

Nepriame adiabatické chladenie s ostrekovaným rekuperatívnym výmenníkom

Indirect adiabatic cooling with sprayed recuperative heat exchanger

Ing. Igor KRAJČÍ, PhD.
Katedra tepelnej techniky,
Strojnícka fakulta
STU Bratislava, Slovensko

Recenzent
Ing. Miloš Lain

Príspevok sa zaoberá nepriamym adiabatickým chladením ostrekovaným rekuperatívnym výmenníkom pre potreby klimatizácie. Zariadenie je popísané a vysvetlené, stavy a stavové zmeny vzduchu sú zobrazené v Mollierovom h - x diagrame. Uvedené sú rovnice tepelnej bilancie ostrekovaného rekuperatívneho výmenníka.

Kľúčové slová: nepriame adiabatické chladenie, ostrekovaný rekuperatívny výmenník, energeticky úsporná klimatizácia

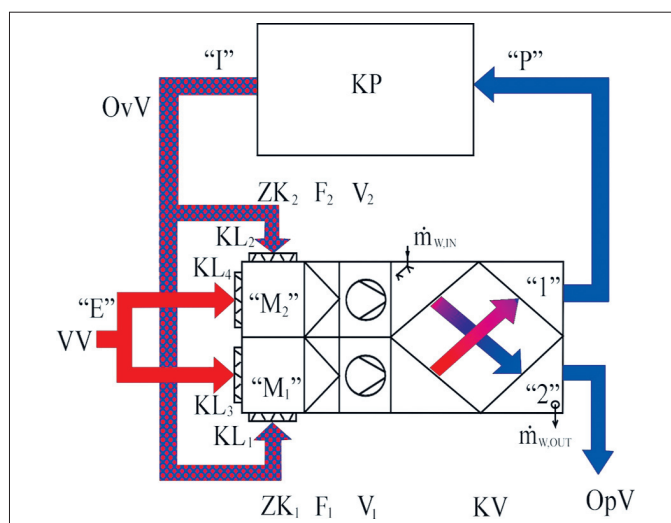
The contribution deals with indirect adiabatic cooling by sprayed recuperative heat exchanger for the demands of air conditioning. The equipment is described, the explanation indicated, air states and state changes are represented in Mollier h - x diagrams. The equations of sprayed recuperative heat exchanger heat balances are indicated.

Key words: indirect adiabatic cooling, sprayed recuperative heat exchanger, energy economising air conditioning

Pri odparení vody sa pohlcuje teplo a tak sa znižuje teplota vody aj vzduchu, ktorý je v styku s vodou, nazýva sa to adiabatické chladenie. Pri priamom adiabatickom chladení sa vzduch zvlhčuje vodou a tým sa adiabaticky chladí, takýto ochladený a zvlhčený vzduch sa privádza do klimatizovaného priestoru. Nepriame adiabatické chladenie má na rozdiel od priameho ešte navyše rekuperatívny výmenník tepla. Rekuperatívny výmenník tepla má tekutiny oddelené pevnou teplovýmennou stenou a nedovoľuje prenos vlhkosti medzi tekutinami. Ochladený a zvlhčený vzduch z adiabatického chladenia odovzdáva svoj chlad vo výmenníku tepla a tak chladí vzduch, ktorý sa privádza do klimatizovaného priestoru. Výhodou nepriameho adiabatického chladenia pri porovnaní s priamym je, že privádzaný vzduch do klimatizovaného priestoru nie je zaťažený vlhkosťou z adiabatického odparovania, ani čistočkami solí, príp. baktériami. Každý výmenník má účinnosť (prevádzkovú charakteristiku) menšiu ako 1, preto len časť chladu prestupuje cez stenu a zbytok chladu ostáva nevyužitý, čo je nevýhodou nepriameho adiabatického chladenia pri porovnaní s priamym. Klimatizačné zariadenia s adiabatickým chladením, či už priamym alebo nepriamym, majú nízku energetickú náročnosť, lebo potrebujú elektrickú energiu iba na pohon ventilátorov a čerpadel.

1. NEPRIAME ADIABATICKÉ CHLADENIE S OSTREKOVANÝM VÝMENNÍKOM

V klimatizácii sa najčastejšie používa výmenník s krížovým prietokovým usporiadaním s nepremiešanými tekutinami v rámci ťahu, aj keď má nižšiu účinnosť ako protiprúdový, ale má vhodný tvar, ktorý umožňuje jednoduché pripojenie vzduchotechnických potrubí a jednoduché zabudovanie do stavebných klimatizačných zariadení (obr. 1). Pri nepriamom adiabatickom chladení s ostrekovaným výmenníkom (obr. 1) je vzduch ostrekovaný priamo vo výmenníku iba na strane odpadového vzduchu. Voda za výmenníkom sa odvádza a znova sa využíva na ostrekovanie. V zostave nie je použitý odlučovač kvapiek za výmenníkom, predpokladá sa, že kvapky sa odlučujú v kanálikoch výmenníka. Ostrekovaný výmenník má vlastný chladiaci výkon, preto tu nie je použitá práčka vzduchu. Odvádzaný vzduch z klimatizovaného priestoru sa delí na odpadový vzduch a cirkulačný vzduch. Cirkulačný vzduch (OvV) so stavom I vstupuje do zmiešavacej komory ZK_1 , kde sa zmiešava s vonkajším vzduchom so stavom E na stav M_1 (obr. 1 a 2), primiešava sa len hygienicky nevyhnutné množstvo vonkajšieho vzduchu (VV). Druhá časť odvádzaného vzduchu so stavom I sa zmiešava s vonkajším čerstvým vzduchom so stavom E v zmiešavacej komore ZK_2 na stav M_2 . Zvyčajne sa primiešava toľko vonkajšieho vzduchu, aby vzduch o stave M_2 mal rovnaký hmotnostný tok ako vzduch o stave M_1 . Vzduch



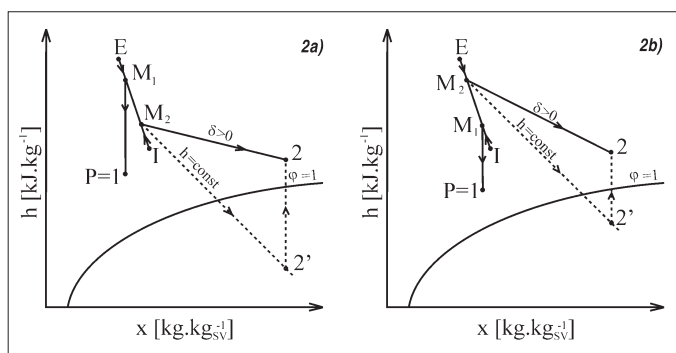
Obr. 1 – Schéma klimatizačnej jednotky s nepriamym adiabatickým chladením s ostrekovaným výmenníkom

ZK – zmiešavacia komora, F – filter, KV – výmenník tepla s krížovým prietokovým usporiadaním, V – ventilátor, KP – klimatizovaný priestor, KL – klapka, OpV – odpadový vzduch, VV – vonkajší čerstvý vzduch, OvV – odvádzaný vzduch

o stave M_2 postupuje do výmenníka (KV), kde sa ostrekuje a tým sa vlhčí a adiabaticky chladí, súčasne chlad prestupuje cez stenu výmenníka a ochladzuje na druhej strane vzduch zo stavu M_1 na stav 1, ktorý sa privádza do klimatizovaného priestoru (KP). Zvlhčený vzduch so stavom 2 sa ďalej nevyužíva a odvádza sa do vonkajšieho priestoru (OpV). V zostave klimatizačnej jednotky sú umiestnené na vstupe filtre (F), aby sa zabránilo zaneseniu nečistôt do ventilátorov (V) a následne do výmenníka (KV) a klimatizovaného priestoru.

Čiara M_2 -2 (obr. 2) ostrekovaného vzduchu vo výmenníku predstavuje polytropický proces a tento proces sa skladá z adiabatického procesu M_2 -2' (vlhčenie a chladenie) a z ohrevu 2'-2 cez stenu výmenníka zmenšenému o tepelný tok z vody. Bod 2' vždy leží v oblasti nenасыteného vlhkého vzduchu ($\varphi < 1$), bod 2' môže ale nemusí ležať v oblasti hmlového vzduchu.

Pri nepriamom adiabatickom chladení, ktoré pracuje iba s čerstvým vzduchom, je zatvorená klapka KL_1 (obr. 1) a všetok odvádzaný vzduch vstupuje do zmiešavacej komory ZK_2 , v zmiešavacej komore ZK_1 je potom iba čerstvý vonkajší vzduch a nič sa tam nezmiešava. Cena vyrobeného chladu pri nepriamom adi-



Obr. 2 – Stavy a stavové zmeny vzduchu v letnej prevádzke nepriameho adiabatického chladenia s ostrekovaným výmenníkom pracujúceho so zmesou čerstvého a obehového vzduchu v Mollierovom h - x diagrame

a) veľký podiel čerstvého vzduchu v privádzanom vzduchu do klimatizovaného priestoru, b) malý podiel čerstvého vzduchu v privádzanom vzduchu do klimatizovaného priestoru, E – stav vonkajšieho vzduchu, I – stav vnútorného vzduchu, P – stav vzduchu privádzaného do klimatizovaného priestoru, δ – smernica priamky $M_2 2$, ϕ – relatívna vlhkosť, h – entalpia, x – špecifická vlhkosť

abatickom chladení je veľmi nízka a preto takéto zariadenie môže pracovať iba s vonkajším čerstvým vzduchom, je to ekonomicky únosné.

2. TEPELNÉ TOKY OSTREKOVANÉHO VÝMENNÍKA

Chladiaci výkon rekuperatívneho výmenníka je možno bilancovať zo vstupných a výstupných veličín rovnicami

$$\dot{Q} = \dot{m}_h \cdot (h_{h,in} - h_{h,out}) \quad (1)$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_c \cdot (h_{c,out} - h_{c,in}) + \dot{Q}_w \quad (2)$$

kde $\dot{m}_h$ a $\dot{m}_c$ [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$] sú hmotnostné toky neostrekovaného a ostrekovaného suchého vzduchu, $h_{h,in}$ a $h_{h,out}$ [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$] sú entalpie neostrekovaného vzduchu na vstupe a výstupe, $h_{c,in}$ a $h_{c,out}$ [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$] sú entalpie ostrekovaného vzduchu na vstupe a výstupe a $\dot{Q}_w$ [W] je citeľný tepelný tok z vody do vzduchu. Entalpie sa vypočítajú

$$h_{h,in} = c_{p,SV} \cdot t_{h,in} + (r_0 + c_{p,P} \cdot t_{h,in}) \cdot x_h \quad (3)$$

$$h_{h,out} = c_{p,SV} \cdot t_{h,out} + (r_0 + c_{p,P} \cdot t_{h,out}) \cdot x_h \quad (4)$$

$$h_{c,in} = c_{p,SV} \cdot t_{c,in} + (r_0 + c_{p,P} \cdot t_{c,in}) \cdot x_{c,in} \quad (5)$$

$$h_{c,out} = c_{p,SV} \cdot t_{c,out} + (r_0 + c_{p,P} \cdot t_{c,out}) \cdot x_{c,out} \quad (6)$$

kde $x_{c,in}$ a $x_{c,out}$ [kg] sú špecifické vlhkosti ostrekovaného vzduchu na vstupe a výstupe, x_h [kg] je špecifická vlhkosť neostrekovaného vzduchu, $t_{h,in}$ a $t_{h,out}$ [$^{\circ}\text{C}$] sú teploty neostrekovaného vzduchu na vstupe a výstupe, $t_{c,in}$ a $t_{c,out}$ [$^{\circ}\text{C}$] sú teploty ostrekovaného vzduchu na vstupe a výstupe, $c_{p,SV}$ je špecifická tepelná kapacita suchého vzduchu pri konštantnom tlaku, $c_{p,SV} = 1.010 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, $c_{p,P}$ je špecifická tepelná kapacita vodnej pary pri konštantnom tlaku, $c_{p,P} = 1.872 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, r_0 je výparné teplo vody pri teplote 0°C , $r_0 = 2.5 \cdot 10^6 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$. Špecifická vlhkosť x_h je konštantná vo výmenníku, ku kondenzácii nedochádza. Vzťah pre tepelný tok z vody je

$$\dot{Q}_w = \dot{Q}_{w,out} - \dot{Q}_{w,in} \quad (7)$$

kde $\dot{Q}_{w,out}$ a $\dot{Q}_{w,in}$ sú tepelné toky z vody na výstupe a vstupe do výmenníka. Ak sa zanedbá rozdiel hmotnostných tokov vody na vstupe a výstupe z výmenníka, potom sa vzťah zjednoduší na tvar

$$\dot{Q}_w = \dot{m}_w \cdot c_w \cdot (t_{w,out} - t_{w,in}) \quad (8)$$

kde $\dot{m}_w$ [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$] je hmotnostný tok vody, ktorá sa rozstrekuje, c_w [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$] je špecifická tepelná kapacita vody, $c_w = 4.183 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, $t_{w,in}$ a $t_{w,out}$ [$^{\circ}\text{C}$] sú teploty vody na vstupe a výstupe z výmenníka. V ustálenom stave pri cirkulácii vody je tepelný tok takmer nulový, lebo hmotnostný tok dopĺňovanej čerstvej vody je malý v porovnaní s a preto aj teplota $t_{w,in}$ je blízka teplote $t_{w,out}$. Hmotnostný tok odparenej vody sa vypočíta

$$\dot{m}_{w0} = m_c \cdot (x_{c,out} - x_{c,in}) \quad (9)$$

taký istý hmotnostný tok čerstvej vody by sa mal dopĺňať.

Ostrekovanie výmenníka s krížovým prietokovým usporiadaním rozmerov $750 \times 750 \times 250 \text{ mm}$ dosahuje chladiaci výkon $1,5$ až 2 kW pri vonkajšej teplote 32°C a relatívnej vlhkosti 40% . Uvedené zariadenie patrí do oblasti s nižším chladiacim výkonom, kde môže nahradiť strojné chladenie bez odvlhčovania vzduchu, alebo priame adiabatické chladenie, ktoré má sekundárny nežiadúci účinok zvyšovanie vlhkosti vzduchu. Väčší výkon sa môže dosiahnuť použitím účinnejších výmenníkov (protiprúdových) alebo väčších výmenníkov alebo viacerých výmenníkov, čím sa značne zvyšujú investičné náklady. Pri nahradení strojného chladenia sa získavajú úspory elektrickej energie. Pri nahradení priameho adiabatického chladenia sa ušetrí na konštrukcii práčky za cenu výmenníka tepla a nižšej účinnosti, získa sa však najmä oddelenie vzdušín a nezvyšuje sa vlhkosť privádzaného vzduchu. Veľmi výhodné je, ak to konštrukcia výmenníkov dovoľuje, doplniť existujúce výmenníky, ktoré sa používajú na spätné získavanie energie v zime, o nepriame adiabatické chladenie, potom je možné využívať tieto výmenníky aj v lete na chladenie.

Príspevok prezentuje čiastkové výsledky riešenia grantovej úlohy č. 0295/03.

Spojení na autora: krajci@sif.stuba.sk, STU, KTT, Sif, Nám. Slobody 17, 812 31 Bratislava, Slovensko.

Použitý zdroj:

- [1] KRAJČÍ, I.: Zvyšovanie účinnosti doskových výmenníkov tepla s krížovým prietokovým usporiadaním nepriamym adiabatickým chladením prostredníctvom ostrekovania teplovýmenných plôch (dizertačná práca), Strojnícka fakulta, STU v Bratislave, 2002
- [2] KRAJČÍ, I.: Indirect Adiabatic Cooling with Sprayed Cross-flow Heat Exchanger by Water, 21st International Congress of Refrigeration, Washington D.C., USA, 17.–22. August 2003, 9 strán (CD príspevok ICR0652)
- [3] KRAJČÍ, I.: Modelling and Computer Simulation of the Indirect Adiabatic Cooling with Cross Flow Heat Exchanger, 14th International Conference on Process Control, Štrbské Pleso, Slovensko, 8. – 11. jún 2003, 4 strany (CD príspevok pc052)
- [4] COSTELLOE, B., FINN, D.: Indirect evaporative cooling potential in air-water systems in temperature climates, Energy and Buildings, 2003, 35, pp. 573–591
- [5] SAMAN, W. Y., ALIZADEH, S.: An experimental study of a cross-flow type plate heat exchanger for dehumidification /cooling, Solar Energy, 2002, 73, pp. 59–71
- [6] SAN JOSE ALONSO, J.F.: Simulation model of an indirect evaporative cooler, Energy and Buildings, 1998, 29, pp 23–27. ■

*Regulace chlazení nově

Firma Johnson Controls, jeden z vedoucích světových výrobců automatických řídicích systémů pro management budov, vyvinula mikroprocesorový regulátor pro systémy chlazení. Pod označením MR 10/MR 40 je představen regulátor chlazení místností, FX 10 je programovatelný regulátor a FX 15 je určen k centrální regulaci chlazení. Všechny nové řídicí systémy jsou integrovatelné do stávajících zařízení.

(www.jci.com)

(Laj)