

## Optimalizácia absorpčnej chladiacej jednotky

Peter Mlynár

Slovenská technická univerzita v Bratislave, Strojnícka fakulta, Ústav tepelnej energetiky,  
Námestie slobody 17, Bratislava, peter.mlynar@stuba.sk

**Abstrakt** V nasledujúcom článku je popísaná experimentálne overená závislosť hodnôt chladiaceho výkonu a COP na prietoku pracovného roztoku. Experimentálne zariadenie je tvorené jedostupňovým absorpčným chladiacim zariadením, s pracovným roztokom LiBr/voda. Nastavenie okrajových podmienok umožňovalo zistiť spomínanú závislosť pre rôzne teploty napájajúcej látky v rozsahu 80 až 90°C. Prietok pracovného roztoku je závislý od konštrukčného vyhotovenia zariadenia a teplotných okrajových podmienok. Za účelom jeho variácie bol medzi rekuperátor a generátor vo vetve silného roztoku vradený škrtiaci element. Z výsledkov možno pozorovať zistenie optimálnej hodnoty prietoku roztoku na dosiahnutie maximálneho chladiaceho výkonu.

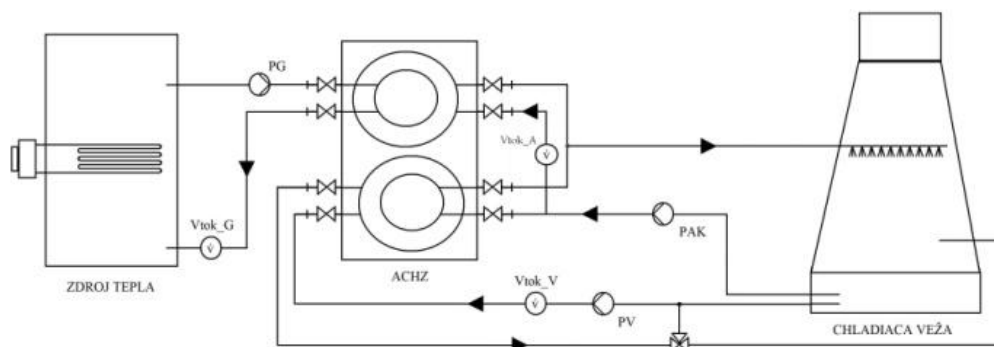
### 1 Úvod

V súčasnej dobe zameranej na efektívnosť prevádzky energetických zariadení s funkciou zabezpečenia celoročného tepelného komfortu budov môžu byť výhodne nasadené malé absorpčné chladiace jednotky. Ich výhodou je možnosť získavania pohonnej tepelnej energie zo solárneho systému, čím sa okrem iného zvýši využitie samotného solárneho systému. Pri takejto koncepcii však nastáva problém s premenlivými teplotami napájajúcej látky a vhodnom nastavení chladiacej jednotky [2]. Nasledujúci článok sa zaoberá práve závislosťou medzi nastavením prietoku pracovného roztoku a veľkosťou chladiaceho výkonu pre malú absorpčnú jednotku. Za účelom zistenia spomínaného vplyvu bol vytvorený matematický model absorpčného chladiča, založený na energetickej bilancii so zohľadnením výpočtu prestupu tepla na konkrétnom geometrickom usporiadaní výmenníkov. Ten bol následne overovaný na experimentálnej stanici, kde boli vykonané viaceré merania pre odlišné okrajové podmienky založené na zmene teploty napájajúcej látky a variáciách prietoku pracovného roztoku.

### 2 Popis experimentálnej stanice

Experimentálna stanica pozostáva z chladiacej jednotky, chladiacej veže, napájacieho tepelného zdroja, meracej aparatury a prepojovacích potrubí. Prepojenie jednotlivých komponentov meracej stanice je zrejmé zo schémy na Obr. 1. Ako pracovná látka všetkých sekundárnych okruhov chladiča bola z dôvodu vhodných vlastností a dostupnosti použitá voda.

Použitá absorpčná chladiaca jednotka je jedostupňová, s vodným roztokom bromidu lítneho ako pracovnou látkou. Jej návrh aj konštrukcia boli vykonané v priestoroch laboratória ÚTE SJF STU v Bratislave. Pozostáva z dvoch párov súosovo umiestnených výmenníkov tepla, rekuperačného výmenníka a dvoch obslužných čerpadiel. Všetky vnútorné výmenníky sú tvorené špirálovo zatočeným zväzkom rúrok, nad ktorými sa nachádza distribútor príslušnej pracovnej látky. Z výpočtového hľadiska ja jedná o ostrekovaný zväzok horizontálnych rúrok. Rekuperátor je typu rúrka v rúrke a pracuje v protiprúdnom režime.



**Obr. 1** Prepojenie experimentálnej stanice

Za účelom odvádzania absorpčného a kondenzačného tepla stanica obsahuje chladiacu vežu. Tá súčasne bola využívaná aj ako spotrebič vytváraného chladu. Pripojenie sekundárneho okruhu výparníka bolo riešené pomocou trojcestného zmiešavacieho ventilu podľa Obr. 1.

Na uvedenom zariadení boli vykonané merania optimálnej hodnoty prietoku primárneho pracovného roztoku v súvislosti s dosiahnutím maximálneho chladiaceho výkonu. Prietok roztoku bol regulovaný prostredníctvom škrtiaceho ventilu umiestnenom medzi generátorom a rekuperačným výmenníkom na strane obohateného roztoku.

Merania boli usporiadané v troch teplotných úrovniach, reprezentovaných vstupnou teplotou napájajúcej látky generátora, ktorá bola pre jednotlivé merania zvolená na hodnotu 80°C, 85°C a 90°C. Pre každú teplotnú úroveň bol vykonaný súbor meraní s odlišným prietokom primárneho roztoku. Ostatné okrajové podmienky (teplota chladiacej a chladenej látky, prietoky všetkých sekundárnych látok) boli udržiavané na konštantných hodnotách.

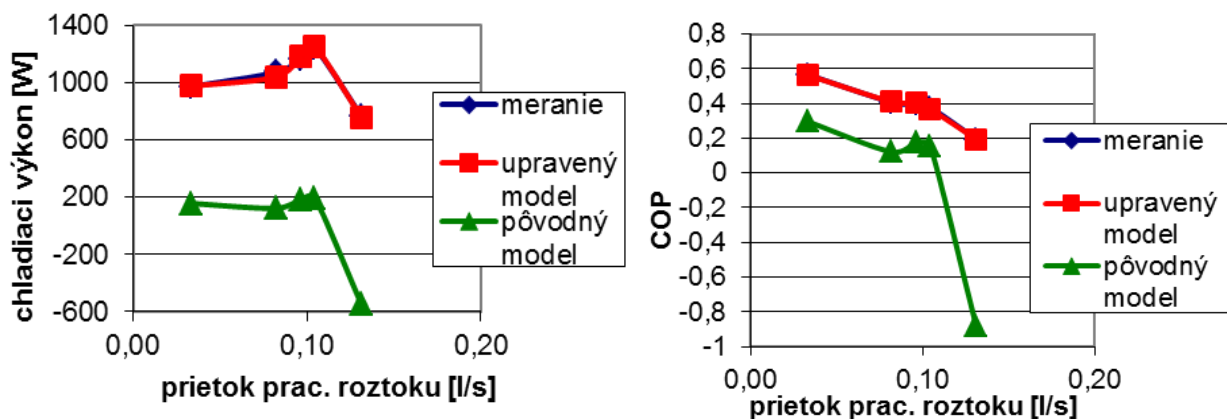
### 3 Matematický model zariadenia

Za účelom zistenia vplyvu veľkosti prietoku pracovného roztoku na chladiaci výkon a COP číslo, bol zostavený matematický model absorpčného chladiča. Ten je založený na energetickej bilancii chladiacej jednotky a zohľadňuje konštrukčné prevedenie zariadenia – konkrétne rozmery a použité materiály. Vstupnými veličinami do modelu sú prietok primárneho pracovného roztoku vystupujúceho z generátora a okrajové podmienky pozostávajúce z teplôt a prietokov sekundárnych látok chladiča. Celkový priebeh programu pozostáva z piatich základných blokov: výpočet primárnych teplôt v absorbéri a generátore, výpočtu koncentrácií, výpočet rekuperačného výmenníka, výpočet entalpií pracovných látok v zariadení a následný výpočet tepelných tokov (chladiaci výkon, COP). Nakoľko výpočty primárnych teplôt a koncentrácií sú vzájomne ovplyvňované, bolo nutné zaradenie iteračného postupu ich výpočtu. Postup výpočtu primárnych teplôt absorbéra a generátora je identický, rozdiel je len v použitých kritériálnych rovniciach, pre prenos tepla v oboch výmenníkoch. Tie boli spracované podľa literatúry [3] a [4]. Na výpočet teplôt za rekuperátorom bola zvolená metóda NTU, nakoľko boli známe obe vstupné teploty a prietoky pracovných látok. Použitá metóda s príslušnými vzťahmi daného konštrukčného riešenia bola podľa [5]. Fyzikálne vlastnosti pracovného roztoku boli prepočítavané podľa aktuálneho stavu určeného teplotou

a koncentraciou na základe vzťahov uvádzaných v [6]. Rovnice na výpočet entalpií pracovných látok boli použité z literatúry [7].

#### 4 Vypočítané a namerané výsledky

Z dôvodu dodržania predpísaného rozsahu článku sa v nasledujúcich častiach budem venovať zisteniam pre teplotnú úroveň napájacej látky rovnú  $80^{\circ}\text{C}$ . Z meraní boli zistené nasledovné závislosti zobrazené na Obr. 2, kde každý bod znázorňuje priemernú hodnotu danej veličiny z celého ustáleného merania/výpočtu, určeného prietokom prac. roztoku a teplotnou úrovňou generátora.



Obr. 2 Výsledky pre teplotnú úroveň  $80^{\circ}\text{C}$

Z uvedených priebehov je viditeľná značná odchýlka absolútnych hodnôt medzi meranými a vypočítanými priebehmi, označenými ako „meranie“ a „pôvodný model“. Avšak tvar ich priebehov je do značnej miery podobný, čo potvrdzuje vhodné zvolenie postupu výpočtu a odráža správanie sa zariadenia pri meniacich sa okrajových podmienkach. Taktiež možno hovoriť o vhodnej simulácii dejov prebiehajúcich v zariadení. Rozdiel absolútnych hodnôt je prejavom idealizácií prijatých v modeli. Kľúčovým miestom algoritmu je určenie teplôt a koncentrácií pracovného roztoku. V tomto bode bolo nutné prijať najviac zjednodušení, čo sa v konečnom dôsledku prejavilo v zníženej presnosti výpočtu.

Za účelom zníženia rozdielu absolútnych hodnôt medzi skutočnosťou a výpočtom boli do algoritmu zakomponované korekčné rovnice. Ich matematická formulácia je pre jednotlivé teplotné úrovne identická a pozostáva z polynomickej funkcie 6-teho rádu. Výsledná hodnota požadovanej premennej je potom získaná ako súčet modelom vypočítanej hodnoty s výsledkom príslušnej korekčnej rovnice. Priebehy vypočítaných hodnôt po korekciách sú zobrazené na Obr. 2, pod označením „upravený model“.

#### Záver

Z uvádzaných výsledkov je zrejماً oblasť prietoku primárneho pracovného roztoku v ktorom je chladiaci výkon zariadenia maximálny. Nakoľko sa daná oblasť nenachádza v blízkosti hraničných hodnôt, je zrejماً že priebeh chladiaceho výkonu mimo uvádzanej oblasti má klesajúci charakter. Z týchto faktov môže byť vyvodený záver, že v danej oblasti sa nachádza optimálna hodnota prietoku pracovného roztoku pre dosiahnutie maximálneho chladiaceho výkonu. Princíp vzniku tejto závislosti je založený na zmene prietoku chladiva zariadením a teda



aj súčasnej zmene koncentrácií pracovného roztoku. Pri ustálenej prevádzke chladiča je množstvo cirkulujúceho chladiva dané množstvom desorbovaného chladiva v generátore. Množstvo desorbovaného chladiva z elementárneho objemu roztoku je závislé od množstva prijatého tepla, ktoré je funkciou parametrov roztoku (koncentrácia, teplota), generátora (teplota teplovýmennnej plochy, tlak) a času, ktorý strávi element v priestore generátora. Čas prechodu elementu generátorom je v konečnom dôsledku daný samotným prietokom roztoku a rozmermi, prípadne typom generátora.

Rozdiel maximálneho a minimálneho chladiaceho výkonu má s rastúcou teplotnou úrovňou generátora klesajúci priebeh. Dôvod tohto poklesu možno vidieť vo zvyšujúcich sa desorpčných schopnostiach generátora vplyvom rastúcej teploty, bez ohľadu na prietok roztoku.

Priebeh hodnôt COP čísla má s rastúcim prietokom roztoku klesajúci charakter a maximálne hodnoty sú dosahované v oblasti s minimálnym prietokom. Taktiež bola pozorovaná nižšia strmosť krivky priebehu COP v oblasti prietoku, kde bol dosahovaný maximálny chladiaci výkon.

Poznanie optimálnych hodnôt prietoku pracovného roztoku v absorpčnom chladiacom zariadení pre dané teploty napájacej látky umožňuje prevádzku s maximalizáciou dosahovaného chladiaceho výkonu. Túto vlastnosť je možné využiť pri kombinácii absorpčnej jednotky poháňanej solárnym systémom, kedy sú vlastnosti napájacej látky počas prevádzky premenlivé a závisia od klimatických podmienok. Uvádzané charakteristiky potom budú tvoriť základ pre regulačný systém chladiča v procese prispôbovania sa aktuálnym podmienkam. V neposlednom rade je taktiež možné zúročenie získaných znalostí pri návrhu nového chladiča v podobe optimalizácie rozmerov zariadenia.

Príspevok a výskum boli realizované s podporou grantu International Visegrad fund.

#### Literatúra

- [1] ČURKA, Daniel. Kompaktný chladiaci sorpčný systém LiBr/voda poháňaný horúcou vodou zo solárnych kolektorov. Mechanical Engineering 2007 : the 11th International Scientific Conference. Bratislava, November 29-30, 2007. - Bratislava : STU v Bratislave, 2007. ISBN 978-80-227-2768-6.
- [2] ASDRUBALI F., GRIGNAFFIN S. Experimental valuation of the performance of a H<sub>2</sub>O–LiBr absorption refrigerator under different service conditions. International Journal of Refrigeration 28, 2005.
- [3] SRINIVAS G. SIYOUNG J. Falling-film and droplet mode heat and mass transfer in horizontal tube LiBr/water absorber. Iowa: Iowa State University, Department of Mechanical Engineering, USA, 2001.
- [4] QINGHUA Ch., Tien-Chien J., Wang Y. Chengming S. Heat transfer performance of lithium bromide solution in falling film generator, International Journal of Heat and Mass Transfer, no. 53, 2010.
- [5] FERSTL K., MASARYK M: Prenos tepla, knižná publikácia, vydavateľstvo STU, Bratislava, 2011
- [6] JETER S. M., LEER. J. R., DIGUILIO R. M., LENARD J. Y., MORAN J. P. TEJA A. S. Thermophysical property data for lithium bromide /water solutions at elevated temperatures. 1991.
- [7] LANSING F.L. Computer modeling of a single-stage lithium bromide/water absorption refrigeration unit. 42-32, 1991