

Tepelné čerpadlá – technológia pre úspory primárnej energie a emisií CO₂ (2)

Energetická a ekonomická efektívnosť tepelných čerpadiel

Energetickú aj ekonomickú efektívnosť tepelných čerpadiel nie je možné ako na chladiacich zariadeniach vyjadriť kvantitatívnymi hodnotami dosahovanej spotreby primárnej energie resp. celkových ročných nákladov na vyrobenú energiu, pretože ide o alternatívny systém výroby tepelnej energie oproti bežne používaným spôsobom. Je teda potrebné vyjadriť rozdiely dosahovaných energetických a ekonomických parametrov systému tepelného čerpadla voči konkrétnemu bežne používanému spôsobu výroby tepelnej energie v danom mieste a čase inštalácie tepelného čerpadla.

Použitie tepelného čerpadla z hľadiska užívateľa môže byť efektívne (užitočné) len vtedy, ak celkové ročné náklady na výrobu jednotkového množstva tepelnej energie sú menšie ako s porovnaným klasickým spôsobom výroby tepla a doba návratnosti investície je výrazne menšia ako jej životnosť. Dosiahnutie úspor primárnej energie tepelným čerpadlom v porovnaní s klasickou výrobou tepla ešte nijako nezaručuje dosiahnutie ekonomickej efektívnosti inštalácie, ale je (ako bude ďalej vysvetlené) len jej základným predpokladom.

Energetická efektívnosť

Energetickú efektívnosť výroby tepelnej energie tepelným čerpadlom je možné vyjadriť kvantitou vyrobenej tepelnej energie na jednotku dodávanej pohonnej energie do systému (čo je mechanický príkon kompresora alebo tepelný príkon generátora v prípade absorpčného cyklu). Tento pomer nazývame výkonové číslo, označujeme COP (z anglického „coefficient of performance“). Je zrejmé, že čím väčšiu hodnotu COP systém dosahuje, tým vyrobí viac užitočnej tepelnej energie na jednotku dodávanej pohonnej energie a je teda energeticky efektívnejší. To ale platí len pri porovnaní systémov tepelných

čerpadiel s rovnakým druhom pohonnej energie (teda kompresorových s mechanickou pohonnou energiou medzi sebou a takisto absorpčných s tepelnou pohonnou energiou).

Kvantitatívne porovnanie hodnôt COP parných kompresorových a absorpčných systémov tepelných čerpadiel teda nie je možné, pretože mechanická pohonná energia sa vyrába z tepelnej energie spaľovaním fosílnych palív v tepelných cykloch s určitou hodnotou účinnosti transformácie jednotlivých druhov energie (z chemickej energie paliva na tepelnú energiu a potom na mechanickú energiu). Hodnota COP je teda nedokonalým vyjadrením energetickej efektívnosti termodynamických obehov tepelných čerpadiel, pretože nie je ju možné obecné využiť pre porovnávanie energetických systémov výroby tepla s rôznymi druhmi pohonnej energie.

Tento nedostatok je možné odstrániť definovaním energetickej efektívnosti systému ako pomeru spotrebovanej pohonnej primárnej energie (primárna energia je tepelná energia obsiahnutá vo fosílnom palive daná výhrevnosťou paliva) na jednotku vyrobenej užitočnej tepelnej energie. Takto vyjadrenú energetickú efektívnosť nazývame stupeň využitia primárnej energie a označujeme PER (z anglického „primary energy rate“). Je zrejmé, že čím nižšiu hodnotu PER systém dosahuje, tým spotrebuje menej primárnej energie na jednotku vyrobenej užitočnej energie a tým je energeticky efektívnejší. Pomocou hodnôt PER je možné na rozdiel od hodnôt výkonového čísla COP porovnávať ľubovoľné energetické systémy na výrobu tepla, s rôznymi druhmi pohonnej aj produkovanej energie, ako aj rôzne kombinované systémy výroby tepla, chladu a elektrickej energie.

Obidve hodnoty COP aj PER výrazne závisia od teplotného rozdielu medzi kondenzačnou a výparnou teplotou systému daného najmä teplotou zdroja nízko- a vysokoteplotnej energie pre výparník (so zväčšovaním tohto rozdielu energetická efektívnosť výrazne klesá)

a druhu a účinnosti výroby dodávanej pohonnej energie systému. Dosiadateľné hodnoty COP a PER pre rôzne typy a pohonné energie tepelných čerpadiel pri výparnej teplote 0 °C a kondenzačnej teplote 50 °C sú uvedené v tabuľke 2.

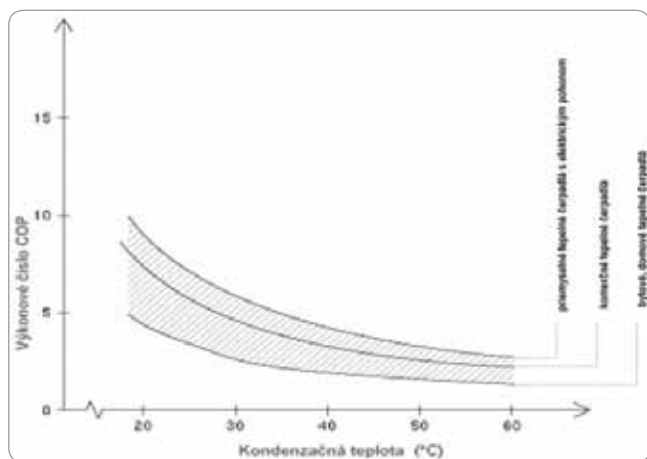
Typ tepelného čerpadla	COP	PER
Kompresorový obeh, elektrická energia	3,5 – 5,0	0,9 – 0,6
Kompresorový obeh, spaľovací motor	1,1 – 2,3	0,9 – 0,4
Absorpčný obeh	0,9 – 1,8	1,2 – 0,6

Tab. 2

Porovnanie energetickej efektívnosti výroby tepla tepelným čerpadlom s klasickou výrobou tepla napríklad spaľovaním fosílného paliva v kotle je možné pomocou pomeru tepelného výkonu tepelného čerpadla a kotla pri rovnakej spotrebe primárnej energie. Potom je možné vypočítať úsporu primárnych energetických zdrojov (úsporu fosílného paliva) použitím systému tepelného čerpadla voči výrobe tepla v kotle. Hodnota tejto úspory je pri použití tepelného čerpadla s pohonom kompresora elektromotorom závislá od hodnoty výkonového čísla COP daného tepelného čerpadla, účinnosti porovnávaného kotla a účinnosti výroby elektrickej energie vrátane rozvodu.

Na obrázku 4 je zobrazený rozsah skutočných hodnôt COP dosahovaných rôznymi typmi a veľkosťami tepelných čerpadiel v závislosti od kondenzačnej teploty pri teplote zdroja nízkoteplotnej energie 0 °C (prevzaté z <http://www.heatpumpcentre.org>)

Na dosahované hodnoty energetickej efektívnosti výroby tepla tepelnými čerpadlami vplyvajú aj spotreby energie pre pomocné systémy dodávky a distribúcie jednotlivých energetických tokov, ktoré treba zaradiť do pohonnej energie systému (ako sú čerpadlá, ventilátory a pod.), technická dokonalosť – optimalizácia jednotlivých komponentov systému, dimenzovanie veľkosti príkonu a výkonu systému vzhľadom na premenlivé požiadavky na kvantitu a kvalitu vyrábaného tepelného toku, regulačný systém prevádzky – jeho hospodárnosť a iné. Priemyselné tepelné čerpadlá veľkých výkonov dosahujú vyššiu energetickú efektívnosť, čo sa výraznejšie prejavuje najmä na absorpčných tepelných čerpadlách - podrobnejšie v kapitole Aplikácie tepelných čerpadiel v priemyselnej a komunálnej sfére.



Obr. 4

Ekonomická efektívnosť

Základnou podmienkou pre dosiahnutie ekonomickej efektívnosti použitia tepelného čerpadla ako alternatívneho systému výroby tepelnej energie je, že celkové ročné náklady na vyrobené teplo sú, ako už bolo uvedené, menšie ako náklady na rovnaké množstvo tepla vyrobené konvenčným systémom výroby všeobecne dostupným a používaným v mieste zamýšľanej inštalácie tepelného čerpadla (vo väčšine prípadov ide o výrobu tepla spaľovaním fosílnych palív v kotle na výrobu vodnej pary alebo vykurovacej vody).

Celkové ročné náklady sa skladajú z podielov (odpisov) jednorázových investičných nákladov a prevádzkových nákladov, z ktorých hlavný podiel tvoria náklady na pohonnú energiu systému. Keďže

v praktických prípadoch sú investičné náklady na systémy tepelných čerpadiel vždy výrazne vyššie ako investičné náklady na konvenčné vykurovacie systémy, dosiahnutie základnej podmienky ekonomickej efektívnosti a účelnosti použitia tepelného čerpadla na výrobu tepla závisí predovšetkým od kvantity dosiahnutej úspory primárnej pohonnej energie systému tepelného čerpadla (teda od hodnôt COP a účinnosti transformácií použitých energetických tokov) a samozrejme od cien jednotlivých druhov energií vstupujúcich do porovnávaných systémov.

Dosiahnutie základnej podmienky ekonomickej efektívnosti, ako už bolo uvedené, ešte nezaručuje z hľadiska užívateľa výhodnosť a účelnosť použitia systému tepelného čerpadla na výrobu tepla. Rozhodujúcim faktorom je výpočet návratnosti vloženéj investície na takýto spôsob výroby tepla, v oblasti priemyselných tepelných čerpadiel by nemala návratnosť prekročiť cca 10 rokov, v oblasti súkromných užívateľov (vykurovanie rodinných domov a pod.) je prijateľná doba návratnosti do cca 5 -7 rokov.

Pracovné látky tepelných čerpadiel

Ako pracovné látky tepelných čerpadiel sa používajú v zásade tie látky, ktoré umožňujú realizáciu termodynamického chladiaceho obehu v chladiacich zariadeniach nazývané vo všeobecnosti chladiivami.

Vzhľadom na to, že vo väčšine systémov tepelných čerpadiel je potrebná pre výrobu tepla vyššia kondenzačná teplota ako v chladiacich zariadeniach (tá je daná väčšinou teplotou okolitého vzduchu alebo vody používanej pre chladenie kondenzátora), sú pre tepelné čerpadlá vhodné chladiivá s vyššou teplotou skupenskej premeny v závislosti od tlaku. Z prírodných chladiív, tzn. z látok prirodzene existujúcich v našej biosfére, ktoré majú zanedbateľný alebo nulový vplyv na rozpad ozónovej vrstvy Zeme ako aj na globálne otepľovanie, je možné pre tepelné čerpadlá použiť:

- **amoniak (NH₃)**, je to z termodynamického hľadiska veľmi efektívna pracovná látka, nevýhodou je jej horľavosť, výbušnosť a toxicita, preto pripadá do úvahy predovšetkým pre použitie v systémoch s nepriamym (sekundárnym) rozvodom chladu, s bezpečnostnou ventiláciou priestorov a pod. V budúcnosti sa predpokladá širšie použitie amoniaku najmä vo vysokoteplotných priemyselných tepelných čerpadlách po dokončení vývoja potrebných vysokotlakých kompresorov (do 40 barov výtláčného tlaku),
- **uhľovodíky (HCs)**, sú horľavé chladiivá známe už z dávnej histórie. V súčasnosti propán, propylén a zmesi propánu, butánu, izobutánu a etánu sa ukazujú ako energeticky výhodné pracovné látky pre tepelné čerpadlá pri malej kvantite náplne v obehu a dodržaní ďalších bezpečnostných opatrení.
- **voda**, je vynikajúcim chladiivom pre vysokoteplotné priemyselné tepelné čerpadlá pre jej vhodné vlastnosti, netoxickosť, nehorľavosť a iné. Je ju možné použiť v rozsahu kondenzačných teplôt od 80 do 150 až 300 °C. Základnou nevýhodou je malá objemová tepelná kapacita (J/m³), čo vyžaduje veľké a drahé kompresory.
- **CO₂** je perspektívnym chladiivom pre tepelné čerpadlá vzhľadom na jeho priaznivé vlastnosti ako netoxickosť, nehorľavosť, kompatibilitosť k rôznym mazivám, konštrukčným materiálom... má vysokú objemovú tepelnú kapacitu a je možné dosiahnuť nízky pomer kondenzačného a výparného tlaku, čo priaznivo vplyva na dosiahnutie vysokej energetickej efektívnosti obehu. Nevýhodou je nutnosť použitia tzv. transkritického termodynamického obehu, kedy tlak po kompresii dosahuje nadkritickú hodnotu (cca 70 až 90 barov), pri odvode tepla nedochádza teda ku kondenzácii chladiiva ako v kompresorovom chladiacom obehu. Vývoj odpovedajúcich vysokotlakých kompresorov pre CO₂ sa v súčasnosti ukončuje, problémom zatiaľ zostávajú vysoké investičné náklady na realizáciu takéhoto obehu.

V súčasnosti sa pre tepelné čerpadlá používajú najmä pracovné látky z oblasti umelo vytvorených látok, ide o halogénované uhľovodíky všeobecne už niekoľko desaťročí najviac využívané v chladiacej technike pre ich výborné termofyzikálne vlastnosti, najmä vysokú objemovú tepelnú kapacitu, nehorľavosť, nevýbušnosť, netoxickosť a iné. Základnou nevýhodou týchto látok je, že niektoré z nich (tie



ktoré obsahujú chlór) spôsobujú rozpad ozónovej vrstvy Zeme a všetky zapríčiňujú globálne otepľovanie (skleníkový efekt). Stupeň týchto ekologicky škodlivých vlastností jednotlivých chladív je rôzny a preto ich rozdeľujeme na:

- **plne halogenované uhľovodíky (CFCs)**, kde všetky atómy vodíku sú nahradené halógenmi (fluórom a chlór). Tieto majú z hľadiska rozpadu ozónovej vrstvy Zeme aj skleníkového efektu kvantitatívne najhoršie pôsobenie a preto na základe medzinárodných dohovorov (Montrealského protokolu a následných dodatkov) bola ich výroba a obchodovanie s nimi zastavené od roku 1966. Ide o chladivá ako R11, R12 (najčastejšie používané v domácom chladení), R113, R115, ... a zmesi ako R500 (R12 + R152a), R502 (R22 + R115) a iné.
- **čiastočne halogenované uhľovodíky (HCFCs)**, kde v molekule zostal prajmenšom jeden atóm vodíku. Tieto chladivá majú výrazne kvantitatívne menšie ekologicky škodlivé účinky najmä na rozpad ozónovej vrstvy Zeme (až 50 krát) a preto je ich možné ešte v súčasnosti vyrábať a obchodovať s nimi (požívajú sa najmä ako náhradné a alternatívne chladivá za CFCs chladivá v starých zariadeniach), do nových zariadení sa už nepoužívajú. Medzinárodné dohovory postupne redukovujú ich výrobu v EÚ s ukončením v roku 2010 a používanie v roku 2015. Ide o chladivá R22, R123, R124, R141b a iné a ternárne zmesi s chladivom R22 ako sú R401, R402A, R403A, R408, R409A, R409B a ďalšie.
- **fluorované uhľovodíky (HFCs)**, kde sú atómy vodíka nahradzované iba fluórom, teda molekula neobsahuje z ekologického hľadiska na ozónovú vrstvu Zeme škodlivý chlór. Treba si uvedomiť, že aj tieto halogenované uhľovodíky, často nesprávne označované ako „ekologicky neškodlivé alebo čisté“, spôsobujú

v obdobnej kvantitatívnej miere ako HCFCs uhľovodíky globálne otepľovanie planéty. Ide o chladivá ako R134a (energeticky najvhodnejšia náhrada za R12), R152a, R125 a R32 (časté zložky zmesi chladív), R143a (s podobnými vlastnosťami ako R502 a R22) a iné a ternárne zmesi chladív ako sú R404A, R407C a R410A (možné náhrady R22 v existujúcich zariadeniach), R507 a iné.

Výber pracovnej látky pre systémy tepelných čerpadiel je potrebné vykonať najmä z hľadiska prevádzkových podmienok – ide najmä o potrebnú teplotnú úroveň v kondenzátore (treba kontrolovať najmä teplotu chladiva po kompresii, ktorá je podstatne vyššia ako kondenzačná - pri kondenzačnej teplote cca 45 až 50 °C dosahuje aj nad 100 °C s halogenovanými uhľovodíkmi, pričom väčšina z týchto chladív začína byť nestabilná pri cca 120°C), kompatibility s mazacími olejmi a materiálmi, ekologických vlastností (v súčasnosti do nových zariadení sa používajú už len HFCs chladivá).

Použitie jednotlivých druhov chladív má samozrejme aj vplyv na dosahovanú úroveň energetickej efektívnosti obehu (hodnôt COP a PER). Všeobecne je ale potrebné konštatovať, že energetická efektívnosť prevádzky systému tepelného čerpadla v oveľa väčšej miere ako na použitom chladive závisí od samotného návrhu systému, podmienkach prevádzky (najmä spôsobu regulácie), mieste a druhu aplikácie a pod.

Pokračovanie v budúcom čísle.

Prof. Ing. Václav Havelský, PhD.
Strojnícka fakulta STU Bratislava