

# Využití tepelných čerpadel v budovách (1)

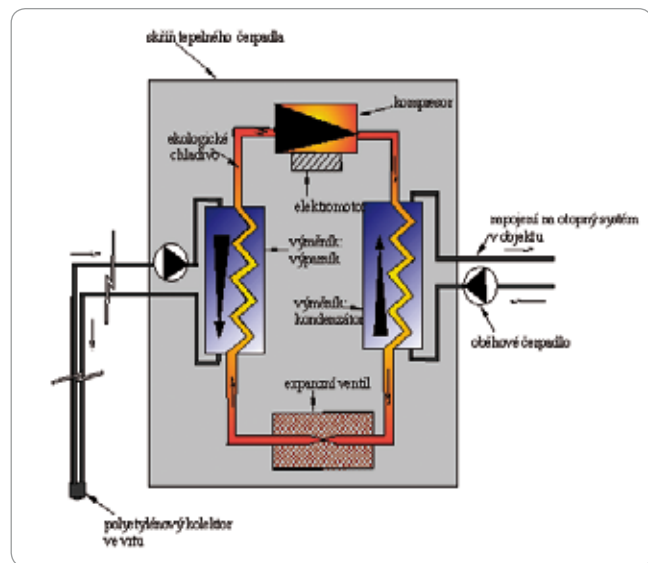
Cílem tohoto článku bude seznámení se s principy tepelných čerpadel, jejich přednostmi a nedostatky použití závislé na geologických podmínkách, parametrech vytápěného objektu, přihlížeje k možnosti kombinace s jinými tepelnými zdroji a různými vytápěcími systémy. Stanovení ekonomické návratnosti tepelných čerpadel a návrh řízení vytápění bude aplikováno na polikliniku Bioregena se sídlem v Praze.

## Tepelná čerpadla

Ačkoliv první tepelné čerpadlo zkonstruoval skotský matematik a fyzik Wiliam Kelvin již koncem 19. století, k jejich praktickému rozšíření dochází až v 70. letech minulého století, a to zejména v souvislosti s tehdejší ropnou krizí. Tepelné čerpadlo je elektrosportřebič pro získávání přírodní obnovitelné energie zpravidla z vnějšího prostředí (vzduch, podzemní a povrchová voda, zeminy, horniny) do otopného systému stavebního objektu. V tepelném čerpadle dochází k převodu („čerpání“) nízkopotenciální tepelné energie na energeticky vyšší,

prakticky využitelnou úroveň bez jakéhokoliv spalování. Princip činnosti je založen na skupenských přeměnách chladiva ve vnitřním okruhu tepelného čerpadla [1].

Na obr. 1 je znázorněno tepelné čerpadlo systému země-voda pomocí hloubkového vrtu. Z hornin je tepelná energie přiváděna k tepelnému čerpadlu pomocí vrtu. Do vrtu jsou zapuštěny polyetylenové trubky tvaru U - tzv. kolektor (představuje vlastně prodloužený primární výměník - výparník). Kolektor je hermeticky uzavřený: teplotnosné médium - ekologická nemrznoucí směs (voda s technickým lihem) cirkuluje v okruhu kolektoru a vůbec nedochází k jeho styku s horninou [1].



Obr. 1 Schéma tepelného čerpadla [1]

Tato ekologická nemrznoucí směs odebírá zemině tepelnou energii o teplotě 2 – 4°C a předává ji přes výměník ekologickému chladivému cirkulujícímu ve vnitřním okruhu tepelného čerpadla. Ve výparníku dochází ohřevem chladicí směsi k jejímu vypařování. Páry jsou nasávány elektrickým kompresorem TČ, který je stlačením a zvýšeným tlakem způsobí výrazné zvýšení teploty, což je fyzikálně, podle PV diagramu či i podle zákona zachování energie, odvoditelné. Dále v kondenzátoru dojde k předání tepelné energie do otopného systému objektu a tím plynné chladivo zkapalní. Chladivo se pak průchodem přes expanzní ventil prudce rozepíná a silně ochlazuje a kompresorem je opět nasáváno přes výparník, kde chladivo přebírá tepelnou energii hornin, mění skupenství a celý cyklus se neustále opakuje [1].

Samotný chod tepelného čerpadla je zpětovazebně řízen na základě údajů z teplotních a tlakových čidel ve vnitřním okruhu tepelného čerpadla. Z hlediska uvádění do chodu a zastavení TČ pracuje dle

předem nastavené křivky ekvitermní regulace, která pomocí čidel vyhodnocuje aktuální teplotu venkovního vzduchu a vody v otopném systému stavebního objektu [1].

Všechny konstrukční komponenty tepelného čerpadla jsou vyměnitelné a v případě, že vypoví svou funkci kompresor, jehož životnost je až 25 let, lze ho zvlášť nahradit bez nutnosti instalace nového tepelného čerpadla. Velký vliv na životnost tohoto systému vytápění má dlouhodobá stálost přírodního zdroje tepla a např. kvalita provedení vrtů, pokud je horninový masiv zdrojem tepla. Životnost polyetylenových trubek kolektoru zapuštěného do vrtu, nebo do výkopu v zemině, je uváděna

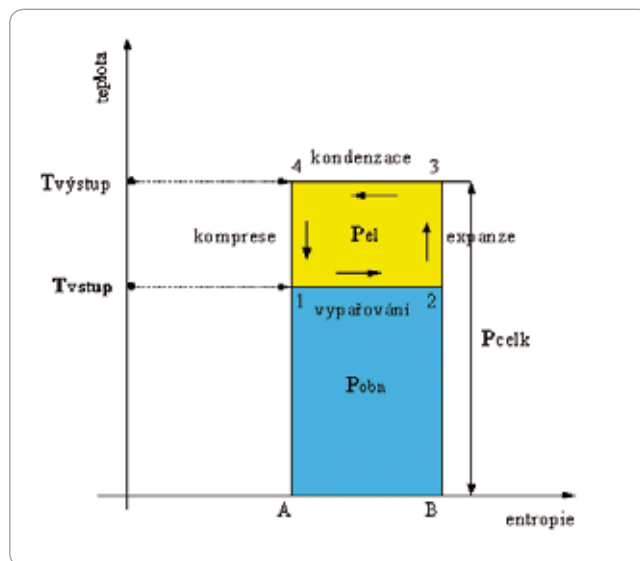
cca 200 let. Samotný chod tepelného čerpadla je zpětovazebně řízen na základě údajů z teplotních a tlakových čidel ve vnitřním okruhu tepelného čerpadla. Z hlediska uvádění do chodu a zastavení TČ pracuje dle předem nastavené křivky ekvitermní regulace, která pomocí čidel vyhodnocuje aktuální teplotu venkovního vzduchu a vody v otopném systému stavebního objektu [1].

Rozměry tepelného čerpadla jsou zhruba stejné jako u větší domácí chladničky. Z toho vyplývají velmi nízké nároky na umístění a prostor. Jedná se o bezobslužné zařízení s elektronickým řízením, které neprodukuje žádné odpadní zplodiny, protože pouze převádí nízkopotenciální tepelnou energii na energeticky vyšší, prakticky využitelnou hladinu [1].

Použití různých typů tepelných čerpadel v závislosti na tepelných zdrojích

Zdrojem tepelné energie pro tepelná čerpadla lze rozdělit na dvě základní kategorie:

- přírodní obnovitelné zdroje tepla (venkovní vzduch, sluneční záření, povrchové a spodní vody, horniny)
- průmyslové zdroje (odpadní vody a jiné kapaliny při různých technologiích, teplý odpadní vzduch např. z důlních jam apod.)



Obr. 2 Idealizovaný Carnotův cyklus pro tepelné čerpadlo [1]

V současnosti se využívají převážně systémy z první kategorie z přírodních obnovitelných zdrojů. V průmyslu tepelných čerpadel není zapotřebí, neboť vzniká přímo využitelné teplo. Z hlediska přírodních zdrojů rozdělujeme tepelná čerpadla prakticky podle živiů, ze kterých čerpají teplo, na tepelná čerpadla typu voda/voda, vzduch/voda (vzduch) a země/voda [1].

## Topný faktor

Účinnost výroby tepla pomocí tepelného čerpadla udává topný faktor (zkratka COP - Coefficient Of Performance), který z matematického vztahu 1 udává poměr získané energie ve formě tepla ku dodané elektrické energii, která se využije pro kompresor, jehož činnost způsobí cirkulaci chladicí směsi a podle jejího směru následně chlazení nebo vytápění objektu.

$$COP = \frac{P_{top}}{P_{el}}$$

kde

$P_{top}$  je topný výkon tepelného čerpadla v kW

$P_{el}$  – elektrický výkon kompresoru v kW

Topný výkon je součtem elektrického výkonu kompresoru, nebo-li dodané energii, která se vždy přemění na pohyb (teplo) a chladicího výkonu kompresoru, jež je přímo úměrná rozdílu teplot na začátku a na konci primárního okruhu TČ (vrt tepelného čerpadla).

$$P_{top} = P_{chlad} + P_{el}$$

kde

$P_{chlad}$  je chladicí výkon kompresoru/výparníku v kW

$$P_{chlad} = Q \cdot c \cdot p \cdot \Delta T$$

kde

$Q$  je průtok oběhového čerpadla primárního (zdrojového) okruhu v  $m^3 \cdot s^{-1}$

$c$  – měrná tepelná kapacita nemrznoucí směsi v kolektoru v  $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$

$p$  – hustota nemrznoucí směsi v kolektoru v  $kg \cdot m^{-3}$

$\Delta T$  – teplotní rozdíl na vstupu a výstupu z TČ na primárním (zdrojovém) okruhu v K

Elektrický výkon kompresoru vychází z klasické rovnice výpočtu odebraného elektrického výkonu při nominálních hodnotách proudu  $I$  a napětí  $U$  doplněný účinnkem

$$P_{el} = U \cdot I \cdot \cos(\varphi)$$

kde

$U$  je střídavé napětí na svorkách kompresoru v V

$I$  – střídavý proud procházející kompresorem v A

$\cos \phi$  – účinník

COP pro aplikace TČ s vrtby by se měl pohybovat v rozmezí 2,8 – 3,5. To znamená, že z 1 kW placené el. energie nutné pro pohon kompresoru je TČ schopno vyprodukovat cca 3 kW tepla, a tedy 2 kW dodá zadarmo horninové prostředí. Právě dostatečně vysoký COP znamená, že systém země - voda byl správně dimenzován a projektovaná návratnost investice do tepelného čerpadla s vrtby by zpravidla měla být dodržena [9].

Tepelná čerpadla jsou konstruována a seřizena tak, že maximální  $P_{top}$  je dosažen jen při určité kombinaci teploty nemrznoucí směsi na vstupu z vrtů do tepelného čerpadla a požadované teploty v otopném systému. Z těchto hodnot lze snadno vypočítat COP. Z toho vyplývá, že COP není žádnou konstantou a během chodu TČ kolísá. Pokud teplota nemrznoucí směsi na vstupu z vrtů do tepelného čerpadla je nižší než „optimální“, pak klesá  $P_{top}$  a s ním klesá i COP [9].

Tepelné čerpadlo se systémem země/voda je konstruováno tak, že při jeho chodu jsou chladivem ve výparníku odebírány z nemrznoucí směsi pouze maximálně 4°C, tzn. že  $\Delta T = 4^\circ C$ . Tento teplotní rozdíl je proto neustále odbírán nemrznoucí směsí v kolektoru po celé délce vrtu. Tepelné čerpadlo každý vrt nepřetržitě vychlazuje a závisí na tepelných vlastnostech hornin, a tedy na dostatečné hloubce každého vrtu, zda je přísun tepla z okolních hornin dostatečně rychlý, aby nedošlo k úplnému „vymražení“ vrtu, resp. okolních hornin. V praxi se považuje za kritickou mez teplota na vstupu z vrtů do tepelného čerpadla  $T_{in} = -5^\circ C$ , tzn., že teplota na výstupu z tepelného čerpadla  $T_{out}$  do vrtu bude až  $-9^\circ C$ . Tepelné čerpadlo je sice schopné pracovat i při nižších teplotách, avšak topný faktor klesá na hodnotu cca 2, protože klesl topný výkon tepelného

čerpadla. To zpravidla signalizuje, že vrtby byly hloubkově poddimenzovány pro danou lokalitu,

nadřazeným řídicím systémem je zapnut záložní tepelný zdroj, aby byly kryty tepelné ztráty objektu a zachována tepelná pohoda. To však snižuje rentabilitu provozu TČ. Je proto nezbytný zodpovědný a vysoce profesionální přístup k dimenzování vrtů pro tepelná čerpadla a jejich patřičné vystrojení. Jen tak lze dosáhnout stavu, aby tepelné čerpadlo pracovalo v úzkém rozmezí  $T_{in}$  kolem optimální hodnoty udané výrobcem TČ, která zaručuje maximální COP [9].

Většina v současnosti konstruovaných tepelných čerpadel pro systém země/voda produkuje maximální  $P_{top}$  a tím i maximální COP pro  $T_{in} = 0^\circ C$  a výstupní teplotu z tepelného čerpadla do otopného systému  $T_{vyst} = 35^\circ C$  (podlahové vytápění s extrémně vysokou hustotou trubek). V praxi se však běžněji aplikuje  $T_{vyst} = 45^\circ C$  (podlahové vytápění s normální hustotou trubek)

a  $T_{vyst} = 50^\circ C$  (vytápění s velkoplošnými radiátory), u nichž je COP nepatrně nižší (u kvalitních TČ). Platí, že COP je tím vyšší, čím je nižší rozdíl mezi teplotou na vstupu z vrtů do tepelného čerpadla a požadovanou teplotou na výstupu z tepelného čerpadla do otopného systému. Z toho vyplývá, že při instalaci podlahového topení do objektu lze docílit vyšší topný faktor, protože výstupní teplota je nižší než pro velkoplošné radiátory [9].

V praxi se COP obvykle stanoví jako průměrná hodnota za celou topnou sezónu, a to z podílu  $P_{top}$  a  $P_{el}$ , přičemž  $P_{top}$  je měřen měřičem tepla na výstupu do otopného systému a  $P_{el}$  se změří elektroměrem na svorkách kompresoru.

## Vhodná topná soustava

Pro provoz tepelného čerpadla je nevhodnější tzv. nízkoteplotní topná soustava, neboť tepelné čerpadlo je schopno na výstupu kompresoru dosáhnout maximálně 50 – 55°C, což je způsobeno omezenými vlastnostmi chladiva a tlakem kompresoru. S požadavkem na vyšší teplotu topné vody klesá topný faktor tepelného čerpadla a rostou náklady na provoz.

V případě použití radiátorů jako otopné soustavy je většinou ohřátá voda z kotle zahřívána na 75°C a 65°C je teplota ochlazené vody. Pokud bychom chtěli tepelné čerpadlo použít pro soustavu s radiátory, je zapotřebí s danými podmínkami počítat a brát v úvahu maximální výstupní teplotu tepelného čerpadla. Při snížení teploty topné vody musíme použít větší otopná tělesa, čímž však rostou investiční náklady do topného systému.

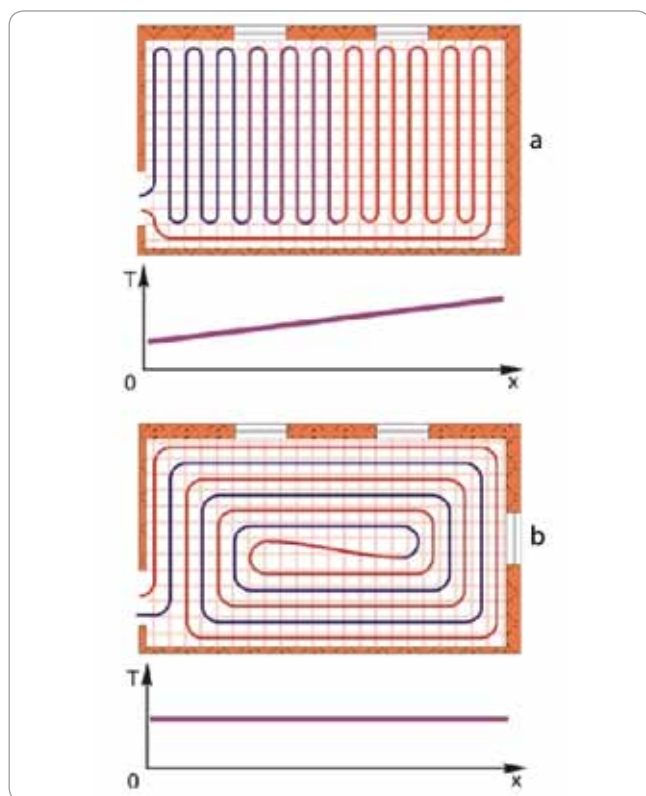
Vhodnější než otopná tělesa (radiátory) je pro tepelné čerpadlo použití podlahového nebo stěnového vytápění, kde je zapotřebí teplota topné vody okolo 35-45°C a samozřejmě čím nižší je teplota topné vody, tím vyšší je topný faktor tepelného čerpadla a tudíž i méně nákladný provoz.

## Podlahové vytápění



Obr. 3 Příklad podlahového vytápění [2]

Podlahové vytápění můžeme z hlediska uspořádání otopného potrubí pod podlahou rozdělit na dva základní typy – klikaté (obr. 4a) a spirálovité uspořádání (obr. 4b).



Obr. 4

V případě spirálovitého rozložení je horký začátek potrubí veden spolu se studeným koncem do spirály začínaje obvodem a konče středem místnosti. Takováto varianta umožňuje rovnoměrné rozložení teplot na povrchu podlahy, avšak nelze ji aplikovat pro podlahu se sklonem v jednom směru. Dále v případě zvolení příliš velké vzdálenosti mezi horkým a studeným potrubím způsobí efekt ‘pruhované podlahy’: pruhy teplé podlahy se střídají s pruhy studené podlahy. Z opačného

pohledu zvolením příliš krátké vzdálenosti nedochází k dalšímu zvyšování, v důsledku zvětšení vytápěné plochy, ale k vytvoření tepelného mostu mezi horkým a kontrastním studeným potrubím, následně teplota na vstupu bude srovnatelná s teplotou na výstupu.

Druhá varianta, použití klikatého uspořádání, je výhodná potřebu- jeme-li chladnější část místnosti, blíž k vnější stěně, více vytápět než stranu místnosti u středu objektu. Je však nutné správně určit míru objemového průtoku, neboť nedostatečný průtok může způsobit příliš velký teplotní rozdíl obou stran podlahy. Výhodou je hlavně rezistence vůči sklonu podlahy pakliže je potrubí správně uspořádáno kdy delší záhyby musí být rozmístovány shora ve směru proudění vody a horizontálně kolmo ke směru sklonu povrchu podlahy.

Podlahové vytápění je výhodné nejen z důvodu, že v otopném systému není zapotřebí vysoké teploty vody, ale také z důvodu, že vytápění probíhá ze zdola, kde bývá standardně chladněji při vytápění radiátory nebo v případech kdy vytopený vzduch necirkuluje a v našem případě dochází k cirkulaci automaticky, když se chladnější vzduch nad podlahou zahřívá a se změnou hustoty se pohybuje vzhůru. Důsledkem vytápění tímto způsobem je příjemná pohoda a komfort, kdy nedochází mrznutí dolních končetin.

## Literatura

- [1] TZB-info : stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online]. Praha : Topinfo, 2001-2011 [cit. 2010-07-07]. Dostupný z WWW:< <http://www.tzb-info.cz/> >
- [2] Teplomir g. Cankt-Peterburg : Javljaecja postavščikom produkcii Grundfos nasosy [online]. Cankt-Peterburg, 2007 [cit.

2010-07-07]. Dostupný z WWW:< <http://www.teplomir-spb.ru/> >

- [3] ACADO Toolkit: A C++/Matlab Toolkit for Automatic Control and Dynamic Optimization [online]. Leuven : Boris Houska and Hans Joachim Ferreau, 2008-2010 [cit. 2010-12-20] Dostupný z WWW: < <http://acadotoolkit.org/> >
- [4] Energetika.cz : Vše, co chcete vědět o energii, ale bojíte se zeptat... [online]. Praha: EkoWATT, 2008 [cit. 2010-07-07]. Dostupný z WWW:< <http://energetika.cz/> >
- [5] Poliklinika Bioregena spol. s r.o. [online], Praha, 2008 [cit. 2010-12-30] Dostupný z WWW:< [www.bioregena.cz](http://www.bioregena.cz) >
- [6] RYŠKA J.: Prováděcí projekt vrtů pro tepelné čerpadlo, č. DPV – 047-02-03-2005. OKD, DPB, a.s.
- [7] CHMÚRNÝ I.: Tepelná ochrana budov, Jaga, Bratislava, 2003.
- [8] DUŠAN PETRÁŠ a kolektiv, Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie, Jaga, Bratislava, 2008 \bitem{zeravik} ŽERAVÍK A., Stavíme tepelné čerpadlo, Eltex, Přerov, 2003.
- [9] DEGRAUWE, D., VEHRELST, C., LOGIST, F., VAN IMPE, J., HELSEN, L., 2010, Multi-objective optimal control of an air-to-water heat pump for residential heating, SSB Conference Proceedings, Liège, Belgium, December 13-15, 2010
- [10] MUDr. Zbyněk Mlčoch : osobní web [online]. Praha, 2003 - 2011 [cit. 2010-07-07]. Dostupný z WWW:< <http://www.zbynekmlcoch.cz/info/> > \bitem{spotreba\_xls} spotrebaxls \bitem{ferkl} FERKL, L., ŠIROKÝ, J. Ceiling radiant cooling: Comparison of ARMAX and subspace identification modelling methods. Building and Environment, vol. 45, iss. 1, pp. 202-212. Elsevier, Oxford, Jan 2010.
- [11] UNDERWOOD, C. P. HVAC Control Systems – Modelling, Analysis and Design. E&FN SPON, London, 1999.

V dalším pokračování seriálu se budeme zabývat volbou tepelného čerpadla spolu s dalším zdrojem tepla.

Ing. Alexnader Ciller