

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



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

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

**ZEMNÍ ZDROJE TEPLA PRO TEPELNÁ ČERPADLA –**  
**VERTIKÁLNÍ VRTANÉ KOLEKTORY**  
EARTH HEAT SOURCES FOR HEAT PUMPS – VERTICAL BORED COLLECTORS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**ONDŘEJ PECH**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**ING. MICHAL JAROŠ, DR.**

BRNO 2008



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2007/08

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Pech Ondřej

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Zemní zdroje tepla pro tepelná čerpadla – vertikální vrtané kolektory**

v anglickém jazyce:

### **Earth heat sources for heat pumps – vertical bored collectors**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Tepelná čerpadla odebírají tepla okolnímu prostředí. Jako zdroje tepla lze přitom využít např. okolní atmosféru, povrchovou a podzemní vodu, zemní výměníky apod. V poslední době převažuje získávání tepla ze vzduchu a ze země. Druhý uvedený způsob má výhodu zejména ve stálé teplotě zdroje a tedy i stálé hodnotě topného faktoru tepelného čerpadla.

Cíle bakalářské práce:

Zhodnoťte využití vrtaných zemních kolektorů jako zdroje tepla pro tepelná čerpadla, zejména z investičního a provozního hlediska (složitost instalace, investiční a provozní náklady, možné provozní problémy, ekologická hlediska atd.). Posuďte jejich přednosti a nedostatky při vytápění budov a přípravě TUV v podmínkách ČR. Uveďte případné konkrétní aplikace a jejich ekonomické srovnání s jinými druhy tepelných zdrojů.

Seznam odborné literatury:

- Dvořák, Z., Klazar, L., Petrák, J.: Tepelná čerpadla. SNTL Praha, 1987.  
Srdečný, K., Truxa, J.: Tepelná čerpadla. ERA Group, Brno, 2005.  
Tintěra, L.: Tepelná čerpadla. ABF, 2003.  
Schulz, H.: Teplo ze slunce a země. Nakl. HEL, 2002.  
Internetové zdroje dle vlastního výběru studenta.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michal Jaroš, Dr.

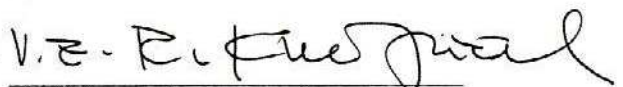
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2007/08.

V Brně, dne 22.11.2007

L.S.



doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.  
Ředitel ústavu



doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **Abstrakt**

Práce se zabývá využitím vrtaných zemních kolektorů jako zdroje tepla pro tepelná čerpadla.

Teoretická část obsahuje seznámení s historií a principem tepelného čerpadla, jeho provozními režimy, vysvětlením topného faktoru, používanými zdroji nízkopotenciálního tepla, typy vertikálních kolektorů, vystrojením vrtů, materiály vertikálních kolektorů, jejich dimenzováním, instalací, provozními problémy, ekologií provozu a jejich přednostmi a nedostatky.

Praktická část je věnována srovnání přibližných investičních a provozních nákladů na vytápění a přípravu TUV pro modelový dům pro pět typů zdrojů tepla.

## **Abstract**

This bachelor's thesis deal with utilization of vertical bored collectors like source heat for heat pumps.

The theoretic part contains an introduction with history and principle of heat pumps, operational modes, explanation of heating factor, low potential heat sources, types of vertical collectors, development of drill hole, materials of vertical collectors, their dimensioning, installing, operational problems, environmentalism of operational and their preferences and deficiencies.

The practical part is dedicated to comparing approximate investment and operating costs for heating and hot service water preparing for designed house of five types source of heat.

## **Klíčová slova**

Tepelné čerpadlo, vertikální vrtané kolektory, vytápění, příprava TUV.

## **Key words**

Heat pumps, vertical bored collectors, heating, hot service water preparing.

---

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PECH, O. *Zemní zdroje tepla pro tepelná čerpadla – vertikální vrtané kolektory*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 38 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michal Jaroš, Dr.

---

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Zemní zdroje tepla pro tepelná čerpadla – vertikální vrtané kolektory* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 22. května 2008

.....  
Ondřej Pech

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval Ing. Michalu Jarošovi, Dr. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

---



## OBSAH

<b>Úvod</b> .....	<b>10</b>
<b>1. Tepelné čerpadlo</b> .....	<b>11</b>
1.1 Historie, princip a činnost zařízení.....	11
1.2 Provozní režimy.....	12
1.3 Topný faktor .....	13
1.4 Zdroje nízkopotenciálního tepla.....	14
<b>2. Vertikální vrtané kolektory</b> .....	<b>17</b>
2.1 Typy vertikálních kolektorů .....	17
2.2 Vystrojení vrtů.....	18
2.3 Materiály vertikálních kolektorů .....	21
2.4 Dimenzování vertikálních kolektorů .....	22
2.5 Přednosti a nedostatky vertikálních kolektorů pro vytápění a přípravu TUV v ČR .....	23
<b>3. Provozní hlediska</b> .....	<b>24</b>
3.1 Instalace .....	24
3.2 Provozní problémy.....	24
3.3 Ekologie provozu tepelného čerpadla.....	24
3.4 Přednosti a nedostatky tepelných čerpadel .....	25
<b>4. Přibližné investiční a provozní náklady pro modelový dům a návratnost investic</b> .....	<b>26</b>
<b>Závěr</b> .....	<b>33</b>
<b>Seznam použité literatury</b> .....	<b>34</b>
<b>Seznam použitých zkratk, symbolů a jednotek</b> .....	<b>35</b>
<b>Přílohy</b> .....	<b>36</b>

---

## ÚVOD

V dnešní době stále se zdražujících energií a paliv a vzrůstajících nároků na ekologičnost vytápění hledáme nové směry, jak za co nejméně financí získáme co nejvíce tepla pro vytápění, ohřev TUV, bazénové vody a jiné účely. Mimoto také chceme, aby systém byl pokud možno soběstačný a mohl pracovat bez zásahu člověka – například bez nezbytných prací u kotlů na tuhá paliva, hlavně nutnosti pravidelného přikládání.

Rozumným řešením tohoto problému je použití tepelného čerpadla jako zdroje tepla pro vytápění domu a přípravu TUV. Tepelné čerpadlo oproti kotli na tuhá paliva nepotřebuje stálou obsluhu a využívá energie již vyrobené v elektrárnách k přečerpávání tepla, například z hlubinného vrtu, do otopného systému. Tepelnému čerpadlu stačí přibližně třetina energie oproti použití přímotopů k produkci stejného množství tepla. Pokud je otopný systém dobře navržen sníží se náklady na vytápění a přípravu TUV. Nevýhodou tepelných čerpadel jsou velké pořizovací náklady, zvláště pro variantu s hlubinným vrtem. Pokud jsou ale tyto vrty kvalitně provedeny, je jejich udávaná životnost až 100 let a předpokládaná návratnost celého systému je kolem 10 až 15 let.

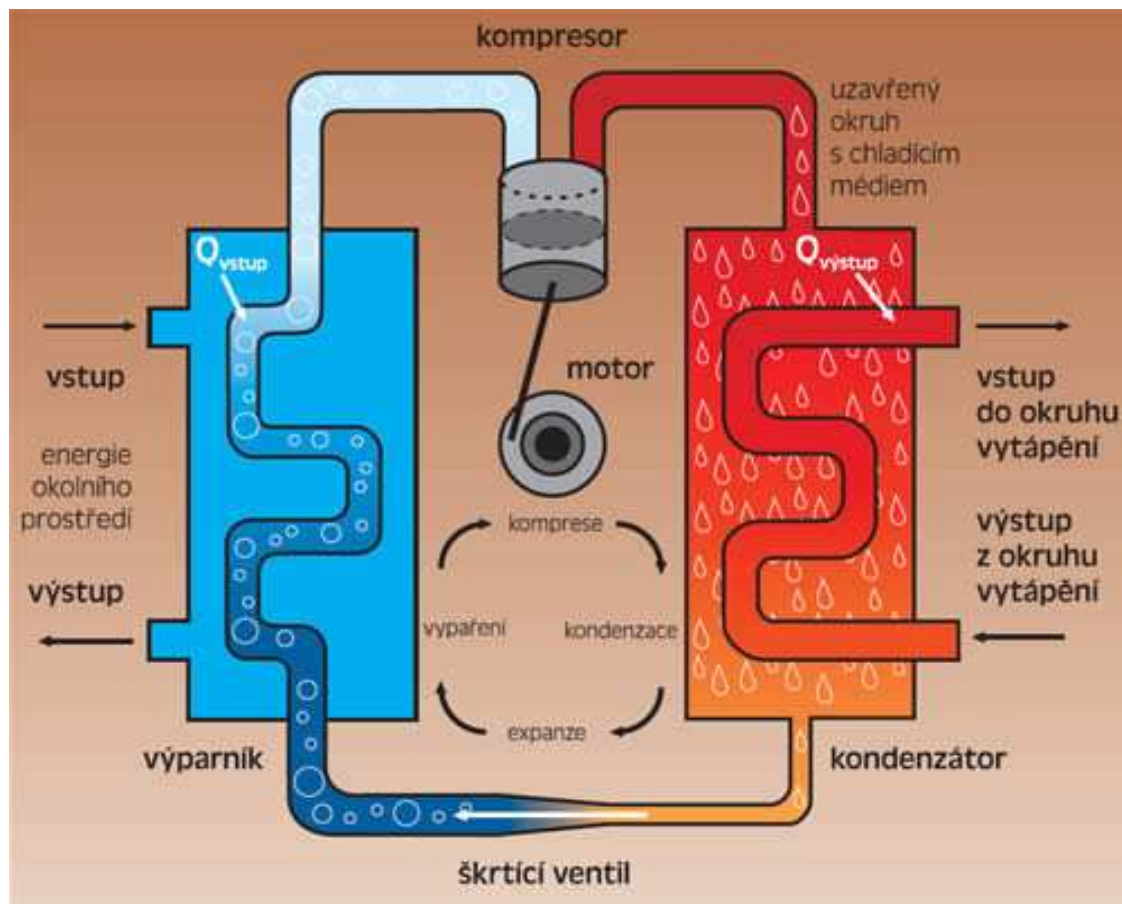
## 1. TEPELNÉ ČERPADLO

### 1.1 Historie, princip a činnost zařízení

Základní myšlenku tepelného čerpadla popsal již v roce 1852 anglický fyzik lord Kelvin. První tepelné čerpadlo uvedl do provozu Robert C. Webber, když dělal experiment s hlubokým zmrazením a omylem se dotkl výstupního potrubí mrazicího zařízení a spálil si dlaň. Napadlo ho, že by mohl propojit bojler na teplou vodu s výstupem z mrazicího zařízení. Protože i tak měl stále přebytek tepla, napojil horkou vodu na potrubní smyčku a malým ventilátorem vháněl teplý vzduch do domu [6].

Tepelné čerpadlo tedy pracuje na stejném principu jako chladnička, není však primárně určeno ke chlazení, ale k produkci tepla. Výměňíkem (kondenzátorem) na zadní straně chladnička hřeje a ohřívá vzduch v místnosti, tím se zbavuje tepla, které převedla z nižší teplotní hladiny uvnitř ledničky na hladinu vyšší na povrchu výměňíku. Tepelné čerpadlo ale místo potravin ochlazuje jiný zdroj nízkopotenciálního tepla, který se nedá pro svou nízkou teplotní hladinu využít pro přímé vytápění nebo ohřev TUV. Jako zdroj nízkopotenciálního tepla lze použít např. okolní atmosféru, povrchovou a podzemní vodu a zemní výměňíky. Teplo odebrané z těchto zdrojů předává TČ do topného systému při vyšší teplotě [5].

Primární část tepelného čerpadla je tvořena výměňíkem tepla (výparníkem). Do výparníku se přivádí pomocí vhodného teplotnosného média (vzduch, voda, nemrznoucí směs) nízkopotenciální teplo zvenku. Tryskou termostatického expanzního ventilu se do něj také vstříkuje kapalné chladivo pod velkým tlakem. Tlak ve výparníku za ventilem je nižší, proto se kapalné chladivo rychle odpařuje. Odpařováním chladiva se výparník ochlazuje na nižší teplotu, než je teplota prostředí, ze kterého se odebírá teplo. Tak se dosáhne toho, že teplo ze „studené“ strany ohřívá podchlazený plyn a tento ohřátý, ale stále ještě studený plyn je nasáván kompresorem. Nasávaný plyn si s sebou nese energii získanou ve výparníku. V kompresoru se k energii nesené plynem přidá kompresní práce a plyn se silně zahřeje. Na výstupu z kompresoru má stlačený plyn vyšší teplotu než voda v topném systému a je veden do sekundárního výměňíku (kondenzátoru), jímž proudí topná voda. Tam horký plyn zkapalní a předá teplo chladnější topné vodě. Kapalina je opět vedena do expanzního ventilu a celý cyklus se stále opakuje [4].



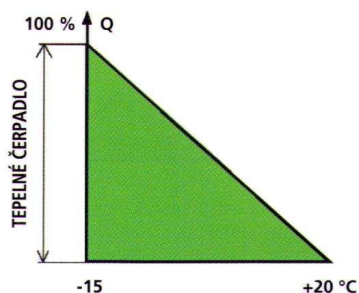
Obr. 1 – Schéma využití tepelného čerpadla pro vytápění [9]

## 1.2 Provozní režimy

Během roku se mění potřeba výkonu pro vytápění. Dimenzovat tepelné čerpadlo pro maximální výkon je obvykle neekonomické, protože je nutno pořídit nejen dražší tepelné čerpadlo, ale hlavně zdroj nízkopotenciálního tepla (např. vrt). Větší tepelné čerpadlo a hlubší vrt nebo větší zemní kolektor výrazně zvýší pořizovací náklady.

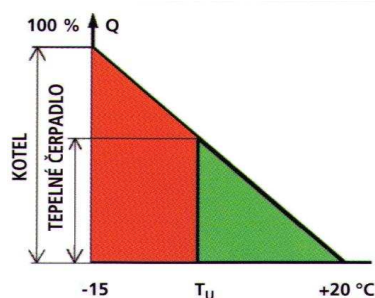
Rozeznáváme několik provozních režimů, jak může být tepelné čerpadlo zapojeno [1, 2]:

Monovalentní provoz – tepelné čerpadlo je jediným zdrojem tepla pro budovu. Pracuje po celou dobu topné sezóny.



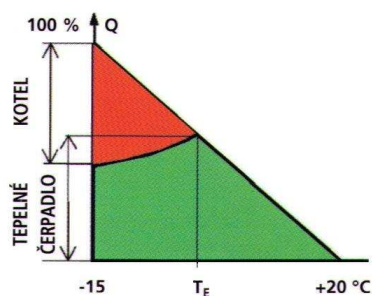
Obr. 2 – Diagram monovalentního provozu [1]

Alternativně-bivalentní provoz – tepelné čerpadlo pracuje po část topné sezóny a při největších mrazech je odstaveno. Teplo pak dodává další zdroj (kotel). Na obr.3 je  $T_u$  teplota přepnutí pouze na druhý zdroj.



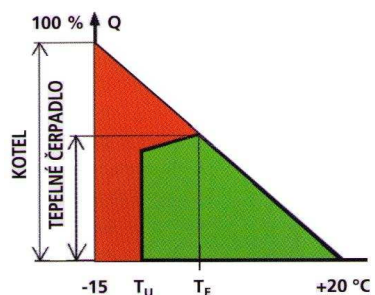
Obr. 3 – Diagram alternativně-bivalentního provozu [1]

Paralelně-bivalentní provoz – tepelné čerpadlo pracuje po celou topnou sezónu i při nejnižších teplotách. Tehdy však jeho výkon nestačí. Připojí se další zdroj tepla (kotel) a oba zdroje pracují společně. Na obr.4 je  $T_E$  teplota připnutí druhého zdroje.



Obr. 4 – Diagram paralelně-bivalentního provozu [1]

Částečně paralelně-bivalentní provoz – tepelné čerpadlo pracuje pouze po část topné sezóny a při největších mrazech je odstaveno. Teplo pak dodává další zdroj (kotel). Před odstavením tepelného čerpadla pracují oba zdroje jistou dobu společně. Na obr.5 je  $T_E$  teplota připnutí druhého zdroje a  $T_u$  teplota přepnutí pouze na druhý zdroj.



Obr. 5 – Diagram částečně paralelně-bivalentního provozu [1]

### 1.3 Topný faktor

Topný faktor je bezrozměrné číslo, pomocí něhož lze posoudit energetickou efektivitu tepelných čerpadel. Lze jej přirovnat k účinnosti udávané u ostatních zdrojů tepla [2].

Topný faktor – (Coefficient of Performance) – udává množství získaného tepla k spotřebě vstupní energie (pouze pro pohon kompresoru). Topný faktor je vždy větší než 1, obvykle bývá hodnota topného faktoru 2-4.

Například hodnota 3 znamená, že dodáme-li do kompresoru 1 kWh elektrické energie získáme 3 kWh tepelné energie [2].

$$\varepsilon = Q/E \quad (1.1)$$

kde: Q ... teplo dodané do topného systému  
E ... energie spotřebovaná pro pohon tepelného čerpadla

**Skutečný topný faktor** – Tepelné čerpadlo potřebuje elektrickou energii nejen pro pohon kompresoru, ale také pro pohon oběhového čerpadla na primární straně nebo ventilátoru případně také tepelného pásu pro ohřev olejové lázně kompresoru. Jejich spotřebu nejde zanedbat, protože se jedná až o stovky wattů. Vypočítá se jako teoretický topný faktor, ale dosazuje se celková spotřeba elektrické energie. Spotřeba oběhového čerpadla topného systému se do celkového topného faktoru většinou nepočítá, protože by jej systém potřeboval i u jiného typu zdroje.

### **Vlivy na topný faktor:**

a) **Teplota nízkopotenciálního zdroje** – má největší vliv. S vyšší teplotou zdroje vzroste topný faktor. Jde ovlivnit pouze volbou nízkopotenciálního zdroje.

b) **Výstupní teplota T<sub>Č</sub>** – má s teplotou zdroje největší vliv na topný faktor a v největší míře ji můžeme ovlivnit. Čím chladnější bude výstup tepla na tepelném čerpadle, tím se zvýší topný faktor.

Pro vytápění se doporučuje nízkoteplotní otopný systém, nejlépe pak podlahové vytápění.

c) **Konstrukce čerpadla** – vhodnou konstrukcí lze zvýšit topný faktor, případně snížit teplotu nízkopotenciálního zdroje s kterým čerpadlo ještě může pracovat. Toto vylepšení je vidět u některých tepelných čerpadel, která dokáží dodávat dostatek tepla do otopného systému i při -20°C.

## **1.4 Zdroje nízkopotenciálního tepla**

**Vzduch:** Jako zdroj nízkopotenciálního tepla můžeme použít buď odpadní nebo okolní vzduch.

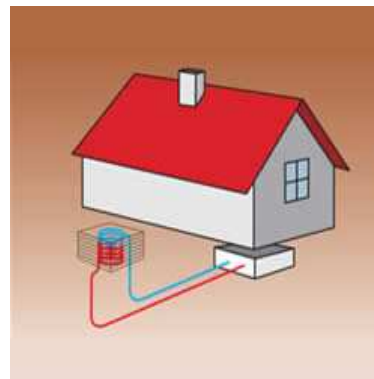
*Odpadní vzduch*, který odvádíme z místností centrálním větracím systémem, má vysokou teplotu 18-24 °C. Tepelné čerpadlo je výhodné i tam, kde by již rekuperace byla neefektivní. Tam, kde se dá rekuperace použít, se někdy tepelné čerpadlo zařazuje až za rekuperační jednotku. Nevýhodou využití odpadního vzduchu je jeho omezené množství. Proto je třeba mít ještě jiný bivalentní zdroj tepla. Teplo získané tepelným čerpadlem z odpadního vzduchu je nejvýhodnější využít pro teplovzdušné vytápění, podlahový otopný systém nebo jejich kombinaci [1].

*Okolní vzduch* je dostupný všude. Jeho nevýhoda je v tom, že má nízkou tepelnou kapacitu, proto ho musí výměníkem projít velké množství. Musí se tedy použít výkonný ventilátor, který je zdrojem určitého hluku, a pokud není místo, kde by nikoho nerušil, používá se výměník umístěný uvnitř domu. K tomuto výměníku se potrubím pod zemí přivádí vzduch z určité vzdálenosti, čímž omezíme hluk. V topném období má vzduch průměrnou teplotu okolo 4 °C. Nejnižší teploty mohou ale klesnout až na -20 °C. Nová tepelná čerpadla s kompresory Scroll dle výrobců dokáží i při této teplotě dodávat dostatek tepla do otopné soustavy. Toto již ale není moc ekonomické, protože se snižující se teplotou zdroje nízkopotenciálního tepla klesá topný faktor. Většinou se systém navrhuje tak, aby když teplota klesne pod určitou hranici se zapínal bivalentní zdroj tepla. Při nízkých venkovních teplotách se na vnějším výměníku tvoří námraza ze vzdušné vlhkosti. Odtávání námrazy bývá

většinou řešeno reverzací chodu, což může výrazně zhoršit topný faktor tepelného čerpadla [1,2].



Obr. 6 – TČ využívající odpadní vzduch [9]



Obr. 7 – TČ využívající okolní vzduch [9]

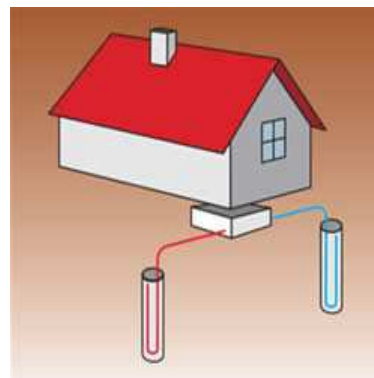
Voda: povrchová nebo podzemní.

*Povrchovou vodu* ve vodním toku nebo nádrži můžeme ochlazovat buď výměníkem umístěným přímo ve vodě nebo zapaštěným do břehu. Nesmí ale dojít k zamrznutí. U tohoto způsobu musíme mít povolení od správce toku, respektive vodní nádrže. Druhá možnost je, že je výměník umístěn v budově a potrubím k němu přivádíme vodu a ochlazenou vypouštíme zpět. U tohoto systému je problém s čistotou a složením vody, aby nedocházelo k zanášení výměníku. Hlavně je však třeba mít povolení k odběru a zpětnému vypouštění vody. Z těchto důvodů se povrchová voda používá výjimečně [2].

*Podzemní voda* se odebírá ze zdrojové (sací) studny a po ochlazení se vypouští do tzv. vsakovací studny. Podzemní voda je celoročním zdrojem tepla s relativně vysokou teplotou, která je v hloubce 10 m stálá po celý rok a pohybuje se kolem 8-10 °C. Pro její využití je ale třeba vydatný zdroj. Pro výkon 10 kW odebíraný z vody musí mít zdroj vydatnost přibližně 0,5 l/s, což je třeba ověřit čerpací zkouškou. Aby bylo vodu možno využívat, nesmí být příliš mineralizovaná, aby nezanášela výměník. Je tedy nutné provést chemický rozbor. Podloží také musí být schopno vodu trvale přijímat. Vhodných lokalit je bohužel málo, proto se tato možnost tak často nepoužívá [1, 2].



Obr. 8 – TČ využívající povrchovou vodu [9]



Obr. 9 – TČ využívající podzemní vodu [9]

**Půda:** Z půdy můžeme teplo odebírat pomocí horizontálních kolektorů nebo svislých vrtů.

*Horizontální kolektory* jsou tvořeny polyetylenovou hadicí naplněnou nemrznoucí směsí, uloženou v hloubce 1,5 – 2 m do hadovitého uspořádání, nebo se používají tzv. slinky – svinuté kolo polyetylenové hadice je jen roztaženo.

Rozlišujeme dva typy slínek:

*typ V* – slinky se ukládají svisle do výkopu hlubokého 2 – 2,5 m a širokého asi 0,5 m

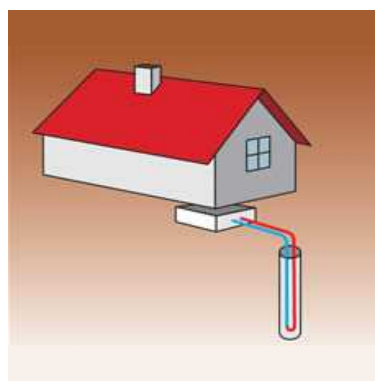
*typ H* – slinky se ukládají na dno výkopu hlubokého 1,2 – 1,5 m a širokého asi 1 m.

Teplota v zemině v průběhu roku kolísá. Proto se topný faktor během roku mění. Pokud bude kolektor používán celoročně, bude třeba, aby měl větší plochu než kolektor využívaný pouze v zimě [1, 4].

*Svislé vrty* (vertikální zemní kolektory) využívají teplo hornin v podloží. Vrty se umísťují do blízkosti stavby, u novostaveb je možné umístit vrt i pod stavbou. Vrty mívají hloubku podle požadovaného výkonu, většinou do 150 m. Pokud bude více vrtů, rozteč mezi nimi má být 5-10 m podle geologické situace. Před vytvořením vrtu je třeba hydrogeologický průzkum, aby nedošlo k narušení hydrologických poměrů a také abychom znali složení země a mohli určit potřebnou hloubku kolektoru. Výhodou je celoročně stálá teplota zdroje kolem 8 °C, takže tepelné čerpadlo má vysoký topný faktor [2, 4].



Obr. 10 – TČ využívající horizontální kolektory [9]



Obr. 11 – TČ využívající vertikální zemní kolektory [9]

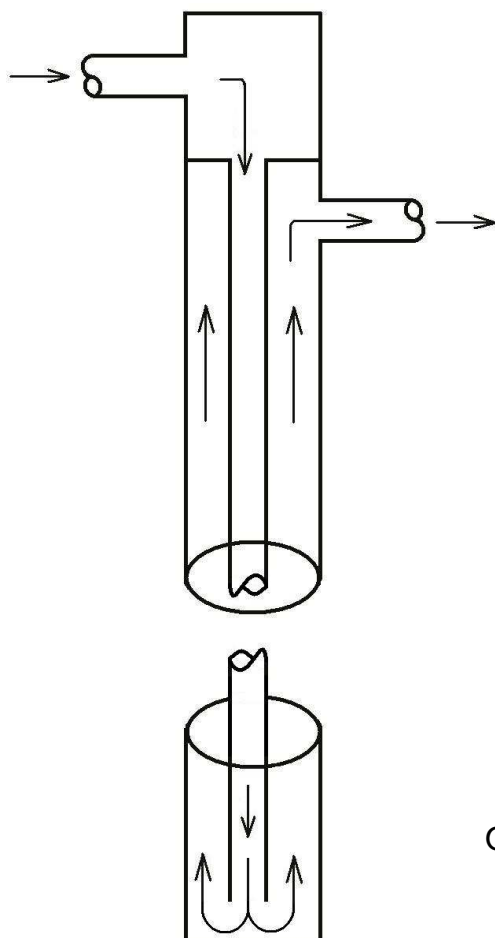


## 2. VERTIKÁLNÍ VRTANÉ KOLEKTORY

Vertikální kolektory jsou velmi často používaným zdrojem tepla pro tepelná čerpadla. I když je jejich pořizovací cena vyšší, nespornou výhodou je konstantní teplota po celý rok (8-12°C). Tato teplota má pozitivní vliv na topný faktor. V letním období můžeme tuto teplotu využít přímo pro chlazení objektu [7].

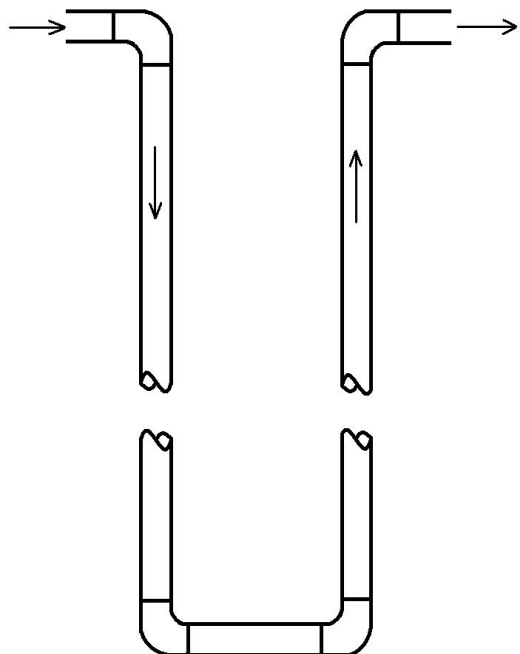
### 2.1 Typy vertikálních kolektorů

Koaxiální trubice – jde o jednu větší trubku, v které je souose umístěná druhá menší trubka. Touto menší trubkou protéká z povrchu nemrznoucí kapalina až na dno vrtu, kde je vnější velká trubka ukončena, vnitřní trubka končí o trochu dřív. Kapalina se tak dostává do vnější trubice a cestou vzhůru se ohřívá od okolní zeminy. Tyto koaxiální kolektory se v současné době již moc nepoužívají, pro jejich náročnost výroby a utěsnění vstupní části trubice a horšímu přestupu tepla oproti klasickému potrubí ve tvaru U.



Obr. 12 – Schéma koaxiální trubice [3]

Potrubí ve tvaru U – jde o nejběžnější a nepoužívanější typ vertikálních kolektorů. Potrubí je tvořeno trubkami a na konci opatřeno vratným U kolenem. Provedení má dobrý přestup tepla do chladicí kapaliny. Při průchodu na dno vrtu i nazpět je kapalina ohřívána od okolní zeminy.



Obr. 13 – Schéma potrubí tvaru U [3]

## 2.2 Vystrojení vrtů

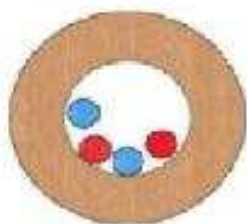
Vrt pro tepelné čerpadlo tvoří vrtaný otvor, obvykle o průměru 110 až 220 mm, v němž je potrubí, které tvoří uzavřený okruh. Do jednoho vrtu může být umístěn jeden nebo dva okruhy. Ihned po odvrtání se do vrtu zasune polyetylenová hadice kolektoru. Na dně nelze vytvořit tak malý ohyb hadice, proto je hadice na konci opatřena vratným U kolenem, kterým je vytvořen uzavřený okruh. Vratné U kolo má zásadní význam a musí vykazovat tlakovou ztrátu menší než 10 mbar při rychlosti průtoku 1 m/s. Zařízení s větší tlakovou ztrátou nelze považovat za ekonomická a vhodná pro zařazení do systému TČ. Na trhu je mnoho modelů například ze svařených bloků s frézovanou drážkou až po vývojově novější, vyráběné technologií vstřikováním. K tomuto kolenu bývá připevněno ještě závaží pro lepší vedení ke dnu vrtu. Na výstupním konci kolektoru se při použití dvou okruhů používá redukce počtu větví [7].

Instalace vystrojení vrtů se provádí s použitím rozvíjecího zařízení, které je zpravidla vyzdviženo nad vrt a vystrojení se pomalu kontrolovaně zapouští do vrtu, aby se co nejméně poškodilo. Vystrojení se napouští vodou, aby se vyrovnal vztlak vody ve vrtu. Hmotnost připraveného vystrojení k zapouštění do vrtu může překročit i 600 kg [7].

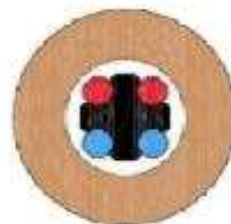
Spolu s vystrojením vrtu se mezi oba okruhy vkládá další potrubí, které je následně použito na tamponáž vrtu. Potrubím se tlakově vyplní vrt ode dna vzhůru speciální injektážní termosměsí a tím se zajistí vytlačení nežádoucího vzduchu, který by zhoršoval přenos tepla mezi vystrojením a horninou. Velmi důležitý je materiál použitý pro tamponáž. Je možné použít běžné směsi cementu vody a bentonitu, ale na trhu jsou již k dispozici speciální směsi se sníženým obsahem pórů, které

výrazně ovlivňují tepelný přenos a zisk z vrtu. Zlepšení přenosu může činit 10 až 15 % [7].

Při zapouštění vstrojení do vrtu se můžou instalovat také vymežovací díly, které zajišťují souměrné uspořádání potrubí ve vrtu. U výstroje zavedené bez vymežovacích dílů může sedlé vstrojení a neuspořádané potrubí snížit výkon vrtu až o 15 %. Potrubí se bez vymežovacích dílů ve vrtu vzájemně dotýká a nedochází tak k ideálnímu rozložení ploch pro přenos tepla. Pro optimalizaci výkonu vrtu je nutná správná instalace vymežovacích dílů v rozestupech 2 m. Tyto vymežovací díly zatím nejsou standardem [7].

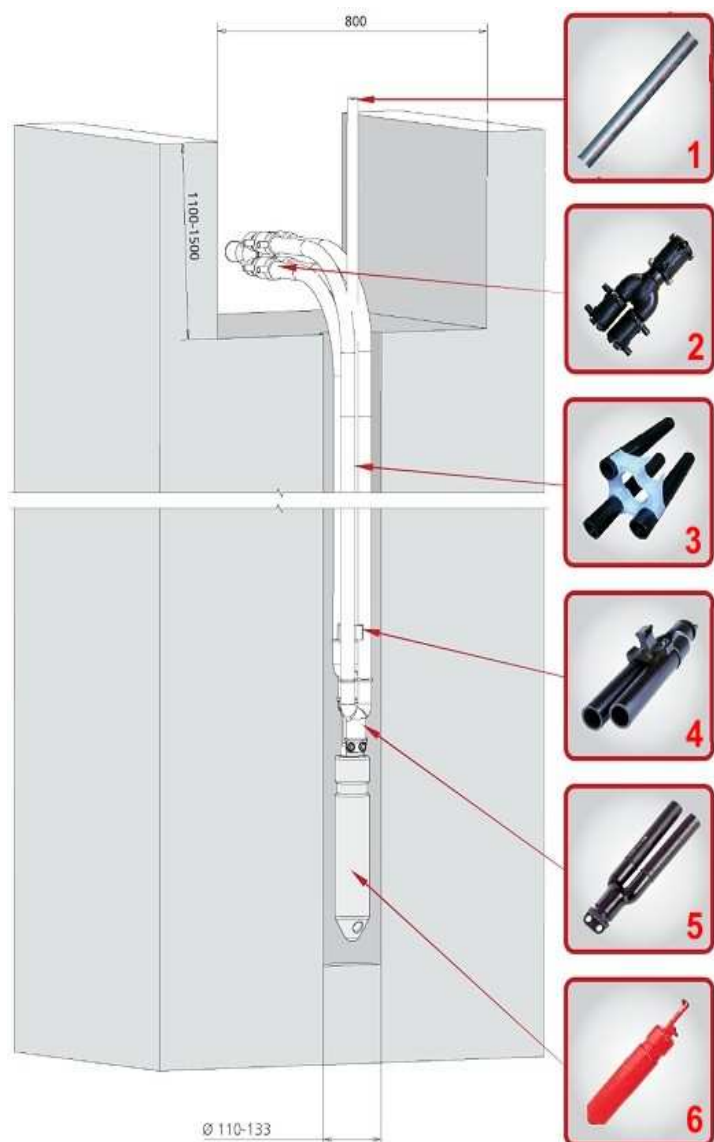


Obr. 14 – Vrt bez vymežovacích dílů [7]



Obr. 15 – Vrt s vymežovacími díly [7]

## Popis jednotlivých částí vrtu



Obr. 16 – Řez vrtem [7]

### 1 – Tlakové injektování vrtu

Injektování zajistí kontakt podloží s vystrojením vrtu. K injektování vrtu slouží injekční potrubí, které je zaváděno spolu se sondou do vrtu. Tímto potrubím se tlakově vyplňuje vrt ode dna vzhůru. Pro tento účel je vyráběna speciální injektážní termosměs, která zajišťuje efektivnější přestup tepla [8].

### 2 – Redukce počtu větví z PE 100

U instalací s větším počtem vrtů je možné redukovat velký počet větví tak, že vrt vystrojený potrubím 4x32 mm je sveden do potrubí 2x40 mm. Vnitřní kanály redukce jsou navrženy pro minimální hydraulické ztráty a dlouholetý provoz [8].

### 3 – Vymezovací díl

Slouží k vymezení vzdálenosti mezi potrubími ve vrtu [8].

#### 4 – CENTRIFIX

Pro instalace ve zhoršených geologických poměrech je nutné vystrojení "zatlačovat" pomocí tyčí vrtné kolony. Pro tyto aplikace je nutné použít CENTRIFIX, o který může vrtná kolona opřít injektážní tyče a zatlačit vystrojení do vrtu [8].

#### 5 – Vratné U koleno

Nejdůležitější prvek celého vystrojení vrtů pro tepelná čerpadla [8].

#### 6 – Závaží na vratné koleno

Pro snadnější instalaci vystrojení do vrtu slouží závaží (12,5 až 24 kg), které olovnicovým efektem směřuje vratné koleno ke dnu vrtu. Při zavádění slouží také jako jeho ochrana [8].

### **2.3 MATERIÁLY VERTIKÁLNÍCH KOLEKTORŮ**

Pro výrobu vystrojení vertikálních vrtů se používá polyetylén rozdílných kvalit a vývojových stupňů. Materiál pro výrobu potrubí se volí co možná nejvyšší kvality a odolnosti. Jako nejvhodnější materiál je označován vysokohustotní polyetylén PE 100, který se již osvědčil pro své dobré mechanické vlastnosti. Polyetylén PE 100 byl vyvinut především pro rozvody plynu, kde faktor bezpečnosti hraje velkou roli. Přesto ani tento materiál není zcela vhodný pro vystrojování geotermálních vrtů. Vyvinut byl pro zemní výkopové uložení a jednou z podmínek bezpečné instalace je pískový obsyp, který ovšem nemůžeme u hloubených vrtů o délce až 150 m zajistit. Řešením je speciální polyetylén vyvinutý pro výrobu vystrojení vrtů. Materiál PE–RC (RC – Resistance to Crack), který se vyznačuje až desetinásobně vyšší odolností než PE 100. Pro jeho aplikaci není nutný pískový obsyp, a proto můžeme hovořit o prvních materiálech opravdu určených a vhodných jako výstroj vrtů pro tepelná čerpadla. Použitím nových materiálů se minimalizuje možnost poškození zaváděného vystrojení o stěny vrtu. Podélné vrypy jsou častým iniciátorem defektu u starších instalací. [7]

Aby bylo možné kategorizovat kvalitu a odolnost používaných PE materiálů, provádí se tzv. vrypová zkouška. Potrubí se zatěžuje tlakem 10 barů při teplotě média 60 °C do doby destrukce potrubí. Před začátkem zkoušky se do povrchu provede vryp o hloubce 15 % tloušťky stěny testovaného potrubí (v tomto případě 0,4 mm). Tento test simuluje chování potrubí uloženého v zemi. Vrypy na potrubí jsou nejčastější příčinou defektů – ztráty tlaku. Proto se obvyklé materiály musí ukládat do pískového lože, aby nedošlo k podélným vrypům. To u vrtů nelze zajistit a jednou vystrojený vrt, u kterého nastane netěsnost, nelze již opravit. Proto je vhodné, aby materiál výstroje vrtu byl odolný vůči podélným vrypům [8].



Obr. 17 – Výsledek vrypové zkoušky potrubí z materiálu **PE 100 Hard Structure**: k destrukci došlo po 57,2 hodinách [8].



Obr. 18 – Výsledek vrypové zkoušky potrubí z materiálu **PE-RC**: k destrukci nedošlo ani po 1 010 hodinách, pak bylo testování ukončeno, aniž došlo na vrypu ke změnám [8].

## 2.4 Dimenzování vertikálních kolektorů

Jak hluboký musí být vrt, závisí především na složení podloží, množství podzemní vody a jiných faktorech. Protože složení hornin je na různých místech různé a s hloubkou se mění, je třeba provést řádný geologický a hydrologický průzkum podloží a vrt dobře nadimenzovat. Při špatně navržené hloubce vrtu není zaručena rovnováha mezi přenosem tepla v podloží a jeho odčerpáváním. Proto můžeme očekávat nižší výstupní hodnoty celého systému [4, 12].

Tab. 1 uvádí informativní hodnoty potřebných hloubek kolektorů v závislosti na požadovaném výkonu a složení podloží.

Tab. 1 – Informativní hloubky zemních vertikálních kolektorů [2]

Druh podloží	Topný výkon [W] na 1 m délky kolektoru	Hloubka [m] na 1 kW topného výkonu
Suché nezpevněné horniny	20	50
Pevné horniny nebo vodou nasycené	50	20
Pevné horniny s vysokou tepelnou vodivostí	70	14
Štěrk, písky, suché	<20	>50
Štěrk, písky, zvodnělé	55-65	15-18
Hlíny a jíly vlhké	30-40	25-33
Vápenec, masivní	45-60	17-22
Pískovec	55-65	15-18
Žuly	55-70	14-18
Čediče	35-55	18-29
Ruly	60-70	14-17

## 2.5 Přednosti a nedostatky vertikálních kolektorů pro vytápění a přípravu TUV v ČR

V České republice jsou vertikální kolektory i přes svou vysokou pořizovací cenu často používaným zdrojem tepla pro TČ. Jejich výhodou jsou malé nároky na prostor a stálá teplota výstupní vody (8-12°C) po celý rok, čímž je zajištěn stálý topný faktor. Nevýhodou je, že podle geologické situace v místě vrtu se mění i možnost odběru tepla, proto je potřeba nechat udělat geologický a hydrologický průzkum podloží. Pro vrty hlubší než 30 m [4] je v ČR také potřeba souhlas Bářského úřadu.

### **3. PROVOZNÍ HLEDISKA**

#### **3.1 Instalace**

Instalace tepelného čerpadla kteréhokoliv typu a jeho následné uvedení do provozu musí být provedena odbornou servisní autorizovanou firmou.

U tepelného čerpadla se zdrojem tepla ze zemního kolektoru nebo vody je třeba nejdříve přivést teplonosné médium do místa, v němž bude tepelné čerpadlo umístěno. U těchto typů bývá jednotka tepelného čerpadla umístěna uvnitř objektu. Autorizovaná firma připojí primární okruh a topný okruh k tepelnému čerpadlu a odvodu ho. Tato tepelná čerpadla již většinou bývají naplněna chladivem od výrobce. Dále připojí tepelné čerpadlo k elektrickému zdroji. Elektrický jistič musí mít dostatečnou kapacitu.

#### **3.2 Provozní problémy**

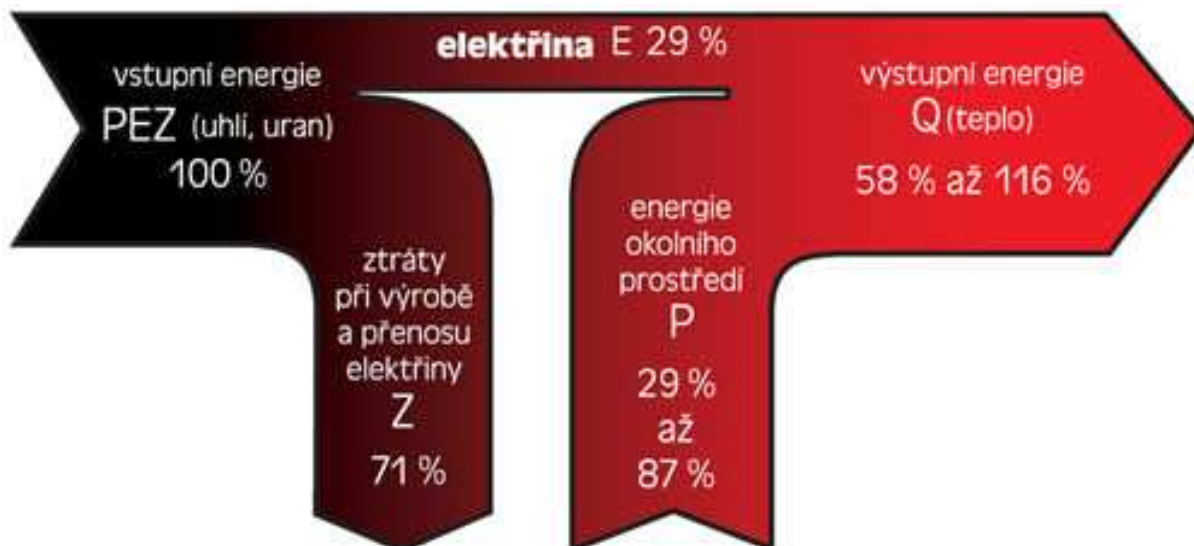
Při provozu tepelného čerpadla s vertikálním vrtaným kolektorem může nastat problém při jeho poddimenzování, kdy není zaručena rovnováha mezi přenosem tepla v podloží a jeho odčerpáváním. V takovém případě z něj budeme moci odebrat menší množství tepla než jsme plánovali a budeme muset dotápět jiným zdrojem tepla nebo nechat vystrojit další vrt či ještě položit zemní kolektor. Všechny tyto následné „dodělávky“ nám zvýší investiční náklady, než kdybychom nechali udělat řádný geologický průzkum podloží a vrt si nechali navrhnout od renomované firmy a případně vrt mírně předimenzovali.

#### **3.3 Ekologie provozu tepelného čerpadla**

Dříve používané tzv. tvrdé freony (CFC, CKW) typy R11, R12 byly nahrazeny tzv. měkkými freony (HCFC, FCKW), nejčastěji typem R22 a R134a, které poškozují ozónovou vrstvu podstatně méně. Nyní se nejvíce používají typy R407c a R404c, také se přechází na propan, který ozónovou vrstvu nepoškozují. V průmyslových zařízeních se stále ještě běžně používá čpavek, který je však jedovatý, a je proto třeba dbát bezpečnostních opatření pro případ havárie. Při likvidaci nebo opravách zařízení je nutné freonovou náplň odsát, aby neunikla do atmosféry. [5]

„Při porovnání spotřeby primární energie (energie obsažené v palivu) pro výrobu elektřiny v tepelné elektrárně se spotřebou kotle v rodinném domku lze dokázat, že tepelné čerpadlo poháněné elektrickou energií snižuje spotřebu primární energie již od průměrného ročního faktoru asi 2,2. Tím také dochází ke snížení produkce emisí v elektrárně (úvaha platí za předpokladu, že účinnost výroby a přenosu elektrické energie je 29% – veškeré ztráty při výrobě, přenosu a transformaci elektřiny dosahují 71% – a průměrná účinnost spalování uhlí v kotli je 60%). Jinak řečeno, spálíme-li uhlí v kotli na uhlí s účinností 60%, získáme stejné množství tepla, které by dodalo tepelné čerpadlo (s topným faktorem 2,2) poháněné elektrickou energií vyrobenou ze stejného množství uhlí. Pokud bychom porovnali ještě vypouštěné emise bude toto srovnání ještě příznivější, protože elektrárny na rozdíl od kotle rodinného domu jsou vybaveny odsiřovacími a odprašovacími jednotkami.“ [2]





Obr.19 – Využití primární energie v elektrickém tepelném čerpadle [9]

### 3.4 Přednosti a nedostatky tepelných čerpadel

Mezi přednosti tepelných čerpadel patří automatický provoz, velmi nízké provozní náklady, ekologický provoz bez škodlivých emisí, tichý chod, možnost vzdáleného ovládání pomocí webu, možnost použití pro vytápění i chlazení, snadno dostupná energie pro pohon.

Mezi nedostatky patří vysoké pořizovací náklady a nutnost elektrické přípojky o vysoké kapacitě.

## 4. PŘIBLIŽNÉ INVESTIČNÍ A PROVOZNÍ NÁKLADY PRO MODELOVÝ DŮM A NÁVRATNOST INVESTIC

### Modelový dům:

Zvolil jsem menší zateplený rodinný dům s tepelnou ztrátou 7,5 kW, který obývají 2 lidé. Dům je umístěn v blízkosti Brna, kde je průměrná délka topné sezóny 215 dní [14], a průměrná teplota topné sezóny +4 °C [14].

### Roční potřeba tepla pro vytápění [19]:

$$Q_{ZS} = \frac{24 \cdot \varepsilon_i \cdot e \cdot Q_z \cdot D}{(t_i - t_e) \cdot \eta_k \cdot \eta_r \cdot \eta_o} = \frac{24 \cdot 0,85 \cdot 0,8 \cdot 7500 \cdot 3440}{[20 - (-12)] \cdot \eta_{ki} \cdot 0,97 \cdot 0,97} = 13984483 \text{ Wh/rok} \quad (4.1)$$

$$Q_{ZS1} = 4007015 \text{ Wh/rok} \cong \underline{4007 \text{ kWh/rok}}$$

$$Q_{ZS2} = 4007015 \text{ Wh/rok} \cong \underline{4007 \text{ kWh/rok}}$$

$$Q_{ZS3} = 3313859 \text{ Wh/rok} \cong \underline{3314 \text{ kWh/rok}}$$

$$Q_{ZS4} = 4661494 \text{ Wh/rok} \cong \underline{4661 \text{ kWh/rok}}$$

$$Q_{ZS5} = 13577168 \text{ Wh/rok} \cong \underline{13577 \text{ kWh/rok}}$$

kde:

$Q_z$  – tepelná ztráta budovy

$\varepsilon_i$  – součinitel nesoučasnosti tepelných ztrát infiltrací během roku,

$\varepsilon_i = 0,8-0,9$ ; volím  $\varepsilon_i = 0,85$

$e$  – opravný součinitel vlivu přerušovaného provozu vytápění

$e = e_t \cdot e_d = 0,8 \cdot 1 = 0,8$

kde:

$e_t$  – součinitel respektující přerušení vytápění v noci, pro školy

$e_t = 0,4$ ; volím  $e_t = 0,8$

(4.2)

$e_d$  – součinitel celkových přestávek vytápění o sobotách a nedělích.

Pro dvoudenní přestávku  $e_d = 0,8$ ; volím  $e_d = 1$  pro sedmidenní provoz

$t_i$  – vnitřní teplota pro kterou jsou určeny ztráty domu

$t_e$  – vnější teplota pro kterou jsou určeny ztráty domu

$\eta_k$  – účinnost kotle. Pro TČ (skutečný topný faktor):  $\eta_{k1} = 3,49$ ;  $\eta_{k2} = 3,49$ ;

$\eta_{k3} = 4,22$ ;  $\eta_{k4} = 3$ ;

pro plynový kondenzační kotel průměrná účinnost  $\eta_{k5} = 1,03$

$\eta_o$  – účinnost obsluhy, o níž rozhoduje kvalita instalované regulace

(soustavy s automatickou regulací  $\eta_o = 0,97$ )

$D$  – počet denostupňů

$D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) = 215 \cdot (20 - 4) = 3440$

(4.3)

kde:

$d$  – počet dnů vytápění v topné sezóně (pro Brno průměrně  $d = 215$ )

$t_{es}$  – střední venkovní teplota za topnou sezónu (pro Brno  $t_{es} = +4$  °C)

$t_{is}$  – střední vnitřní teplota za topnou sezónu (volím  $t_{is} = 20$  °C)

### **Roční potřeba tepla pro ohřev TUV [19]:**

Výpočet roční potřeby tepla vychází z výpočtu denní potřeby teplé vody, který je obsažen v ČSN 06 0320.

$$Q_{ur} = \left[ Q_{ud} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{ud} \frac{55 - t_{sl}}{55 - t_{sz}} (350 - d) \right] = \left[ 17,2 \cdot 215 + 0,8 \cdot 17,2 \frac{55 - 15}{55 - 5} (350 - 215) \right]$$
$$Q_{ur} = 3698 + 1486,08 = \underline{\underline{5184,08 \text{ kWh/rok}}} \quad (4.4)$$

kde:

$Q_{ud}$  – denní potřeba tepla na ohřev TUV [kWh/den]

$$Q_{ud} = E_t + E_z = \underline{17,2 \text{ kWh}} \quad (4.5)$$

$$E_t = n_i \cdot e_p = 2 \cdot 4,3 = \underline{8,6 \text{ kWh}} \quad (4.6)$$

$$E_z = E_t \cdot z = 8,6 \cdot 1 = \underline{8,6 \text{ kWh}} \quad (4.7)$$

$E_t$  – teoretické teplo odebrané z ohříváče [kWh]

$E_z$  – teplo ztracené při ohřevu a distribuci během periody [kWh]

$n_i$  – počet osob;  $n_i = 2$

$e_p$  – teplo odebrané z ohříváče TUV za den jednou osobou [kWh]  
dle normy  $e_p = 4,3 \text{ kWh/osobu}$

$z$  – poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci, obvykle se volí  $z = 1$

$d$  – průměrný počet dnů topného období; pro Brno  $d = 215 \text{ dnů}$

$0,8$  – součinitel zohledňující snížení potřeby tepla pro TUV v létě

$t_{sl}$  – teplota studené vody v létě (obvykle  $t_{sl} = 15 \text{ °C}$ )

$t_{sz}$  – teplota studené vody v zimě (obvykle  $t_{sz} = 5 \text{ °C}$ )

$350$  – obvyklý počet dnů přípravy TUV za rok

$55$  – teplota ohříváče vody

### **Zdroje tepla:**

Jako zdroje tepla jsem zvolil čtyři typy tepelných čerpadel v monovalentním zapojení a jeden plynový kondenzační kotel. Pro zjednodušení výpočtu potřebné energie pro ohřev TUV tepelnými čerpadly na  $55 \text{ °C}$  jsou hodnoty skutečného topného faktoru přibližně přepočítány podle obr. 20, protože  $55 \text{ °C}$  není teplota pro kterou byl topný faktor měřen.

#### **1) TČ země-voda používající vrt jako zdroj nízkopotenciálního tepla:**

Tepelné čerpadlo jsem zvolil AquaMaster 22Z – země/voda od firmy MasterTherm [10].

Potřebný tepelný výkon, který musí být vrt schopen dodávat jsem přibližně určil takto:

$$P_v = [(v\acute{y}kon \text{ T}\check{C}) - (p\acute{r}\acute{i}kon \text{ T}\check{C})] \cdot 1,1 = [(7,5) - (2)] \cdot 1,1 = 6,05 \text{ kW} \quad (4.8)$$

Potřebný výkon byl navýšen o 10% jako rezerva.

Geologické podloží, jsem použil pro výpočet hloubky dle tab.1: *Pevné horniny nebo vodou nasycené*. Pro toto geologické podloží je na 1 kW výkonu potřeba 20 m hluboký vrt.

Potřebná hloubka vrtu:

$$h_v = P_v \cdot 20 = 6,05 \cdot 20 = \underline{121 \text{ m}} \quad (4.9)$$

## 2) TČ země-voda používající plošný kolektor jako zdroj nízkopotenciálního tepla:

Tepelné čerpadlo jsem zvolil AquaMaster 22Z – země/voda od firmy MasterTherm [10].

Potřebný tepelný výkon, který musí být plošný kolektor schopen dodávat jsem přibližně určil takto:

$$P_k = [(\text{výkon TČ}) - (\text{příkon TČ})] \cdot 1,1 = [(7,5) - (2)] \cdot 1,1 = 6,05 \text{ kW} \quad (4.10)$$

Potřebný výkon byl navýšen o 10 % jako rezerva.

Druh půdy, jsem použil pro výpočet délky kolektoru: *středně suchá* [4]. Pro tento druh půdy je na 1 kW výkonu potřeba 100 m dlouhé potrubí.

Potřebná délka plošného kolektoru:

$$l_k = P_k \cdot 100 = 6,05 \cdot 100 = \underline{605 \text{ m}} \quad (4.11)$$

## 3) TČ voda-voda:

Tepelné čerpadlo jsem zvolil ClimateMaster GSW036 – voda/voda od firmy MasterTherm [10].

Pro zjednodušení byly příkon a topný faktor přibližně přepočítány na teplotu výstupní vody 35 °C místo 50 °C dle obr. 20. Potřebný tepelný výkon, který musíme být schopni z vody ze studny odebrat jsem přibližně určil takto:

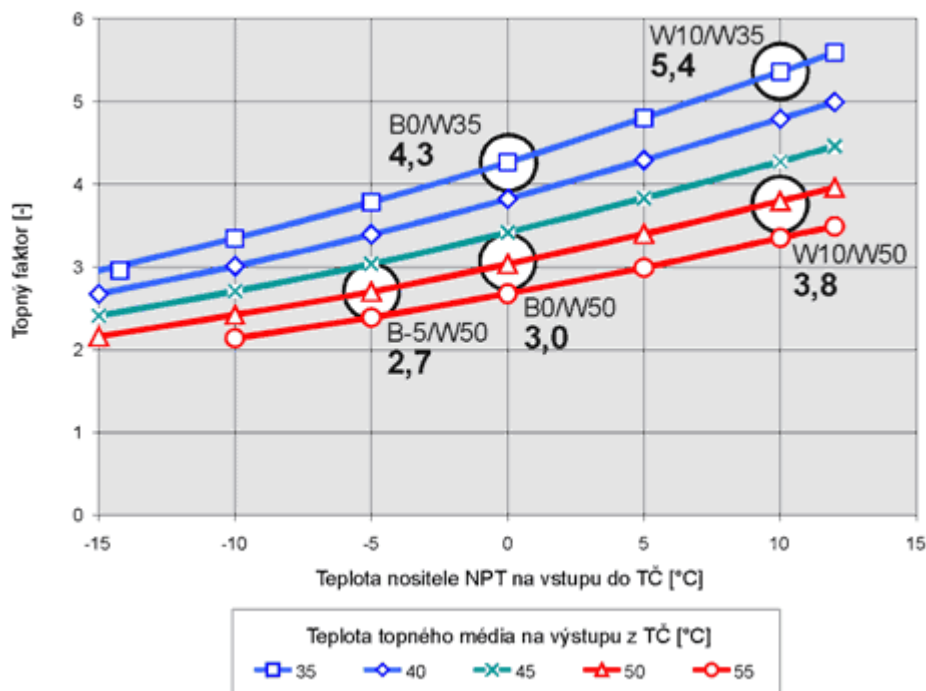
$$P_s = [(\text{výkon TČ}) - (\text{příkon TČ})] \cdot 1,1 = [(7,9) - (1,72)] \cdot 1,1 = 6,798 \text{ kW} \quad (4.12)$$

Potřebný výkon byl navýšen o 10% jako rezerva.

Abychom mohly z vody odebrat 1kW výkonu při ochlazení vody o 4 °C musí výměníkem protéct 3,6 l/min [2]. Potřebný průtok (vydatnost studny) vypočítáme dle vztahu:

$$Q_s = P_s \cdot 3,6 = 6,798 \cdot 3,6 = 24,47 \text{ l/min} = \underline{0,4079 \text{ l/s}} \quad (4.13)$$

Jako zdroj této vody jsem zvolil vrtanou studnu o hloubce 19m a vsakovací studnu hlubokou 15m (tyto hloubky závisí na hloubce podzemní vody).



Obr. 20 – Přibližná charakteristika topného faktoru TČ [15]

#### 4) TČ vzduch-voda:

Tepelné čerpadlo jsem zvolil BoxAir\_AW\_22Z – vzduch/voda od firmy MasterTherm [10].

Pro zjednodušení byly příkon a topný faktor přibližně přepočítány na průměrnou teplotu vzduchu v topné sezóně 4 °C místo 7 °C dle obr. 19.

K tomuto typu TČ je připojen zásobník topné vody o objemu 300 l, pro pokrytí doby, kdy je účtován vysoký tarif.

#### 5) Plynový kondenzační kotel:

Plynový kondenzační kotel jsem zvolil BAXI Prime HT 240 [11].

Výrobce kotle uvádí maximální účinnost 109,8%. Tuto maximální hodnotu jsem nahradil průměrnou účinností kondenzačních kotlů 103% [18].

### Výpočet nákladů na provoz

Náklady na provoz budeme porovnávat u jednotlivých tepelných čerpadel a plynového kotle pro modelový dům podle přibližných celkových investičních a provozních nákladů. U všech tepelných čerpadel je uvažována spotřeba oběhového čerpadla v primárním okruhu 150 W a u tepelného čerpadla vzduch-voda místo spotřeby oběhového čerpadla bude uvažována spotřeba ventilátoru pro chlazení výparníku o výkonu 350 W. Spotřebu oběhového čerpadla topného systému nebudeme uvažovat, protože při použití plynového kotle by bylo také potřeba.

Ceny elektrické energie a stálých plateb jsou stanoveny dle ceníku ČEZ platného od 1.1.2008. Budeme předpokládat, že TČ bude pracovat pouze v nízkém tarifu.

Tab.2 – Cena elektřiny a stálých plateb (včetně DPH) [16]

	<b>Sazba D56d – domácnost (komfort)</b>
<b>Jistič</b>	<b>nad 3x10 A do 3x16 A včetně</b>
Stálé platby za jistič za měsíc	193,97 Kč
Pevná cena za měsíc	47,60 Kč
<i>Celkem za měsíc za stálé platby</i>	<i>241,57 Kč</i>
<b>Celkem za rok za stálé platby</b>	<b>2898,84 Kč</b>
Distribuce: NT – Cena za 1 MWh	28,24 Kč
Cena systémových služeb za 1 MWh	175,89 Kč
Cena na podporu výkupu elektřiny za 1 MWh	48,49 Kč
Cena za činnost zúčtování OTE za 1 MWh	5,65 Kč
Obchod: NT – Cena za 1 MWh	1 825,82 Kč
<b>Celková cena za 1 MWh</b>	<b>2084,09 Kč</b>

Ceny plynu a stálých plateb jsou stanoveny dle ceníku Jihomoravské plynárenské a.s. platného od 1.4.2008.

Tab.3 – Cena plynu a stálých plateb (včetně DPH) [17]

	<b>DOMÁCNOST/MALOodbĚRATEL nad 9 450 do 15 000 kWh/rok</b>
Stálé platby za měsíc	185,93 Kč
<b>Celková platba za rok za stálé platby</b>	<b>2231,16 Kč</b>
<b>Cena 1 kWh</b>	<b>0,98589 Kč</b>

Tab.4 – Srovnání přibližných investičních nákladů na zdroj tepla (včetně DPH)

	Tepelné čerpadlo země-voda (vrt)	Tepelné čerpadlo země-voda (zemní kolektor)	Tepelné čerpadlo voda-voda	Tepelné čerpadlo vzduch-voda	Plynový kondenzační kotel
	[Kč]	[Kč]	[Kč]	[Kč]	[Kč]
Pořizovací náklady	149 000 [10]	149 000 [10]	121 000 [10]	156 000 [10]	32 000 [11]
Náklady na zdroj tepla	133 100	60 500	44 000	-	-
Komín	-	-	-	-	20 000
Montáž + potřebné díly	50 000	50 000	50 000	100 000	25 000
<b>Přibližné celkové náklady</b>	<b>332 100</b>	<b>260 000</b>	<b>215 000</b>	<b>256 000</b>	<b>77 000</b>

Tab. 5 – Srovnání nákladů na vytápění a přípravu TUV (včetně DPH)

	Podmínky měření	Topný faktor [-]	Účinnost [%]	Příkon [kW]	Příkon s oběhovým čerpadlem (ventilátorem) [kW]	Topný výkon [kW]
TČ země-voda (vrt)	B0W35	3,8	-	2	2,15	7,5
TČ země-voda (zemní kolektor)	B0W35	3,8	-	2	2,15	7,5
TČ voda-voda	B10W35	4,6	-	1,72	1,87	7,9
TČ vzduch-voda	A4W35	3,4	-	2,68	3,03	9,1
Plynový kondenzační kotel	W35	-	103	-	-	7,5

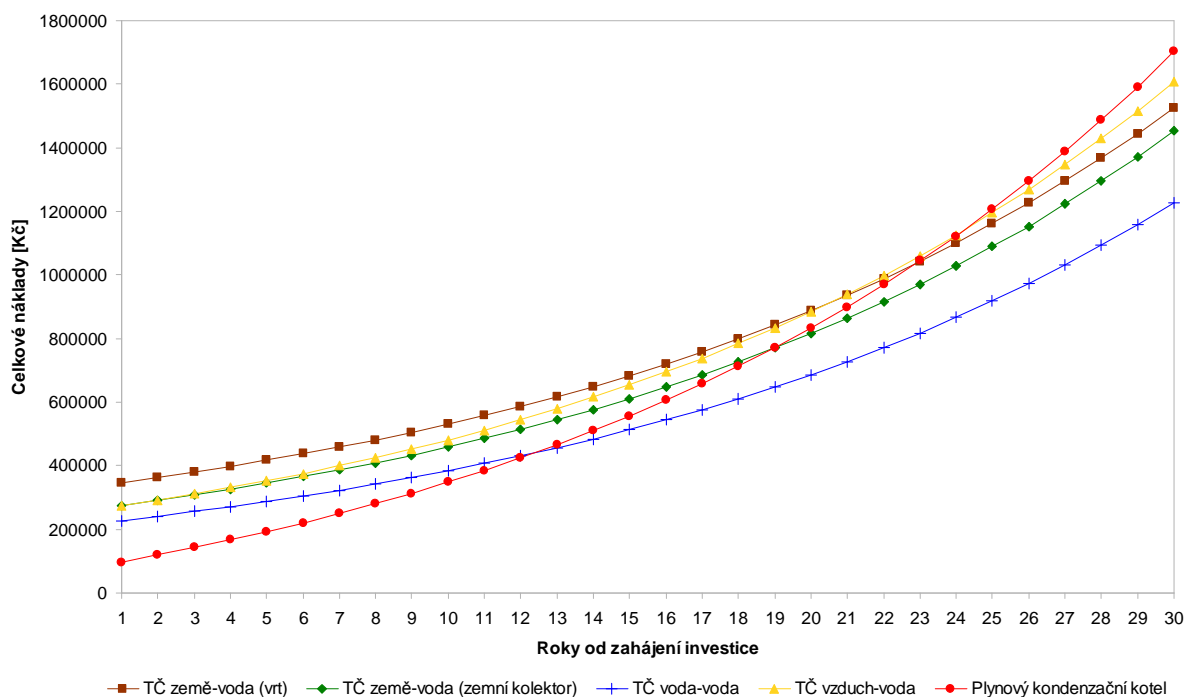
	Skutečný topný faktor [-]	Skutečný topný faktor pro ohřev TUV [-]	Spotřebovaná energie na vytápění za rok [kWh]	Spotřebovaná energie na přípravu TUV za rok [kWh]
TČ země-voda (vrt)	3,49	2,8	4007	1851
TČ země-voda (zemní kolektor)	3,49	2,8	4007	1851
TČ voda-voda	4,22	3,6	3314	1440
TČ vzduch-voda	3	2,4	4661	2160
Plynový kondenzační kotel	-	-	13577	5033

	Náklady za energie na vytápění za rok [Kč]	Náklady za energie na přípravu TUV za rok [Kč]	Stálé platby za rok [Kč]	Celkové náklady na vytápění a přípravu TUV za rok [Kč]
TČ země-voda (vrt)	8350,95	3857,65	2898,84	<b>15107,44</b>
TČ země-voda (zemní kolektor)	8350,95	3857,65	2898,84	<b>15107,44</b>
TČ voda-voda	6906,67	3001,09	2898,84	<b>12806,6</b>
TČ vzduch-voda	9713,94	4501,63	2898,84	<b>17114,41</b>
Plynový kondenzační kotel	13385,43	4961,98	2231,16	<b>20578,57</b>

Při reálném použití nebudou hodnoty stejné, protože se může lišit teplota chladicí kapaliny vycházející z vrtu a z horizontálního kolektoru. Také při používání tepelného čerpadla vzduch-voda pro přípravu TUV v létě bude vyšší topný faktor a tím nám klesnou náklady. Celkové úspory nebudou pouze na vytápění, ale také za náklady na provoz ostatních elektrických spotřebičů díky tarifu D56d.

Na tepelné čerpadlo je možné získat dotaci ze Státního fondu životního prostředí ve výši až 30 % z ceny instalace, maximálně však 60 tis. Kč a tím snížit pořizovací náklady. Tato dotace ale bohužel není nárokovatelná a je nutno splnit určité podmínky pro její udělení [13].

Obr.21 – Graf návratností tepelného čerpadla při 6% ročním růstu cen energií





## ZÁVĚR

Vytápění tepelnými čerpadly je odvětví, které se stále rozvíjí a vylepšuje. V dnešní době nabývá více významu ekologický styl života, kdy si stále více lidí začíná uvědomovat důležitost využití ekologických zdrojů tepla. Mezi tyto ekologické zdroje tepla patří i tepelné čerpadlo. Při jeho provozu lokálně nevznikají žádné emise. Sníží také spotřebu elektřiny vůči klasickému elektrickému vytápění, protože dodá několikanásobně více energie, než spotřebuje.

Pořizovací náklady na tepelná čerpadla jsou bohužel stále poměrně vysoké. Ceny TČ by se měly dále snižovat díky narůstající konkurenci výrobců. Na tepelná čerpadla je také možné získat dotaci ze Státního fondu životního prostředí ve výši až 30 % z ceny instalace (dotace není ale bohužel nárokovatelná) [13].

Ušetříme také za náklady na provoz ostatních elektrických spotřebičů, protože pro provoz tepelných čerpadel je určena zvýhodněná sazba pro odběr elektrické energie. Tato sazba trvá 22 hodin denně a platí nejen pro provoz tepelného čerpadla, ale také pro všechny ostatní spotřebiče. Ekonomickou návratnost TČ ovlivňují ceny paliv, které stále porostou, čímž se bude dle mého názoru návratnost snižovat a ještě více poroste poptávka po tomto způsobu vytápění.

Na zvoleném příkladě rodinného domu s tepelnou ztrátou 7,5 kW, obývaným 2 osobami, byly porovnány přibližné investiční náklady a náklady na vytápění a přípravu teplé užitkové vody v průběhu třiceti let pro pět různých způsobů vytápění. Z výsledků je patrné, že z dlouhodobého hlediska jako nejvýhodnější varianta vychází tepelné čerpadlo voda-voda.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:

- [1] TINTĚRA, L. *Tepelná čerpadla*. ABF. Praha 2003. ISBN 80-86165-61-2.
- [2] SRDEČNÝ, K. TRUXA J. *Tepelná čerpadla*. ERA Group. Brno 2005. ISBN 80-7366-031-8.
- [3] SCHULZ, H. *Teplo ze slunce a země*. HEL 1999. ISBN 80-86167-09-7.
- [4] ŽERAVÍK, A. *Stavíme tepelné čerpadlo*. Vydáno vlastním nákladem 2003. ISBN 80-239-0275-X.
- [5] CENKA, M. *Obnovitelné zdroje energie*. FCC Public. Praha 2001. ISBN 80-901985-8-9.
- [6] URL: <<http://www.mastertherm.cz/tepelna-cerpadla-pro-rodinne-domy/princip-tepelneho-cerpadla>> [cit. 25.4.2008]
- [7] URL: <<http://www.gerotop.cz/cz/home/rozdily-v-kvalite-vrtu-jsou-zasadni/?PHPSESSID=mc1lhhan2v6atjnkmmvob50jn6>> [cit. 25.4.2008]
- [8] URL: <<http://www.gerotop.cz/cz/produkty/komponenty-pro-tepelna-cerpadla/vystrojeni-vrtu/>> [cit. 25.4.2008]
- [9] URL: <<http://www.i-ekis.cz/?page=prostredi>> [cit. 25.4.2008]
- [10] URL: <[http://www.mastertherm.cz/data/File/cenik%2008-f\\_03.pdf](http://www.mastertherm.cz/data/File/cenik%2008-f_03.pdf)> [cit. 25.4.2008]
- [11] URL: <<http://www.kotle-koupelny.cz/Kotle/Plynové/Kondenzacní/S-ohrevem-TUV/750-BAXI-Prime-HT-240.html>> [cit. 25.4.2008]
- [12] URL: <<http://vytapani.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3166>> [cit. 25.4.2008]
- [13] URL: <<http://www.sfzp.cz/clanek/192/483/domacnosti-mohou-zadat-o-dotaci-na-ekologicke-vytapani/>> [cit. 25.4.2008]
- [14] URL: <<http://www.teplarny.cz/?page=teploty>> [cit. 25.4.2008]
- [15] URL: <<http://vytapani.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2443>> [cit. 25.4.2008]
- [16] URL: <<http://www.cez.cz/cs/produkty-a-sluzby/obcane-a-domacnosti/elektricka-energie/comfort/d-tepelne-cerpadlo.html>> [cit. 25.4.2008]
- [17] URL: <[http://www.rwe-jmp.cz/cs/sd/galerie-download/Ceniky\\_ZP\\_2008/JMP\\_04\\_prehled\\_cen\\_II\\_Q\\_08.pdf](http://www.rwe-jmp.cz/cs/sd/galerie-download/Ceniky_ZP_2008/JMP_04_prehled_cen_II_Q_08.pdf)>
- [18] URL: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=868>> [cit. 25.4.2008]
- [19] VALEŠOVÁ Jaroslava. *Tepelné čerpadlo pro vytápění rodinného domu*. Bakalářská práce v oboru „Energetická a procesní zařízení“. Brno: VUT-FSI, Energetický ústav. 2007. 54s.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK, SYMBOLŮ A JEDNOTEK

Zkratka	Popis
PE	Polyetylén
PE-RC	Polyetylén odolný proti prasknutí (RC - Resistance to Crack)
TČ	Tepelné čerpadlo
TUV	Teplá užitková voda

Symbol	Jednotka	Popis
D	[-]	Počet denostupňů
d	[-]	Počet dnů vytápění v topné sezóně
E	[kWh]	Energie spotřebovaná pro pohon tepelného čerpadla
$E_t$	[kWh]	Teoretické teplo odebrané z ohříváče
$E_z$	[kWh]	Teplo ztracené při ohřevu a distribuci během periody
e	[-]	Opravný součinitel vlivu přerušovaného provozu vytápění
$e_d$	[-]	Součinitel celkových přestávek vytápění o sobotách a nedělích
$e_p$	[kWh]	Teplo odebrané z ohříváče TUV za den jednou osobou
$e_t$	[-]	Součinitel respektující přerušení vytápění v noci
$h_v$	[m]	Potřebná hloubka vrtu
$l_k$	[m]	Potřebná délka plošného kolektoru
$n_i$	[-]	Počet osob
$P_k$	[kW]	Potřebný tepelný výkon odebíraný z plošného kolektoru
$P_s$	[kW]	Potřebný tepelný výkon odebíraný ze studny
$P_v$	[kW]	Potřebný tepelný výkon odebíraný z vrtu
Q	[kWh]	Teplo dodané do topného systému
$Q_s$	[l/s]	Potřebná vydatnost studny
$Q_z$	[W]	Tepelná ztráta budovy
$Q_{ud}$	[kWh]	Denní potřeba tepla na ohřev TUV
$Q_{ur}$	[kWh/rok]	Roční potřeba tepla pro ohřev TUV
$Q_{zs}$	[Wh/rok]	Roční potřeba tepla pro vytápění
$t_e$	[°C]	Vnější teplota pro kterou jsou určeny ztráty domu
$t_i$	[°C]	Vnitřní teplota pro kterou jsou určeny ztráty domu
$t_{es}$	[°C]	Střední venkovní teplota za topnou sezónu
$t_{is}$	[°C]	Střední vnitřní teplota za topnou sezónu
$t_{sl}$	[°C]	Teplota studené vody v létě
$t_{sz}$	[°C]	Teplota studené vody v zimě
Z	[-]	Poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci
$\varepsilon$	[-]	Topný faktor
$\varepsilon_i$	[-]	Součinitel nesoučasnosti tepelných ztrát infiltrací během roku
$\eta_k$	[-]	Účinnost kotle
$\eta_o$	[-]	Účinnost obsluhy

## PŘÍLOHA 1 [16]

### Přehled cen elektřiny ČEZ platný od 1.1.2008

- Občané a domácnost / Elektřina / Komfort / D Tepelné čerpadlo

Dvoutarifový produkt pro vytápění tepelným čerpadlem kombinovatelný s distribučními sazbami s operativním řízením doby platnosti nízkého tarifu po dobu 22 hodin. Sazbu D 55d je možno použít pro tepelná čerpadla uvedená do provozu do 31. 3. 2005. Pro ostatní případy platí sazba D 56d.

#### Regulované platby za dopravu elektřiny

##### Distribuce - 1. část

odpovídající distribuční sazba	měsíční plat za příkon podle jmenovité proudové hodnoty jističe před elektroměrem				
	do 3x10A do 1x25A včetně	nad 3x10A do 3x16A včetně	nad 3x16A do 3x20A včetně	nad 3x20A do 3x25A včetně	nad 3x25A do 3x32A včetně
	1	2	3	4	5
D55d	24,00 (28,56)	38,00 (45,22)	48,00 (57,12)	60,00 (71,40)	77,00 (91,63)
D56d	102,00 (121,38)	163,00 (193,97)	204,00 (242,76)	255,00 (303,45)	326,00 (387,94)

##### Distribuce - 2. část

odpovídající distribuční sazba	měsíční plat za příkon podle jmenovité proudové hodnoty jističe před elektroměrem				
	nad 3x32A do 3x40A včetně	nad 3x40A do 3x50A včetně	nad 3x50A do 3x63A včetně	nad 3x63A za každý 1A	nad 1x25A za každý 1A
	6	7	8	9	10
D55d	96,00 (114,24)	120,00 (142,80)	151,00 (179,69)	2,40 (2,86)	0,80 (0,95)
D56d	408,00 (485,52)	510,00 (606,90)	643,00 (765,17)	10,20 (12,14)	3,40 (4,05)

##### Distribuce - 3. část

odpovídající distribuční sazba	cena za 1 MWh	
	VT	NT
	11	12
D55d	25,73 (30,62)	23,73 (28,24)
D56d	37,32 (44,41)	23,73 (28,24)

### Ostatní služby

odpovídající distribuční sazba	cena za 1 MWh		
	cena systémových služeb	cena na podporu výkupu elektřiny	cena za činnost zúčtování OTE
	13	14	15
D55d	147,81 (175,89)	40,75 (48,49)	4,75 (5,65)
D56d			

### Silová elektřina

#### Obchod

odpovídající distribuční sazba	pevná cena za měsíc	cena za 1 MWh	
		VT	NT
	16	17	18
D55d	40,00 (47,60)	1 910,00 (2 306,58)	1 506,00 (1 825,82)
D56d			

### Postup při výpočtu celkové roční platby za elektřinu

Roční platba celkem = stálé platby + platba za spotřebu (VT) + platba za spotřebu (NT)	
stálé platby	= 12 × (příslušný sloupec 1 až 10 + sloupec 16)
platba za spotřebu elektřiny ve VT	= roční spotřeba MWh ve VT × (sloupce 11 + 13 + 14 + 15 + 17)
platba za spotřebu elektřiny v NT	= roční spotřeba MWh v NT × (sloupce 12 + 13 + 14 + 15 + 18)

Ceny jsou uvedeny v Kč bez daně z elektřiny a DPH (s DPH 19% ). Ceny s DPH jsou pouze orientační

\* před započtením DPH je k ceně připočtena daň z elektřiny ve výši 28,30 Kč za 1 MWh

**VT** = vysoký tarif

**NT** = nízký tarif

**MWh** = megawatthodina (1 MWh = 1 000 kWh)

## PŘÍLOHA 2 [17]

# Přehled cen zemního plynu Jihomoravské plynárenské, a.s., od 1.4.2008

Kategorie konečných zákazníků	Cena distribuce				Cena ostatních služeb dodávky				Celková konečná cena s DPH*				
	Pevná cena odebraný zemní plyn Kč/kWh	Pevná roční cena za denní přidělenou pevnou kapacitu Kč/m <sup>3</sup>	Stálý měsíční plat za přistavenou kapacitu Kč/měsíc	Pevná cena přepravy Kč/m <sup>3</sup>	Pevná cena strukturování dodávky Kč/m <sup>3</sup>	Cena za odebraný zemní plyn a služby obchodu Kč/kWh	Celková konečná cena s DPH* Kč/m <sup>3</sup>	Celková konečná cena s DPH* Kč/kWh	Celková konečná cena s DPH* Kč/měsíc	Celková konečná cena s DPH* Kč/kWh	Celková konečná cena s DPH* Kč/měsíc		
<b>ROČNÍ ODBĚR V ODBĚRNÉM MÍSTĚ</b>													
kWh/rok													
<b>DOMÁCNOST/MALO ODBĚRATEL</b>													
vařič do 1 890	0,31441	-	32,50	0,01193	-	0,01676	-	0,53	0,95462	5,00	1,54429	-	45,71
ohřívák vodu nad 1 890 do 9 450	0,15307	-	50,60	0,01650	-	0,02925	-	6,67	0,71712	7,00	1,08997	-	80,96
topič nad 9 450 do 15 000	0,12332	-	69,50	0,01375	-	0,02708	-	52,89	0,66433	7,00	0,98589	-	185,93
nad 15 000 do 20 000	0,12332	-	83,60	0,01375	-	0,02708	-	52,89	0,66433	7,00	0,98589	-	202,70
nad 20 000 do 25 000	0,12332	-	98,60	0,01375	-	0,02708	-	52,89	0,66433	7,00	0,98589	-	220,55
nad 25 000 do 30 000	0,12332	-	112,90	0,01375	-	0,02708	-	52,89	0,66433	7,00	0,98589	-	237,57
nad 30 000 do 35 000	0,12332	-	127,80	0,01375	-	0,02708	-	52,89	0,66433	7,00	0,98589	-	255,30
nad 35 000 do 40 000	0,12332	-	141,30	0,01375	-	0,02708	-	52,89	0,66433	7,00	0,98589	-	271,37
nad 40 000 do 45 000	0,12332	-	156,40	0,01375	-	0,02708	-	52,89	0,66433	7,00	0,98589	-	289,34
nad 45 000 do 50 000	0,12332	-	170,10	0,01375	-	0,02708	-	52,89	0,66433	7,00	0,98589	-	305,64
nad 50 000 do 55 000	0,12332	-	186,40	0,01375	-	0,02708	-	52,89	0,66433	7,00	0,98589	-	325,04
nad 55 000 do 63 000	0,12332	-	195,40	0,01375	-	0,02708	-	52,89	0,66433	7,00	0,98589	-	335,75
nad 63 000 do 630 000**	0,10135	67,73000	-	0,00844	22,86296	-	0,01139	51,93314	-	0,65535	-	0,92407	169,60606
MWh/rok	Kč/MWh	Kč/tis. m <sup>3</sup>	Kč/MWh	Kč/tis. m <sup>3</sup>	Kč/MWh	Kč/tis. m <sup>3</sup>	Kč/MWh	Kč/tis. m <sup>3</sup>	Kč/MWh	Kč/MWh	Kč/MWh	Kč/MWh	Kč/MWh
<b>STŘEDNÍ ODBĚRATEL</b>													
nad 630 do 4 200	86,93	44 600,00	-	8,50	22 781,27	-	11,08	51 933,14	-	653,90	-	-	-
nad 630 do 4 200	86,93	64 580,00	-	7,01	25 599,66	-	7,58	46 739,83	-	653,90	-	-	-
nad 630 do 4 200	-	-	-	5,86	29 710,30	-	0,00	12 983,24	-	653,90	-	-	-

\* Uvedená cena s DPH je pouze orientační.  
 \*\* Pro kategorii Domácnost je horní hranice pásma bez omezení.  
 Uvedené termíny „Vařič“, „Ohřívák vodu“, „Topič“ slouží pouze pro snadnější orientaci zákazníka a představují převažující způsob užití zemního plynu v daném odběrném pásmu.  
 Pro přiřazení jednotkových cen ve výtčtování spotřeby zemního plynu je rozhodující měrná spotřeba zemního plynu v kWh/rok.