

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Technická fakulta

Katedra mechaniky a strojnictví

**Horizontální půdní kolektor jako zdroj nízkopotenciálního  
tepla pro tepelná čerpadla**

bakalářská práce

Vedoucí práce : **prof. Ing. Radomír Adamovský, DrSc.**

Autor práce : **David Miklík**

Praha 2009

Vysoká škola: Česká zemědělská univerzita v Praze	Fakulta: technická
Katedra: mechaniky a strojnictví	Akademický rok: 2007/2008

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **David Miklík**

Studijní obor: Technologická zařízení staveb

Studijní zaměření:

Název práce: Horizontální půdní kolektor jako zdroj nízkopotenciálního tepla pro tepelná čerpadla

### Zásady pro vypracování:

Cíl práce:

Analýza výzkumných a provozních literárních poznatků o možnostech využití horizontálního půdního kolektoru jako zdroje tepla pro tepelná čerpadla, metodách výpočtu, změnách teplot půdy na začátku a konci topného období, možnostech dobíjení půdního kolektoru při letním chlazení, vlivu půdy na získaný měrný tepelný výkon.

Osnova práce:

1. Úvod, specifikace problému, vymezení pojmů.
2. Charakteristika současného stavu řešení problematiky po stránce realizace a výzkumu v České republice i v zahraničí.
3. Analýza poznatků.
4. Diskuse k výsledkům analýzy.
5. Závěr.

Metodika práce:

- zpracování rešerše na dané téma,
- analýza získaných poznatků z hlediska cílů práce.

Rozsah práce: 40 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Seznam doporučené odborné literatury:

Kolektiv. *Topenářská příručka*. 1. vyd. Praha: GAS s.r.o. Praha, 2001, 2396 s. ISBN 80-86176-9

<<http://www.tzb-info.cz>>

*Vytápění, větrání, instalace* – odborný časopis Společnosti pro techniku prostředí, ISSN 1210-1389

*Topenářství a instalace* – časopis pro vytápění, instalaci, vzduchotechniku a ekologii, Technické vydavatelství Praha s.r.o., ISSN 1211-0906

Dvořák, Z., Klazar, L., Petrák, J. *Tepelná čerpadla*. 1. vyd. Praha: SNTL Nakladatelství technické literatury, 1987, 339 s.

Srdečný, K., Truxa, J. *Tepelná čerpadla*. 2. vyd. Brno: ERA, 2007, 207 s.

Kolektiv. *Tepelná čerpadla, projektování a instalace*. Praha: Stiebel Eltron, 1998.

Kolektiv. *Obnovitelné zdroje energie*. 2. vyd. Praha: FCC Public, 2001, 277 s.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Radomír Adamovský, DrSc.

Datum zadání bakalářské práce: 30. 11. 2007

Termín odevzdání bakalářské práce: 30. 4. 2009

  
prof. Ing. Radomír Adamovský, DrSc.

vedoucí katedry

  
prof. Ing. Jiří Klíma, CSc.

děkan

V Praze dne 30.11.2007



## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Horizontální půdní kolektor jako zdroj nízkopotenciálního tepla pro tepelná čerpadla“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Ve Státnicích u Prahy dne 24. dubna 2009

.....

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval panu prof. Ing. Radomíru Adamovskému, DrSc. za odborné vedení při zpracování mé bakalářské práce a za odborné konzultace a informace.

# **Horizontální půdní kolektor jako zdroj nízkopotenciálního tepla pro tepelná čerpadla**

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá analýzou výzkumných a provozních literárních poznatků o možnostech využití horizontálních půdních kolektorů jako zdroj tepla pro tepelná čerpadla, metodách výpočtu, změnách teplot půdy, vlivu půdy na získaný měrný tepelný výkon a pod.

## **Klíčová slova**

tepelné čerpadlo, horizontální půdní kolektor

# **Horizontal soil collector as a source of low-potential heat for heat pump**

## **Summary**

This bachelor essay is focused on the analysis of literary knowledges about usage possibilities of horizontal soil collectors as a source of heat for heat pumps, methods of calculations, changes of soil temperatures, soil influence on gained specific thermal output and others.

## **Key words**

heat pump, horizontal soil collecto

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b> .....	1
<b>2</b>	<b>Charakteristika současného stavu</b> .....	2
2.1	Princip .....	2
2.2	Rozdělení tepelných čerpadel způsobu jímání tepla .....	3
2.2.1	Typ: Vzduch – vzduch nebo vzduch – voda .....	4
2.2.2	Typ: Voda – voda nebo voda – vzduch .....	4
2.2.3	Typ: Země – voda nebo země – vzduch .....	4
2.3	Tepelná čerpadla v České Republice .....	5
2.3.1	Historie .....	5
2.3.2	Vývoj TČ v ČR v posledních několika letech .....	5
2.4	Tepelná čerpadla v Evropě .....	7
2.5	Dotace na tepelná čerpadla v ČR pro rok 2008 .....	8
2.6	Geotermální energie .....	8
2.7	Zemní kolektory a získávání tepla z prostředí .....	9
2.7.1	Možnosti provedení zemních kolektorů .....	9
2.7.2	Volba zemních horizontálních kolektorů .....	11
<b>3</b>	<b>Tepelný režim půdy během sezony</b> .....	17
3.1.1	Energie z půdy .....	17
3.1.2	Tepelně izolační vlastnosti a jejich výpočet .....	18
3.1.3	Tepelné vlastnosti hornin .....	19
3.1.4	Vhodnost půdy pro tepelná čerpadla .....	21
3.1.5	Vliv podzemní vody a ledu na zemní kolektor .....	24
3.1.6	Šíření teplotních změn do okolí .....	25
3.2	Využití tepelných čerpadel ke zvýšení únosnosti zmrzlých půd .....	26
3.2.1	Přiblížení zkoumané oblasti .....	26
3.2.2	Průběh teplot během provozu a výpočty tepelných toků .....	27
3.2.3	Vytápění pasivního domu horizontálním čerpadlem .....	31
<b>4</b>	<b>Analýza získaných poznatků</b> .....	37
<b>5</b>	<b>Diskuse k výsledkům analýzy</b> .....	40
<b>6</b>	<b>Závěr</b> .....	42
7	Použitá literatura: .....	43
8	Seznam obrázků .....	45
9	Seznam tabulek .....	45

# 1 Úvod

Tepelná čerpadla se již řadu let využívají u nás i v zahraničí a dosahují velmi vysoké technické úrovně. V několika posledních letech také vzrostl zájem o tento způsob vytápění a ohřev teplé vody, nejen díky dotacím státu na ekologicky šetrný způsob výroby tepla, ale také díky nižším nákladům a zlepšení výkonnosti tepelných čerpadel.

Ke zlepšení došlo nejen díky technickým inovacím a použití nových a lepších teplotonosných látek, ale také díky lepšímu dodržování zásad realizace a podrobným výpočtům z hlediska tepelných toků v půdě, z kterých následně byly odvozeny závěry pro optimální rozměry půdního kolektoru.

Avšak díky zlepšení schopnosti výměníku jímat a poskytovat větší množství tepla nastal také problém s přílišným tepelným zatěžováním půdy, které má za následek snížení výkonnosti tepelného čerpadla v důsledku zmenšení tepelné energie v půdě.

Tato práce se zabývá analýzou výzkumných a provozních literárních poznatků o možnostech využití horizontálních půdních kolektorů jako zdroj tepla pro tepelná čerpadla, metodách výpočtu, změnách teplot půdy, vlivu půdy na získaný měrný tepelný výkon a pod.



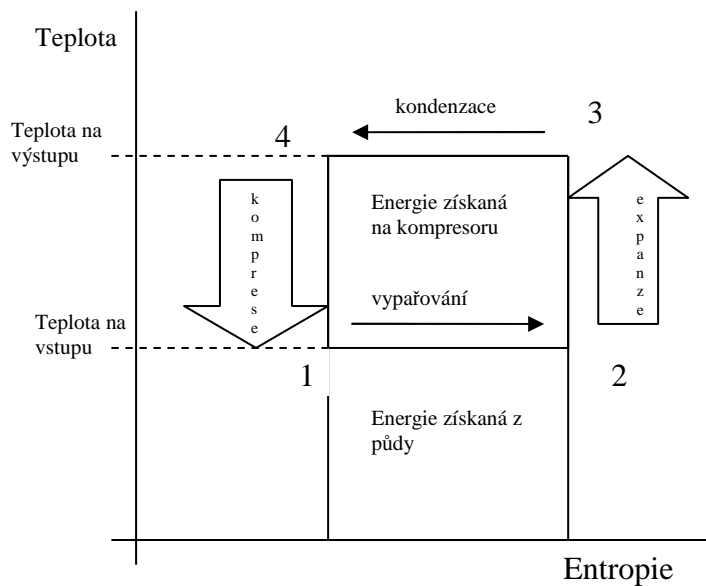
## 2 Charakteristika současného stavu

### 2.1 Princip

Tepelná čerpadla se řadí mezi tzv. alternativní zdroje energie. Využívají teplo z prostředí okolo kolektoru (zemina, voda, vzduch) a převádějí ho pomocí komprese na teplo o vyšší teplotní hladině, které umožňuje následné využití, jako zdroj pro vytápění nebo ohřev teplé vody ( dále TV).

Pomocí výměníku v kterém cyklicky proudí teplotonosná látka, přejde teplo z okolního prostředí do chladnější teplotonosné látky, z které se vlivem zvýšení teploty, na výparníku, stane pára. Pomocí komprese se ještě zvýší teplota proudící páry, která poté předá část tepla na kondenzátoru otopné vodě, popřípadě se toto teplo použije na ohřev vody. Po kondenzaci se nechá chladící kapalina expandovat, čímž se teplota kapaliny dostane pod teplotu okolního prostředí a jde zpět na výparník.

Zjednodušeně řečeno využitá tepelná energie tepelného čerpadla je dána součtem energie získané na výparníku a energie na kompresoru, což má za následek, že výsledná energie je vždy větší než energie hnací.



Obr.1 Oběh tepelného čerpadla v Carnotově cyklu

Zdroje nízkopotenciální tepelné energie pro tepelná čerpadla se dají rozdělit do dvou základních skupin:

- obnovitelné přírodní zdroje, jako je voda, vzduch, zem
- nízkopotenciální energie z průmyslu, například odpadní vzduch při nuceném větrání, popř. odsávání škodlivin, odpadní vody a pod. [17]

## 2.2 Rozdělení tepelných čerpadel

Podle způsobu využití přírodních nízkopotenciálních zdrojů a pracovního média na kondenzátoru. dělíme tepelná čerpadla na:

- Vzduch - vzduch
- Vzduch – voda
- Voda – voda
- Voda - vzduch
- Země - vzduch
- Země - voda

### **2.2.1 Typ: Vzduch – vzduch nebo vzduch – voda**

Tyto typy odebírají tepelnou energii z okolního vzduchu vně budovy a vyhřívají vnitřek budov pomocí otopné soustavy ( dále OS ) nebo pomocí vzduchotechnické jednotky. U typu vzduch-voda jsou možné dvě konstrukční řešení.

- tepelné čerpadlo je umístěno uvnitř budovy a okolní vzduch je k jednotce dopravován skrz obvodovou stěnu budovy tepelně izolovaným a odhlučným potrubím

- druhou možností je situovat tepelné čerpadlo mimo vytápěný objekt, tedy vně budovy, a v budově mít pouze umístěn akumulční zásobník a řídicí jednotku

### **2.2.2 Typ: Voda – voda nebo voda – vzduch**

Tento typ tepelného čerpadla je vhodné použít, je-li k dispozici povrchová nebo spodní voda. Využití spodní vody je daleko výhodnější, protože se zde neuplatňuje kolísání venkovních teplot. Voda si drží přibližně stálou teplotu a proto nedochází k výkyvům výkonu tepelného čerpadla. Voda se přečerpává ze sací studně do vsakovací pomoci čerpadla přes tepelné čerpadlo, které poté vytápí daný objekt.

### **2.2.3 Typ: Země – voda nebo země – vzduch**

Tento typ tepelného čerpadla ( dále TČ ) využívá tepelnou energii naakumulovanou v zemském povrchu ( tzv. geotermální teplo ).

Existují dvě konstrukční řešení těchto TČ a to s horizontálními nebo vertikálními tepelnými kolektory.

## 2.3 Tepelná čerpadla v České Republice

### 2.3.1 Historie

Rozvoj instalací TČ v České Republice (dále ČR ) je datován do roku 1990, kdy po „uvolnění“ hranic byly do ČR dováženy nové technologie hlavně z Německa, Rakouska a Švédska. Díky nízkým cenám elektrické energie v ČR v letech 1990 – 2000, kdy návratnost investic byla většinou delší než životnost těchto zařízení, byl počet instalovaných jednotek velmi malý. Jednalo se většinou o jednotky typu země – voda. TČ vzduch voda byla do roku 2000 limitována použitelností do teploty venkovního prostředí okolo 0°C a pro instalaci TČ typu voda – voda není v ČR příliš mnoho vhodných lokalit.

Po roce 2000, kdy ceny elektrické energie začaly stoupat a zavedl se program dotování TČ Státním fondem životního prostředí, se počet zájemců o TČ začal zvedat. Bohužel díky pozdějšímu zavedení nových kritérií a zpřísnění těch stávajících, kdy investice pro zlepšení tepelně izolačních vlastností budovy byly vyšší než samotná dotace státu, se tento trend pořizování TČ zmírnil a lidé tak pořizují méně ekologická a do budoucna finančně méně zajímavá řešení, jako je například zavedení kotle na pevná paliva nebo plynové kotle.

[13]

### 2.3.2 Vývoj TČ v ČR v posledních několika letech

Následující hodnoty instalovaného výkonu a průměrný provozní topný faktor byly vypočteny za následujících podmínek

Tab.1 Podmínky pro výpočet průměrných provozních topných faktorů [14]

vzduch-vzduch	7°C	20°C
vzduch-voda	7°C	35°C
země- voda	1°C	35°C
voda-voda	10°C	35°C

Dále berme v potaz, že níže uvedená data platí přibližně pro 80% českého trhu.

Tab.2 Dodávka tepelných čerpadel na trh podle typu [14]

**Dodávka tepelných čerpadel na trh podle typu**

	Počet	Podíl (%)	Tepelný výkon (kW)	Podíl (%)	Průměrný výkon (kW)
Vzduch-vzduch	338	11,21%	1 522	3,74%	4,5
Vzduch-voda	1 210	40,13%	15 573	38,22%	12,9
Země-voda	1 413	46,87%	20 080	49,28%	14,2
Voda-voda	51	1,69%	3 377	8,29%	66,2
Jiné	3	0,10%	193	0,47%	64,3
<b>Celkem</b>	<b>3 015</b>	<b>100,00%</b>	<b>40 745</b>	<b>100,00%</b>	<b>13,5</b>

Tab. 3 Instalovaná tepelná čerpadla [14]

**Skutečně instalovaná tepelná čerpadla podle sektoru**

Sektor	Počet celkem	Instalovaný tepelný výkon (kW)	Průměrný tepelný výkon (kW)
Domácnosti	2 643	29 041	11,0
Státní správa, obecní a městská zařízení, nekomerční sféra, školství, zdravotnictví, sociální služby, bazény, sportoviště atp.	103	5 400	52,4
Podnikatelský sektor, energetika, průmysl, zemědělství, obchod, služby atp.	184	5 344	29,0
Ostatní	85	960	11,3
<b>Celkem</b>	<b>3 015</b>	<b>40 745</b>	<b>13,5</b>

Tab. 4 Instalace tepelných čerpadel v domácnostech [14]

**Instalace v domácnostech vybrané k podpoře ze SFŽP v roce 2007**

	Počet instalací	Instalovaný tepelný výkon (kW)
Hlavní město Praha	11	111,2
Středočeský kraj	51	555,8
Jihočeský kraj	24	437,1
Plzeňský kraj	20	199,5
Karlovarský kraj	12	97,8
Ústecký kraj	13	160,5
Liberecký kraj	25	300,7
Královéhradecký kraj	29	332,7
Pardubický kraj	17	194,8
Vysočina	9	99,3
Jihomoravský kraj	22	243,7
Olomoucký kraj	13	146,7
Zlínský kraj	33	362,5
Moravskoslezský kraj	40	446,9
<b>Celkem</b>	<b>319</b>	<b>3 689,2</b>

Bohužel zpráva dále neuvádí procentuální zastoupení jednotlivých typů TČ. Do budoucna se však očekává další nárůst počtu TČ hlavně díky srovnávání cen za elektrickou energii v Evropské Unii.

[13,14]

## 2.4 Tepelná čerpadla v Evropě

V Evropě tomu bylo trochu jinak než u nás. Velký nárůst poptávky po tepelných čerpadlech byl v období „ropné krize“ v 80. letech, kdy vzrostly ceny energií. Zanedlouho na to se však poptávka klesla skoro na nulovou hodnotu, hlavně díky nedokonalým a často poruchovým TČ, které nebyly řádně odzkoušeny ve srovnání s klasickými kotli. Čímž se prodlužovala doba návratnosti zařízení a lidé přecházeli zpět ke klasickým kotlům na tuhá a plynná paliva.

Tento propad byl zaznamenán okolo roku 1984 a trval zhruba třináct let do roku 1997, kdy se široká veřejnost opět začala zajímat o teď již propracovanější TČ, která nebyla tolik poruchová a šetřila životní prostředí.

## 2.5 Dotace na tepelná čerpadla v ČR pro rok 2008

Poskytnutí dotace se vztahuje na fyzické osoby vlastníci rodinný dům, popřípadě byt, kde jednotka slouží jako lokální vytápění, popřípadě v kombinaci s jiným zdrojem tepla, splní-li žadatel kritéria uvedená v Příloze II - Směrnice Ministerstva životního prostředí o poskytování finančních prostředků ze Státního fondu životního prostředí ČR na opatření v rámci Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie platné pro rok 2008.

Základem pro výpočet výše podpory slouží náklady na vlastní tepelné čerpadlo a jeho instalaci (včetně vyhloubení jam pro kolektory a uložení).

Výše dotace je 30% nákladů nejvýše však 60 000Kč na vybudování TČ, a 50% na vytvoření odborného posudku, nejvýše však 3 000Kč.

[9]

## 2.6 Geotermální energie

Největší tok v oblasti kontinentální kůry k zemskému povrchu je v částech které byly magmaticky aktivní před méně než 65milióny let. V těchto částech je hodnota tepelného toku až  $0,077\text{Wm}^{-2}$ , v odlišných částech klesá tato hodnota tepelného toku na průměrných  $0,046\text{Wm}^{-2}$  která je typická pro starší horniny. Zdrojem tepla v těchto horninách je také díky přirozenému rozpadu radioaktivních izotopů.

Teplota z jádra zemského povrchu je přenášena konvekcí a kondukcí. Ke konvekci neboli proudění tepla dochází v oblastech hlubších jak 100km pod povrchem. Naopak ke kondukcí neboli vedení dochází ve vnějších částech zemského povrchu.

Například ochladíme-li žulový masiv o hranách krychle dlouhých 1km o  $10^{\circ}\text{C}$ , uvolní se tím 22PJ tepla, to odpovídá 2mil.t hnědého elektrárenského uhlí.

Výhodou geotermálního tepla je že jeho velikost není závislá na klimatických podmínkách a je možné tímto způsobem čerpání energie zpomalit ohřívání Země.

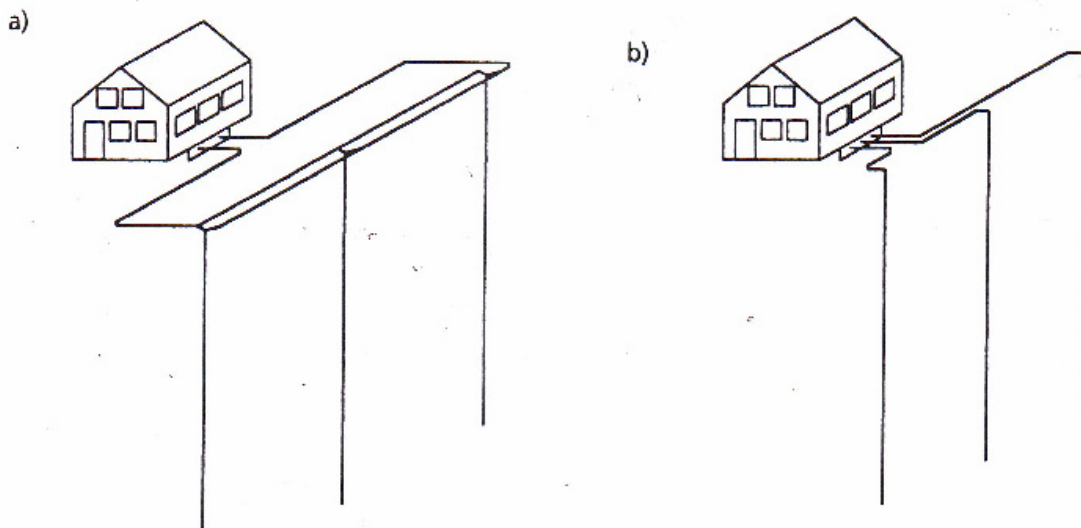
[5, 18, 20]

## 2.7 Zemní kolektory a získávání tepla z prostředí

### 2.7.1 Možnosti provedení zemních kolektorů

Uložení zemního kolektoru je možné pomocí dvou způsobů. A to horizontální uložení TČ, kdy je výměník uložen v podobě potrubí orientovaného horizontálně - tedy do hloubky. Druhou možností je uložení horizontální, kdy je výměník v podobě trubek orientován plošně.

Propojení výparníku TČ s výměníkem tepla lze pomocí sekundárního oběhu z cirkulačního čerpadla, nebo přímým přívodem teplotnosné látky s tím, že výměník tepla slouží zároveň jako výparník TČ.

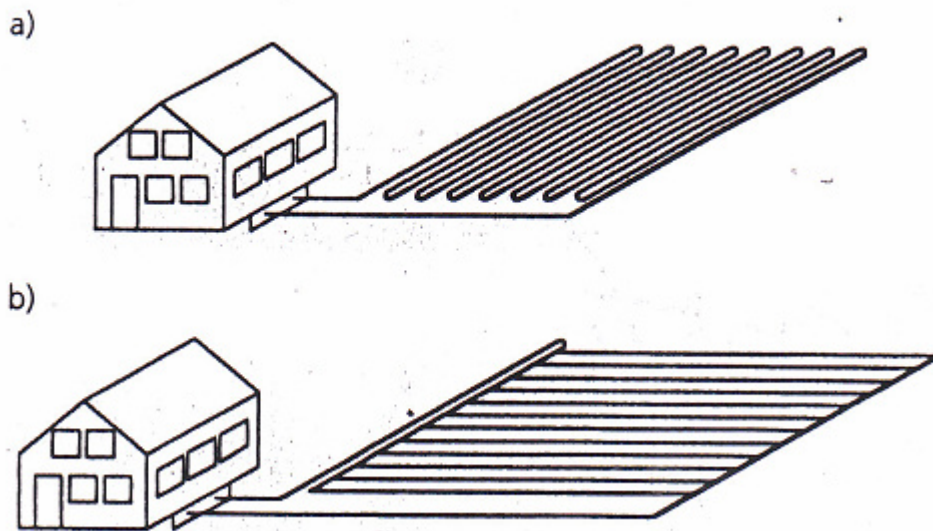


Obr. 2 Možnosti zapojení vertikálních kolektorů [18]

a) Zapojení dle Tischelmana

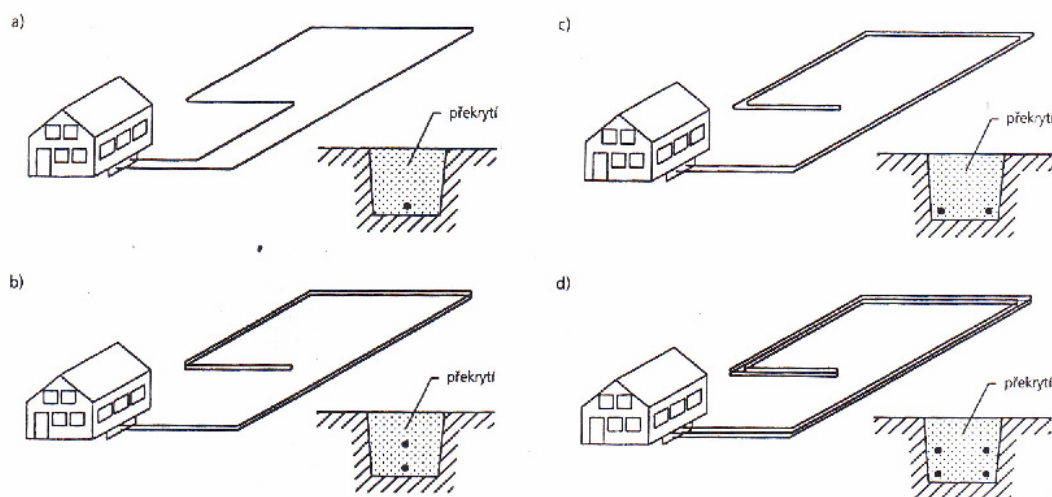
b) Zapojení jednotlivých kolektorů s rozdělovačem





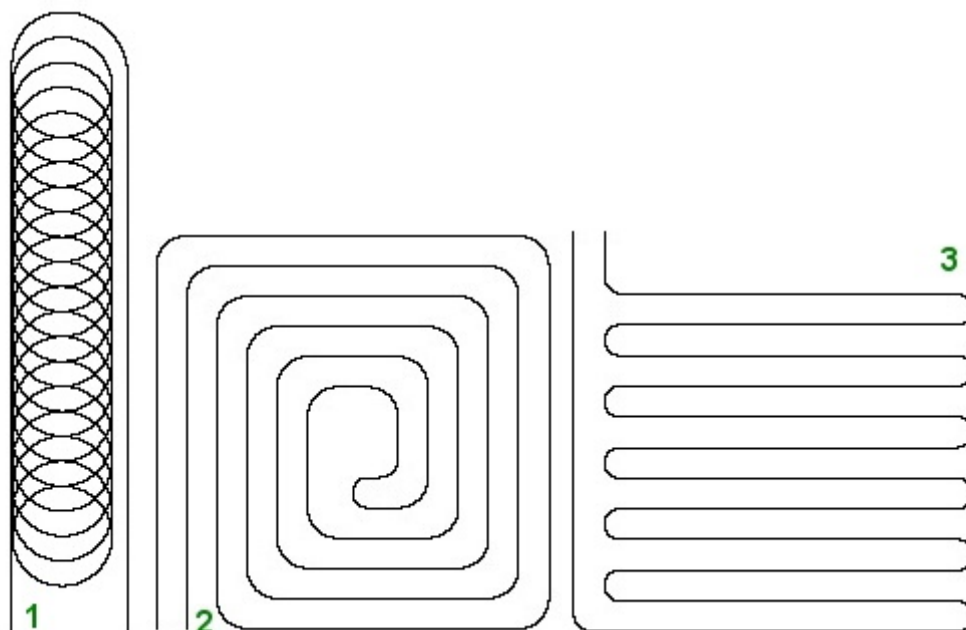
Obr. 4 Možnosti zapojení horizontálních kolektorů [18]

- a) Sériové zapojení
- b) Paralelní zapojení



Obr. 5 Možnosti uložení kolektoru ve výkopu [18]

- a) Jedna trubka ve výkopu
- b) Dvě trubky ve výkopu nad sebou
- c) Dvě trubky ve výkopu vedle sebe
- d) Čtyři trubky ve výkopu



Obr. 6 Obrázky popisující možné uložení zemních kolektorů z půdorysného pohledu [11]

- 1 – spirálové uložení zemního kolektoru, hodí se především pro prostorově omezené pozemky a místa s dostatečnou tepelnou obnovou
- 2 – meandrové uložení kolektoru, vhodné pro případy sejmutí skrývky
- 3 – klasické uložení, nejčastěji používané

## 2.7.2 Volba zemních horizontálních kolektorů

### Uložení

Velikost horizontálních plošných kolektorů je závislá na tepelné ztrátě objektu a na výkonu tepelného čerpadla. Při budování zemního kolektoru je důležité vypočítat potřebnou plochu pro zemní výměník TČ, která se vypočte dle následujícího vztahu

$$A_{zk} = \frac{\Phi_0 \cdot k_b}{q_z} \quad (\text{m}^2) \quad (1a)$$

- kde:
- $A_{zk}$  je potřebná plocha pozemku [ $\text{m}^2$ ]
  - $\Phi_0$  je potřebné teplo k vytápění budovy či ohřevu TV [W]

$-k_b$  je Součinitel bivalentního provozu, [-] (nejčastěji je tento součinitel roven hodnotám 0,3 – 0,5 )

$-q_z$  je teplo, které je možné odebrat z jednoho metru čtverečního pozemku kde provozujeme TČ [  $Wm^{-2}$  ] ( nejčastěji se tato hodnota pohybuje v rozmezí 6 – 40  $Wm^{-2}$  záleží na složení půdy pozemku )

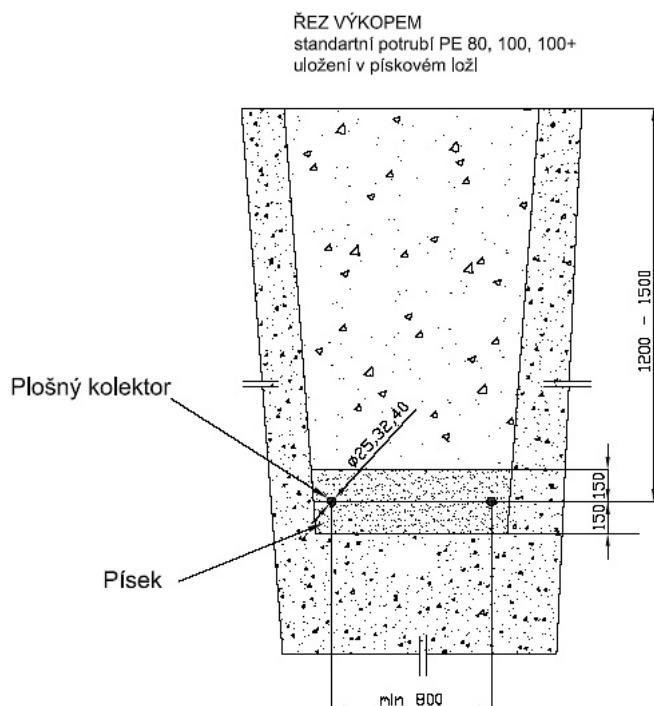
Potrubí zemního kolektoru se běžně ukládá s roztečí 1m. Tedy plocha, kterou jednotlivá trubka zabírá je  $1m^2$ . Hloubka uložení se volí nejméně 1m pod svrchní částí půdy, avšak zřídka kdy je hloubka uložení výrazně větší, než právě 1m z důvodu nákladnosti odstranění velkého množství půdy a následného zavezení a zasypání kolektorů. Právě správné uložení kolektoru v zemi je velice důležité z hlediska životnosti. Při uložení je nutné zajistit, aby trubka byla ukládána do pískového lože. Tento fakt je předepisován jak samotnými výrobci, tak je i dán stavebními normami pro ukládání polyethylenového potrubí. Například narušení PE potrubí vrypem větším jak 10% celkové tloušťky trubky je výrobcí považováno za potrubí, které se nesmí použít pro pokládku. Při nepoužití pískového zasypu je zřejmé, že i při samovolném zhutnění půdy dojde k vrypům větším jak výše zmiňované kritérium. V současné době je také možné použít potrubí určené přímo pro zasypání zeminou, díky větší odolnosti tohoto potrubí, čímž se také sníží náklady na odvoz zeminy a dovoz písku. [17,18,19]

### **Možnosti provedení výkopů**

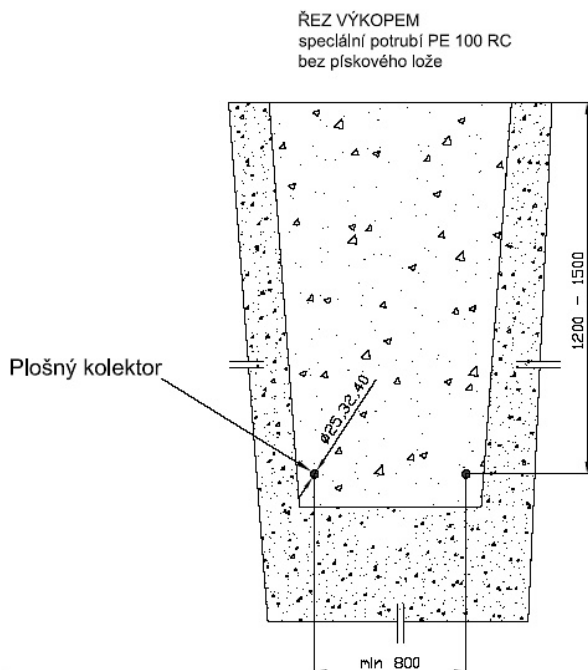
Nejpoužívanějším způsobem zhotovení výkopu za pomoci bagru je buďto vytvoření výkopu nebo sejmutí skrývky. Šíře výkopu je odvozena od šíře lžíce použitého bagru, nejčastěji však 0,6 – 0,8 m. Potrubí se nejčastěji ukládá tak, že potrubí je uloženo u kraje výkopu a zpětná smyčka je uložena u druhého kraje výkopu. Díky šíři lžíce bagru okolo 0,8m je rozteč mezi jednotlivými trubkami pouze 0,8 m a ne již výše zmiňovaných 1 – 1,5 m, proto si také můžeme při realizaci TČ udělat skrývku zeminy do požadované hloubky, dále rozmístit kolektory s požadovanou roztečí a poté opětovně zavézt odkrytou zeminou. Je patrné že při použití způsobu sejmutí skrývky jsou náklady na instalaci kolektoru větší díky většímu přemístění materiálu, avšak u tohoto způsobu můžeme zvětšit rozteč čímž selepší jímání tepla kolektorem a v neposlední řadě se také rovnoměrně rozloží jímání tepla ze země při dodržení stejné rozteče při pokládce.



Obr. 7 Provádění výkopu běžným způsobem [11]



Obr. 8 Uložení kolektoru v zemi s pískovým zásypem [11]



Obr. 9 Uložení kolektoru v zemi bez pískového obsypu [11]

Další možností uložení kolektoru je za použití rýhovače. Díky tomuto zařízení je možné uložit kolektor do rýhy (drážky) o šíři 100 – 150 mm. Dno této rýhy je v nezámrazné hloubce do kterého potrubí ukládáme. Velkou výhodou tohoto systému ukládání je rychlost realizace, bohužel má tato metoda i své nevýhody a to hlavně v možnosti použití, kdy je nutné, aby podloží do které potrubí ukládáme, bylo neskaldaté do nezámrazné hloubky a bez větších kamenů, které by stroj nemohl z rýhy vytáhnout. [11,12]



Obr.10 Rýhovač a vzniklá rýha pro uložení potrubí. [11]

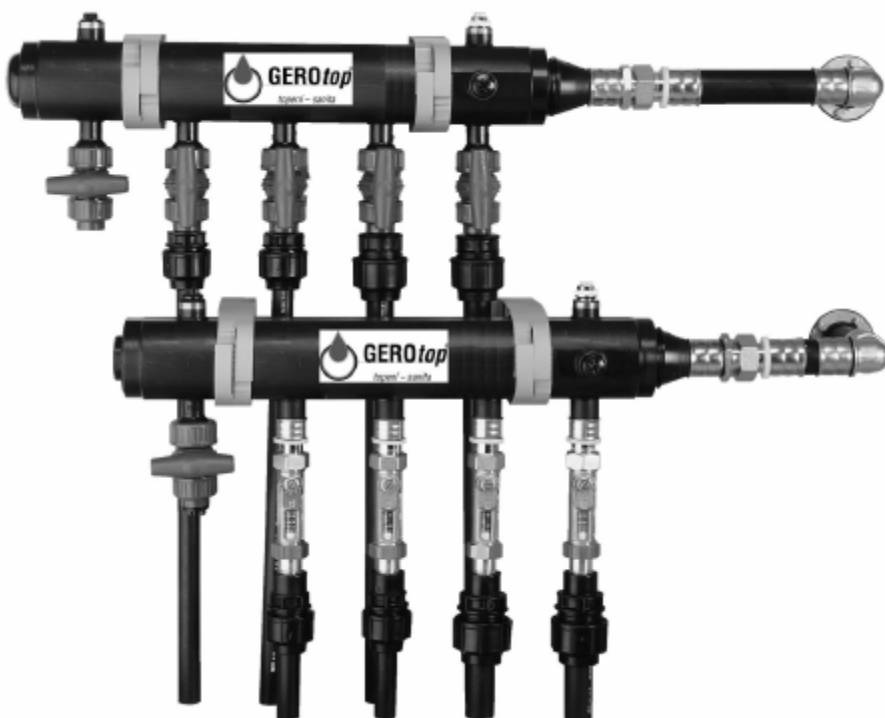
### **Potrubí**

Délka jednotlivého potrubí je omezena na přibližně 350m z důvodů vysokých tlakových ztrát TČ. U TČ s více smyčkami volíme stejnou délku smyček, aby tlakové ztráty ve smyčkách byly stejné a docházelo tak k rovnoměrnému rozložení toku teplotního média, dále tato soustava musí obsahovat rozdělovač a sběrač pro tepelná čerpadla a v neposlední řadě také expanzní nádobu, která kompenzuje změny objemu teplotní látky v závislosti na změně teploty, a pojistný ventil. Materiálem z kterého jsou trubky vyráběny, je nejčastěji polyetylén (označovaný PE) o jmenovité světlosti 40mm a tloušťce stěny 3,7mm o jmenovitém tlaku 6barů (označováno PN 6bar). Teplota teplotní látky závisí na druhu TČ, ale nepřekračuje hranici 0°C kvůli zamrznání půdy a následnému „hýbání půdy“.

[11,12,15]

## Rozdělovač a sběrač tepelného čerpadla

Špatné provedení těchto součástí primárního okruhu zhoršuje možnost odvzdušnění okruhů kolektoru. Dále také slouží k odpojení jednotlivých okruhů v době odstávky, to je také předepsáno evropskou směrnicí ve které se uvádí i další požadavky na jednotlivé komponenty. To to odpojení jednotlivých okruhů je důležité pro již zmiňované odvzdušnění kolektoru a při servisu. Při nedodržení stejných délek u jednotlivých smyček je také možné tzv. „přiškrtit jednotlivé smyčky“ a vyrovnat tak tlakové ztráty, čímž se i rovnoměrně rozloží tok teplotné látky. [12,15]



Obr.11 Stavebnicový rozdělovač [15]

## Topný výkon tepelného čerpadla

Topný výkon TČ je u většiny objektů dimenzován, tak aby pokryl 50 - 75% celkových tepelných ztrát budovy včetně tepla potřebného pro ohřev TV. Zbývajících 25 - 50% tepelných ztrát je řešeno pomocí špičkového zdroje jako je elektrický nebo plynový kotel, který se automaticky spustí, jsou-li překročeny tepelné ztráty pokryté TČ. Tento způsob konstrukce TČ je z finančního hlediska přijatelnější, neboť tyto „extrémní“ podmínky, kdy TČ nepokryje veškeré tepelné ztráty budovy, se pohybují okolo 18-ti dnů v roce. [11,12,20]

## 3 Tepelný režim půdy během sezony

### 3.1.1 Energie z půdy

Pro tepelný režim pozemku platí že celková energie je dána energií přijatou a energií odebranou ze zeminy, přičemž do výdejmů můžeme započítat radiaci, kterou zeminy vyzáří do okolního prostředí, energii odebranou výparným teplem srážek které se ze zeminy vypaří, ochlazení půdy atmosférou pokud je teplota okolí menší než teplota půdy, teplo které je předáno z horniny vodě prosakující zeminou, skupenské teplo odevzdané tajícímu sněhu a pod.

Naopak mezi tepelné zisky patří např. sluneční záření dopadající přímo na povrch horniny, ale i odražené záření, příjem tepla z okolní atmosféry zejména při letních dnech, teplo které vzniká při absorpci plynů a kondenzaci vodních par, teplo předané hornině artézskou vodou ( voda v hornině, která je pod tlakem ), teplo vzniklé při chemických procesech v hornině, zemský tepelný tok a podobně.

Na větší části našeho území se pohybuje hodnota zemského toku okolo 600W připadající na jeden hektar.

Výkyvy teplot mezi dnem a nocí začínají být neměřitelné v hloubce okolo 0,4m pro vlhké půdy a 0,23m v suchých půdách a roční rozdíl mezi obdobími není znatelný v hloubce okolo 7 – 8m pro vlhké, a okolo 4,5m pro suché půdy. Pod touto oblastí se nachází část horniny, v níž kolísá teplota od 1°C do průměrné teploty ovzduší. V této části se gravitační voda dostává puklinami v hornině k hlavní vodoteči a teprve pod její úrovní zůstává její teplota na teplotě okolí.

Do této hloubky ovlivňuje prosakující voda teplotu horniny, hlouběji je teplota závislá na geotermickém stupni, což je hodnota vyjadřující, o kolik metrů níže je rozdíl teplot 1 K (potažmo 1°C). Průměrná hodnota geotermického stupně je 33m, ale existují i výmečné případy kdy tato hodnota dosahuje až 0,5m.

Dalším důležitým faktorem je také čistota a její chemické složení.

Hmotnostní zastoupení některých látek v 1 litru vody při pH 6-8

Dusičnany 100mg

Sírany 70mg

Kyselina uhličitá 20mg

Mangan 3mg



Železo 3mg

Kyslík 2mg

### 3.1.2 Tepelné charakteristiky půdy

V horizontálním půdním výměníku se nejedná o horninu, ale o půdu resp. zeminu. Doporučuji změnit

Zásadní vliv na přenos tepla zeminou mají tepelné vlastnosti půdyhornin, jako jsou:

Tepelná vodivost

Označuje se písmenem  $\lambda$  [ $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ], a vyjadřuje kolik Watů tepelné energie projde stěnou, je-li tloušťka stěny jeden metr a rozdíl teplot jeden Kelvin.

- součinitel tepelné vodivosti je dán Fourierovým zákonem, který zní

$$q = \lambda \cdot \text{grad } T \quad (2a)$$

-  $q$  je vektor hustoty tepelného toku [ $\text{W m}^{-1}$ ]

-  $T$  je teplota [K]

pro zjednodušení lze linearizovat součinitel tepelné vodivosti v závislosti na vlhkosti a teplotě následujícím vztahem

$$\lambda = \lambda_0 \cdot [1 + \alpha_w \cdot w + \alpha_t \cdot (t - t_0)] \quad (3a)$$

-  $\lambda$  je součinitel tepelné vodivosti daného materiálu o vlhkosti  $w$  a teplotě  $t$

-  $\lambda_0$  je hodnota součinitele tepelné vodivosti sledovaného materiálu při nulové vlhkosti  $w$  a laboratorní teplotě  $t_0$  ( $t_0$  cca  $30^\circ\text{C}$ )

-  $w$  hmotnostní vlhkost materiálu [%]

-  $t$  teplota materiálu [ $^\circ\text{C}$ ]

-  $\alpha_w$  linearizovaný koeficient součinitele tepelné vodivosti v závislosti na vlhkosti materiálu

-  $\alpha_t$  linearizovaný koeficient součinitele tepelné vodivosti v závislosti na teplotě materiálu

### Měrná tepelná kapacita

označuje se písmenem  $c$  [ $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ], a vyjadřuje kolik Joulů je potřeba na ohřátí jednoho kilogramu látky o jeden Kelvin.

### Objemová tepelná kapacita

označuje se písmenem  $C$  [ $\text{J m}^{-3} \text{K}^{-1}$ ], a vyjadřuje kolik Joulů tepla je zapotřebí k ohřátí daného objemu o jeden Kelvin

- je dána vztahem

$$C = c \cdot \rho \quad (4a)$$

-  $c$  je měrná tepelná kapacita

-  $\rho$  je hustota dané látky [ $\text{kg m}^{-3}$ ]

Tab. 5 Přehled označení a jednotky dalších veličin [1]

Hydraulický symbol			Tepelný symbol		
název	symbol	rozměr	název	symbol	rozměr
Koeficient filtrace	$k$	$\text{ms}^{-1}$	Tepelná vodivost	$\lambda$	$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
Objemový průtok	$Q$	$\text{m}^3\text{s}^{-1}$	Tepelný výkon	$P$	$\text{W} = \text{Js}^{-1}$
Rychlost proudění	$v$	$\text{ms}^{-1}$	Tepelná hustota	$q$	$\text{Wm}^{-2}$
Rozdíl tlaku	$s$	$\text{m}$	Rozdíl teploty	$\Delta T$	$\text{K}$
Mocnost zvodnělého kolektoru	$M$	$\text{m}$	Mocnost horniny stejných vlastností	$M$	$\text{m}$
Koeficient měrné zásobnosti	$S_s = S / M$	$\text{m}^{-1}$	Objemové teplo (tepelná kapacita)	$C = c \cdot \rho$	$\text{Jm}^{-3}\text{K}^{-1}$
Koeficient hydraulické difuzivity	$a = k M / S$	$\text{m}^2\text{s}^{-1}$	Teplotní vodivost (tepelná difuzivita)	$\chi = \lambda M / C$	$\text{m}^2\text{s}^{-1}$

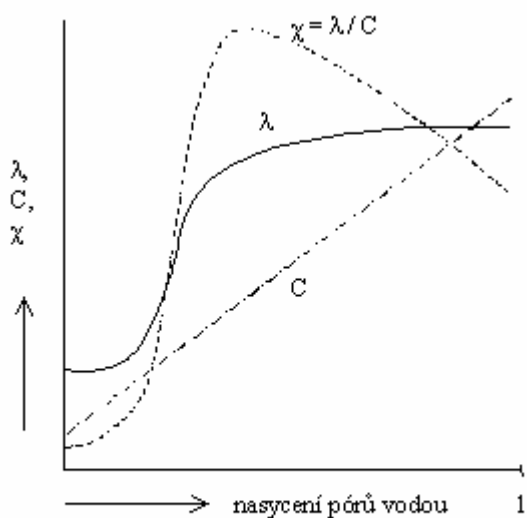
### 3.1.3 Tepelné vlastnosti hornin

Tepelné vlastnosti hornin nezávisí pouze na petrografickém typu, jako je pórovitost, vlhkost a pod, ale také na jejím uspořádání, a z tohoto důvodu má hornina v každém směru jiné hodnoty tepelné a teplotní vodivosti.

Tab. 6 Součinitele tepelné vodivosti [1]

Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$				
Mareš a kol. (1983)			Drbal (1969)	
hornina	$Wm^{-1}K^{-1}$		zemina	$Wm^{-1}K^{-1}$
	od	do		
granit	1,90	4,00	žula	2,90
syenit	1,60	3,30	suchá půda	0,30
diorit	1,90	2,80	suchý písek hrubozrný	0,20
gabro	2,20	2,40	suchý písek jemnozrný	0,19
čedič	1,70	1,70	suchá hlína písčitá	0,19
břidlice	1,30	2,10	suchá hlína	0,14
rula	1,70	3,30	vlhká půda	1,90
amfibolit	1,90	2,40	vodou nasycený písek hrubozrný	1,72
vápenec	0,80	3,00	vodou nasycený písek jemnozrný	1,63
dolomit	0,80	4,50	vodou nasycená hlína písčitá	1,34
pískovec	0,80	7,10	vodou nasycená hlína	0,88
prachovec	1,50	2,50	vodou nasycená rašelina	0,46
jílovec	1,80	2,80	vzduch	0,02
jíl	0,40	1,20	voda	0,50
písek	0,30	3,50	led	2,10

Pro rozdrčené horniny platí, že tepelná vodivost je závislá na velikosti rozmělnění částic a na jejich vlhkosti, protože při nízké vlhkosti není částice tolik „obalena“ vodou a k přenosu tepla dochází pouze v bodových částech dotyku mezi zrny. Naopak při zvyšující se vlhkosti se plocha dotyku mezi jednotlivými částicemi zvyšuje až do momentu, kdy se okolo celé částice vytvoří jakýsi vodní film. Dále už roste intenzita přenosu mezi jednotlivými částicemi jen pomalu a to díky vytěšňování vzduchu z meziprostorů, viz. následující graf.



Obecná závislost tepelných charakteristik na vlhkosti zemin podle Kutílka (1976).

Obr.12 Závislost tepelné charakteristiky na vlhkosti zeminy [1]

### 3.1.4 Vhodnost půdy pro tepelná čerpadla

Podle pokusů pana Drbala z r.1969, se prokázalo, že suchá a dezintegrovaná žula vede asi 7,5x méně tepla, než by vedly složky plynné a pevné složky shodného objemu a zastoupení. A naopak při nasycení pórů vodou vedl tento materiál víc tepla, než kdyby byl bez pórů.

Díky tomuto pokusu bylo prokázáno, že velký vliv pro využití tepelné energie a dobrého přenosu tepla do kolektoru je třeba tlakově vyplnit stvol vrtu bentonitem, protože u pouhého zasypání vrtu by se vytvořili póry které by sloužili jako „tepelný izolant“ a nemohli bychom tolik využít přenos tepla do kolektoru, což by nejspíš mělo za následek větší (hlubší) a tím i vyšší pořizovací náklady u vertikálního TČ.

Podobný případ by byl, pokud bychom u horizontálního TČ volili příliš hluboké uložení kolektorů, protože by se zde nevyužilo teplo akumulované do zeminy slunečním zářením.

Jako nejvhodnější půda pro horizontální TČ se z výše uvedeného výzkumu jeví jílovitá půda, která má vlastnosti podobné případu s nasycením pórů vodou, a vede tak dobře teplo, jak již bylo popsáno.

Dále bychom mohli uvažovat o vhodných podmínkách pro vyšší naakumulování slunečního záření do jílovité půdy (popř. obecně do půd ). Z tohoto hlediska je důležité, aby pomyslná přímka slunečního záření byla co možná nejkolměji k ploše zeminy s uloženými kolektory, a nestála zde povrchová voda, nebo nebyl na této ploše jakýkoliv reflexní povrch, který by odrážel sluneční záření.

Hodnoty pórovitosti některých hornin jsou uvedeny v následující tabulce

Tab. 7 Pórovitost některých hornin [1]

Porózita hornin České republiky (%) - podle Ibrmajer J., Suk, M. a kol. (1989) a Bažant (1981)				
Plutonity	Český masív	Brunovistulikum		
		Sever	Střed	Jih
granit	2,2		1,7	2,8
granodiorit	2,3		0,6	0,9
křemenný diorit			0,9	1,2
granitoid		0,9		

durbachit variský			2,3				
tonalit			2,4				
diorit - variský			2,1				
diorit - prevariský							
a neurčeného stáří			1,4	2,3	0,2	0,8	
gabro				0,2			
bazika variská			1,3				
bazika prevariská							
a neurčeného stáří			0,7				
ultrabazika			1			0,2	
Metamorfity	Český blok	mezihorský	Areál intenzivní variské tektogeneze				
rula	2		1,9	1,1			
ortorula	1,8		2,3			1,7	
svor	2,5		3				
migmatit	1,9		1,6				
amfibolit	1,7		1,8	0,5		1,7	
serpentinit	2,3			0,2			
granulit	2,1		2,6				
kvarcit	2,2		1,7				
fylit	0,4		2,8				
krystalický vápenec	1,1		1				
eklogit	0,6						
erlan	2		0,4		0,4		
Barrandien			Proterozoikum	Kambrium	Ordovik	Silur	Devon

pelit	3,7	3,6	9,1	7,4	6,3
prachovec	3	3,9	7,3		7,5
psamit (droba)	2,6	3,6	5		4,3
psefit	2,4	3,7			
křemenec			2,9		
rohovec					1
vápenec				1,6	1,1
tufitický vápenec				3,3	
dolomitický vápenec				2,2	1,9
kalcitický dolomit a dolomit					2,6
paleobazalt	1,6	3,8	4,5	3,3	
spilit	0,9				
paleoryolit	6,8				
tuf, tufit	2,1		7,7	9,8	10,5

Tab. 8 Pórovitost zemin [1]

Orientační hodnoty pórovitosti zemin (%)		
písek	hrubý, štěrk (2 až 20 mm)	25 až 30
	středně zrnitý	30 až 40
	jemnozrnitý	30 až 45
	hlinitý	25 až 30
hlína	písčítá	35 až 50
	hlína	40 až 55
jíl	písčitý	25 až 35
	jíl	35 až 60

### Objemová tepelná kapacita

Kapacita objemu zeminy je dána sumou tepelných kapacit všech v ní se vyskytujících horniných zrn, tepelné kapacity vody a tepelné kapacity vzduchu. Některé objemové kapacity jsou uvedeny v následující tabulce

Tab. 9 Objemová tepelná kapacita hornin [1]

Objemová tepelná kapacita hornin			
Objemové specifické teplo kompaktní částice	$\text{Jm}^{-3}\text{K}^{-1} \cdot 106$	Objemové teplo zemin	$\text{Jm}^{-3}\text{K}^{-1} \cdot 106$
žula, resp. zrno písku	2,17	písek suchý	1,26
uhličitan vápenatý	2,44	písek nasycený vodou	3,00
jíl	2,41	jíl suchý	1,01
rašelina	2,52	jíl nasycený vodou	3,47
Objemové specifické teplo výplně mezer		rašelina suchá	0,62
		rašelina nasycená vodou	3,81
voda	4,19	půda suchá	1,35
vzduch	0,13	půda vlhká	2,90

### 3.1.5 Vliv podzemní vody a ledu na zemní kolektor

Obsah podzemní vody značně ovlivňuje funkci kolektorů uložených v zemi, díky tomu že má čtyřikrát menší tepelnou vodivost než horninové zrno a dvakrát větší objemové specifické teplo.

Při tání voda v hornině uvolňuje velké množství skupenského tepla  $333700 \text{ kJ m}^{-3}$ , díky čemuž se ve velkém množství podílí na teple dodávaném do kolektoru.

Další zásadní ovlivňování zemního kolektoru je díky vlastnosti vody měnit svou hustotu, tedy za stálé hmotnosti měnit svůj objem. Při teplotě  $4^\circ\text{C}$  má voda největší objem je to tzv. anomálie vody a ještě větší je změna objemu nastává při změně skupenství z kapalné fáze na pevnou fázi, tedy když se voda mění v led. Při této změně se zvětší její objem o 10% a tlak se tím zvětší asi o  $890 \text{ kg cm}^{-2}$ , což může zapříčinit porušení, v horším případě prasknutí potrubí kolektoru na přetoku artézské vody.

### 3.1.6 Šíření teplotních změn do okolí

Vzdálenost horniny tepelně ovlivněné teplotou kolektoru se v dá vyjádřit následující rovnicí

$$R = 1,5 \cdot (a \cdot t)^{0,5} \quad (5a)$$

-R vzdálenost tepelně ovlivněné horniny [m]

- a je součinitel teplotní vodivosti [ $\text{m}^2 \text{s}^{-1}$ ]

- t je čas od počátku provozu TČ [s]

Z následujícího grafu je patrné, že se vzdálenost kolektorem ovlivněné oblasti bude stále zvětšovat a rychlost tohoto zvětšování bude závislá na době provozu TČ.



Obr.13 dosah teplotního ovlivnění žuly [1]

Ve skutečnosti se vzdálenost teplem ovlivněné oblasti od kolektoru bude od vypočtené lišit podle jednotlivých horninových vrstev v zemině, natočení horninových žil a dle počtu tektonických poruch.

[1,17,18,20]



## 3.2 Využití tepelných čerpadel ke zvýšení únosnosti zmrzlých půd

### 3.2.1 Přiblížení zkoumané oblasti

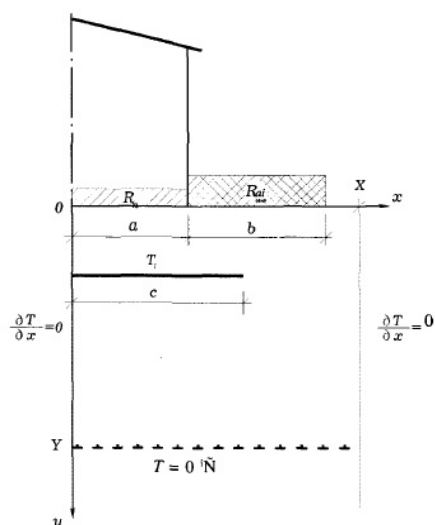
Tento problém pojednává o stabilitě budov na kryolitické zóně ( jedná se o horní vrstvu zemského povrchu, která je permanentně vystavována hodnotám pod bodem mrazu ), což je velký problém v „engineering permafrostology“. Jako řešení tohoto problému se používají TČ určené pro netrvalé mrazy.

Byl proveden pokus, který měl za úkol vyhodnotit nízkopotenciální zdroje tepla k ochlazování půdy. Zkoumáno bylo teplotní pole u základů obytného domu v uměle zmražené půdě, přičemž základy této budovy byly 14m široké. Klimatické charakteristiky tohoto objektu odpovídaly přechodové zóně v oblasti Madagan. Numerický popis připomíná známý problém Stefana pro obdelníkový základ a k výpočtu byla použita metoda konečné diference.

Tab. 9 výpočtové hodnoty teploty vzduchu a tepelného odporu sněhu [22]

Měsíc	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen
Teplota vzduchu ve °C	-25	-22	-20	-13	-3	9
Tepelná odpor sněhu v m <sup>2</sup> KW <sup>-1</sup>	0,86	0,91	0,91	0,74	0,32	0

Měsíc	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec
Teplota vzduchu ve °C	13	11	4	-5,9	-16	-20
Tepelná odpor sněhu v m <sup>2</sup> KW <sup>-1</sup>	0	0	0	0,4	0,71	0,54



Obr.14 Náskres zkoumané oblasti [22]

Pro horní podmínku meze platí předpoklad

$$\frac{T^* - T(x,0,t)}{R(x,t)} + \lambda \frac{\partial T(x,0,t)}{\partial y} = 0, \quad (6a)$$

- x a y jsou vzdálenosti [m]
- t je čas [h]
- T je teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- $\lambda$  je tepelná vodivost [ $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ]
- R je plošný odpor průchodu tepla [ $\text{m}^2 \text{K W}^{-1}$ ]
- $T^*$  je okolní teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]

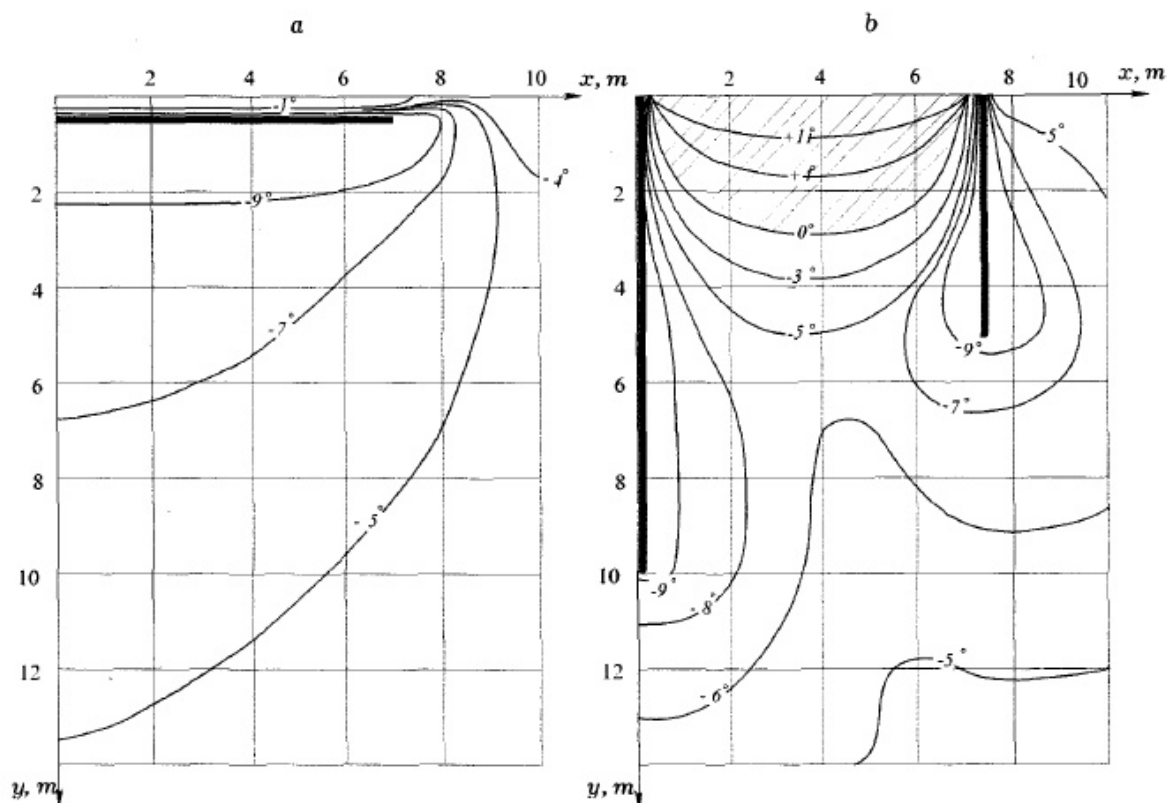
Boční hranice u zkoumané oblasti byla rovna  $x = X = 50\text{m}$ . Spodní hranice zkoumané oblasti byla v hloubce  $y = Y = 90\text{m}$  při stálé předpokládané teplotě  $T = 0^{\circ}\text{C}$ .

Teplota  $T_1$ , nacházející se v oblasti jednotky, byla shodná s teplotou varu pracovní látky ve výparníku. Tepelná vodivost byla rovna  $1,5\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ , Tepelná kapacita  $2720\text{kJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$  v rozmrzlém a  $2,3\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$  a  $1990\text{kJ m}^{-3} \text{K}^{-1}$  v zmrzlém stavu. Hodnota tepelného odporu, byla předpokládána konstantní v celém objemu podlahy  $0,78\text{m}^2 \text{K W}^{-1}$ .

U horizontálních kolektorů, které byly o šíři 8 – 20 m a hloubce 0,5 – 1 m se porovnávala různá umístění jednotek okolo a pod budovou.

### 3.2.2 Průběh teplot během provozu a výpočty tepelných toků

Z pozdějších výpočtů vyplynulo, že tok nízkopotenciální energie se ustálí za 1,5 – 2 roky a pro nejvyšší zisk tepla se jako nejvýhodnější ukázal mělce uložený horizontální výměník, u kterého se neobjevila rozmrzlá půda a tedy splnil zachování zmrzlé půdy, jak je patrné z následujících grafů zobrazující teplotní pole pro za a-horizontálního a za b-vertikálního výparníku. Proto bylo v dalších výpočtech a modelování použito pouze horizontálního tepelného čerpadla.



Obr.15 Průběh teplot v okolí kolektoru [22]

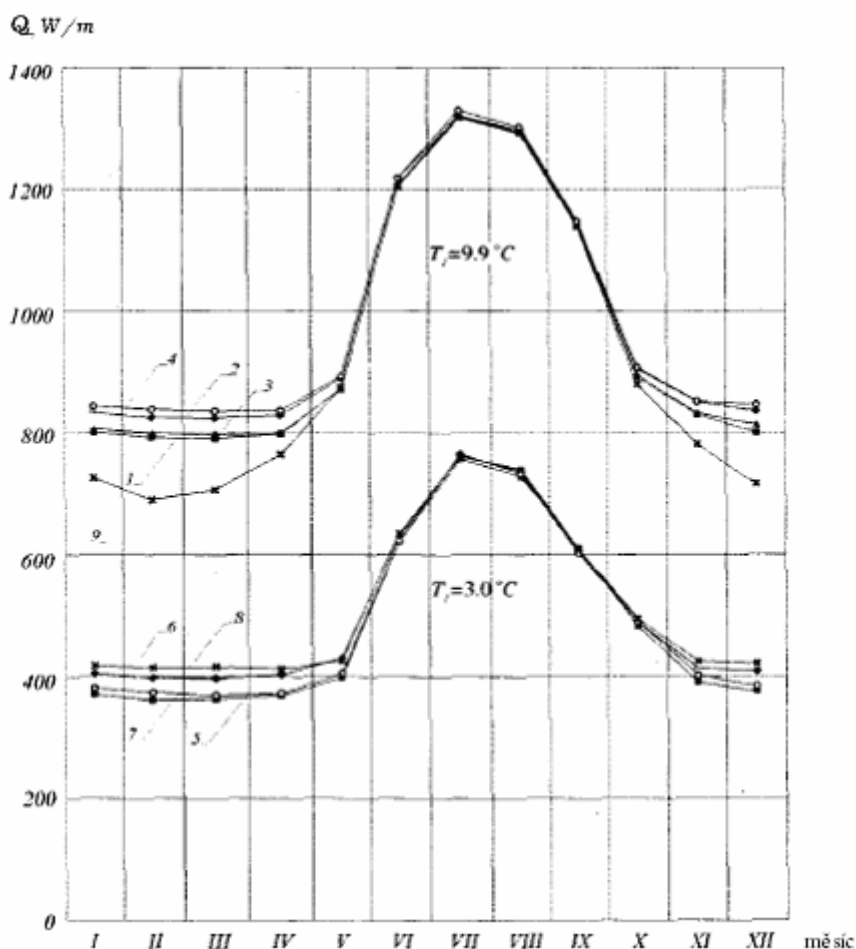
Pro další výpočty bylo zohledněno kolísání okolní teploty během roku, která následně ovlivňuje velikost průtoku tepla do výparníku. Model byl dále počítán pro hodnotu bodu varu teploty  $T_1$  rovnou  $-9,9^{\circ}\text{C}$  a pro teplotu varu  $-3^{\circ}\text{C}$ .

Pokud byla  $T_1 = -9,9^{\circ}\text{C}$  byl měrný zisk tepla  $Q_1$  mezi  $0,78$  až  $0,83 \text{ kW m}^{-1}$  v zimním období a  $1,4 \text{ kW m}^{-1}$  v létě, a pro teplotu varu teploty  $-3^{\circ}\text{C}$  klesá měrný zisk tepla až na polovinu těchto hodnot.

Následně byly data zpracovávána a porovnávána s tepelnými požadavky pětipodlažního obytného domu o půdorysných rozměrech  $14 \times 36 \text{ m}$ . Pro vytápění a ohřev teplé vody (TV) v této budově by byl zapotřebí zdroj o výkonu  $130 - 135 \text{ kW}$ .

Při použití horizontálního výměníku u této budovy bychom při hodnotě bodu varu teploty  $T_1 = -9,9^{\circ}\text{C}$  dosáhli výkonu okolo  $30 \text{ kW}$  což je přibližně  $21\%$  požadovaného výkonu pro ohřev TV a vytápění této budovy.

V následujícím grafu můžeme odečítat hodnoty využití nízko potenciální energie pro vytápění a ohřev TV v závislosti na kalendářním měsíci pro hodnoty bodu varu teplotnosné látky  $T_1$  rovnou  $-9,9^\circ\text{C}$  a  $-3^\circ\text{C}$ .



Obr.16 Tepelný výkon v závislosti na měsíci v roce [22]

Pomocí předešlých výpočtů můžeme stanovit relativní hodnotu tepla  $Q_{rel}$  které charakterizuje podíl rozměru chladící jednotky  $Q_L$  k zisku tepla  $Q_{con}$

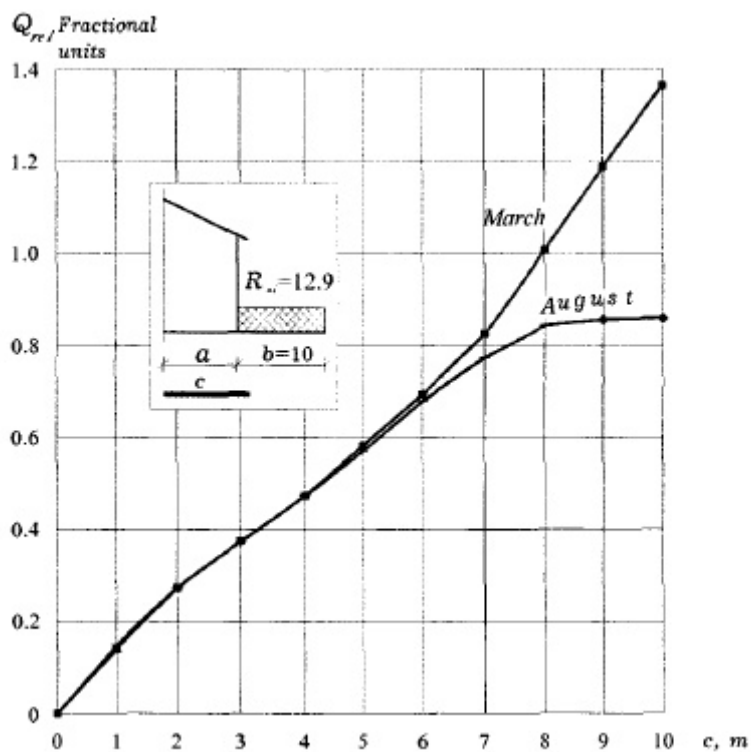
$$Q_{rel} = Q_L / Q_{con},$$

$$Q_{con} = a\Delta T / (R_n + R_{s0}), \quad (7a)$$

- kde  $\Delta T$  je rozdílem mezi teplotou uvnitř objektu a teplotou bodu varu teplotnosné látky ve výměníku

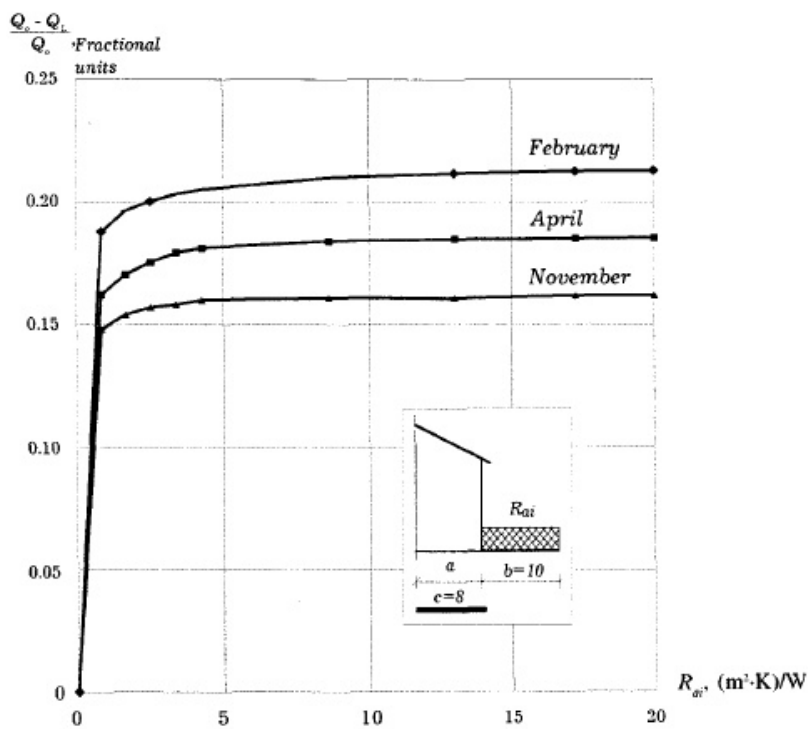
- Q teplo [W]

-  $R_{50}$  představuje tepelný odpor půdy mezi výparníkem a základy



Obr.17 Závislosti relativního zisku tepla  $Q_{rel}$  na šířce výparníku  $c$  [22]

Aplikace mrznoucích pěn okolo budovy zvyšuje zisk tepla o 15 – 21% a platí, že tepelná izolace je patrnější při použití teploty varu  $T_1$



Obr. 18 Graf závislosti relativního zvýšení tepelného zisku na tepelném odporu vnější izolace [22]

Z tohoto grafu je patrné, že existuje tzv. „nejvyšší vhodná“ hodnota tepelného odporu ( $R_{ai} 1,5 - 1,8 \text{ m}^2 \text{ K W}^{-1}$ ) tepelné izolace, do které je výše zmíněná závislost lineární. Při dalším zvyšování tloušťky tepelné izolace je přítok nízko potenciální energie zanedbatelný.

### 3.2.3 Vytápění pasivního domu horizontálním čerpadlem

#### Popis zkoumané oblasti a vymezení pojmů

Vytápění pasivního domu pomocí bivalentního zapojení TČ a slunečního kolektoru a následný výpočet dvojdímenzionální metodou.

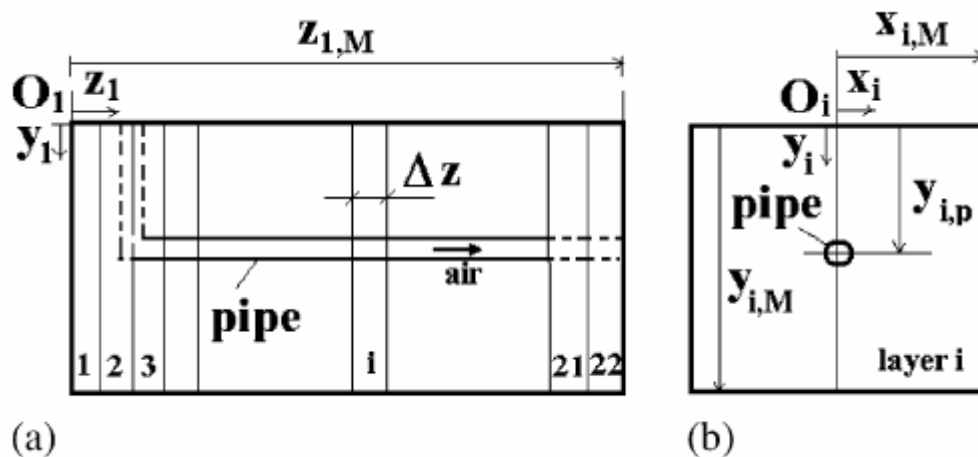
Pasivní dům se vyznačuje nižší náročností na velikost teploty zdroje tepla, tedy zdroje tepla vyšších jak  $50^\circ\text{C}$ . Proto je pro tyto objekty vhodné použít TČ jako zdroj vytápění a pro druhotný ohřev TV.

Dvojdímenzionální početní metoda zohledňuje neosový symetrický tok tepla do půdy, tedy je zde započítáno přirozené tepelné rozvrstvení půdy.

Model z kterého vycházejí následující výpočty je pasivní dům umístěný v Pirenesens (Porýní, Německo), skládá se z horizontálního výměníku o délce 36m. V topné sezóně přenáší zemní výměník tepla teplo do vzduchotechnické jednotky, která následně vytápí daný objekt. V letním období naopak vzduchotechnická jednotka odebírá teplo z vnitřních prostor (chladí vnitřní vzduch) a předává je přes zemní výměník do půdy okolo kolektoru (zahřívá zem okolo výměníku). Půda kolem roury zemního výměníku je rozdělena na 22 stejných plátků ( $\Delta z = 2\text{m}$ ), které jsou kolmé na rouru vedoucí v ose z.

#### Výpočty tepelných toků podílejících se na vytápění pasivního domu

Jako předpoklad pro další výpočty je předpokládáno že půda se považuje za homogení a izotropní médium a přitom zanedbáváme vliv přenosu hmoty na přenos tepla, pro malé rozdíly tepla v půdě. Díky tomuto rozdělení nám vzniknou pláty o dvojdímenzionálním souřadném systému xy. Vzduch vstupuje do výměníku na pomezí plátků 2 a 3 a vystupuje z výměníku na pomezí plátků 20 a 21. Dále víme, že hodnota  $z_{i,M} = 44\text{m}$ ,  $x_{i,M} = 4\text{m}$ ,  $y_{i,M} = 6\text{m}$ , počet plátků i nabývá hodnot 1 až 22. A víme že výměník je uložen v hloubce  $y_{i,p}$ , vnější poloměr trouby je značen  $r_{ext}$ , a vnitřní poloměr trouby výměníku je značen  $r_{int}$



Obr.19 Zobrazení tepelného výměníku a jeho uložení [16]

Teplota půdy může být vyjádřena z jednodimenzionální rovnice tepelné kondukce (1), jako změna teploty v Kelvinech závislá na změně času  $t$  v sekundách.

$$(\rho c)_i \frac{\partial T_i}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial x_i} \right) + \frac{\partial}{\partial y_i} \left( \lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial y_i} \right) + q_{i,z} + q_{i,p} \quad (i = 1, \dots, 22). \quad (1)$$

Kde:

- $T_i$  je teplota počítaného plátku [K]
- $\lambda$  je tepelná vodivost [ $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ]
- $c$  je měrná tepelná kapacita [ $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ]
- $\rho$  je hustota dané látky [ $\text{kg m}^{-3}$ ]
- $i$  počet plátků [-]
- $q_{i,z}$  hustota zdroje tepla zohledňující kondukcí tepla ve směru  $z$ , tedy mezi plátky [W]
- $q_{i,p}$  teplo vyměněné mezi trubkou a zemí [W]

Předpoklad pro rovnice (1) (7) a (11)

$$T_i(x_i, y_i) = \text{const} \quad (t = 0), \quad (12)$$

Další rovnice (2) nám popisuje výpočet množství tepla předaného z počítaného plátku  $i$  do plátek vedlejších, tedy do plátek  $i \pm 1$

$$q_{i,z} = \begin{cases} \frac{\lambda_i}{\Delta z} \frac{T_{i+1} - 2T_i + T_{i-1}}{\Delta z}, & 1 < i < 22, \\ 0, & i = 1, 22. \end{cases} \quad (2)$$

Kde:

- $T_{i+1}$  je teplota následujícího plátku v K
- $T_{i-1}$  je teplota předešlého plátku v K
- $\Delta z$  je šířka plátku [m]

Předání tepla z plátku jedna a dvacet dva do okolní zeminy je tak malý, že ho zanedbáváme, protože teplota prvního a posledního plátku je přibližně stejná, jako teplota okolní zeminy a víme, že teplo přechází pouze je-li rozdíl teplot zkoumaných těles.

V další rovnici (3) budeme zkoumat hodnotu  $q_{i,p}$ , která odpovídá množství tepla vyměněného mezi půdou a vzduchem, který vstupuje a vystupuje z daného plátku  $i$ .

$$q_{i,p} = \begin{cases} \frac{\dot{m}c_p(T_{a,out} - T_{a,in})_i}{\pi r_{ext}^2 \Delta z}, & (x_i, y_i) = (0, y_{i,p}), \\ 0, & (x_i, y_i) \neq (0, y_{i,p}). \end{cases} \quad (3)$$

Kde:

- $T_{a,in}$  je teplota vzduchu vstupujícího do procesu [K]
- $T_{a,out}$  je teplota vzduchu vystupujícího z daného procesu [K]
- $r_{ext}$  vnější poloměr roury [m]
- $\pi$  je Rudolfovo číslo (3,14159265358979) [-]

Velikost trubky v rovině  $xy$  je zanedbána a množství tepla vyměněného mezi půdou a vzduchem je vztaženo k bodu ( $x_i = 0, y_i = y_{i,p}$ )

Díky předpokladu že tento kus uvažované půdy je považován za adiabatický a že rozdělení teplot půdy není ovlivněno tokem vzduchu ve větších vzdálenostech od okraje trubky, tedy že žádný tepelný tok neexistuje v rovinách  $x_i$  a  $y_i$ , můžeme počítat dle následujících rovnic (4), (5) a (6).



$$-\lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial x_i} = 0, \quad (x_i = \pm x_{i,M}), \quad (i = 1, \dots, 22), \quad (4)$$

$$-\lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial y_i} = 0, \quad (y_i = y_{i,M}), \quad (i = 1, \dots, 22). \quad (5)$$

$$-\lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial y_i} = CE - LR + SR - LE, \quad (y_i = 0), \quad (i = 1, \dots, 22), \quad (6)$$

Kde:

- CE je tepelný tok mezi atmosférickým vzduchem a povrchem půdy [ $\text{W m}^{-2}$ ]
- LR je vyzářená energie z povrchu půdy [ $\text{W m}^{-2}$ ]
- SR je solární ozáření absorbované z povrchu půdy [ $\text{W m}^{-2}$ ]
- LE je latentní energie způsobená vypařováním vyjádřena [ $\text{W m}^{-2}$ ]

Hodnoty výše zmíněných veličin v rovnicích (4), (5) a (6) můžeme vypočítat dle následujících vzorců (7-12).

$$CE = h_{sur}[T_{amb} - T(x_i, y_i = 0)], \quad (7)$$

Kde:

- $T_{amb}$  je teplota atmosférického vzduchu [K]
- $h_{sur}$  je koeficient přenosu tepla na povrch půdy [ $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ]
- koeficient přenosu tepla na povrch půdy je závislý na rychlosti větru a

můžeme ho vypočítat dle následující rovnice (8).

$$h_{sur} = \begin{cases} 5.678 \times (0.775 + 0.35 \frac{w_{wind}}{0.304}), & (w_{wind} < 4.88), \\ 5.678 \times [0.775 + 0.35 (\frac{w_{wind}}{0.304})^{0.78}], & (w_{wind} \geq 4.88). \end{cases} \quad (8)$$

Kde:

- $w_{wind}$  je rychlost větru [ $\text{ms}^{-1}$ ]

$$SR = (1 - a) \cdot G \quad (9)$$

Kde:

- a je koeficient odrazu neutronů od povrchu půdy [-]
- G je solární ozáření na povrchu roury udávané [ $\text{Wm}^{-2}$ ]

$$LR = \varepsilon \Delta R, \quad (10)$$

Kde:

- $\varepsilon$  je emitance povrchu půdy [-]
- $\Delta R$  je závislost relativní vlhkosti půdy a vzduchu nad ní, na efektivní teplotě vzduchu a na zářivých vlastnostech půdy [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ] (pro náš případ  $\Delta R = 63 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ )

$$LE = 0.0168 f h_{sur} \{ [a T_i(x_i, y_i = 0) + b] - r_a (a T_{amb} + b) \}, \quad (11)$$

Kde:

- $r_a$  je relativní vlhkost atmosférického vzduchu [-]
- $a$  je koeficient vyjadřující závislost tlaku na teplotě [ $\text{Pa K}^{-1}$ ]

(v našem případě je  $a = 103 \text{ Pa K}^{-1}$ ) pro rovnici (11)

- $b$  je tlak [ $\text{Pa}$ ] (v našem případě  $b = 609 \text{ Pa}$ ) pro rovnici (11)

- $f$  je tření závislé na pokrytí půdy a vlhkosti [-]

- experimentálním řešením byly zjištěny následující hodnoty koeficientu  $f$

$f = 1$  pro půdy nasycené vlhkostí

$f = 0,6 - 0,8$  pro vlhké půdy

$f = 0,4 - 0,5$  pro suché půdy

$f = 0,1 - 0,2$  pro vyprahlé půdy

- jak je patrné, že hodnota tření se snižuje s klesající hodnotou vlhkosti půdy

Pro tepelnou rovnováhu v trubce a plátku je použita následující rovnice (13).

$$\dot{m} c_p (T_{a,out,i} - T_{a,in,i}) = 2 U_{air-soil,i} \pi r_{int} \Delta z \left[ T_i(x_i = 0, y_i = y_{i,p}) - \frac{T_{a,in,i} + T_{a,out,i}}{2} \right]. \quad (13)$$

Kde:

- levá strana rovnice představuje nárůst entalpie vzduchu v plátku
- pravá strana rovnice představuje množství tepla vyměněného vzduchu mez

půdou a vzduchem uvnitř trubky

- $m$  je hmotnostní tok vzduchu udávaný [ $\text{kg s}^{-1}$ ]

- měrná tepelná kapacita vzduchu [ $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ]

-  $U_{air-soil,i}$  je koeficient výměny tepla mezi vzduchem a půdou [-] v rovnici (13), který se vypočte dle následující rovnice (14).

$$U_{air-soil,i} = \frac{1}{(1/h_{conv,i}) + (r_{int}/2\pi\lambda_{pipe}) \ln\{r_{ext}/r_{int}\}}, \quad (14)$$

Kde:

-  $\lambda_{pipe}$  je tepelná vodivost trubky výměníku

-  $h_{conv,i}$  je koeficient přechodu tepla mezi stěnou trubky a vzduchem proudícím uvnitř trubky a může být vypočten např. ze známých vztahů (15) a (16) pro Nusseltovo číslo, kde po úpravě vzorce (16) dostaneme námi hledaný výraz (16a).

$$Nu = 0.021 Re^{0.8} Pr^{0.43}, \quad (15)$$

$$Nu \equiv \frac{2h_{conv,i}r_{int}}{\lambda_a} \quad (16)$$

$$\frac{Nu \cdot \lambda_a}{2 r_{int}} \equiv h_{conv,i} \quad (16a)$$

Kde:

-  $\lambda_a$  je tepelná vodivost vzduchu

- Nu je Nusseltovo číslo jehož hodnotu vypočteme v pomoci rovnice (15)

- Pr je Prandtlovo číslo které vypočteme pomoci rovnice (15a)

$$Pr \equiv \frac{c_p \rho_a v_a}{\lambda_a}. \quad (15a)$$

Kde:

-  $v_a$  je kinematická viskozita vzduchu udávaná [ $m^2 s^{-1}$ ]

-  $\rho_a$  je hustota vzduchu [ $kg m^{-3}$ ]

- vlastnosti vzduchu platí pro průměrnou hodnotu teplot vzduchu na vstupu a výstupu

Tok tepla  $q_{GHE}$ , který získáme pomoci výměníku tepla, se vypočte dle následující rovnice (17) [8,16]

$$\dot{q}_{GHE} \equiv \dot{m}c_p(T_{a,out,i=20} - T_{amb}). \quad (17)$$

## 4 Analýza získaných poznatků

Obecně je u horizontálních TČ důležité dodržet danou rozteč uložení potrubí kolektoru tak, aby bylo zaručené rovnoměrné jímání tepelné energie ze země. Dodržení správné hloubky uložení u kolektoru je podstatné z hlediska následného využití sluneční energie naakumulované do země, při větší hloubce uložení je teplo ze sluneční energie méně využíváno k ohřevu teplotního média v kolektoru a naopak při mělčím uložení potrubí je podíl tepelné energie ze slunečního záření větší, avšak v chladnějším období je potrubí ochlazováno od chladného povrchu půdy a zvýšení tepelné energie ze slunečního záření je zanedbatelné. U již zmíněného hlubšího uložení TČ může dojít k tzv. vyčerpání tepelné energie ze země, což se projeví ve snížení topného výkonu TČ. To může být hlavně problém u monovalentního zapojení TČ bez špičkového zdroje, který by snížení výkonnosti pokryl.

Tento problém se nemusí vždy projevit v krátkém časovém období, ale ke snižování výkonu TČ může docházet pozvolna v průběhu několika let a to hlavně u půd s nízkou tepelnou vodivostí.

Jako jedním z možných, dnes často používaným řešením „dobyty energie“ do půdy, je opačný chod TČ, kdy je teplo do půdy dodáváno na místo odběru. Interiorovému vzduchu je odebírána tepelná energie, vzduch je tedy ochlazován, a následně je tato získaná energie pomocí zemních výměníků přivedena a „uložena“ v půdě na dobu normálního provozu TČ. Tím se opět do půdy dostane energie, kterou v otopné sezoně čerpáme a sníží se tak riziko vyčerpání tepelné energie ze země a napomůže vyrovnání teplot půdy.

V některých zvláštních případech je také možné využít kolektory zabudované přímo v konstrukci vytápěného objektu, jako je například u tunelu Hadersdorf – Weidlingau.

Při výpočtech tepelných toků je také patrné že přesnější hodnoty není možné vypočítat, pouze je výše zmíněnými výpočty přibližně „odhadnout“ díky měnícím se podmínkám jako je vlhkost, oslunění, různé geologické složení půdy v různých částech pozemku apod. avšak pro potřeby navrhování a využití TČ tyto přibližné hodnoty postačují. Proto je při správném navrhování TČ důležité znát podmínky v dané oblasti, jako jsou např. složení půdy, průběhy teplot a pod., neboť při správných hodnotách pro danou oblast, není odchýlení od skutečnosti tak výrazné.

Dále je také patrné, že při navrhování TČ je velmi důležité šetrně k okolnímu prostředí navrhnout TČ, tak aby nedocházelo ke zbytečnému vyčerpávání tepelné energie z půdy a tím i

nadbytečnému zatěžování, díky čemuž, by mohla, a nejspíš v některých případech i je, znehodnocena a negativně ovlivněna flora v okolí TČ.

Při zanedbání ekologického dopadu TČ je také důležité, aby v okolí kolektoru nedocházelo k promrzání půdy, tedy aby teplota v okolí kolektoru nebyla pod teplotou 0°C. Ochlazení pod tuto hodnotu by narušovalo stabilitu půdy a v extrémních případech (hlavně byl by kolektor uložen pod budovou, nebo v blízkém okolí) by mohlo docházet k narušení stability budovy a tím i statiky domu, a to díky rozdílné objemové hmotnosti, která se při změně skupenství vody z kapaliny na pevné skupenství zvětšuje a tím dochází k narušení stability půdy. Dále také při zamrzání půdy v okolí kolektoru hrozí narušení potrubí výměníku v promrzlé půdě a tedy zkrácení doby životnosti a provozu TČ.

V některých případech je také možné instalovat tepelné kolektory přímo do stavební konstrukce v zemi která následně funguje jako jedna velká větev kolektoru. Tento princip se hlavně využívá u podzemních konstrukcí a konstrukcí v kterých je jinak nevyužitý nízkopotenciální zdroj tepla. Nejčastěji mezi tyto objekty patří tunely, stanice metra, jako např. tunel z Hadersdort – Weidlingau, popř. stanice metra Taborstrasse. Např u již zmiňovaného tunelu jsou mimo kolektorů přímo v konstrukci také použité geotextilní výměníky okolo skeletu části tunelu v blízkosti místa následného využití tohoto tepla. V případě tunelu mezi Hadersdort a Weidlingau je poté teplo využíváno k vytápění a předehřívání TV v místním školním zařízení, přičemž pro vytápění školního objektu není použito špičkového zdroje, tedy TČ pokrývá veškeré tepelné ztráty budovy. Velkou výhodou tohoto provedení je, že při lokálním čerpání energie v podstatě není možné vyčerpat tepelnou energii z půdy hlavně díky nízkopotenciálnímu zdroji tepla z provozu v tunelu.[21]

Porovnání horizontálního a vertikálního TČ je dle mého názoru velmi obtížné, i když jak uvádějí pánové G. Z. Perl'shtein S. A. Gulyi a A. A. Buisikh ve své publikaci [22] je horizontální výměník výkonnější. Dle mého názoru záleží vždy na konkrétní situaci a proto je toto srovnání nepřiliš přesné. Například budeme-li uvažovat, že se budova, u které bychom chtěli TČ instalovat, leží v oblasti s geotermálními prameny, by bylo možné, že i při menší hloubce vrtu by horizontální výměník nedosahoval takové tepelné výkonnosti, jako horizontální výměník při stejné délce potrubí výměníku.

Bohužel jednou z nevýhod horizontálních TČ je fakt, že v oblasti kolektoru není možné pěstovat dřeviny, které by mohly poškodit potrubí kolektoru, což pro řadu lidí může hrát také důležitý fakt při výběru TČ, hlavně u dnešních rodinných domů s menší rozlohou pozemku. V některých případech ani není možné se na pozemek vejít s výměníkem, a proto je nakonec použito jiného druhu TČ.

Avšak jsou zde i nesporné výhody při použití horizontálního tepelného výměníku. A to hlavně ve výši investic, které nejsou tak nákladné jako při hloubení geotermálního vrtu.

Např. návratnost horizontálního TČ se pohybuje mezi 5-8lety. Záleží opět na dané situaci. U domu se malou tepelnou izolací ušetříme na vytápění více než u domu s velkou schopností izolovat teplo v objektu. Pro dům, u kterého je špatná izolace, potřebujeme velké množství tepla a při použití např. pouze elektrické kotle můžeme počítat, co 1kW elektrické energie to přibližně 1kW tepelné energie. Kdežto u TČ z 1kW elektrické energie potřebné k provozu získáme díky nízkopotenciální energii z půdy 3-5kW tepelné energie. Avšak pořizovací investice vložené do TČ, kterým budeme vytápět špatně izolovaný objekt, jsou daleko vyšší než u objektu s dobrou izolací. U špatně izolovaného objektu je zapotřebí velkého výkonu, což znamená i větší jednotka s větším průtokovým množstvím teplonosné látky, větší výměníky tepla a pod.

## 5 Diskuse k výsledkům analýzy

Celková pozice pro využití obnovitelných zdrojů tepla pro naše podmínky, tedy v ČR, je značně nepříznivá, neboť pro splnění požadavků na poskytnutí dotace od státu jsou až příliš přísné normy které např. u požadavků na zateplení budovy požadují přílišné zateplení které se pro budovu a následné využití TČ. Pokud bychom nevyužili dotace poskytované státem a použili na zateplení izolaci s nižší schopností izolace tepla oproti požadované na dotaci, je návratnost mnohdy kratší než u požadované normy pro dotaci. Navíc většina nynějších potenciálních zájemců o TČ po domluvě a prostudování současných způsobů získávání tepla s ekonomickým efektem raději sáhne po použití slunečních kolektorů pomocí kterých vyrábějí elektrickou energii, kterou poté prodávají státu za 13,46 Kč/kWh a zároveň odebírají elektrickou energii za přibližně 2 - 4 Kč/kWh. Je tedy patrné, že na 1 kWh vyrobené slunečním kolektorem je možné vydělat přibližně 10 Kč a přitom ještě využít 1 kWh, například k vytápění budovy. [22]

Řekl bych, že do budoucna bude využití TČ spíše stagnovat díky již zmiňované sluneční energii, která je v současné době „ve výhodě“ a díky nastavení norem od Evropské Unie, která vyžaduje splnění kvót výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů do roku 2020, je patrné, že pokud stát dotuje jeden způsob šetrné energie, který jednak dobře funguje ale také pomáhá státu plnit dané kvóty, není důvod ke zvětšení nebo změně jiného způsobu výroby energie. Navíc neočekávám, že by po roce 2020 došlo k ústupu od výroby a podpory pro výrobu elektrické energie a tento balíček peněz by se přesunul k jinému financování ekologicky šetrné výroby elektrické nebo tepelné energie.

K jistému „bumu“ by mohlo dojít např. při nalezení nového způsobu lepšího jímání tepla z půdy, vylepšení konstrukce a umístění, popřípadě i nějakému druhu akumulace tepla, pomocí něhož by se v teplejších obdobích nabil takovýto zásobník a poté by v chladnějších obdobích toto naakumulované teplo bylo využito. Popřípadě využívat určité kombinace horizontálního a vertikálního TČ, například pomocí gelových vrtů, které by lépe vedly nízkopotenciální zdroj ve vertikálním směru a navazovali by na horizontální kolektor. Tak by bylo možné využít jednak geotermální energii během méně slunných dnů a zároveň využít naakumulované teplo ze slunečního záření.

Za další úvahu by stál i centralizovaný zdroj nízkopotenciální energie pro určitou oblast, avšak zde by bylo spíše využito hloubkových vrtů než rozměrných plošných kolektorů.

Další problém nastává s pořizovací cenou u doplňujících zařízení k TČ, kdy je zapotřebí nejen investice na TČ, ale i investice např. do elektrického kotle pro dohřev vody. Tedy možné řešení pro ekonomické zlepšení TČ by bylo vymyslet nový způsob pro dohřev vody, kdy by nebyla potřeba dokupovat další technické zařízení a vše by obstarávalo TČ za podobných nákladů jako v dnešní době obyčejné TČ. Tedy zvýšit teplotu teplotonosné látky po kompresy na hodnotu okolo 80 - 90 °C, aby po ohřátí vody nebylo zapotřebí následného dohřívání.

Další možností zlepšení TČ by mohlo spočívat v takzvaném „přelévání tepelné energie“. To by spočívalo ve využívání „nepotřebného“ tepla a pomocí TČ ho poté využít pro vytápění či ohřev v jiných částech budovy. Podobný princip již funguje u propojení budovy obsahující tepelné čerpadlo, vzduchotechnickou jednotku a bazén u tohoto objektu. V období, kdy je zapotřebí vytápět budovu, je teplo získáváno pomocí zemního výměníku a následně je s ním vytápěn objekt a v letních měsících je pomocí klimatizační jednotky odebíráno teplo z budovy, kterým se poté vytápí voda proudící v bazénu. Avšak u obytných a rodinných domů je možnost takového „přelévání“ omezena díky malému množství odpadního tepla. S vyšším využitím by takovýto způsob mohl fungovat v průmyslových budovách, kde je takového odpadního tepla velké množství a možností pro využití je zde více. Obecně je ve světě velké množství nevyužitého odpadního tepla, které by se dalo využít nejen za pomoci TČ, čímž by se v budoucnu velmi snížila produkce CO<sub>2</sub>, což by mělo za následek zpomalení globálního oteplování.

Avšak jakákoliv inovace by se nejspíš projevila na celkové pořizovací ceně TČ a proto je řešení a inovace použití TČ u menších obytných domů spíše otázkou správného ekonomického návrhu, než hledání nového způsobu či technologie jímání tepla ze země. Naopak u větších administrativních, průmyslových a podobných objektů je využití nových řešení a použití nových technologií pro TČ teprve na začátku své éry, také díky tomu že větší pořizovací cena se u velkého objektu neprojevuje tolik v celkových nákladech a dále je také možné pro větší budovy ušetřit daleko více energie a tedy i nákladu na vytápění či ohřev TV.



## 6 Závěr

V této bakalářské práci jsem se snažil zabývat problematikou horizontálních půdních kolektorů a to zejména na způsoby realizace, výpočet potřebné plochy pozemku pro kolektor a výpočty tepelných toků s vlivem na teplotu půdy během otopné sezony.

Tyto výpočty vycházeli hlavně z provozu u rodinných domů v různých lokalitách na světě. Jediný mi zatím známý výzkum v ČR zabývající se touto tematikou probíhá souběžně s vypracováním této bakalářské práce a proto není použito žádných výsledků a závěrů z této práce, což by bylo zajisté zajímavé z hlediska promítnutí místního podnebí do průběhů teplot při provozu TČ a následných výsledků z hlediska ustálení teploty v půdě okolo kolektoru. Proto jsem většinu výše uvedených faktů přebíral ze zahraniční literatury kde podnebí mohlo být velice odlišné a proto není možné uvádět jakýkoli závěr, zabývající se velikostí ustálených teplot v okolí kolektoru, použitelný pro ČR.

## 7 Použitá literatura

- [1] – Čížek P. - Zemní tepelné výměníky tepelných čerpadel se neobejdou bez podzemní vody
- [2] – Brož K. – Internet - Článek TZBinfo 10.11.2006
- [3] – Petrák J. – Internet - Článek TZBinfo 2.1.2004
- [4] – Slováček J - Internet – Asociace pro využití tepelných čerpadel ČR
- [5] - Jiříček I. – Rábl V. AZE 04/2005 – Internet – Geotermální energie
- [6] - CENTRUM EXPERIMENTÁLNÍ GEOTECHNIKY (<http://ceg.fsv.cvut.cz>)
- [7] - Čížek P. - A až Zet – Předneseno na XII. národním hydrogeologickém kongresu v Českých Budějovicích 19. - 22. září 2005
- [8] - Perl'shtein G. Z., Gulyi S. A., and Buisikh A. A. - Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.37, No.3, 2000 - USE OF HEAT PUMPS TO IMPROVE THE BEARING CAPACITY OF FROZEN SOILS
- [9] - Směrnice Ministerstva životního prostředí o poskytování finančních prostředků ze Státního fondu životního prostředí ČR
- [10] - Jiříček I.- Rábl V. AZE 04/2005 – GEOTERMÁLNÍ ENERGIE
- [11] - Internet - Zemní plošný kolektor a jeho instalace - <http://www.gerotop.cz/cz/home/zemni-plosny-kolektor>
- [12] - Internet - Zásady navrhování primární strany pro tepelná čerpadla - <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3166&h=2&th=56>
- [13] - Statistika tepelných čerpadel – Ministerstvo průmyslu a obchodu - září 2005
- [14] - *Tepelná čerpadla v roce 2007*, Výsledky statistického zjišťování - Ministerstvo průmyslu a obchodu - srpen 2008
- [15] – Trs M. – Zásady navrhování primární strany pro tepelná čerpadla země – vzduch - <http://www.tabulky.sk/PDF/k051str483%20Zasady.pdf>
- [16] - Badescu V. - Simple and accurate model for the ground heat exchanger of a passive house - Available online 27 April 2006
- [17] – Florides G., Kalogirou S. - Zemní výměníky tepla – Zhodnocení systémů, modelů a aplikací - *Vyšší technický institut, P.O. Box 20423, Nicosia 2152, Kypr*
- [18] – Petráš D. a kol. 2008 – Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie – Jaga group s.r.o.

[19]–Internet–Zemní kolektory -

<http://tzb.fsv.cvut.cz/?page=podklady/vyt/tepcerp/index&TZB=f120392ecof>

[20] – Internet – [http://www.pbhz.cz/praxe/met\\_con/teplota\\_pudy.htm](http://www.pbhz.cz/praxe/met_con/teplota_pudy.htm)

[21] – Brandl, H. (2006) – Géotechnique 56, No. 2, 81-122

[22] – Internet - Fotovoltaika versus fototermika: elektřina ze Slunce nebo teplá voda? -

<http://www.ekoblog.cz/?q=node/440>

## 8 Seznam obrázků

- Obr.1 Oběh tepelného čerpadla [vlastní obrázek]
- Obr. 2 Možnosti zapojení vertikálních kolektorů [18]
- Obr. 4 Možnosti zapojení horizontálních kolektorů [18]
- Obr. 5 Možnosti uložení kolektoru ve výkopu [18]
- Obr. 6 Obrázky popisující možné uložení zemních kolektorů z půdorysného pohledu [11]
- Obr. 7 Provádění výkopu běžným způsobem [11]
- Obr. 8 Uložení kolektoru v zemi s pískovým obsypem [11]
- Obr. 9 Uložení kolektoru v zemi bez pískového obsypu [11]
- Obr.10 Rýhovač a vzniklá rýha pro uložení potrubí. [11]
- Obr.11 Stavebnicový rozdělovač [15]
- Obr.12 Závislost tepelné charakteristiky na vlhkosti zeminy [1]
- Obr.13 dosah teplotního ovlivnění žuly [1]
- Obr. 14 Nákres zkoumané oblasti [22]
- Obr.15 Průběh teplot v okolí kolektoru [22]
- Obr.16 Tepelný výkon v závislosti na měsíci v roce [22]
- Obr.17 Závislosti relativního zisku tepla  $Q_{rel}$  na šířce výparníku  $c$  [22]
- Obr.18 Graf závislosti relativního zvýšení tepelného zisku na tepelném odporu vnější izolace [22]
- Obr.19 Zobrazení tepelného výměníku a jeho uložení [16]

## 9 Seznam tabulek

- Tab.1 Podmínky pro výpočet průměrných provozních topných faktorů [14]
- Tab.2 Dodávka tepelných čerpadel na trh podle typu [14]
- Tab. 3 Instalovaná tepelná čerpadla [14]
- Tab. 4 Instalace tepelných čerpadel v domácnostech [14]
- Tab. 5 Přehled označení a jednotky dalších veličin [1]
- Tab. 6 Součinitele tepelné vodivosti [1]
- Tab. 7 Pórovitost některých hornin [1]
- Tab. 8 Pórovitost zemin [1]