



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ENERGETICKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

**TEPELNÉ ČERPADLO ZEMĚ - VODA**  
GROUND – WATER HEAT PUMP

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**MARTIN HYNČICA**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**doc. Ing. JIŘÍ POSPÍŠIL, Ph.D.**

BRNO 2008



## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce byla vytvořena jako rešerše popisující využití tepelného čerpadla pro vytápění. V práci je uveden princip funkce tepelného čerpadla a základní rozdělení čerpadel podle způsobu získávání nízkopotenciální energie. Jsou popsány i základní stavební komponenty celého zařízení. Největší pozornost je věnována tepelnému čerpadlu s označením země-voda, uvedeny jsou výhody a nevýhody v porovnání s ostatními typy. Na závěr je uveden orientační výpočet návratnosti investice pro instalaci tohoto zařízení.

### **Klíčová slova:**

tepelné čerpadlo, vytápění, zemní kolektor, návratnost tepelného čerpadla

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis serves as a search describing heating application of a heat pump. This work provides a heat pump function principle, classifies heat pumps according to the low-potential energy gain and also gives information about components of a whole heat pump device. The thesis is focused on ground water systems, their advantages and disadvantages compared with other types of heat pumps. At the conclusion of the work an orientation investment return calculation is given.

### **Key words:**

heat pump, heating, ground collector, investment return

### **Bibliografická citace:**

HYNČICA, M. Tepelné čerpadlo země-voda. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 38 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.



## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci *Tepelné čerpadlo země – voda* vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Jiřího Pospíšila, Ph.D. a uvedl v seznamu literatury všechny použité literární a odborné zdroje.

V Brně dne 23.5.2008

---

podpis autora



## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D za odborné vedení mé práce, za podnětné připomínky a cenné rady, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce.





# Obsah

<b>Úvod</b> .....	<b>13</b>
<b>1 Princip tepelného čerpadla</b> .....	<b>14</b>
1.1 Popis tepelného čerpadla a jeho funkce.....	14
1.2 Termodynamické děje pracovního cyklu .....	15
1.3 Tepelný výkon, topný faktor .....	16
1.4 Provozní režimy tepelného čerpadla, kombinace vytápění s jiným zdrojem tepla .....	17
<b>2 Komponenty tepelného čerpadla</b> .....	<b>19</b>
2.1 Kompresory .....	19
2.1.1 Pístový kompresor .....	19
2.1.2 Spirálový kompresor .....	20
2.1.3 Rotační kompresor.....	20
2.1.4 Šroubový kompresor .....	21
2.1.5 Radiální turbokompresor .....	21
2.2 Výměníky tepla .....	21
2.2.1 Deskový výměník .....	22
2.2.2 Trubkový výměník .....	22
2.3 Expanzní ventil .....	23
2.4 Chladiva.....	23
2.4.1 Označování chladiv a dělení podle chemického složení .....	23
2.4.2 Dělení chladiv podle fyzikálních vlastností .....	24
<b>3 Dělení tepelných čerpadel podle zdrojů nízkopotenciálního tepla, základní vlastnosti</b> .....	<b>25</b>
3.1 Tepelné čerpadlo voda-voda.....	25
3.1.1 Tepelné čerpadlo voda-voda (povrchové vody) .....	25
3.1.2 Tepelné čerpadlo voda-voda (podzemní vody - studny) .....	26
3.2 Tepelné čerpadlo vzduch-voda.....	27
3.3 Tepelné čerpadlo země-voda.....	28
3.3.1 Tepelné čerpadlo země-voda (plošný kolektor) .....	28
3.3.2 Tepelné čerpadlo země-voda (geotermální vrt).....	30
3.3.2.1 Sondy pro geotermální vrty .....	32
3.3.2.2 Základní postupy při instalaci zemního kolektoru .....	32
<b>4 Určení návratnosti tepelného čerpadla</b> .....	<b>34</b>
<b>Závěr</b> .....	<b>36</b>
<b>Seznam použitých zdrojů</b> .....	<b>37</b>
<b>Seznam použitých zkratk a symbolů</b> .....	<b>38</b>



## Úvod

Spotřeba energie dnešní společnosti stále narůstá. V důsledku tohoto trendu pomalu docházejí zásoby tradičních paliv (uhlí, ropa, zemní plyn). Proto se jedním z dnešních zájmů energetiků stalo objevování a získávání energie z tzv. alternativních, neboli obnovitelných energetických zdrojů.

Je mnoho zdrojů, ze kterých je možné vhodným způsobem získávat teplo. Nevýhodou většiny z nich je jejich nízký energetický potenciál. Vzhledem k tomu je nutné teplo přeměňovat na úroveň využitelnou pro praktické účely. První myšlenku tepelného čerpadla formuloval v roce 1852 lord William Thomson Kelvin tak, že obráceně fungujícího tepelného motoru je možno použít nejen k chlazení, ale i k ohřívání. Poprvé se tepelné čerpadlo uplatnilo až 75 let po jeho objevení, v roce 1927, kdy bylo tepelného čerpadla s výkonem 1,4 MW použito k vytápění úřední budovy v Los Angeles. Tato relativně dlouhá doba od objevení k realizaci nebyla dána obtížností technického řešení. Důvodem byla ekonomická a provozní nevýhodnost tepelných čerpadel ve srovnání s jinými topnými systémy [5].

Tepelné čerpadla se v zahraničí používají již několik desítek let. U nás jsou však relativně novým a neznámým zdrojem tepelné energie. Jejich většímu rozšíření u nás dosud bránily nízké ceny energií, které prodlužovaly ekonomickou návratnost vyšších nákladů na pořízení, čímž je stavěly do nevýhodné pozice. Neodborná veřejnost si tento stav zažila. Navíc je většinou ovlivněna dalšími omyly a pověrami o tomto zdroji energie, jako obtížná instalace zařízení, neschopnost vytápět celý obytný prostor na požadovanou úroveň a další. Všechny tyto pověry jsou však zcela liché, celý proces pořízení tepelného čerpadla a náklady s tím spojené jsou i přes vysokou počáteční investici velmi výhodné. Výhoda tepelných čerpadel se dnes dále umocňuje neustálým zdražováním cen energií. Dalším významným plusem je bezobslužný provoz zařízení s téměř nulovým negativním dopadem na životní prostředí.

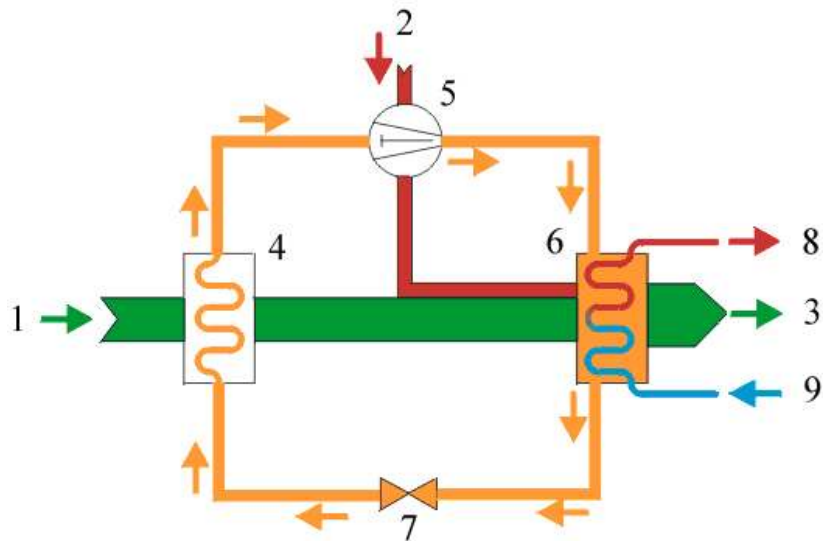
# 1 Princip tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo je zařízení velmi podobné běžné domácí chladničce, můžeme ho chápat jako druh chladicího zařízení. Primárním úkolem ledničky je chladit (odebírat teplo) potravinám, které jsou uloženy v chladicím prostoru. Úkolem tepelného čerpadla je naopak získávat teplo, které je odebíráno z chladnějšího tepelného zdroje. Všude kolem nás je nepředstavitelné množství energie. Většinou je však v takové formě, která pro nás není přímo využitelná pro vytápění. Takovou „nízkopotenciální“ energii můžeme právě pomocí tepelných čerpadel výhodně zužitkovat. Princip čerpadla si můžeme modelovat na obyčejném vodním čerpadle, které přečerpává vodu z hladiny nižší na hladinu vyšší. Odtud vznikl název tepelné čerpadlo. Stejně jako u čerpání vody čerpadlem, musí i tepelné čerpadlo mít další zdroj energie. U tepelných čerpadel je to většinou elektrická energie pohánějící elektromotor kompresoru. Spotřeba elektrické energie není nikdy zanedbatelně malá. Jak si ale ukážeme později, množství spotřebované energie při topení tepelným čerpadlem je mnohem nižší než u jiných druhů vytápění. Tato skutečnost tedy vyvrací mnohé reklamní slogany typu „Tepelné čerpadlo-topení zadarmo“.

## 1.1 Popis tepelného čerpadla a jeho funkce

Fyzicky se tepelné čerpadlo skládá ze dvou částí, venkovní (primární) a vnitřní (sekundární). Vnitřní část je většinou k nerozeznání od běžného plynového nebo elektrického kotle. Podoba a velikost vnější části je závislá nejen na velikosti vytápěných prostor, ale i na druhu zdroje, ze kterého teplo odvádíme.

Jak již bylo výše uvedeno, tepelné čerpadlo pracuje na stejném principu jako chladnička, obecně můžeme říci na principu uzavřeného chladicího okruhu. Uvnitř celého chladicího okruhu cirkuluje v různých skupenstvích pracovní látka tepelného čerpadla, tzv. chladivo. Dokážeme si lehce představit, že například těleso o teplotě 75 °C ochlazením na teplotu 65 °C odevzdá svému okolí určité množství tepla. Hůře představitelné je to, že naprosto stejné množství tepla získáme ochlazením pro nás už pocitově studeného tělesa, které ochladíme z 15 °C na 5 °C. Tuto úvahu můžeme zavést až do teplot pod nulou. Tento poznatek je aplikován ve vstupní části každého tepelného čerpadla, kterou je vždy výměník tepla, tzv. výparník. Ten slouží jako zásobník chladiva, ze kterého se za sníženého tlaku chladivo odpařuje. Teplo potřebné k vypaření chladiva ( $Q_{in}$ ) je právě teplo přivedené z okolí do výparníku (země, voda, vzduch), které získáváme zadarmo. Základní podmínkou práce tepelného čerpadla je tedy dostatečný teplotní spád na venkovní straně okruhu. Tyto ohřáté, ale pro vytápění stále studené páry, jsou dále přiváděny do kompresoru. Ten páry pomocí elektrické energie ( $Q_E$ ) stlačením zdatelně ohřeje. Takto ohřátý plyn je tlačěn do dalšího tepelného výměníku, do tzv. kondenzátoru. Sem je také přiváděna chladnější voda z otopného systému. Voda přijímá teplo přivedené ohřátými parami chladiva, které je využito v otopném systému k vytápění vybraného prostředí. Odevzdáním tepla ( $Q_{out}$ ) zde horké páry zkapalní a v tomto stavu opouští kondenzátor. Poslední částí celého okruhu je expanzní ventil, před nímž se shromažďuje teplé chladivo v kapalném stavu. Pomocí ventilu dojde k ochlazení a ke snížení tlaku chladiva až na jeho původní hodnotu ve výparníku. Celý tento cyklus se stále spojitě opakuje. Cyklus tepelného čerpadla je schematicky znázorněn v obr. 1 [1, 4].



1 – teplo z okolního prostředí, 2 – elektrická energie, 3 – celkově získané teplo, 4 – výparník, 5 – kompresor, 6 – kondenzátor, 7 – expanzní ventil, 8 – topná voda, 9 – vratná voda

Obr. 1 Schéma pracovního cyklu tepelného čerpadla

Energetickou bilanci tepelného čerpadla můžeme popsat rovnicí (1):

$$Q_{out} = Q_{in} + E_E \quad (1)$$

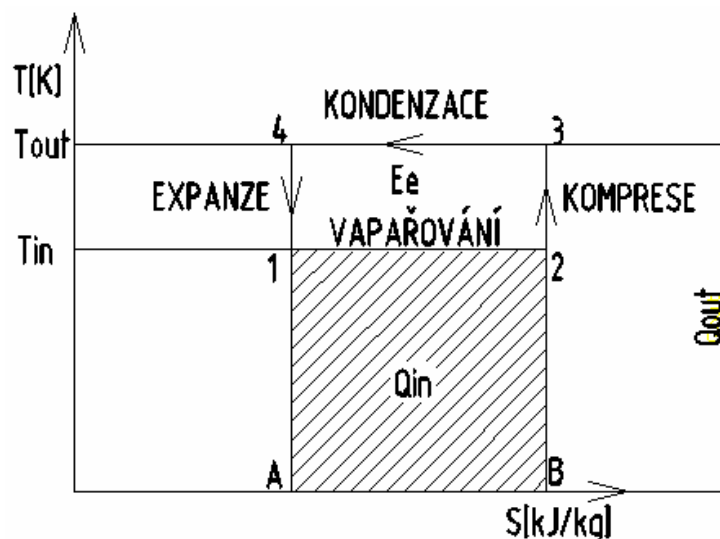
kde  $Q_{in}$  je vstupní energie z prostředí

$Q_{out}$  je energie získaná tepelným čerpadlem

$E_E$  je elektrická energie dodaná kompresoru

## 1.2 Termodynamické děje pracovního cyklu

Pracovní cyklus tepelného čerpadla můžeme také jednoduše vyjádřit jako cyklus Carnotův v T-s diagramu (obr. 2). Ideální pracovní cyklus probíhá podle zakreslených šipek.



Obr. 2 Carnotův cyklus tepelného čerpadla

V diagramu je vidět, že pracovní látka tepelného čerpadla prochází postupně čtyřmi termodynamickým ději.

1-2	izotermické vypařování
2-3	izoentropická (adiabatická) komprese
3-4	izotermická kondenzace
4-1	izoentropická (adiabatická) expanze

Vyšrafovaná plocha A-B-2-1 znázorňuje množství energie  $Q_{in}$  získaného z nízkoteplotního zdroje tepla. Plocha 1-2-3-4 je úměrná množství elektrické energie  $E_E$  dodané do pracovního cyklu při kompresi chladiva. Součet těchto dvou ploch je pak roven celkovému teplu, které je dodané tepelným čerpadlem do topného systému.

### 1.3 Tepelný výkon, topný faktor

Tepelný výkon můžeme chápat jako součet energie odebrané z okolí a elektrické energie potřebné pro pohon kompresoru. Od této hodnoty samozřejmě musíme odečíst tepelné ztráty způsobené prouděním tepla do okolí. Energie, kterou zdarma odebereme z přírody, bývá obvykle 1,5 až 4krát větší než elektrická energie spotřebovaná pro vlastní pohon [4].

Energetickou výhodnost celého zařízení můžeme matematicky vyjádřit pomocí topného faktoru  $\varepsilon_T$  (často se můžeme setkat s anglickým COP = Coefficient Of Performance), definovaného jako poměr výstupní energie a energie pro pohon, viz rovnice (2).

$$\varepsilon_T = \frac{Q_{out}}{E_E} \quad (2)$$

Topný faktor můžeme vzdáleně přirovnat k účinnosti. Na rozdíl od účinnosti, která je vždy menší než jedna, topný faktor dosahuje hodnot 2-4, za příznivých podmínek i více. Efektivnost tepelného čerpadla je tedy tím vyšší, čím je vyšší tepelný faktor.

Tepelný faktor nemá po celou dobu provozu čerpadla konstantní hodnotu, neustále se mění v závislosti na provozních podmínkách. V katalogích můžeme narazit na pojem provozní nebo průměrný tepelný faktor. Při běžných podmínkách provozu je tato hodnota zhruba 3. Z toho můžeme usoudit, že z 1kWh elektrické energie dodané kompresoru získáme 3kWh tepelné energie pro vytápění.

Při výběru tepelného čerpadla je topný faktor důležitým porovnávacím kritériem. Různí výrobci k jednotlivým druhům čerpadel udávají topný faktor při různých podmínkách provozu. Proto musíme dávat pozor při porovnávání různých čerpadel, aby byly shodné provozní podmínky, za kterých daný topný faktor platí. Pro udávání topného faktoru neexistuje společná norma, která by zajistila, aby výrobci udávaná čísla byla snadno srovnatelná. U hodnoty topného faktoru udávaného v technických parametrech proto musí být vždy uvedeny následující výchozí podmínky: teplota nízkoteplotního zdroje teplota, teplota topné vody a tepelný výkon nebo elektrický příkon [6].

Z výše uvedených poznatků o tepelném faktoru a Carnotově cyklu tedy vyplývá, že výhodnější je používat nízkoteplotní zdroj tepla s co nejvyšší teplotou, ne však vyšší než maximální povolená výrobcem. Ohřívání médium z otopného systému (voda) bychom měli ohřívat jen na nezbytně nutnou teplotu a dodávat ji do větších otopných systémů s nižší potřebnou teplotou topné vody. Snížením teploty topné vody docílíme nejen vyššího topného faktoru čerpadla, ale i vyššího výkonu. Takovýmto systémem je dnes například stále více

používané podlahové topení (obr. 3), ve kterém se teplota topné vody pohybuje v rozmezí 30-35 °C [2].



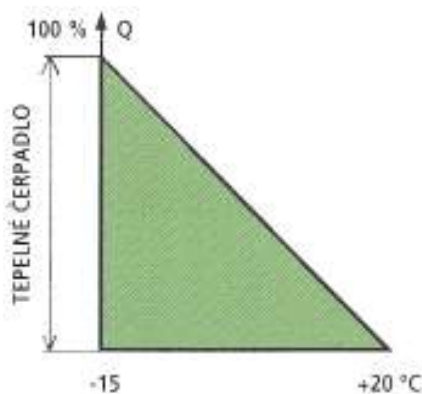
Obr. 3 Systém podlahového vytápění

#### 1.4 Provozní režimy tepelného čerpadla, kombinace vytápění s jiným zdrojem tepla

Potřebný výkon zdroje tepla pro vytápění objektu je určen jako tepelná ztráta vytápěného prostoru ve wattch (W). Tepelná ztráta objektu udává potřebný výkon pro vytápění při tzv. venkovní oblastní výpočtové teplotě (pro různé oblasti -10 až -18 °C). Celý výkon vypočtený podle tepelných ztrát je tedy třeba pro vytápění dodávat pouze při nejnižších venkovních teplotách. Tyto extrémní teploty trvají však jen několik dní v roce, proto se tepelná čerpadla dimenzují na menší výkon než je maximální požadovaný, a to zhruba do míry 60 až 80%. S rostoucím výkonem čerpadla roste i jeho cena. Abychom nemuseli instalovat dražší tepelné čerpadlo, jehož výkon bude po většinu topné sezóny nevyužit, používá se často kombinace s druhým zdrojem tepla. Nevýhodou předimenzovaného tepelného čerpadla je i jeho podstatně kratší životnost, v porovnání s naplno využitým slabším čerpadlem, která je způsobena častějším spínáním kompresoru [6].

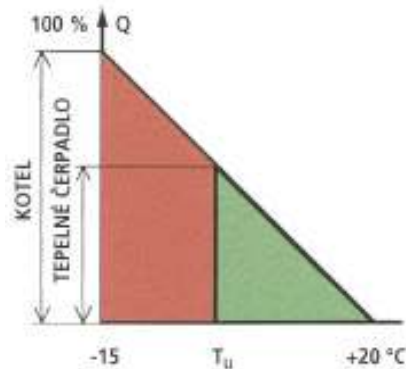
Zbylou část požadovaného výkonu tedy zajistí jiný zdroj tepla, například elektrický nebo plynový kotel. Moderní tepelná čerpadla mají přídavný elektrický kotel zabudovaný v sobě, takže náklady na druhý, doplňkový zdroj tepla, odpadnou. Současný provoz tepelného čerpadla a doplňkového zdroje tepla pak můžeme rozdělit na čtyři základní druhy režimů [2].

Monovalentní provoz (obr. 4): tepelné čerpadlo je jediným zdrojem tepla pro budovu. Pracuje po celou dobu topné sezóny. Vhodné zvláště pro nízkoteplotní vytápěcí soustavy s teplotou otopné vody do 60 °C [2].



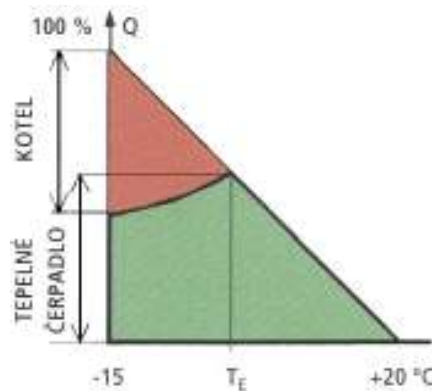
Obr. 4 Schéma monovalentního provozu

Alternativně-bivalentní provoz (obr. 5): tepelné čerpadlo pracuje pouze část topné sezóny, při největších mrazech je odstaveno. Teplo pak dodává další zdroj tepla (kotel). Vhodné pro soustavy s otopnou vodou o vyšší teplotě, až 90 °C [2].



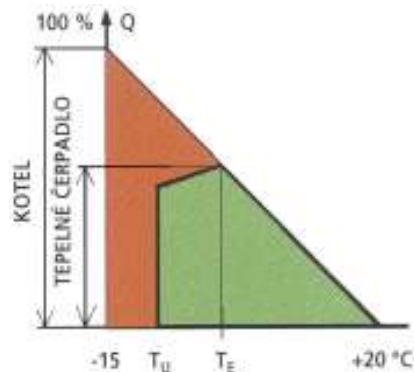
Obr. 5 Schéma alternativně-bivalentního provozu

Paralelně-bivalentní provoz (obr. 6): tepelné čerpadlo pracuje po celou topnou sezónu, i při nejnižších teplotách. Tehdy však jeho výkon nestačí, připojí se tedy další zdroj tepla (kotel) a oba pracují současně [2].



Obr. 6 Schéma paralelně-bivalentního provozu

Částečně paralelně-bivalentní provoz (obr. 7): tepelné čerpadlo pracuje pouze část topné sezóny, při největších mrazech je odstaveno. Teplo pak dodává další zdroj (kotel). Před odstavením pracují oba zdroje jistou dobu společně. Vhodné pro otopné soustavy vyžadující teplotu otopné vody do 60 °C [2].



Obr. 7 Schéma částečně paralelně-bivalentního provozu

Celý proces řízení vytápění při použití více tepelných zdrojů bývá samostatně řízen automatikou tepelného čerpadla, jedná se tedy o zcela bezobslužný systém.



## 2 Komponenty tepelného čerpadla

Základními stavebními prvky každého tepelného čerpadla jsou:

- kompresor s pohonnou jednotkou
- výměníky tepla: kondenzátor na vnitřní straně topného okruhu  
výparník na vnější straně topného okruhu
- expanzní ventil
- chladiivo
- filtry
- regulační prvky s elektroinstalací

### 2.1 Kompresory

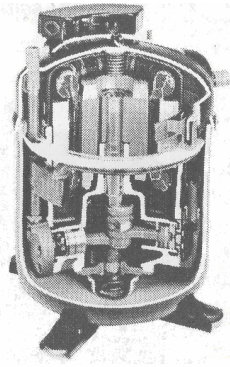
Kompresor slouží v tepelném čerpadle ke stlačování par chladiva, které vznikají ve výparníku. Stlačené páry se silně zahřejí a jsou vedeny do kondenzátoru, kde při ochlazení zkapalní a předají teplo do topné vody.

Tlaky, se kterými kompresor čerpadla pracuje, závisí na použitém druhu chladiva a pracovních podmínkách. Sací tlak bývá obvykle 0,1-0,5 MPa, výtlak kompresoru 0,5-2,5 MPa. Kompresory jsou schopné dosáhnout tlaku i přes 3 MPa, proto v nich bývají vestavěny ochranné prvky proti nárůstu tlaku, tzv. přetlakové ventily. Jedním z parametrů každého kompresoru je kompresní poměr, což je právě poměr výtlakového a sacího tlaku [4].

Pro pohon kompresoru tepelného čerpadla bývá primárně volen elektromotor. Samotný pracovní proces kompresoru i elektromotoru bývá doprovázen tepelnými ztrátami. Aby ztrátové teplo z kompresoru nebylo bez užitku vypuštěno do okolí, bývá kompresor i s elektromotorem hermeticky uzavřen ve společné nádobě. Tepelné ztráty z motoru jsou tak s užitkem převedeny do teplotnosné látky. Výhodou tohoto provedení je tedy naprostá těsnost, jež zabrání i případnému úniku chladiva. Dalším provedením je uzavření polohermetické. U těchto kompresorů jsou tepelné ztráty kompresoru také odváděny do teplotnosné látky. Nejméně výhodné je potom otevřené provedení, kde jsou všechny tepelné ztráty nevyužity a vypuštěny do okolí [4, 1].

#### 2.1.1 Pístový kompresor

Jedná se o klasický kompresor. V tepelných čerpadlech můžeme najít jednoválcové, ale i víceválcové pístové kompresory (obr. 8). Nevýhodou tohoto typu kompresoru je jeho poškození při nasátí kapalného chladiva. Do sacího potrubí se proto zařazují tzv. odlučovače kapalného chladiva. Tepelná čerpadla s tímto kompresorem bývají levnější, mívají však horší topný faktor a často jsou hlučnější než ostatní typy [4].



Obr. 8 Řez pístovým kompresorem

### 2.1.2 Spirálový kompresor

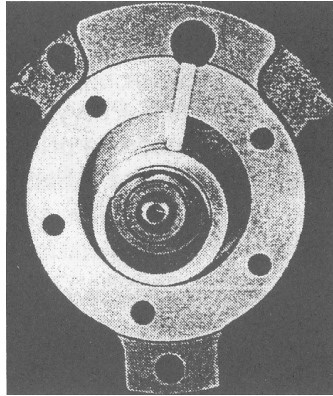
Spirálový, nebo také SCROLL kompresor, je moderní typ vyráběný poměrně krátkou dobu (obr. 9). Funkční částí spirálových kompresorů jsou dvě excentrické spirály vložené do sebe – jedna pevná (horní), druhá pohyblivá. Dolní spirála krouží v horní pomocí excentrického členu, který je na hřídeli elektromotoru. Tím se mezi spirálami vytváří plynové kapsy, které se posouvají ke středu spirály a zmenšují svůj objem. Dostanou se až do středu horní spirály. Tam má uprostřed otvor spojen s výtlačnou trubkou. Jejich použití přináší řadu podstatných výhod. Jednak jsou odolné proti nasátí kapalného chladiva, současně jsou i méně hlučné než pístové kompresory. Při větším rozdílu teplot mezi venkovní a vnitřní stranou okruhu tepelného čerpadla musí kompresor překonávat větší teplotní a tlakový rozdíl a musí konat větší kompresní práci. Se zvětšujícím se rozdílem teplot dochází k poklesu topného výkonu i topného faktoru. Tento pokles je výrazně nižší než u kompresorů pístových [5].



Obr. 9 Spirálový kompresor, řez spirálovým kompresorem

### 2.1.3 Rotační kompresor

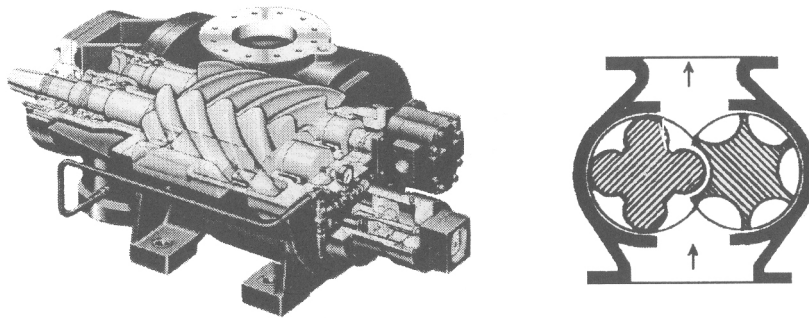
Dalším typem kompresoru je rotační kompresor. Píst rotačního kompresoru má kruhový tvar umístěný v kruhové komoře (obr. 10). V jednom místě je těsnicí destička, která se podle polohy pístu vysouvá a zasouvá a odděluje tak prostor sání a výtlačku. Tyto kompresory se používají jen zřídka, jen pro méně výkonná čerpadla [4].



Obr. 10 Rotační kompresor

### 2.1.4 Šroubový kompresor

Méně často používaným typem je šroubový kompresor (obr. 11). Hlavními prvky tohoto kompresoru jsou dva šroubovitě rotory. Ty jsou tvarovány tak, že do sebe zapadají a vzájemně se po sobě odvalují. Jde o technicky velice náročná zařízení, která jsou rozměrná a dosahují hmotnosti až několika set kilogramů. Proto se využívají jen pro vysoké výkony [4].



Obr. 11 Řez a schéma šroubového kompresoru

### 2.1.5 Radiální turbokompresor

Všechny výše jmenované kompresory pracují na základě tzv. objemového principu. To znamená, že stlačení se dosahuje nasátím vzduchu do prostoru, který je pak uzavřen a zmenšován.

Turbokompresory pracují na tzv. rychlostním principu, kdy nasátý vzduch je urychlován a jeho kinetická energie je v difuzoru transformována na tlakovou energii. Provozní vlastnosti turbokompresoru dovolují jejich použití pro poměrně úzký rozsah teplot vypařování a kondenzace [4].

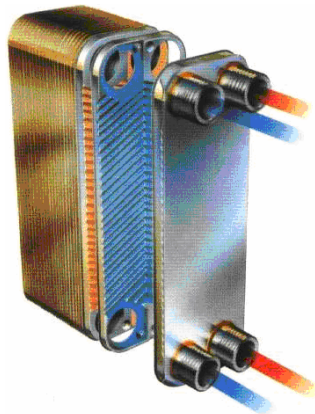
## 2.2 Výměníky tepla

Jedná se o konstrukční prvek, který zprostředkovává přenos tepla mezi médii. Výměna tepla díky výměníku probíhá tak, že nedojde k vzájemnému kontaktu médií, tedy k jejich smíchání. Aby výměník fungoval, musí být zaručen teplotní spád, tzn. že mezi médii musí existovat teplotní rozdíl. Výměník bývá charakterizován mnoha parametry. Hlavním parametrem je plocha, přes kterou se obě média stýkají. Množství tepla přeneseného výměníkem závisí také na průtoku média výměníkem za jednotku času a velikosti teplotního spádu. Existuje mnoho různých typů výměníků. Pokud chladivo v okruhu tepelného čerpadla

předává teplo otopné vodě, používají se deskové nebo trubkové výměníky. Pokud chladivo ohřívá přímo vzduch, bývají použity výměníky lamelové, doplněné ventilátorem [4].

### 2.2.1 Deskový výměník

Deskové výměníky (obr. 12) se skládají ze skupiny obvykle nerezových desek, které mají speciálně tvarované prolisy. Při složení desek na sebe se vytvoří dvě skupiny kanálků, kterými pak odděleně od sebe proudí teplotná média. Výhodou deskových výměníků je jejich velká účinnost a vysoký přenášený výkon při malých rozměrech. Nevýhodou těchto výměníků je jejich nerozebíratelnost, počet desek se tedy nedá libovolně měnit. Další jejich nevýhodou je náchylnost k zanášení prostor mezi deskami nečistotami z vody [6].

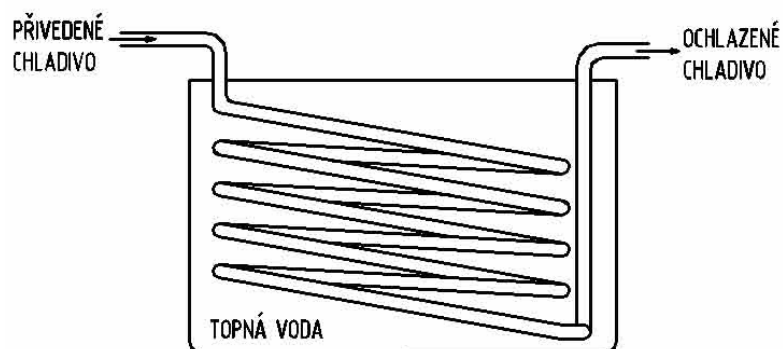


Obr. 12 Deskový výměník

### 2.2.2 Trubkový výměník

Trubkových výměníků dnes existuje celá řada, v různých provedeních. Popíšme si dvě nejznámější konstrukce.

Prvním řešením je výměník, který se skládá z větší válcové nádoby, do níž je vložena svitnutá trubka nebo i více trubek (obr. 13). Čím více trubek je vloženo, tím více plochy se vytvoří pro přenos tepla. Ve svazku trubek proudí jedno médium, v nádobě druhé [4].



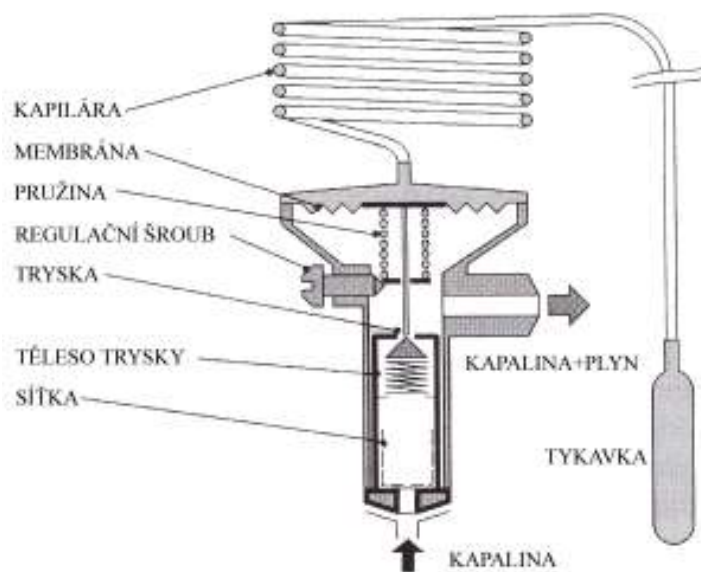
Obr. 13 Trubkový výměník

Druhý typ trubkového výměníku je tzv. „trubka v trubce“. Do jedné trubky většího průměru je vsunuta jedna trubka nebo svazek tenčích trubek [4].

## 2.3 Expanzní ventil

Přesný název tohoto zařízení je termostatický expanzní ventil (TEV). Jeho úkolem je vstříkovat do výměníku na vnější straně okruhu (výparníku) chladivo. Pro optimální provoz celého čerpadla je velmi důležité správné dávkování chladiva.

Základním funkčním prvkem TEV je tryska dávkující chladivo, která je ovládána několika silami. Řídicím prvkem TEV je tepelné čidlo umístěné v prostoru výparníku, tzv. „tykavka“. Jedná se o malou nádobu naplněnou médiem, které úměrně k rostoucí teplotě zvyšuje svůj objem. Čidlo dále pokračuje v kapiláru připojenou na membránu ventilu. Tlak nad membránou se zvyšuje úměrně se zvýšením teploty tepelného čidla. Tímto tlakem je stlačována pružina, která udržuje trysku ventilu zavřenou. S rostoucí teplotou ve výparníku je tedy otevřena tryska expanzního ventilu, a tím je přivedeno chladivo do výparníku. Principiální schéma TEV je uvedeno na obr. 14 [4].



Obr. 14 Schéma termostatického expanzního ventilu

## 2.4 Chladiva

Chladivo, které plní funkci nositele energie v okruhu, je velmi důležitým prvkem pro chod tepelného čerpadla. Je známo mnoho druhů chladiv, ale pro použití v tepelném čerpadle jsou vhodné jen některé. Mohou to být jednosložkové sloučeniny nebo směsi dvou a více sloučenin. Ne všechna chladiva jsou také zcela ekologicky nezávadná [4].

Vliv par chladiv na poškozování ozónové vrstvy Země popisuje koeficient ODP (Ozone Depletion Potential). Za jeho základ byl vzat freon R11, jehož ODP je roven 1. Čím nižší je tento koeficient, tím nižší je vliv na poškození ozónové vrstvy. Chladiva mohou mít vliv i na skleníkový efekt, který je jednou z příčin globálního oteplování Země. Vliv na něj popisuje koeficient GWP (Global Warming Potential). U tohoto koeficientu se udává navíc i počet let vlivu chladiva. GWP je definován jako působení CO<sub>2</sub> za 100 let, pro které je hodnota GWP=1. Vyšší číslo znamená vyšší negativní vliv [4, 9].

### 2.4.1 Označování chladiv a dělení podle chemického složení

Označování chladiv je uvedeno v tab. 1. První písmeno R je odvozeno z anglického „refrigerant“, tj. chladivo. U některých označení chladiv bývá připojeno i písmeno C,

„cyclic“, tedy cyklický. Podle chemického složení dělíme chladiva na čtyři skupiny, a to CFC, HCFC, HCF a HC.

CFC jsou plně halogenizované uhlovodíky a jejich směsi. Všechny atomy vodíku v molekule jsou nahrazeny halogenidy (F, Cl, výjimečně Br). Tyto látky se nazývají „tvrdé freony“. Patří sem chladiva R11, R12, R13, R113, R114, R115, R502 a R503. Všechny mají vysoké koeficienty ODP i GWP [4].

HCFC jsou chlorofluorované uhlovodíky, mají v molekule i atomy vodíku. Jsou označovány jako „měkké freony“. Patří sem R21, R22, R141, R114, R115, R123 a R124. Mají nízký koeficient ODP a střední až vysoký koeficient GWP [4].

HFC nemají v molekule atomy chloru, pouze fluor. Jejich ODP=0, ale GWP mohou mít velmi vysoký. Jsou to chladiva R134, R152, R125, R32, R218, R407 nebo R404 [4].

HC jsou přírodní uhlovodíky a jejich směsi, zcela bez halogenidů, vysoce hořlavé. Nemají žádný škodlivý vliv na ozonovou vrstvu a minimální negativní vliv na skleníkový efekt [4].

Existují i další skupiny chladiv, jako anorganická chladiva (CO<sub>2</sub>-R744, SF<sub>6</sub>-R846, vzduch-R729, voda R718), sloučeniny dusíku, např. amoniak NH<sub>3</sub>-R717, aj. Tato však nejsou většinou pro okruhy tepelných čerpadel vhodná, z důvodu nevhodnosti použití měděného potrubí pro amoniak. Řešením by bylo použití potrubí ocelového. Amoniak je navíc jedovatý. Pro své dobré termodynamické vlastnosti se stále používá ve velkých chladících systémech, např. pro ledové plochy stadionů [4].

Tab. 1 Označování chladiv

R10 až R50	skupina na bázi metanu
R110 až 170	skupina na bázi etanu
R216 až 290	propanová skupina
RC316 až RC318	skupina cyklických uhlovodíků
R400 až R411B	zeotropní směsi chladiv
R500 až R509	azeotropní směsi chladiv
R600 až R620	ostatní organické sloučeniny
R630 až R631	sloučeniny dusíku
R702 až R764	anorganická chladiva
R1112 až R1270	nenasycené uhlovodíky

## 2.4.2 Dělení chladiv podle fyzikálních vlastností

Chladiva můžeme rozdělit i podle fyzikálních vlastností. První skupinou jsou azeotropní chladiva, která se chovají jako čisté kapaliny. Během fázové přeměny z páry na kapalinu se složení par a kapaliny nemění. Mohou to být chladiva jednosložková, ale i vícesložková. Patří mezi ně chladiva s označením R22, R290, ze směsí pak R502 nebo R507. Druhou skupinou jsou chladiva zeotropní. Ty jsou směsí obvykle dvou až čtyř druhů chladiv, která mají během fázové přeměny páry na kapalinu proměnné složení. Zeotropní chladiva jsou např. R407 [9].

### 3 Dělení tepelných čerpadel podle zdrojů nízkopotenciálního tepla, základní vlastnosti

Tepelná čerpadla obecně můžeme rozdělit na několik skupin. Hlavním kritériem dělení je způsob, jakým čerpadlo teplo z okolí odebírá a jakým způsobem ho bude předávat dále. Například označení tepelného čerpadla jako vzduch-voda znamená, že tepelné čerpadlo odebírá teplo ze vzduchu a předává ho do topné vody, která cirkuluje v topném systému. Podle způsobu získávání tepla tedy můžeme tepelné čerpadla rozdělit do skupin:

- země-voda
- voda-voda
- vzduch-voda

Nejdůležitějšími požadavky na všechny nízkopotenciální zdroje jsou dostupnost, vydatnost a co nejvyšší možná teplota zdroje.

#### 3.1 Tepelné čerpadlo voda-voda

##### 3.1.1 Tepelné čerpadlo voda-voda (povrchové vody)

Pod tímto zdrojem si můžeme představit tekoucí zdroj (řeka) nebo stojatou vodu (rybník). Na dně jsou položeny zatížené PE hadice o průměru 25-30 mm, tloušťce stěny cca. 3 mm. Dalším možným výměníkem jsou měděné trubky o průměru 16 mm a tloušťce stěny 1mm. Trubky jsou naplněné chladivem přenášejícím teplo mezi vodou a tepelným čerpadlem. Energetický potenciál vodního zdroje je v rozmezí 1,5-8 W/m<sup>2</sup>. V případě vložení výměníku do rybníka hrozí nebezpečí, že při velkém odběru tepla a malém objemu vody bude namrzat podchlazený kolektor, a tím se bude snižovat jeho účinnost. U tekoucí vody tento problém odpadá. Při užití tekoucí vody mohou být hadice umístěné v břehu řeky nebo na jejím dně, voda však může být čerpána přímo k tepelnému čerpadlu, ochlazená je pak vypouštěna zpět do řeky. Problémem může být znečištění vody, zpoplatnění jejího odběru, zamrzání hladiny a chod ker, v některých případech způsobující utržení výměníku [3, 2, 4]. Další informace jsou uvedeny v tab. 2 [8].

Tab. 2 Tepelné čerpadlo voda–voda (povrchové vody), základní informace

Popis	Tepelné čerpadlo odebírající teplo z povrchové vody. Na dně jsou položeny plastové hadice se zátěžkami, naplněné nemrznoucí směsí, která přenáší teplo mezi vodou a tepelným čerpadlem.
Příklad použití	Vytápění a ohřev TUV v objektech všech velikostí.
Výhody	Nižší investiční náklady v porovnání s termovrty a plošnými kolektory, vysoký topný faktor.
Nevýhody	Riziko poškození potrubí v případě povodně, výlovu nebo jiné pohromy.
Zajímavé údaje	Pro běžný rodinný dům je potřebná plocha 150 až 350 m <sup>2</sup> .



*Obr. 15 Tepelné čerpadlo voda–voda (povrchové vody)*

### **3.1.2 Tepelné čerpadlo voda-voda (podzemní vody - studny)**

Pro tento druh tepelného čerpadla jsou zapotřebí dvě studny, tzv. sací a vsakovací, které musí být od sebe vzdáleny minimálně 8-10 m (obr. 16). Běžná hloubka studny pro tepelné čerpadlo bývá 10-30 m. Studniční voda je celoročním zdrojem tepla s vysokou teplotou mezi 8-12 °C. Základním požadavkem je však celoročně vydatný pramen, který umožní stálý odběr min 0,5-1 l/s. Vydatnost pramene se vždy ověřuje dlouhodobou čerpací zkouškou trvající až jeden měsíc. Pro zmíněné požadavky se tento zdroj tepla pro tepelné čerpadlo často volí v oblastech údolních niv velkých řek velkým tokem spodní vody. Voda se čerpá z mělkých studní, důležitá je čistota a chemické složení vody [2,3].

Souhrnné informace o tepelných čerpadlech s tímto nízkopotenciálním zdrojem jsou v tab. 3 [8]. V tab. 4 je uveden přibližný potřebný průtok vody při jejím ochlazení o 5°C. Tabulka platí pro čerpadlo s topným faktorem  $\varepsilon_T = 4$  [4].



*Obr. 16 Tepelné čerpadlo voda–voda (podzemní vody)*



Tab. 3 Tepelné čerpadlo voda–voda (podzemní vody), základní informace

Popis	Tepelné čerpadlo odebírající teplo ze spodní vody. Spodní voda je vyčerpávána ze studny, v tepelném čerpadle je ochlazena a pak zavedena do druhé vsakovací studny.
Příklad použití	Vytápění a ohřev TUV v objektech všech velikostí.
Výhody	Nižší pořizovací cena v porovnání s termovrty, velmi vysoký topný faktor
Nevýhody	Spodní voda musí mít teplotu min. 7 C a vyhovující chemický rozbor. Větší riziko poruch, nutnost instalace a čištění, nutnost disponovat velkým zdrojem podzemní vody
Zajímavé údaje	V některých lokalitách dosahuje teplota spodní vody až 14 C.

Tab. 4 Přehled potřebných průtoků vody pro tepelné čerpadlo voda–voda (podzemní voda)

Výkon [kW] ochlazení o 5°C	Průtok vody [m <sup>3</sup> /hod.]	Průtok vody [litr/min]	Průtok vody [litr/sec.]
4,0	0,5	8,3	0,14
6,0	0,8	13,3	0,22
8,0	1,1	18,3	0,31
10,0	1,3	21,7	0,36
12,0	1,6	26,3	0,44
14,0	1,8	30,0	0,5
16,0	2,1	35,0	0,58

### 3.2 Tepelné čerpadlo vzduch-voda

Venkovní vzduch jako zdroj pro tepelné čerpadlo je dostupný všude v nekonečném množství. Jeho průměrná teplota v našich podmínkách je asi 4°C, nejnižší teploty však mohou být hluboko pod nulou, někdy až -20°C. V takových podmínkách však pracuje tepelné čerpadlo s nízkým topným faktorem a malou efektivitou. V těchto situacích se užívá, jak již bylo řečeno, druhého (bivalentního) zdroje tepla [3].

Venkovní jednotka, tvořena ventilátorem a výparníkem, je propojena s vnitřní částí izolovaným potrubím, ve kterém proudí chladivo. Tato část primárního okruhu je relativně malá a lze ji umístit na zem, na střechu domu, je možné ji připevnit i na venkovní stěnu.

Tepelné čerpadlo vzduch-voda může využívat i odpadní vzduch z vnitřních prostor vytápěného objektu, ten má relativně vysokou teplotu kolem 20 °C. Je zde dosaženo vysokého topného faktoru [3, 4]. Souhrnné informace jsou uvedeny v tab. 5 [8].

Tab. 5 Tepelné čerpadlo vzduch–voda, základní informace

Popis	Tepelné čerpadlo odebírající teplo z venkovního vzduchu do teplot až -10 °C. Tepelným čerpadlem je ohřívána topná voda až na 55 °C.
Příklad použití	Vytápění menšího rodinného domu, ohřev TUV, ohřev vody v bazénu
Výhody	Nižší pořizovací cena, rychlá a levná instalace
Nevýhody	Nižší topný faktor, kratší životnost v porovnání s čerpadly země-voda, vyšší hlučnost způsobená ventilátorem, pokles výkonu při nízkých venkovních teplotách
Zajímavé údaje	Topný faktor při venkovní teplotě -7 °C a teplotě vody v topném systému 35 °C je 2,8

### 3.3 Tepelné čerpadlo země-voda

Tento způsob využívá přečerpávání tepla akumulovaného v povrchových vrstvách zeminy, jak vlivem slunečního záření, tak vlivem akumulované geotermální energie horizontálními nebo vertikálními zemními kolektory. V hloubce do 0,5 m pod povrch země teplota během roku silně kolísá, kdežto v hloubce jednoho metru a více je vliv slunečního záření slabší. Z toho vyplývá nutnost ukládání kolektorů v tzv. nezámrazné hloubce, minimálně 1 metr [3].

V naší zeměpisné šířce jsou tato tepelná čerpadla nejrozšířenější. Důraz je kladen nejen na výběr samotného stroje, ale také na výběr částí, které získávají potřebné teplo. Kvalita a provedení právě těchto částí je při instalaci zásadní.

Výhodou tepelných čerpadel pracujících na principu země-voda je stabilní topný faktor tepelného čerpadla po celý rok, nezávislý na okolní teplotě, čímž lze v porovnání s jinými systémy dosáhnout vysokých úspor. Nevýhodami jsou vyšší pořizovací náklady v případě použití vertikálních kolektorů (vrtů) nebo nutné rozsáhlejší zemní práce na pozemku (horizontální kolektor). Investiční náklady jsou průměrně cca 280 000 Kč při použití plošného kolektoru nebo 360 000 Kč při použití vertikálního kolektoru.

#### 3.3.1 Tepelné čerpadlo země-voda (plošný kolektor)

Teplo se odebírá z půdy pomocí horizontálních kolektorů (obr. 17, obr. 18). Kolektory mají v tomto případě podobu potrubí, v němž cirkuluje chladivo. Materiály potrubí jsou většinou vysokohustotní polyethylenové hadice. Ty jsou vhodné pro svoje mechanické vlastnosti, např. dlouhodobé odolávání bodovému tlaku (v praxi tlak kamenů na potrubí v zemi). Trubky se umísťují do hloubky 1,2-1,6 m pod povrchem země, v nezámrazné hloubce, ve vzdálenosti 0,6–1 m od sebe. Velikost plochy kolektorů by měla být asi 2,5 až 3krát větší než vytápěná plocha, proto je tento systém velmi náročný na potřebnou plochu. Celá plocha kolektoru však většinou není tvořena jediným okruhem. Doporučená ideální délka jednotlivých okruhů je pro snížení tlakových ztrát 100 m. Z 1 m<sup>2</sup> plochy je možné získat

běžně 10 – 35 W energie. Množství získaného tepla tedy závisí na velikosti plochy kolektorů, ale i na druhu půdy, ve které jsou kolektory uloženy [2, 3, 6].



Obr. 17 Tepelné čerpadlo země–voda (plošný kolektor)

Měrné výkony získané z 1 m<sup>2</sup> půdy horizontálním zemním kolektorem při rozteči trubek 0,5 m uložené v hloubce 1,5 m jsou uvedeny v tab. 6. Další údaje k tomuto typu tepelného čerpadla jsou uvedeny v tab. 7 [8].

Tab. 6 Přehled získaných měrných výkonů podle typu půdy

Typ půdy	Měrný výkon jímání z 1 m <sup>2</sup> půdy (W.m <sup>-2</sup> )
Suché nesourodé půdy	10 – 15
Vlhké soudržné půdy	15 – 20
Velmi vlhké soudržné půdy	20 – 20
Půdy obsahující vodu	25 – 30
Půdy s výskytem spodní vody	30 – 40

Tab. 7 Tepelné čerpadlo země–voda (plocha), základní informace

Popis	Tepelné čerpadlo odebírající teplo z plochy zahrady. V zahradě jsou v metrové hloubce a metrové rozteči zakopány plastové hadice naplněné nemrznoucí směsí, která přenáší teplo mezi zemí a tepelným čerpadlem.
Příklad použití	Vytápění a ohřev TUV v objektech všech velikostí.
Výhody	Nižší investiční náklady v porovnání s termovrty, vysoký topný faktor, lze instalovat ve většině lokalit v ČR.
Nevýhody	Nelze instalovat u objektů s malým pozemkem, na ploše s kolektorem nelze nic stavět, je třeba umístit kolektory dále od objektů a jejich základů, hrozí riziko namrzání půdy a posunů staveb
Zajímavé údaje	Pro běžný rodinný dům je zabraná plocha pozemku 200 až 400 m <sup>2</sup> .

Horizontální kolektor může být proveden také jako výkopový (obr. 19). Do výkopu o šířce 1m se pokládá trubka jako spirála, která vytvoří vzájemně se překrývající smyčky. Uvádí se, že pro jeden kW topného výkonu tepelného čerpadla je potřeba 5-8 m délky výkopu [2].

Představme si ilustrativní dům s tepelnou ztrátou 7 kW. Vzhledem k výše uvedeným parametrům by tedy bylo potřeba pro plošný kolektor pozemek o rozloze cca 210 m<sup>2</sup>, popř. 50-70 metrů výkopu pro výkopový kolektor.



*Obr. 18 Ukázka zemního plošného kolektoru*

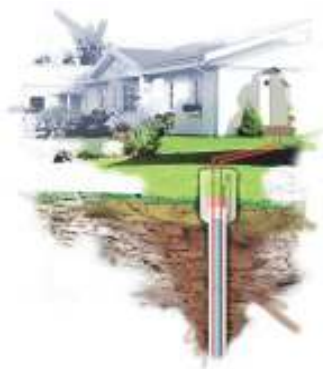


*Obr. 19 Ukázka zemního výkopového kolektoru*

### **3.3.2 Tepelné čerpadlo země-voda (geotermální vrt)**

I přes vyšší pořizovací investici (jen vrtací práce stojí cca 1000Kč/metr vrtu) je realizace venkovního okruhu v podobě geotermálního vrtu velice častá (obr. 20). Využívá se vrtů hlubokých až 150 m, které se provádí speciální vrtnou soupravou (obr. 21). Do vrtu je vsunuta sonda (výměník) z plastových trubek, ohřívána okolní zeminou, skálou nebo jiným podložím, a tak je odebíráno teplo. Potřebná délka vrtu je přímo úměrná potřebnému topnému (ztrátovému) výkonu. Na 1 kW je potřeba přibližně 9-12 m vrtu. Pro náš ilustrativní dům se ztrátou 7 kW by byl tedy potřeba vrt o hloubce asi 80 m [6].

U vertikálního vrtu, stejně jako u plošného kolektoru, platí zásady dobrého dimenzování a hlavně vhodného použití materiálů. Ideálně zvolená celková délka vrtů vztažená na složení podloží lokality zabezpečí provoz bez omezení. Poddimenzování vede při velkém odběru tepla k silnému ochlazení země, které může vést až k zamrznutí země kolem vrtu. Tím se zmenšuje výkonnost tepelného čerpadla. Pokud jsou vrty navrženy kratší než je nutné, v průběhu několika let pak můžeme očekávat nižší výstupní hodnoty celého systému. V takovém případě není zaručena rovnováha mezi přenosem tepla v podloží a jeho odčerpáváním, zdroj nízkopotenciálního tepla se tedy stává nedostatečným [6].



Obr. 20 Tepelné čerpadlo země–voda (geotermální vrt)

Vrty je možné vést nejen kolmo, ale i šikmo na různé strany. Toto řešení ušetří náklady na sběrné potrubí mezi jednotlivými vrty. Vrty je možno umístit i pod stavbu, což je možné především u novostaveb [2, 3]. Neodborná veřejnost si často myslí, že pokud jejich dům stojí „na skále“, není možno do takto tvrdého podloží vrt provést. Opak je však pravdou, do měkkých podloží se vrtá hůře, protože se vrt sám zasypává. Souhrnné informace, týkající se geotermálních vrtů, shrnuje tab. 8 [8].

Tab. 8 Tepelné čerpadlo země–voda (geotermální vrt), základní informace

Popis	Tepelné čerpadlo odebírající teplo z vrtu. Ve vrtu jsou zasunuty plastové sondy naplněné nemrznoucí směsí, která přenáší teplo mezi zemí a tepelným čerpadlem.
Příklad použití	Vytápění a ohřev TUV v objektech všech velikostí.
Výhody	Stabilní teplota zdroje tepla z vrtu, vysoký topný faktor, lze instalovat ve většině lokalit v ČR, časté použití tepelného čerpadla jako jediného (monovalentního) zdroje.
Nevýhody	Vyšší pořizovací náklady, mírný nepořádek v průběhu vrtání, sondy ve vrtech jsou po zahrnutí prakticky neopravitelné, je nutná důkladná přejímka vrtu a ověření jeho hloubky, existuje nechtěné riziko kontaminace spodních vod.
Zajímavé údaje	Pro běžný rodinný dům se provádí vrty v hloubkách 50–120 m.



Obr. 21 Vrtná souprava pro vertikální vrty

### 3.3.2.1 Sondy pro geotermální vrty

Geotermální sonda je zřejmě nejdůležitějším prvkem celého okruhu tepelného čerpadla země-voda. Při projektování primárního okruhu je tedy velmi důležité dimenzování, volba materiálu, ale i samotná montáž sondy. Ve většině případů je jediným vhodným materiálem pro vystrojování vrtů vysokohustotní polyethylen PE 100 (obr. 22). Výbornou vlastností materiálu je vysoká odolnost proti šíření trhlin. Právě při zavádění sondy dochází k velkému namáhání materiálu a k vrypům po celé délce. Dalším kritickým místem sondy může být provedení spodní části vystrojení vrtu, které je nejvíce namáháno během montáže a provozu, především tlakem. Pouze statický tlak u vrtu hloubky 120 m je u dna vrtu 12 barů (tj. 1,2 MPa). Nesmí se ale opomíjet ještě další zvýšení tlaku o 4 bary, které se projeví při tlakové zkoušce těsnosti systému. Vzhledem k tomuto zatížení se tak doporučuje používat geotermální sondy odolné a označované PN 16 (odolné do 16 barů, tj. 1,6 MPa) [6].



Obr. 22 Polyethylen PE 100 pro sondu geotermálního vrtu

### 3.3.2.2 Základní postupy při instalaci zemního kolektoru

Jak již bylo řečeno, při montáži sondy je nutné pro předejití chyb a tedy správnou funkci tepelného čerpadla postupovat podle určitých pravidel. Uvedme si některé operace, které musí být dokonale provedené.

Prvním problémem může být vystrojení vrtu. Neodborně svařená vystrojení vrtu, která se stále provádí, jsou ve většině zemí EU již řadu let zakázána. Důvodem je jejich nízký faktor bezpečnosti a hrozící nebezpečí úniku chladiva. Improvizovaně vyrobené vratné koleno má omezený průtok, jež zvyšuje hydraulické ztráty, v některých případech až o 50 %. To se samozřejmě promítne do ekonomiky provozu tepelného čerpadla. Celou instalaci tepelného čerpadla může poškodit právě jen použití nevhodného vystrojení. Cenový rozdíl mezi profesionálně připravenými sondami (obr. 23) a neodborně provedeným svařencem (obr. 24) je v porovnání s celkovými náklady na pořízení tepelného čerpadla zanedbatelný [4, 6].



*Obr. 23 Profesionálně zhotovená sonda pro geotermální vrt*



*Obr. 24 Neodborně zhotovená sonda pro geotermální vrt*

Ukázka nevhodného vystrojení vrtu je uvedena na obr. 25, kde je vidět řez spodní části nevhodně provedeného vystrojení. Výronky ze svařování značně omezují průtok chladiva v potrubí [6].



*Obr. 25 Řez nevhodně provedenou sondou*

Další komplikace spojená s instalací následuje po vyvrtání vrtu a vsunutí sondy. Volný prostor vrtu vzniklý odebranou horninou se musí vyplnit cementojílovitou směsí. Pokud se navrtají různé horizonty spodních vod, může docházet k pronikání hlubinné tlakové vody (s obsahem např. železitých prvků) skrz vrt do vrchních horizontů, odkud je čerpána v řadě oblastí pitná voda. Vyplněním vrtu zabráníme právě těmto nevratným ekologickým nehodám.

Zároveň injektováním zabezpečíme důležitý termický styk sondy s podložím v lokalitách, kde není dostatek spodní vody [6].

Velká pozornost musí být věnována i spojování potrubí v primárním okruhu. Pro spojování polyethylenového potrubí použitého v primárním okruhu se používají shodné spojky jako v plynárenství nebo pro rozvody vody. Jde o způsob svařování elektrospojkami. Druhý způsob je spojování svěrnými mechanickými spojkami. Zvláště u mechanických svěrných spojek je důležitá chemická odolnost pryžové těsnicí planžety, která musí být dlouhodobě (min. 50 let) odolná proti použitému druhu chladiva [6].

Samotné provádění vrtu tedy doprovází spousta nařízení udávajících kvalitu provádění vrtů pro tepelné čerpadla.

## 4 Určení návratnosti tepelného čerpadla

Pro výpočet orientační návratnosti počáteční investice byl vybrán modelový dům s tepelnou ztrátou 7 kW. Srovnáním nákladů na pořízení a provoz tepelného čerpadla s náklady na provoz kotle na zemní plyn byla demonstrována výhodnost tepelných čerpadel. Doba návratnosti byla určena jako poměr investice na instalaci tepelného čerpadla a úspory, kterou obdržíme použitím tepelného čerpadla namísto kotle na spalování zemního plynu. Nejdříve byly určeny roční náklady na topení u jednotlivých topných systémů.

Tab. 9 Výpočet nákladů za energii za rok, topení kotlem na zemním plyn

Odběr energie	Spotřeba	Jednotková cena Kč/kWh	Náklady
Roční spotřeba energie na vytápění	12600kWh	0,804	10 130 Kč
Roční spotřeba energie ohřev vody	4000kWh	0,804	3 215 Kč
Spotřeba elektrické energie	4500kWh	3,89	17 505 Kč
			Σ 30850 Kč
Poplatky za dodávku	12 měsíců	147,56 (Kč/měsíc)	1 770 Kč
Poplatky za distribuci			5 867 Kč
Celkové náklady za 1 rok			Σ 38 487 Kč

Tab. 10 Výpočet nákladů za energii za rok, topení tepelným čerpadlem

Odběr energie	Spotřeba	Jednotková cena Kč/kWh	Náklady
Roční spotřeba energie na vytápění	3100kWh	2,15	6 686 Kč
Roční spotřeba energie ohřev vody	4000kWh	2,15	2 631 Kč
Ostatní spotřeba elektrické energie			
nízký tarif (22hodin denně)	4100kWh	2,157	8 843 Kč
vysoký tarif (2 hodiny denně)	400kWh	2,648	1 060 Kč
Celkové náklady za 1 rok			Σ 19220 Kč



Pro výpočet bylo vybráno tepelné čerpadlo firmy IVT TEPELNÁ ČERPADLA, s označením IVT GREENLINE 6 PLUS. Výkon tohoto čerpadla uvedený v katalogu byl 5,9 kW. Investice do topného systému s tímto čerpadlem by byla 315 000 Kč.

Výpočet doby návratnosti t:

$$t = \frac{I_P}{N_P - N_{T\check{C}}} = \frac{315\,000}{38\,487 - 19\,220} = 16,5 \text{ let}$$

kde	$I_P$	počáteční investice [Kč]
	$N_P$	náklady za energii za 1 rok při topení plynem [Kč]
	$N_{T\check{C}}$	náklady na energii za 1 rok při topení tepelným čerpadlem [Kč]
	t	doba návratnosti [rok]

V České republice je zavádění tepelných čerpadel podporováno státem v podobě státních dotací. Pokud bude ve výpočtu zohledněna dotace ve výši 25%, doba návratnosti se dále sníží. Doba  $t_D$  potom bude:

$$t_D = \frac{I_{PD}}{N_P - N_{T\check{C}}} = \frac{236\,250}{38\,487 - 19\,220} = 12,3 \text{ let}$$

kde	$I_{PD}$	počáteční investice zvýhodněná dotací [Kč]
	$t_D$	doba návratnosti při využití dotace

Výpočtem je jednoduše potvrzena výhodnost pořízení tepelného čerpadla. Za předpokladu stálých cen energií se investice vrátí za dobu cca 16 let, při zvýhodnění ceny pořízení dotací se doba zkrátí na 12 let. Po uplynutí této doby by díky výhodnému provozu tepelného čerpadla tvořila cena za energii spotřebovanou pro topení a celkový provoz domu polovinu nákladů, než při použití plynového kotle na vytápění.

## Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vytvořit ucelený a názorný přehled o jedné z možností, jak vytápět obytné prostory – o použití tepelného čerpadla. Jedná se o relativně novou metodu vytápění.

Úvodem práce je čtenář seznámen s principem činnosti tepelného čerpadla, se všemi termomechanickými pochody, kterými pracovní cyklus tepelného čerpadla prochází. Je zde vysvětlen také základní porovnávací parametr tepelných čerpadel, topný faktor. V další části jsou popsány jednotlivé stavební komponenty čerpadel.

Úkolem práce bylo dále porovnat tepelné čerpadlo země-voda, s ostatními typy tepelných čerpadel. Byly představeny dva typy tepelných čerpadel země-voda, s horizontálním a vertikálním zemním kolektorem. Hlavní výhodou obou typů je bezesporu vysoký topný faktor a stabilní výkon během celého roku. Nevýhodami jsou vyšší pořizovací ceny obou typů, u vertikálního kolektoru navíc vysoká cena za zhotovení vrtu, u horizontálního pak velká náročnost na velikost potřebné plochy. U tepelného čerpadla se zemním kolektorem jsou navíc uvedeny některé zákonitosti, které musí být dodrženy při instalaci.

Pro získání představy čtenáře o výhodnosti využití tepelných čerpadel pro vytápění je v poslední kapitole uveden výpočet orientační návratnosti investice pro pořízení celého systému.

Tepelné čerpadlo se postupem času ukazuje stále více jako výhodný nízkoenergetický zdroj tepla pro vytápění. S rostoucí cenou paliv a energií můžeme očekávat, že se doposud málo používaná tepelná čerpadla začnou dostávat do popředí zájmu spotřebitelů.

## Seznam použitých zdrojů

- [1] SRDEČNÝ, K., TRUXA, J. : Tepelná čerpadla. 1. vydání. Brno : ERA, 2005.  
68 stran. ISBN 80-7366-031-8.
- [2] TINTĚRA, L.: Tepelná čerpadla. 1.vydání. Praha : ARCH, 2003.  
121 stran. ISBN 80-86165-61-2.
- [3] CENKA, M.: Obnovitelné zdroje energie. 2. upravené a doplněné vydání.  
Praha: FCC Public, 2001. 204 stran. ISBN 80-901958-8-9.
- [4] ŽERAVÍK, A.: Stavíme tepelné čerpadlo. 1. vydání., vlastním nákladem, 2003.  
312 stran. ISBN 80-239-0275-X.
- [5] DVOŘÁK, Z., KLAZAR, L., PETRÁK, J.: Tepelná čerpadla. 1. vydání., Praha: SNTL, 1987. ISBN 80 902244-1-5.
- [6] *TZB-info - stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. c2001-2008 [cit. 2008-05-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/>>.
- [7] *Abeceda tepelných čerpadel Tepelná čerpadla* [online]. 2007 [cit. 2008-05-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.abeceda-čerpadel.cz/>>.
- [8] *Tepelná čerpadla IVT Kompletní sortiment tepelných čerpadel v široké výkonové řadě* [online]. c2003-2008 [cit. 2008-05-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.cerpadla-ivt.cz/>>.
- [9] *EKOserver - ekologie, příroda, akce, recyklovaný papír, ekoprodukty, knihy*, [online]. 2008 [cit. 2008-05-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.ekoserver.cz/>>.

## Seznam použitých zkratk a symbolů

$Q_{in}$	[J]	teplo získané z nízkopotenciálního zdroje
$Q_{out}$	[J]	teplo odevzdané do otopného systému
$E_E$	[J]	energie dodaná kompresoru z elektrické sítě
$\varepsilon_T$	[-]	topný faktor
COP	[-]	coefficient of performance
ODP	[-]	ozone depletion potential
GWP	[-]	global warming potential
$I_P$	[Kč]	počáteční investice
$N_P$	[Kč]	náklady za energii za 1 rok při topení plynem
$N_{TČ}$	[Kč]	náklady na energii za 1 rok při topení tepelným čerpadlem
$t$	[rok]	doba návratnosti
$I_{PD}$	[Kč]	počáteční investice zvýhodněná dotací
$t_D$	[rok]	doba návratnosti při využití dotace
TEV		termostatický expanzní ventil
TUV		teplá užitková voda
CFC		plně halogenované uhlovodíky
HCFC		chlorofluorované uhlovodíky
HFC		fluorované uhlovodíky
HC		nehalogenované uhlovodíky