	52.05	6.4
Teplota roztoku	65		
Teplota chladiva	37	53.41	6.6
Teplota roztoku	68		
Teplota chladiva	32.5	57.01	5.1
Teplota roztoku	70		
Teplota chladiva	31	52.77	4.7
Teplota roztoku	60		

Tabuľka 1: Výsledky riešení hodnôt koncentrácie a tlaku výpočtovým programom MATLAB

4. Záver

Z uvedených hodnôt v tabuľke vyplýva, že koncentrácia roztoku sa pohybovala v nízkoťlakej časti zariadenia na úrovni od 47 po 54.08 hmotnostných % LiBr v roztoku. Vo vysokoťlakej časti zariadenia sa hodnoty koncentrácie LiBr v roztoku pohybovali podľa tabuľky v rozmedziach od 53 po 57 hmotnostných %. Tieto údaje bude potrebné overiť pomocou hmotnostného merania koncentrácie mimo zariadenia. Z vypočítaných hodnôt by vyplývalo, že zariadenie pracovalo s nízkymi koncentraciami a jeho efektivita teda nebola dostatočne využitá. Optimálnymi hodnotami koncentrácie by sa považovali hodnoty medzi 52-62 hmotnostných % roztoku LiBr. Preto by som sa rád v ďalšom pokračovaní štúdia venoval tejto metóde a po jej implementácii do praxe ju zaradil ako jeden z kľúčových faktorov riadiacej schémy zariadenia.

Touto prácou som chcel poukázať na možnosti, ktoré ponúkajú nové technológie využívajúce obnoviteľné primárne zdroje. Z práce vyplývajú ich výhody ako aj nedostatky. Tieto zariadenia sú ale stále vo

fáze vývoja a ich prevádzkové dlhodobé testy doposiaľ nie sú k dispozícii. Mojm cieľom je prispieť k ich vývoju a posunu vpred pridaním aplikácie na meranie koncentrácie roztoku pomocou už vstavanych senzorov. Ak sa táto metóda overí, bude nám k dispozícii ďalšia dôležitá veličina, na základe ktorej je možné predísť havarijným stavom zariadenia, ako aj počas prevádzky sledovať a zvyšovať jeho účinnosť. V experimentoch prevádzaných na pôde laboratórií ústavu máme experimentálne zariadenie, ktoré je vhodné na praktické overenie tejto metódy a preto by som ju chcel v nasledovnej práci overiť.

5. Literatúra

- [1] KLEMAN, T., RAJZINGER, J., ZÁLEŽÁKOVÁ L: HODNOTENIE PREDOHREVV ZEMNÉHO PLYNV PER METÓDOU, STROJÁRSTVO – STROJÍRENSTVÍ, ISSN1335-2938, - ROČ. 13, JÚN - MIMORIADNE VYDANIE (2009)
- [2] ČURKA D., MOLOTTA M: EXPERIMENTÁLNY MODEL ABSORPČNÉHO CHLADIACEHO ZARIADENIA S PRACOVNÝMI LÁTKAMI LIBR A H₂O, STROJÁRSTVO – STROJÍRENSTVÍ, ISSN1335-2938, - ROČ. 13, JÚN - MIMORIADNE VYDANIE (2009)
- [3] ROMERO, R.J. A KOL.: WORKING FLUID CONCENTRATION MEASUREMENT IN SOLAR AIR CONDITIONING SYSTEMS, SOLAR ENERGY, 2006
- [4] BOYES W.: INSTRUMENTATION REFERENCE BOOK (3RD EDITION), ELSEVIER, (2003)
- [5] CARRIER CORP.,