

Tepelné čerpadlá – technológia pre úspory primárnej energie a emisií CO₂ (1)

Úspory primárnej energie

Tepelné čerpadlá sú alternatívne zariadenia pre výrobu tepelnej energie v porovnaní s jej klasickou výrobou pomocou spaľovania fosílnych palív. Princíp ich funkcie je založený na termodynamickom obehu strojného chladiaceho zariadenia. Tepelné čerpadlá môžu za určitých podmienok dosiahnuť v porovnaní s klasickou konvenčnou výrobou tepelnej energie výrazné úspory primárnej energie – teda tepelnej energie obsiahnutej v chemickej forme vo fosílnych palivách a môžu byť najefektívnejšou formou zabezpečovania ohrievacích ale aj chladiacich procesov v priemysle aj v komunálnej sfére.

Úspory emisií CO₂

Úspory primárnej energie fosílnych palív (dané chemickou energiou – výhrevnosťou pevných, plyných alebo kvapalných prírodných palivových zdrojov) sú kvantitatívne priamo úmerné úsporám emisií CO₂ a tepelné čerpadlá sú teda z hľadiska vplyvu na globálne otepľovanie planéty v porovnaní s klasickou výrobou tepla ekologickejšou technológiou úmerne dosiahnutým kvantitatívnym úsporám primárnej energie.

V prípade, že primárna pohonná energia pre systémy tepelných čerpadiel nie je získavaná z chemickej energie fosílnych palív, ale napríklad z jadrovej a vodnej energie, potom použitie takýchto energetických zdrojov nemá negatívny ekologický vplyv, pretože pri ich výrobe nedochádza k emisiám CO₂.

Podiel tepelných čerpadiel vo vykurovaní

Globálne celosvetové emisie CO₂ dosahovali v roku 1997 22 miliónov ton, z čoho sa vykurovanie budov podieľa 30 % a priemyselné ohrievacie procesy 35 %, teda spolu 14,3 bil. ton emisií. Pri využití tepelných čerpadiel na približne 30 % pri vykurovaní budov by bolo možné už v súčasnosti dosiahnuť úsporu emisií až 1 bil. ton CO₂ a v priemysle minimálne 0,2 bil. ton, dokopy teda úspora asi 8 emisií vykurovacích a ohrievacích procesov (na základe údajov na <http://www.heatpumpcentre.org/>). Pri očakávanom zvýšení účinnosti výroby elektrickej energie (najmä kogeneračným spôsobom jej výroby) ako aj zvyšovaní samotnej energetickej efektívnosti prevádzky tepelných čerpadiel by bolo možné už v blízkej budúcnosti dosiahnuť až dvojnásobok uvedenej úspory emisií CO₂ pri vykurovacích a ohrievacích procesoch v priemyselnej aj komunálnej sfére (prevzaté z <http://www.heatpumpcentre.org/>).

Dosiahnutie uvedeného asi 30 % podielu výroby tepla tepelnými čerpadlami pre vykurovacie a ohrievacie procesy v komunálnej sfére predpokladá okrem výskumného úsilia pre celosvetové rozšírenie a optimalizáciu energetickej efektívnosti tejto technológie konkrétne štátnu stimuláciu a finančnú podporu trhu, ktorá umožní v oveľa širších aplikáciách ekonomickú konkurenciu schopnosť týchto zariadení voči klasickým technológiám výroby tepla, ktoré sú všeobecne investične výrazne lacnejšie.

Technológia tepelných čerpadiel

Tepelné čerpadlá pracujú ako už bolo uvedené na princípe termodynamického chladiaceho obeh, ktorý je v súčasnosti používaný najmä v realizácii parného kompresorového a absorpčného chladiaceho obeh. V oboch aplikáciách je tepelná energia transformovaná do nízkoenergetickej časti obeh (výparníka zariadenia) z okolitého prostredia (vzduch, voda, pôda ako aj odpadné tepelné toky z priemyselných technologických aj iných tepelných procesov) a získavaná z vysokotlakovanej časti (kondenzátora zariadenia) ako užitočný tepelný tok pre vykurovacie a iné ohrievacie tepelné procesy.

Transformácia tepelnej energie na vyššiu teplotnú úroveň

Pre uskutočnenie takejto transformácie tepelnej energie z nižšej na vyššiu teplotu je potrebné do systému samozrejme dodať pohonnú energiu vo forme mechanickej energie alebo vysokotepelnej tepelnej energie. Celkový užitočný tepelný tok z kondenzátora zariadenia je potom súčtom nízkoenergetickej energie dodanej do výparníka a pohonnej energie zariadenia.

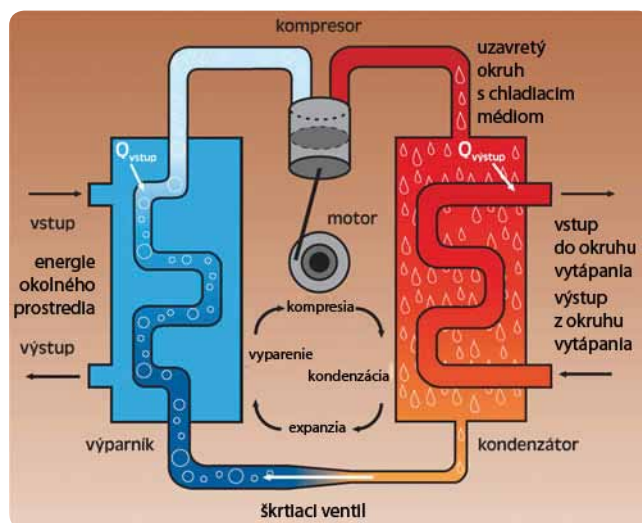
Keďže nízkoenergetická energia získavaná z okolitého prostredia je sekundárnym odpadným zdrojom energie, efektívnosť takejto transformácie energie závisí od pomeru množstva „zadarmo“ získanej nízkoenergetickej energie k množstvu pohonnej energie zariadenia. Tento pomer závisí najmä od teplotných parametrov jednotlivých energetických tokov, ako je podrobne vysvetlené v kapitole Energetická a ekonomická efektívnosť tepelných čerpadiel.

Rozdiely v teplotných úrovniach

Rozdiel medzi funkciou tepelného čerpadla a chladiaceho zariadenia je teda len v teplotnej úrovni energetických tokov dodávaných do nízkoenergetickej časti obeh (výparníka zariadenia) a získavaných z vysokotlakovanej časti obeh (kondenzátora). V tepelnom čerpadle teplotná úroveň toku energie do výparníka odpovedá teplotnej úrovni použitého okolitého prostredia (voda, vzduch, ap.), teplotná úroveň užitočného tepelného toku z kondenzátora odpovedá požadovanej teplotnej úrovni vykurovacieho alebo iného ohrievacieho procesu. V chladiacom zariadení naopak tepelný tok z kondenzátora odpovedá teplote okolitého prostredia používaného pre chladenia kondenzátora (väčšinou okolitý vzduch alebo voda) a teplotná úroveň tepelného toku do výparníka musí odpovedať požadovanej teplote chladenej látky.

Ohrev i chladenie

Tepelné čerpadlo alebo chladiace zariadenie je možné využiť pre ohrievacie a chladiace procesy striedavo (najmä v aplikácii na teplovzdušné vykurovanie v zime a klimatizáciu v lete), alebo aj súčasne, čo je energeticky efektívne ak rozdiely medzi potrebnými teplotami tepelných tokov do výparníka a z kondenzátora zariadenia nie sú príliš veľké.



Parné kompresorové tepelné čerpadlá

Najväčší podiel v súčasnosti realizovaných tepelných čerpadiel pracuje na princípe parného kompresorového chladiaceho obeh.

Hlavné komponenty takéhoto systému s ich vzájomným energetickým prepojením znázorneným schematicky na obr. 1 sú:

- kompresor (komprimuje pomocou dodávanej mechanickej energie na kompresor nasávané pary chladiva z výparníka na tlak v kondenzátore),
- kondenzátor (v ňom dochádza k ochladzovaniu a skvapalneniu pár chladiva vonkajším tepelným tokom využívaným ako zdroj tepelnej energie),
- expanzný ventil (znižuje tlak kvapalného chladiva z kondenzačného na tlak vo výparníku),
- výparník (dochádza v ňom k vyparovaniu chladiva pomocou vonkajšieho tepelného toku získavaného z okolitého prostredia).

Uvedený termodynamický obch sa uskutočňuje pomocou pracovnej látky - chladiva, ktorého vlastnosti - najmä bod varu a kondenzácie v závislosti od tlaku musí odpovedať požadovaným teplotným parametrom tepelných tokov do výparníka a z kondenzátora – bližšie vysvetlenie v kapitole Pracovné látky tepelných čerpadiel.

Pohonná energia obehu

Pohonná mechanická energia na kompresor popísaného obehu sa väčšinou realizuje pomocou elektrickej energie prostredníctvom elektromotora, celková energetická efektívnosť zariadenia potom výrazne závisí aj od účinnosti výroby elektrickej energie – bližšie v kapitole Energetická a ekonomická efektívnosť tepelných čerpadiel. Mechanický pohon kompresora je možné v praktických aplikáciách realizovať aj pomocou spaľovacieho motora prípadne parnej alebo plynovej turbíny. Hlavnou výhodou takýchto inštalácií je využitie odpadných horúcich plynov pohonného zariadenia pre ďalší zisk a zvýšenie teplotnej úrovne získavanej tepelnej energie – podrobnejšie v kapitole Aplikácie tepelných čerpadiel v priemysle a komunálnej sfére a Energetická a ekonomická efektívnosť tepelných čerpadiel.

Absorpčné tepelné čerpadlá

Hlavné komponenty a ich energetické prepojenie tepelného čerpadla pracujúceho na princípe absorpčného chladiaceho obehu sú znázornené na obrázku 2. Pracovnou látkou obehu je dvojica látok - absorbent a chladivo (v súčasnosti sa používa pre tepelné čerpadlá väčšinou voda ako chladivo a lithium bromid ako absorbent). Pohonnou energiou takéhoto systému je vysokoteplotná tepelná energia dodávaná väčšinou pomocou vodnej pary, horúcej tlakovej vody alebo spaľovaním plynného paliva do generátora (vypudzovača) systému.

V generátore systému absorpčného tepelného čerpadla sa uvedená dvojica pracovných látok s výrazne rozdielnym bodom varu v závislosti od tlaku tepelnou cestou rozdeľuje, chladivo sa vypudzuje a prúdi do kondenzátora a výparníka, kde plní rovnakú funkciu ako v kompresorovom chladiacom obehu a absorbent prúdi cez expanzný ventil do absorbéra, kde sa zlučuje s parami chladiva z výparníka (je to chemická reakcia, pri ktorej vzniká teplo a preto treba absorbér chladiť - získavame teda navyše okrem tepelného toku z kondenzátora aj tepelný tok z absorbéra). Roztok chladiva a absorbenta sa v kvapalnom stave čerpá z absorbéra do generátora a tak dochádza k uzavretiu celého kontinuálneho absorpčného cyklu.

Proces absorpcie s vypudzovaním bez kompresie

Na rozdiel od kompresorového obehu je teda v absorpčnom obehu proces kompresie pracovnej látky nahradený procesom absorpcie a vypudzovania tepelnou cestou, čím odpadá nutnosť použitia mechanickej pohonnej energie, ak neuvažujeme potrebu mechanickej pohonnej energie na čerpanie roztoku chladiva a absorbenta do generátora, na čo je potrebná najmä u veľkých zariadení len zanedbateľná časť pohonnej energie zariadenia.

V porovnaní s kompresorovými tepelnými čerpadlami dosahujú absorpčné zariadenia vyššiu energetickú efektívnosť najmä pri veľkých tepelných výkonoch a pri možnosti využitia generovaného tepelného toku nielen z kondenzátora ale aj z absorbéra. Výskum a vývoj absorpčných tepelných čerpadiel z hľadiska zvyšovania ich

energetickej aj ekonomickej efektívnosti je v poslednom období tak výrazný, že je možné v najbližšej budúcnosti očakávať až kvantitatívne dvojnásobné zvýšenie parametrov ich efektívnosti pre najmä priemyselne aplikácie - podrobnejšie v kapitole Aplikácie tepelných čerpadiel v priemyselnej a komunálnej sfére a Energetická a ekonomická efektívnosť tepelných čerpadiel.

Zdroje nízkoteplotnej energie

Parametre zdroja nízkoteplotnej energie pre výparník obehu tepelného čerpadla, najmä jeho teplotná úroveň, hmotnostný tok a dostupnosť podstatne ovplyvňujú energetickú aj ekonomickú efektívnosť systému tepelného čerpadla ako aj dosiahnuteľné množstvo (kvantitu) získanej tepelnej energie zo systému - podrobnejšie v kapitole Energetická a ekonomická efektívnosť tepelných čerpadiel. V tabuľke 1 sú uvedené základné možné zdroje tepla pre výparník obehu s rozmedzím ich teplotnej úrovne v našich klimatických podmienkach (čiastočne prevzaté z <http://www.heatpumpcentre.org>).

Zdroj tepla	Teplotné rozmedzie (°C)
Okolité vzduch	-10 až 35
Odpadný vzduch	15 až 25
Podzemná voda	4 až 10
Povrchová voda	0 až 20
Geotermálna voda	15 až 90
Zemská kôra	0 až 15
Slnecná energia	10 a viac
Odpadné toky	10 a viac

Okolité (vonkajší) vzduch

Je to všeobecne dostupný a najčastejšie používaný zdroj tepla, na ktorého získanie sú potrebné minimálne investičné náklady. Hlavnou nevýhodou sú veľké fluktuácie (zmeny) jeho teplotnej úrovne počas roka aj v priebehu dňa a nízka teplotná úroveň v zimných mesiacoch, kedy je najvyššia kvantitatívna aj kvalitatívna (teplotná) potreba produkcie tepelnej energie pre vykurovacie účely.

Fluktuácie teplotnej úrovne vyžadujú dokonalú a hospodárnu reguláciu prevádzky systému tepelného čerpadla, nízka teplotná úroveň v zimných mesiacoch vyžaduje veľký teplotný rozdiel medzi kondenzačnou a výparnou teplotou z čoho vyplýva nízka energetická efektívnosť prevádzky v tomto období - podrobnejšie v kapitole Energetická a ekonomická efektívnosť tepelných čerpadiel.

Na znižovanie energetickej efektívnosti systému tepelného čerpadla so vzduchom ako zdrojom nízkoteplotnej energie vplyva tiež v mnohých praktických aplikáciách potreba zabezpečiť odmrzovanie námrazy vznikajúcej na výparníku v dôsledku obsahu vody vo vzduchu vo forme atmosférickej vlhkosti. Z toho vyplýva aj nutnosť optimálnej regulácie odmrzovania výparníkov pre dosiahnutie čo najvyššej energetickej efektívnosti takýchto aplikácií.

Odpadný (ventilačný) vzduch

Je veľmi výhodným zdrojom tepelnej energie pre tepelné čerpadlá v obytných budovách najmä z hľadiska relatívne vysokej teplotnej úrovne bez teplotných fluktuácií. Pre veľké budovy je výhodné použiť tepelné čerpadlá s odpadným vzduchom v kombinácii s výmenníkmi tepla vzduch-vzduch pre znovuzískanie tepelnej energie. Nevýhodou tohto zdroja tepla je jeho limitované dostupné množstvo, čo potom obmedzuje aj veľkosť dosiahnuteľného tepelného výkonu tepelného čerpadla. Takéto riešenia sú vhodné pre nízkoenergetické domy.

Podzemná voda

Je z energetického hľadiska veľmi výhodným zdrojom tepla o teplotnej úrovni 4 až 10 °C bez výraznejších teplotných fluktuácií. Pre otvorené systémy je ale potrebná vzhľadom na vodohospodárske predpisy reinjektáž použitého prietoku do ďalšieho podzemného vrtu, zatvorené systémy vyžadujú vyparovanie pracovnej látky v podzemnom výmenníku tepla, čo prináša zníženie teplotnej úrovne vo výparníku a tak zníženie energetickej efektívnosti inštalácie.



Tepelné čerpadlo vzduch voda umiestnené vo vonkajšom prostredí

Hlavnou nevýhodou oboch systémov sú investične pomerne vysoké náklady pre získanie predmetného vodného zdroja tepelnej energie.

Povrchová voda

Povrchová voda jazier, tokov a pod. je z hľadiska dostupnosti a investičnej náročnosti pre jej získanie výhodným zdrojom tepelnej energie, ale hlavnou nevýhodou je jej nízka teplotná úroveň počas zimných mesiacov, čo môže zapríčiniť jej zamrznutie vo výparníku systému. Preto je jej použitie obmedzené do teplotnej úrovne cca 6 až 7 °C. Morská voda je výborným zdrojom tepla pre inštalácie tepelných čerpadiel, pretože v hĺbke 25 až 50 m dosahuje stabilnú teplotnú úroveň 5 až 8 °C. Nevýhodou sú vyššie investičné náklady na jej získanie a vysoká korozívnosť, čo vyžaduje zasa zvýšené náklady na výmenníky tepla.

Geotermálna voda

Geotermálna voda o teplotnej úrovni 15 až 90 °C je energeticky veľmi výhodným zdrojom pre tepelné čerpadlá, základnou nevýhodou sú veľmi vysoké investičné náklady na jej získanie (vrty do hĺbky až niekoľko km), vysoký stupeň korozívnosti a jej dostupnosť len v mieste výskytu. Výhodným riešením môže byť využitie geotermálnej vody o vysokej teplote najprv na získanie tepla priamo vo výmenníkoch tepla voda-voda a potom pri jej ochladení na 15 až 25 °C ako zdroj tepla pre tepelné čerpadlá (takáto inštalácia je efektívne prevádzkovaná na zabezpečenie tepelných potrieb nemocnice a sídliska v Galante).

Zemská kôra (pôda)

Tepelná energia obsiahnutá v zemskej kôre vzhľadom na jej vysokú teplotnú úroveň (teplota pôdy v hĺbke 10 metrov dosahuje približne priemernú ročnú teplotu vzduchu) a minimálnu fluktuáciu počas roka je z energetického hľadiska vysoko efektívna pre využitie v tepelných čerpadlách pomocou vertikálnych vrtov do hĺbky 100 až 150 metrov (energetické potreby rodinného domu je možné zabezpečiť vrtom o priemere cca 12 cm do hĺbky cca 120m), alebo pomocou podzemných horizontálnych výmenníkov v hĺbke cca 1,5 až 3 m. Základnou nevýhodou sú mimoriadne vysoké investičné náklady pre inštalácie takýchto podzemných systémov.

Slnecná energia

Slnecná energia premenená na tepelnú energiu pomocou slnečných kolektorov je z energetického hľadiska veľmi výhodným zdrojom pre tepelné čerpadlá, teplotnú úroveň tohto zdroja je možné plne prispôsobiť požiadavkám užívateľa (je daná druhom a kvalitou slnečného kolektora). Základnou nevýhodou okrem pomerne vysokých nákladov inštalácie je sezónny charakter tohto zdroja (v našich klimatických podmienkach sa v zimnom období vyskytujú periódy bez slnečného svitu bežne až v dĺžke 10 dní), čo vyžaduje používať alternatívne systémy výroby tepla alebo systémy s veľkými akumulátormi tepla, čo okrem vysokej finančnej náročnosti prináša aj ďalšie priestorové a iné problémy.

Odpadné tepelné toky

Odpadné energetické toky vo forme hmotnostných tokov tekutín (plynov a kvapalín) z technologických (napríklad tepelné odpady z potravinárskeho a energetického priemyslu) aj iných tepelných procesov (napríklad domové odpady, kanalizácia a iné) sú vzhľadom na ich vo všeobecnosti vysokú teplotnú úroveň bez teplotných fluktuácií z energetického hľadiska veľmi výhodným zdrojom energie pre veľké priemyselné tepelné čerpadlá. Nevýhodou je nutnosť ich využitia v mieste výskytu, kde často chýba požiadavka potreby výroby ďalšej tepelnej energie.

Výber zo zdrojov tepla

Na základe uvedeného je možné konštatovať, že zo všetkých uvedených zdrojov nízkoteplotnej energie je v podmienkach Slovenska z hľadiska najmä investičnej náročnosti na jeho získanie základným, všeobecne dostupným zdrojom okolitých (vonkajších) vzduch. Uvedené nevýhody tohto zdroja, ktoré zapríčiňujú nižšiu energetickú efektívnosť prevádzky v mnohých aplikáciách, je možné v budúcnosti znižovať nielen samotným vývojom systémov tepelných čerpadiel s vyššou energetickou efektívnosťou (optimalizáciou jednotlivých komponentov, hospodárnejšou reguláciou a pod.) ale aj inštaláciou rôznych kombinovaných systémov výroby tepla, chladu aj elektrickej energie pre špeciálne podmienky jednotlivých užívateľov uvedených tokov energií.

Pre efektívne využitie systémov tepelných čerpadiel so vzduchom ako zdrojom nízkoteplotnej energie pre vykurovanie rodinných domov, bytov a pod. bude potrebná aj štátna finančná podpora takýchto inštalácií, aby bolo možné dosiahnuť pre užívateľa ekonomickú efektívnosť investície – podrobnejšie v kapitole Energetická a ekonomická efektívnosť tepelných čerpadiel.

Pokračovanie v budúcom čísle.

Prof. Ing. Václav Havelský, PhD.

Strojnícka fakulta STU Bratislava