



Energie prostředí, geotermální energie, tepelná čerpadla



Centrum pro
obnovitelné
zdroje a úspory
energie

EKIS ČEA

Energie prostředí, tepelná čerpadla

Prostředí, které nás obklopuje (vzduch, voda, půda) má obvykle příliš nízkou teplotu a jeho teplo nelze pro vytápění využít přímo. Výjimkou jsou geotermální prameny, hojně využívané například na Islandu. **Nizkoteplotní teplo** okolního prostředí můžeme využívat pomocí **tepelného čerpadla (TČ)**, které toto teplo (např. kolem 2 °C) převede na **vyšší teplotní hladinu** (kolem 50 °C). Princip je stejný jako u chladničky, která odebírá teplo potravinám a předává jej zadní stranou chladničky do místnosti. Podobně i TČ využívá tepla získaného od okolního prostředí k odpaření chladicí kapaliny. Tato pára je poté kompresorem stlačena a díky dodané práci dochází k uvolnění tepla o vyšší teplotě, které je předáno topnému médium. Celý cyklus se poté opakuje.



Rekreační objekt vytápěný tepelným čerpadlem, které ochlazuje říční vodu v náhonu malé vodní elektrárny. Foto: EkoWATT

Topný faktor

Velmi důležitým parametrem TČ je topný faktor. Vyjadřuje poměr dodaného tepla k množství spotřebované energie.

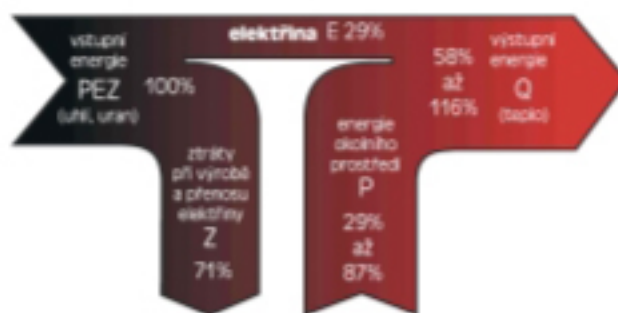
$$\epsilon = Q/E$$

Q = teplo dodané do vytápění [kWh]

E = energie pro pohon TČ [kWh]

Topný faktor různých TČ je v rozmezí od 2 do 5. Závisí na vstupní a výstupní teplotě, typu kompresoru a dalších faktorech. Dodavatelé obvykle udávají topný faktor při různých teplotách vstupního a výstupního média. Pozor: při výpočtu topného faktoru se někdy nezapočítává spotřeba oběhových čerpadel (resp. ventilátorů), která jsou nutná pro provoz TČ. Skutečný topný faktor se pak může od údajů z prospektu výrazně lišit.

Toky energií



Toky energií pro elektrické tepelné čerpadlo. © EkoWATT

Topný faktor pro kompresorové TČ lze stanovit také z rozdílu mezi teplotou kondenzační a vypařovací. Přibližný vztah pro výpočet topného faktoru kompresorového TČ:

$$\epsilon_T = k \cdot \frac{T_k}{T_k - T_o}$$

kde:

T_k je teplota kondenzační (topného systému) [K]

T_o je teplota vypařovací (teplota zdroje) [K]

k je korekční součinitel respektující skutečný oběh;

$k = (0,4 + 0,6)$

Pro dosažení minimální spotřeby pohonné energie a dosažení vysoké hodnoty topného faktoru je zapotřebí:

- **Teplota zdroje** nízkopotenciálního tepla má být **co nejvyšší**, nesmí však přesáhnout maximální teplotu povolenou výrobcem pro daný typ tepelného čerpadla. Jeho vydatnost musí být dostatečná a ochlazení teplotonosné látky ve výparníku přiměřené, aby teplota vypařovací nemusela být zbytečně nízká. Vedle snížení topného faktoru pak může dojít k omezení funkčnosti TČ, např. zamrznutím zdrojové vody.
- **Rozdíl teplot** na vstupu a výstupu má být **co nejnižší**, maximální pracovní teplota TČ na výstupu je přitom cca 55 °C. Používání tepelného čerpadla je tedy výhodné v kombinaci s **nizkoteplotním vytápěcím systémem** (podlahové vytápění). Čím menší rozdíl hladin teplot musí tepelné čerpadlo překonávat, tím méně energie spotřebovuje a tím vyšší má topný faktor.

Topný faktor během roku kolísá v závislosti na vstupní a výstupní teplotě tepelného čerpadla. **Průměrný roční topný faktor** je poměr **celoroční spotřeby energie a celoroční výroby tepla** a používá se pro vyhodnocení provozu. Běžně tepelná čerpadla dodají za ideálních podmínek třikrát až čtyřikrát více tepla, než spotřebují elektřiny na svůj provoz.

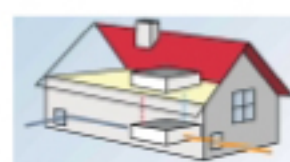
Zdroje tepla pro tepelné čerpadlo

Okolní vzduch – je k dispozici všude. Tento typ TČ má tedy široké využití, navíc je investičně méně náročný. Vzduch se ochlazuje ve výměníku tepla umístěném vně budovy. Protože ve vzduchu je tepla poměrně málo, musí výměníkem procházet velké objemy vzduchu. Je tedy nutný výkonný ventilátor. Ten je zdrojem určitého hluku, proto je potřeba pečlivě volit umístění výměníku, aby hluk neobtěžoval obyvatele domu ani sousedy. Venkovní část by neměla být ani v místech, kde se mohou tvořit „kapsy“ studeného vzduchu. Vzduchová TČ jsou schopná pracovat, i když je venku cca -12 °C, při nižší teplotě je nutné zapnout další, tzv. bivalentní zdroj. Při nízkých teplotách se na venkovním výměníku tvoří námraza. Energie spotřebovaná na její odtávání může výrazně zhoršit celkový topný faktor a tím zvýšit provozní náklady.



TČ vzduch/voda. © EkoWATT

Odpadní vzduch – teplo je odebíráno vzduchu odváděnému větracím systémem objektu. Tento vzduch má relativně vysokou teplotu (18 až 24 °C). Tepelné čerpadlo může pracovat efektivně i za podmínek, kdy běžně užívané systémy zpětného získávání tepla (rekuperace) nelze použít. Teplo může být použito pro topnou vodu ústředního topení nebo pro ohřev vzduchu, je-li vytápění objektu toplovzdušné. Nevýhodou je, že větracího vzduchu je k dispozici jen omezené množství, takže TČ kryje jen část tepelné ztráty – přibližně tu, která je potřeba na ohřev větracího vzduchu. Vždy je tedy potřeba ještě další zdroj pro krytí tepelné ztráty konstrukcemi, případně i pro ohřev vody. Na trhu jsou také tepelná čerpadla s integrovanými ventilátory, která lze použít jako centrální větrací jednotku domu.



TČ vzduch/voda. © EkoWATT

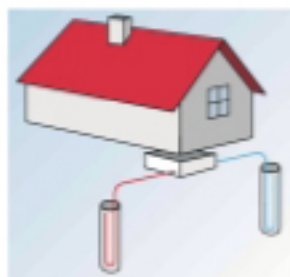
Povrchová voda – využívá se vody v toku nebo v rybníku, která je ochlazována tepelným výměníkem, umístěným přímo ve vodě nebo zapuštěným do břehu – vždy tak, aby neohrozilo zamrznutí. Podmínkou je vhodné umístění objektu, nejlépe přímo na břehu. Teoreticky je také možné vodu přivádět potrubím přímo k tepelnému čerpadlu a ochlazenou vypouštět zpět. S tím je ale spojeno mno-



TČ nemrzoucí kapalina/voda. © EkoWATT

ho technických i administrativních překážek, které omezuji použití v praxi téměř na nulu.

Podpovrchová voda – tato voda se odebírá ze sací studny a po ochlazení se vypouští do druhé, takzvané vsakovací studny. Podmínkou je geologicky vhodné podloží, které umožní čerpání i vsakování. Ochlazenou vodu lze za určitých podmínek vypouštět i do potoka nebo jiné vodoteče. Zdroj vody však musí být dostatečně vydatný (přibližně 15–25 l/min. pro TČ s výkonem 10 kW). Vhodných lokalit je proto k dispozici relativně málo.



TČ voda/voda. © EkoWATT

Podmínkou je geologicky vhodné podloží, které umožní čerpání i vsakování. Ochlazenou vodu lze za určitých podmínek vypouštět i do potoka nebo jiné vodoteče. Zdroj vody však musí být dostatečně vydatný (přibližně 15–25 l/min. pro TČ s výkonem 10 kW). Vhodných lokalit je proto k dispozici relativně málo.

výkon odebraný z vody (chladič výkon)	tepelný výkon TČ s topným faktorem		průtok vody při ochlazení o 4 K		průtok vody při ochlazení o 6 K	
	3,0	4,0	litr/min	m ³ /hod	litr/min	m ³ /hod
kW	kW	kW				
3	4,5	4,0	11	0,6	7	0,4
5	7,5	6,7	18	1,1	12	0,7
8	12,0	10,7	29	1,7	19	1,1
10	15,0	13,3	36	2,2	24	1,4

Požadovaná vydatnost zdroje spodní vody. Zdroj: EkoWATT

Z půdy – jde o velmi rozšířený způsob. Půda se ochlazuje tepelným výměníkem z polyethylenového potrubí plněného nemrznoucí směsí a uloženého do výkopu (půdní kolektor). Půdní kolektor se umísťuje poblíž objektu v nezámrazné hloubce. Trubky půdního kolektoru se mohou ukládat na souvisle odkrytou plochu, nejméně 0,6 m od sebe. Velikost takovéto plochy je asi trojnásobkem plochy vytápěné. Je také možné ukládat potrubí ve tvaru uzavřených smyček do výkopů kolektoru, rýhy o hloubce cca 2 m a šířce cca 0,9 m. Na 1 kW výkonu tepelného čerpadla je pak potřeba 5 až 8 metrů délky výkopu. Je třeba počítat s tím, že půdní kolektor okolní zeminu ochladí, takže se zde např. bude v zimě déle držet sníh. Pokud má být teplo odebíráno celoročně (v létě pro ohřev bazénu), je potřeba půdní kolektor o větší ploše. Je-li TČ využíváno pro letní chlazení, lze půdní kolektor „dobíjet“ odpadním teplem.



TČ nemrznoucí kapalina/voda. © EkoWATT

Podmínkou je geologicky vhodné podloží, které umožní čerpání i vsakování. Ochlazenou vodu lze za určitých podmínek vypouštět i do potoka nebo jiné vodoteče. Zdroj vody však musí být dostatečně vydatný (přibližně 15–25 l/min. pro TČ s výkonem 10 kW). Vhodných lokalit je proto k dispozici relativně málo.

Druh půdy	Měrný výkon získaný z půdy W/m ²	Plocha výměníků pro TČ s topným faktorem		
		3,0	3,5	4,0
Suchá nepevněná půda	10	66 m ²	71 m ²	75 m ²
Ulehá vlhká půda	20–30	33–22 m ²	36–24 m ²	38–25 m ²
Vodou nasycené štěrky a písky	40	17 m ²	18 m ²	19 m ²

Parametry půdního kolektoru. Zdroj: G-term, s. r. o.

Z hlubinných vrtů – využívá se teplo hornin v podloží. Jde rovněž o velmi rozšířený způsob. Vrtů hluboké až 150 m se umísťují v blízkosti stavby, nejméně 10 m od sebe. Na 1 kW výkonu tepelného čerpadla je potřeba 12 až 18 m hloubky vrtu, podle geologických podmínek. Vrtů nelze provádět kdekoli – vhodné je zajistit si hydrologický průzkum, aby nedošlo k narušení hydrologických poměrů. Výhodou je celoročně stálá teplota zdroje (cca 8 °C), takže TČ pracuje efektivně.



TČ nemrznoucí kapalina/voda. © EkoWATT

Přehled systémů

V současnosti se pro vytápění rodinných domků používají téměř výhradně TČ s kompresorem, který je poháněn elektromotorem. Kompresor lze pohánět i jakýmkoli jiným motorem (např. motorem na zemní plyn). Pro relativně malé výkony, potřebné v rodinných domcích, jsou elektrická TČ nejvýhodnější. Elektromotor je levný a palivo – elektřina ve zvláštním tarifu – rovněž.

- **TČ s pístovými kompresory** – jsou levnější, mají horší topný faktor a jsou mírně hlučnější. Životnost pístového kompresoru je okolo 15 let; za dobu životnosti TČ je třeba počítat s jednou jeho výměnou.
- **TČ se spirálovými kompresory scroll** – jsou dražší, dosahují však nejlepších topných faktorů. V současnosti je to nejpoužívanější typ. Životnost kompresoru scroll je nejméně 20 let.
- **TČ s rotačními kompresory** – lze se s nimi setkat u klimatizačních zařízení a levnějších TČ. Mají o něco nižší topný faktor než TČ s kompresory scroll.
- **Absorpční tepelná čerpadla** – pracují bez kompresoru a jsou tedy zcela nehluká. Nevýhodou je horší topný faktor. V současnosti se pro vytápění používají výjimečně, vyskytují se však u klimatizačních zařízení.

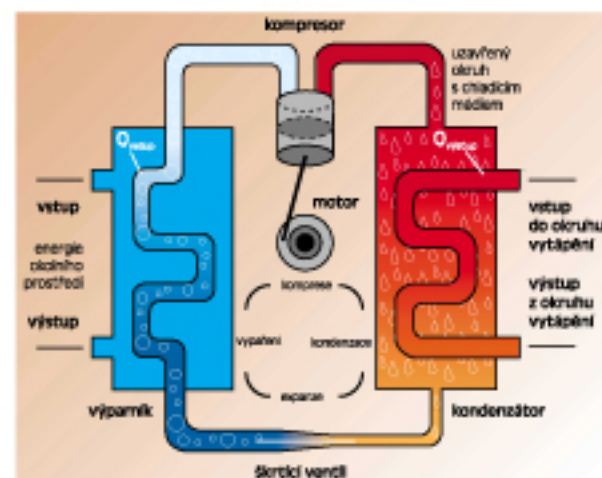
Podle druhu ochlazovaného a ohřívajícího média se rozlišují tyto typy tepelných čerpadel:

Typ čerpadla	Možnosti použití
vzduch/voda	univerzální typ, pro ústřední vytápění
vzduch/vzduch	doplňkový zdroj tepla, teplovzdušné vytápění, klimatizace
voda/voda	využití odpadního tepla, geotermální energie, ústřední vytápění
nemrznoucí kapalina/voda	univerzální typ pro ústřední vytápění, zdroj tepla je nejčastěji vrt nebo půdní kolektor
voda/vzduch	teplovzdušné vytápěcí systémy

Nejčastější typy tepelných čerpadel (ochlazuje se/ohřívá se). Zdroj: EkoWATT

Funkce kompresorového tepelného čerpadla

Činnost tepelného čerpadla je založena na pochodech spojených se změnou skupenství v závislosti na tlaku pracovní látky (**chladič**). Ve výparníku odnímá chladič (zdroji nízkopotenciálního tepla). Dochází k varu a kapalně chladič přiváděné do výparníku se postupně mění v páru. Páry chladiče jsou z výparníku odsávány a stlačeny kompresorem na kondenzační tlak. V kondenzátoru předávají kondenzační teplo ohřívající látce a mění své skupenství na kapalně. Kapalně chladič je po snížení tlaku přiváděno zpět do výparníku, kde doplňuje vypařené chladič. Tím je oběh uzavřen.



Princip tepelného čerpadla. © EkoWATT

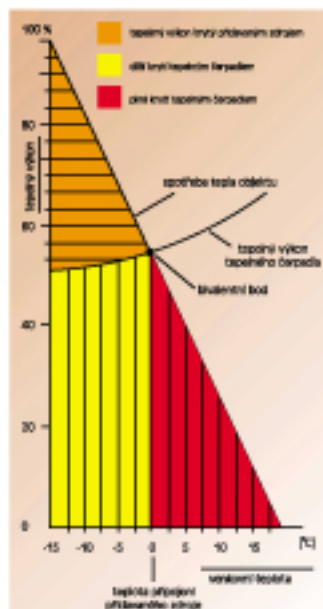
Bivalentní provoz tepelného čerpadla

Spotřeba tepla na vytápění se během roku mění. Pokrytí celé spotřeby TČ je obvykle neekonomické (větší TČ a delší vrtů výrazně zvyšují pořizovací náklady), proto se systém doplňuje dalším **špičkovým zdrojem** tepla, obvykle elektrokotlem.

Tento zdroj slouží i jako záloha pro případ výpadku TČ. Jako jiný bivalentní zdroj lze použít i krb nebo jiné interiérové topidlo, které nemusí být napojeno na systém ústředního vytápění.

Systém pak pracuje v tzv. **bivalentním provozu**, kdy po určitou dobu (např. v mrazových dnech) běží kromě TČ druhý zdroj tepla (elektrokotel). Instalovaný tepelný výkon tepelného čerpadla je v tomto provozu nižší než je maximální potřebný (obvykle 50 – 75 %). U správně navrženého systému špičkový zdroj dodává pouze 10–15 % celkové spotřeby tepla.

U TČ ochlazujících venkovní vzduch je bivalentní zdroj nezbytný, aby bylo možno vytápět i v době, kdy je venkovní teplota nižší než -12 °C.



Bivalentní chod tepelného čerpadla. © EkoWATT

Monovalentní provoz tepelného čerpadla

U moderních, dobře izolovaných rodinných domů s tepelnou ztrátou do 10 kW je možné navrhnout TČ jako jediný zdroj tepla. Investiční náklady se výrazně nevyšší. Výhodou je i úspora provozních nákladů. Není-li TČ doplněno elektrokotlem, postačí menší příkon elektřiny. V současnosti, kdy konečná platba za elektřinu značně závisí na velikosti hlavního jističe, může být úspora „za jistič“ zajímavá. Jinou cestou ke snížení velikosti hlavního jističe je použití ne-elektrického bivalentního zdroje.

Výběr vhodných lokalit a zásady pro dimenzování

TČ pro vytápění lze použít téměř všude, pro dimenzování je důležité znát spotřebu tepla a teplé užitkové vody a další podmínky:

- **Elektrická přípojka** musí umožnit připojení TČ (dostatečný příkon).
- Obvykle je výhodné provést **zateplení objektu** (pak stačí menší a levnější technologie, kratší vrty apod.).
- **Vzduchová TČ** není výhodné používat v drsných klimatických podmínkách, kde venkovní teploty klesají

pod -15 °C (horské oblasti). U tohoto typu je potřeba najít vhodné umístění vnější jednotky (hlučnost, omezení průtoku vzduchu, námrazy).

- V případě využití **hlubinných vrtů** je dobré znát především geologické podmínky v podloží, aby nedošlo k jejich poškození („zavření vrtu“). Provádění vrtů v 1. a v 2. ochranném pásmu lázni a minerálních vod je upravené zvláštními předpisy.
- Při využití **podzemní vody** je podmínkou dostatečná vydatnost zdroje vody a vhodné chemické složení (hrozí zarůstání výměníku TČ).
- Při využití **povrchových vod** se platí poplatky správci toku, případně stočné.

TČ se nejčastěji používají na vytápění a klimatizaci budov. V kancelářských prostorách se často využívá možnosti reverzního chodu, kdy tepelné čerpadlo v létě ochlazuje vzduch v místnostech, zatímco v zimě topí. Porovnáme-li emise vzniklé v důsledku spotřeby elektřiny pro pohon TČ s emisemi vzniklými při spalování tuhých paliv (v domácím kotli), pak od průměrného ročního topného faktoru 2,33 dochází k jejich snížení (uvažujeme-li ztráty při výrobě a přenosu elektřiny 70 % a při spalování tuhých paliv 30 %).

Ekonomika provozu

Možná trochu paradoxně platí, že ekonomická návratnost TČ vychází nejlépe ve stavbách s vysokou spotřebou tepla. U nízkoenergetických nebo dokonce pasivních domů, kde je spotřeba až 10x nižší než u běžných domů, je úspora nákladů na vytápění poměrně malá, tím roste i doba návratnosti.

Významné je také to, že domácnosti vytápěné tepelným čerpadlem mají k dispozici elektřinu v nízkém tarifu po dobu 22 hodin denně. Náklady na elektřinu pro osvětlení, chladničku, pračku a ostatní domácí spotřebiče tak mohou být výrazně nižší než v domech s vytápěním plynem, dřevem apod. Při roční spotřebě domácnosti okolo 4 000 kWh/rok je úspora až 10 tis. Kč.

	starší nezateplený dům	pasivní dům
spotřeba za rok	26 000 kWh	2 600 kWh
náklady na vytápění el. přímotopy	51 000 Kč	9 000 Kč
náklady na vytápění tepelným čerpadlem	16 000 Kč	3 000 Kč
roční úspora	35 000 Kč	6 000 Kč
inv. náklady na TČ	350 000 Kč	120 000 Kč
prostá návratnost	10 let	20 let

Návratnost TČ při různé spotřebě – příklad. Zdroj: EkoWATT



Kotelna s tepelným čerpadlem a plynovými kotli jako bivalentním zdrojem tepla. Foto: EkoWATT

Použitá a doporučená literatura

- [1] Dvořák, L., Klazar, J., Petrák, J.: Tepelná čerpadla. Praha, SNTL, 1987.
- [2] Srdečný, K.: Energeticky soběstačný dům. ERA, Brno, 2006, dotisk 2007.
- [3] Srdečný, K., Truxa, J.: Tepelná čerpadla, 2. vyd., ERA, Brno, 2007.
- [4] Beranovský, J., Truxa, J.: Alternativní energie pro váš dům, ERA, Brno, 2004.
- [5] Kol. autorů: Obnovitelné zdroje energie. FCC Public, Praha, 1994, druhé upravené a doplněné vydání 2001.
- [6] Žeravík, A.: Stavíme tepelné čerpadlo. VI, nákladem, 2003.
- [7] Kol. autorů: Tepelná čerpadla, projektování a instalace. Stiebel Eltron, 1996.
- [8] Kol. autorů: Kombinované energetické systémy s využitím obnovitelných zdrojů energie. ČEA, Praha, 1997.

Vydal:

EkoWATT, Centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie

Svábky 2
180 00 Praha 8
tel.: +420 266 710 247
fax: +420 266 710 248
e-mail: info@ekowatt.cz
www.ekowatt.cz, www.energetika.cz

Foto na titulní straně: venkovní jednotka tepelného čerpadla vzduch/voda, Foto: IVT; kotelna s tepelným čerpadlem země/voda; Foto: Alterm

Texty: EkoWATT – Jiří Beranovský, Monika Kešparová, František Macholdka, Karel Srdečný, Jan Truxa
Grafický návrh: Irena a Saša Mandíč

Sazba a tisk: Sdružení MAC, spol. s r.o., © EkoWATT, 2007

Podrobnější informace lze získat také v celostátní síti Energetických informačních a konzultačních středisek České energetické agentury (EKIS ČEA). Seznam středisek je uveřejněn na: www.i-ekis.cz.

Publikace je určena pro poradenskou činnost a je zpracována v rámci Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2007 – část A – PROGRAM EFEKT.

Publikace vyšla díky laskavé podpoře České energetické agentury.

