

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Technická fakulta



**Půdní kolektor jako zdroj tepla pro tepelné  
čerpadlo**

diplomová práce

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

Autor práce: **Bc. Michaela Šed'ová**

Praha 2009

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

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant: **Bc. Michaela Šeďová**

Studijní obor: Technologická zařízení staveb

Studijní zaměření:

Název práce: Půdní kolektor jako zdroj tepla pro tepelné čerpadlo

### Zásady pro vypracování:

Cíl práce:

Analýza problému, návrh horizontálního půdního kolektoru, provozní ověření, specifikace vlivů odběru tepla na změny teploty půdy, vyhodnocení výsledků.

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. Výchozí podmínky, postupy a metody řešení.
4. Návrh řešení a dosažené výsledky.
5. Diskuse a závěr.

Metodika práce:

- zpracování literární rešerše, analýza poznatků,
- charakteristika současného stavu řešení,
- návrh řešení,
- měření a vyhodnocení vybraných parametrů,
- teoretický rozbor prvku souvisejícího s návrhem,
- posouzení navrženého řešení.

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 diplomové práce: prof. Ing. Radomír Adamovský, DrSc.

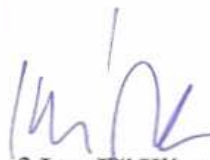
Datum zadání diplomové práce: 30.11.2007

Termín odevzdání diplomové 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 diplomovou práci na téma „Půdní kolektor jako zdroj tepla pro tepelné čerpadlo“ vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které jsou uvedeny v seznamu literatury.

V Dobronicích u Chýnova dne 24. dubna 2009

.....

## **Poděkování**

V první řadě bych chtěla poděkovat rodině Poulových a firmě Therimex s.r.o. za poskytnutí místa měření. Dále bych ráda poděkovala panu prof. Ing. Radomíru Adamovskému, DrSc. za odborné vedení při zpracování mé diplomové práce a za odborné informace. Také bych chtěla poděkovat panu Ing. Pavlu Neubergerovi, Ph.D. a Ing. Luboši Sedláčkovi za technickou podporu při měření. Poděkování patří také Bc. Michaelu Málkovi za jazykovou korekci cizojazyčných článků. V neposlední řadě si zaslouží dík za podporu i má rodina a přátelé.

## **Abstrakt**

Tato práce popisuje půdní kolektor, jakožto zdroj tepla pro tepelné čerpadlo. Analyzuje jeho vliv na teplotu půdy v různých hloubkách a vzdálenostech při odběru tepelné energie v průběhu celého roku. První část zahrnuje základní informace o tepelných čerpadlech (typy, jak fungují, možnosti jejich zapojení atd.), rozdělení půdních výměníků tepla, jejich speciální použití, vlastnosti půdy a také je zde zmínka o geotermální energii ve vztahu k životnímu prostředí. V další kapitole už je popsáno vlastní měření. Jsou charakterizovány měřicí přístroje, které byly použity, základní údaje o objektu a o půdě, ve které je výměník uložen. V poslední části jsou vypsány základní vztahy, používající se při navrhování délky horizontálního kolektoru, a znázorněny vlivy kolektoru na teplotu půdního masivu.

## **Klíčová slova**

tepelné čerpadlo, horizontální výměník tepla, tepelná energie půdního masivu, tepelné charakteristiky půdy

## **Summary**

This work is describing a ground collector as a heat source for a heat pump. It is analyzing its influence on temperature of a ground in different depths and distances while extracting a heat energy throughout the year. First part includes a basic informations about heat exchangers (types, how they work, possibilities of their connections and so on), allocation of a ground heat exchangers, their special utilization, ground properties and also a mention about a geothermal energy in relation to environment. In a next chapter the respective measurement is featured. Gauges that were used are described, basic data about a location and a ground where collector is used are presented. In a last part there are featured basic relations used for a project of a horizontal collector length and also collector's influence on ground mass temperature is presented.

## **Keywords**

Heat pump, horizontal heat exchanger, heat energy of a ground mass, ground heat characteristic

# Obsah

1. Úvod.....	1
2. Charakteristika současného stavu řešení problematiky po stránce realizace a výzkumu v ČR i zahraničí.....	2
2.1 Tepelná čerpadla .....	2
2.1.1 Způsoby odebrání energie.....	2
2.1.2 Princip tepelného čerpadla.....	4
2.1.3 Pracovní způsoby tepelného čerpadla.....	5
2.1.4 Typy tepelných čerpadel.....	7
2.1.5 Ekologické vlastnosti tepelných čerpadel.....	8
2.1.6 Účinnost tepelného čerpadla.....	9
2.2 Vertikální a horizontální zemní výměníky .....	10
2.2.1 Vertikální tepelné výměníky.....	10
2.2.2 Horizontální zemní výměníky .....	12
2.3 Tepelné vlastnosti půdy .....	14
2.3.1 Sluneční záření.....	15
2.3.2 Tepelná vodivost.....	16
2.3.3 Tepelná kapacita .....	18
2.3.4 Teplotní vodivost.....	19
2.3.5 Tepelný tok .....	19
2.3.6 Změny půdních vlastností způsobené teplotou.....	20
2.4 Geotermální energie.....	22
2.4.1 Geotermální potenciál světa.....	22
2.4.2 Speciální aplikace využití geotermální energie v zahraničí.....	23
2.4.3 Geotermální potenciál České republiky.....	25
2.4.4 Geotermální energie ve vztahu k životnímu prostředí.....	26
3. Výchozí podmínky, postupy a metody měření .....	27
3.1 Popis objektu.....	27
3.2 Měřicí přístroje .....	28
4. Návrh řešení, dosažené výsledky a diskuze.....	40
4.1 Návrh řešení.....	40
4.2 Výsledky a diskuze .....	41
5. Závěr .....	47
6. Literatura.....	48
7. Seznam obrázků.....	49
8. Seznam tabulek .....	50





# 1. Úvod

Tepelná čerpadla mají více než stoletou tradici. V zahraničí se prosazují již řadu let a dosáhla dobré technické úrovně i významného rozšíření. Posledních několik let se značně využívají i v České republice.

Jsou významným příspěvkem k řešení současných, ale zejména budoucích energetických problémů. Patří k zařízením, která dokáží efektivně využívat i druhotného tepla. Tyto systémy jsou schopny převádět teplo z prostředí s nižší teplotou do prostředí s vyšší teplotou, tj. proti směru proudění. Tím umožňují využívat nízkoteplotní energii k mnoha účelům. Tepelná čerpadla odebírají teplo ze země, vody, vzduchu, odpadních vod a dovedou využít i technické odpadní teplo.

Tepelné čerpadlo je vyrobeno z ušlechtilých materiálů (nerez a mědi) a lze u něj spočítat návratnost počátečních investic. Pracuje velmi úsporně, efektivně a tiše. Jako jeden z mála systémů ke svému provozu nepotřebuje žádné palivo. Jedinou nutnou energií je elektrický proud. Ten je nezbytný k pohonu kompresoru a „převratné pumpy“. Elektrickým proudem se však netopí.

Značnou výhodou je také možnost získání dotací na realizaci a provoz těchto zařízení.

Systémy slouží převážně k vytápění obytných prostor, ale nacházejí uplatnění i v agropotravinářském komplexu.

Cílem práce bylo analyzovat změny teplot a jejich rozdělení v zemním masivu v oblasti horizontálního tepelného výměníku a porovnat teploty masivu v blízkosti kolektoru a na referenčním pozemku.

## **2. Charakteristika současného stavu řešení problematiky po stránce realizace a výzkumu v ČR i zahraničí**

### **2.1 Tepelná čerpadla**

#### **2.1.1 Způsoby odebírání energie**

Díky způsobu odebírání energie svému okolí, rozlišujeme dva základní systémy. Je to systém otevřený, založený na průtoku zdrojové vody výměníkem tepelného čerpadla, a systém uzavřený, jenž je založen na cirkulaci nosného media mezi kolektorovým výměníkem (uloženým například v zemi) a výměníkem tepelného čerpadla.[1]

##### **2.1.1.1 Otevřený systém**

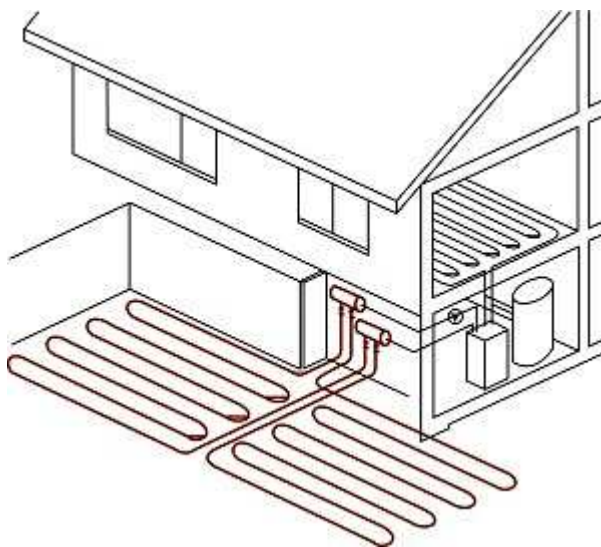
Tento systém využívá hlavně podzemní vodu, která je dobrým zásobníkem nízkopotencionálního tepla a i za nejchladnějších zimních dní udržuje konstantní teplotu. Stálost teploty tepelného zdroje zajišťuje, že výkon tepelného čerpadla je výhodný.

Využití tepla jako primárního zdroje je ovlivněno konkrétními podmínkami místa instalace. Zpravidla je zdrojová voda ponorným čerpadlem čerpána do výměníků, ochlazená a vrácena do vratného vrtu nebo do jiných vhodných míst, která jsou k dispozici. Podmínkou aplikace je vydatnost vodního zdroje (minimální průtok  $5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ ) a chemická analýza použité vody.[1]

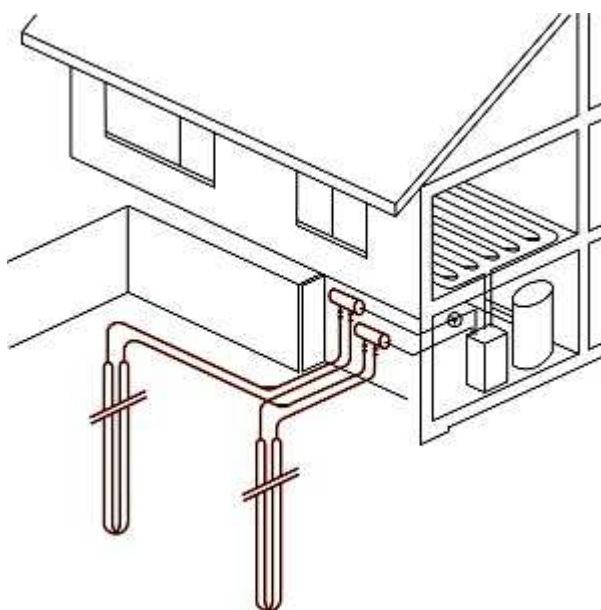
##### **2.1.1.2 Uzavřený systém**

V uzavřených systémech je kolektorový výměník uložen horizontálním (viz obr. 1) nebo vertikálním (viz obr. 2) způsobem. Teplonosné médium cirkuluje ve výměníku tepla a teplo přenáší z půdy do tepelného čerpadla a naopak.[2]

**Obr. 1** Znáznornění provedení zemního plošného kolektoru [3]



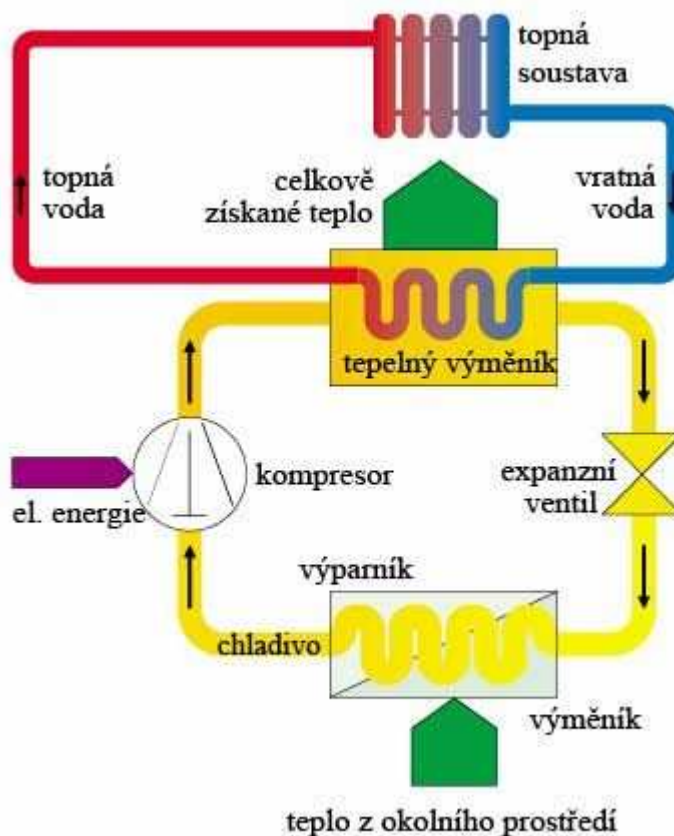
**Obr. 2** Znáznornění provedení geotermální vertikální sondy [3]



## 2.1.2 Princip tepelného čerpadla

Kompresor nasává chladicí plyn, který se tvoří ve výparníku, stlačuje ho a tlačí ho dále k tepelnému výměníku (zkapalňovači), kde je ochlazen tekoucí vodou tepelného systému a kde přechází z plynného systému do systému kapalného (obr. 3). Kapalina je ze zkapalňovače vedena přes expanzní ventil zpět do odpařovače (výparníku). V odpařovači přebírá chladicí prostředek teplo z okruhu, který prostřednictvím rotačního čerpadla cirkuluje mezi zdrojem tepla a odpařovačem. Ve výparníku se opět stává plynem. Tepelné čerpadlo zachycuje tímto způsobem uchovanou energii zdroje tepla a předává ji v odpařovači. Stlačením v kompresoru je největší díl přivedeného topného efektu předán plynu ve formě tepla. Ve zkapalňovači je teplo podle potřeby topného faktoru předáno k topení nebo zásobníku teplé vody.[1]

Obr. 3 Princip tepelného čerpadla [4]



Tepelné čerpadlo je částečně řízeno zabudovaným mikroprocesorem s čidly pro vnější teplotu, teplotu chodu vpřed, teplotu zpětného chodu, a částečně regulačním manometrem (tlakostatem).

Mikroprocesor řídí tepelné čerpadlo a přídatné teplo optimálně podle vnější teploty v závislosti na nastavené teplotní křivce (spotřeba tepla) a spotřebě teplé vody, aby kondenzační tlak nestoupl výše, než je třeba k udržení určité teploty chodu vpřed a teploty teplé vody.

Bezpečnostní vybavení se skládá z vysokotlakého a nízkotlakého snímače s manuálním znovuzapojením, který zabrání provozu kompresoru s příliš vysokým kondenzačním tlakem nebo s příliš nízkým odpařovacím tlakem. Dále je zde regulátor teploty, jenž přeruší provoz elektrického topení, přesáhne-li teplota vnější stěny 98 °C, a ochrana motoru kompresoru, která zastaví provoz, pokud dodávka proudu přestoupí jmenovitý proud.[1]

### ***2.1.3 Pracovní způsoby tepelného čerpadla***

#### ***2.1.3.1 Monovalentní provoz***

Monovalentní provoz znamená, že tepelné čerpadlo je v objektu jediným vytápěcím zařízením. Tento způsob je vhodný pro nízkoteplotní vytápění s teplotou topné vody maximálně 60 °C. Aby tepelné čerpadlo hradilo celou potřebu tepla, tj. krylo tepelné ztráty objektu i při nejnižších teplotách (cca -15 až -20 °C), je zapotřebí výrazně zvýšit výkon a to i o více než 50 % oproti bivalentnímu provozu. Se zvýšením výkonu je zároveň zvýšen výkon zdroje nízkopotencionálního tepla (NPT), zejména v částech tepelného čerpadla, které odběr NPT zajišťují (např. u tepelného čerpadla typu země – voda je to zvětšení kolektoru; u typu voda – voda zvětšení vydatnosti zdroje). Nejnižší venkovní teploty trvají jen krátkou část otopného období. Pokud by se tepelné čerpadlo dimenzovalo na celý potřebný výpočtový topný výkon, bylo by zbytečně velké a nákladné. Převážnou část otopného období se potřebuje topný výkon menší, než je výpočtový.[5]

#### ***2.1.3.2 Bivalentní zapojení***

Bivalentní zapojení je zapojení, kdy samotné tepelné čerpadlo hradí potřebu tepla jen do určité vnější teploty (cca -5 °C), tzn. teploty bilance, a pod touto teplotou spolupracuje s druhým (doplňkovým) zdrojem (např. elektrokotlem). Doplnkový zdroj

pracuje většinou souběžně (paralelně) s tepelným čerpadlem, někdy ale i samostatně (alternativně).[5]

➤ **Alternativně bivalentní provoz**

Tepelné čerpadlo pokrývá potřebu tepla až do určité, předem stanovené, teploty venkovního vzduchu (např. 0 °C). Poklesne-li teplota pod tuto hodnotu, tepelné čerpadlo se vypne a produkci tepla přebírá další tepelný zdroj.

Tento způsob je možný u všech vytápěcích systémů pracujících s teplotou topné vody maximálně do 90 °C.[5]

➤ **Paralelně bivalentní provoz**

Až do určité venkovní teploty produkuje potřebné teplo tepelné čerpadlo samo. Při nízkých teplotách se připojí druhý tepelný zdroj. Tento způsob je vhodný pro podlahové či stěnové vytápění a pro vytápění pomocí radiátorů do teplot topné vody maximálně 60 °C.

Tepelné čerpadlo dimenzujeme na 60-70 % výpočtového topného výkonu a kryje více než 90 % potřeby tepla (doplňkový zdroj tedy méně než 10 %).

Tepelná ztráta objektu je charakterizována rozdílem vnitřní a venkovní teploty. Topný výkon tepelného čerpadla je určen teplotou primárního a sekundárního média. Pokles topného výkonu s poklesem venkovní teploty se projevuje u systému vzduch-voda, méně znatelná změna topného výkonu je při použití hlubinného vrtu nebo spodní vody v systémech země-voda nebo voda – voda.[5]

## 2.1.4 Typy tepelných čerpadel

### **Voda – voda (voda – vzduch)**

Používá se tam, kde je k dispozici buď povrchová, nebo spodní voda. Zvláště spodní voda pro své příznivě stabilní konstantní teploty a malou závislost na venkovní teplotě je pro tepelná čerpadla vhodná. Teplo ze studniční vody se používá, má-li voda vhodné složení, je-li dostatečně čistá a má celoročně potřebnou teplotu (minimálně 8 až 10 °C). Voda se přečerpává ze sací do vsakovací studny přes tepelné čerpadlo trvale 2 až 3 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>. [5]

Ochlazená voda se nesmí vracet ani zpět do studny (studna by se „vychladila“) ani do kanalizace (voda by se „znehodnotila“ na povrchovou). Vrací se tudíž do studny vsakovací, která musí být dostatečně vzdálená od studny sací (odběrové). Minimální vzdálenost mezi nimi je 10 m. [1]

### **Země – voda (země – vzduch)**

Využívá zemské (geotermální) teplo, které je odebíráno plastovými trubkami, jejichž uložení může být:

- ❖ *ve vrtech* – hloubka vrtu závisí na požadovaném tepelném výkonu tepelného čerpadla, a pokud nestačí jeden vrt, tak vzdálenost mezi nimi musí být minimálně 5 m,
- ❖ *plošné* – zakopány do rýh na ploše, která je alespoň dvojnásobkem vytápěné plochy. [1]

### **Vzduch – vzduch (vzduch – voda)**

Tento typ odebírá tepelnou energii venkovnímu vzduchu a vyhřívají vnitřní prostory. Systém vzduch – voda umožňuje další dvě varianty řešení:

- ❖ *kompaktní tepelné čerpadlo vnitřního provedení* – vzduch se k tepelnému čerpadlu přivádí přes stěnu hlukově a tepelně izolovanými hadicemi; vstupy do objektu určené pro nasávání a vyfukování vzduchu jsou opatřeny z vnější strany žaluziemi,
- ❖ *tepelné čerpadlo pro venkovní instalaci* – tepelné čerpadlo je umístěno mimo vytápěný objekt; uvnitř objektu je jen akumulční zásobník topné vody, řídicí jednotka a hydraulické příslušenství. [5]

### 2.1.5 Ekologické vlastnosti tepelných čerpadel

Svou činností se tepelné čerpadlo chová ke svému okolí jako ekologicky šetrné zařízení. Paradoxem ale je, že ve skutečnosti samo o sobě ekologické být nemusí. O tom rozhoduje hlavně látka (chladiivo), se kterým pracuje. Některá chladiva se při svém úniku (jež nemůžeme nikdy zcela vyloučit) podílejí na narušování ozónové vrstvy Země a tvorbě vrstvy vytvářející skleníkový efekt. Mezi tyto látky patří stále používané R22.

Obecně můžeme chladiva rozdělit do dvou skupin:

- *přechodná a servisní chladiva* – jsou zatím povolena, ale postupně ubývají
  - ❖ do roku 2010 – R22, R124, R124b a jejich směs
  - ❖ středně a dlouhodobá – R134a, R125, R143
- *ekologicky neškodná chladiva* – R717

Kritéria, která by měla chladiva splňovat:

- mělo by být nehořlavé a nejedovaté,
- nemá negativně působit na životní prostředí,
- výparné teplo chladiva by mělo být co největší,
- v kapalně fázi má mít malou tepelnou kapacitu, aby se ochladilo z teploty kondenzace na teplotu vypařování,
- součinitel tepelné vodivosti má být vysoký, aby docházelo k intenzivnímu sdílení tepla,
- viskozita by měla být co nejvyšší, aby byly co nejmenší ztráty,
- nemá negativně ovlivňovat mazací oleje, respektive ve styku s mazacími oleji nemá měnit své vlastnosti,
- nemá působit korozivně na materiály a mělo by být chemicky stabilní vůči konstrukčnímu materiálu,
- má být snadno indikovatelné,
- má umožnit snadné odloučení vzduchu tzn., že má být těžší než vzduch.



### ***2.1.6 Efekt tepelného čerpadla***

Efektem tepelného čerpadla je tzv. topný faktor. Ten udává poměr mezi celkovým výdejem tepla, který ze systému během pracovního cyklu získáme (tepelného výkonu), a prací vloženou do procesu (elektrického příkonu potřebného k provozu tepelného čerpadla). Efekt obecně závisí na rozdílu teplot, jenž překonává a to tak, že s rostoucím rozdílem teplot klesá. Čím nižší teplotu má prostředí, z něhož se teplo odebírá, a čím vyšší je požadovaná teplota, na niž musí čerpadlo ohřívat topné médium, tím je nižší. Překonávaný rozdíl teplot je dán teplotami na výparníku a na kondenzátoru tepelného čerpadla, které musí být takové, aby byl dosažen dostatečný teplotní spád, nutný k efektivnímu přestupu tepla na teplosměnných plochách obou výměníků. Jednodušeji řečeno, teplota chladiva ve výparníku musí být nižší než teplota zdroje a teplota v kondenzátoru zároveň vyšší než teplota topného média. Maximální hodnota topného média bývá v rozmezí 50 až 55 °C. Tento rozsah je limitující z pevnostního hlediska, protože teplotě média odpovídá tlak chladiva v okruhu, který nesmí přestoupit hodnotu, na niž je dimenzován, ale i z hlediska energického právě kvůli poklesu topného faktoru.[1]

## **2.2 Vertikální a horizontální zemní výměníky**

### **2.2.1 Vertikální tepelné výměníky**

Vertikální zemní výměníky využívají tzv. vnitřního výkonu Země pomocí polyetylenových trubek ve tvaru U, ve kterých proudí teplotonosná látka. Prostor v díře okolo trubky je vyplněn vhodným materiálem (bentonit, písek, vyvrtaný materiál – rozemletá skála) pro zajištění dobrého kontaktu mezi trubkou a půdním prostředím a pro snížení tepelného odporu. Vrty se používají, pokud je potřeba instalovat dostatečnou kapacitu výměny tepla do omezeného prostoru pozemku.[2] Obvykle se pohybují od 50 do 120 m. Je – li zapotřebí větší hloubky, navrhuje se zpravidla vrtů více.[1]

#### **2.2.1.1 Povolování vrtů**

Jelikož při vybudování vrtu může docházet ke změnám v půdním masivu (např. ke ztrátě podzemní vody, ale i k porušení inženýrských sítí, musí se při realizaci tohoto díla získat rozhodnutí vydané příslušným stavebním úřadem. Protože jsou zdroje geotermální energie různé, rozlišují se podle typů a způsobu využívání i právní kvalifikace na čtyři případy :

- Geotermální energie je vázaná na podzemní termální vodu (20 °C a více), jejíž zdroj byl podle lázeňského zákona označen jako přírodní léčivý zdroj. Povolování tedy spadá pod lázeňský zákon. Realizaci vrtu a využívání termální energie přírodního léčivého zdroje povoluje Ministerstvo zdravotnictví.
- Geotermální energie je vázaná na podzemní vody, které nejsou přírodním léčivým zdrojem. Přitom nezávisí na teplotě vody. Vrty čerpající takovou vodu k využití její tepelné energie jsou vodním dílem. Nezáleží na tom, zda je teplo získáváno průmyslovým způsobem. Povolování spadá pod zákon o vodách a postup je stejný jako u povolování studny.
- Geotermální energie není vázaná na zdroj podzemní vody („suché“ teplo z hornin). Teplo přenáší technologické médium cirkulující v umělém uzavřeném oběhu přes tepelné čerpadlo. Jestliže se zdroj nevyužívá průmyslovým způsobem, jsou vrty

stavbou nebo jejím příslušenstvím. Povolování pak spadá pod stavební zákon a jeho realizace je povolována jako součást stavby a jejího příslušenství ve stavebním řízení, které je vedeno příslušným stavebním úřadem.

- Geotermální energie není vázaná na zdroj podzemní vody a využívá se průmyslovým způsobem. Tyto vrty jsou zvláštním zásahem do zemské kůry a povolování spadá pod zákon o hornické činnosti.[6]

Rozpoznat, jestli se jedná o teplo vázané na podzemní vodu, nebo jestli jde o „suché“ teplo, bývá častým problémem. Je vždy nutné vyjít z definic uvedených v § 2 zákona 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). V § 2 je psáno následující:

(1) Povrchovými vodami jsou vody přirozeně se vyskytující na zemském povrchu. Tento charakter neztrácejí, protékají – li přechodně zakrytými úseky, přirozenými dutinami pod zemským povrchem nebo v nadzemních vedeních.

(2) Podzemními vodami jsou vody přirozeně se vyskytující pod zemským povrchem v pásmu nasycení v přímém styku s horninami. Za podzemní vody se považují též vody protékající drenážními systémy a vody ve studních.

(3) Vodním útvarem je vymezené významné soustředění povrchových nebo podzemních vod v určitém prostředí charakterizované společnou formou jejich výskytu nebo společnými vlastnostmi vod a znaky hydrologického režimu. Vodní útvary se člení na útvary povrchových vod a útvary podzemních vod.

(4) Útvar povrchové vody je vymezené soustředění povrchové vody v určitém prostředí, například v jezeru, ve vodní nádrži, v korytě vodního toku.

(5) Silně ovlivněný vodní útvar je útvar povrchové vody, který má v důsledku lidské činnosti podstatně změněný charakter.

(6) Umělý vodní útvar je vodní útvar povrchové vody vytvořený lidskou činností.

(7) Útvar podzemní vody je vymezené soustředění podzemní vody v příslušném kolektoru nebo kolektorech. Kolektorem se rozumí horninová vrstva nebo souvrství hornin s dostatečnou propustností, umožňující významnou spojitou akumulaci podzemní vody nebo její proudění či odběr.

(8) Vodním zdrojem jsou povrchové nebo podzemní vody, které jsou využívány nebo které mohou být využívány pro uspokojení potřeb člověka, zejména pro pitné účely.

(9) Nakládáním s povrchovými nebo podzemními vodami a jejich vzdouvání pomocí vodních děl, využívání jejich energetického potenciálu, jejich využívání k plavbě nebo k plavení dřeva, k chovu ryb nebo vodní drůbeže, jejich odběr, vypouštění odpadních vod do nich a další způsoby, jimiž lze využívat jejich vlastnosti nebo ovlivňovat jejich množství, průtok, výskyt nebo jakost.

(10) Povodí je území, ze kterého veškerý povrchový odtok odtéká sítí vodních toků k určitému místu vodního toku (obvykle soutok s jiným vodním tokem nebo vyústění vodního toku do jiného vodního útvaru). Povodí je ohraničeno rozvodnicí, kterou je myšlená hranice geomorfologického rozhraní mezi sousedními povodími. Plocha povodí zahrnuje také plochy povrchových vodních útvarů v povodí.

(11) Hydrogeologický rajon je území s obdobnými hydrogeologickými poměry, typem zvodnění a oběhem podzemní vody.[7]

## 2.2.2 Horizontální zemní výměníky

Horizontální tepelné výměníky využívají hlavně energii akumulovanou v důsledku dopadajícího slunečního záření.[8] Tuto energii využívají pomocí polyetylenových trubek průměru 35 až 50 mm. Hloubka uložení plošného kolektoru se může pohybovat mezi 0,5 až 3 m. Nejčastěji se však pohybuje kolem 1m. Rozteč trubek bývá od 0,5 do 1,8 m a proudí v nich teplotně stabilní médium. Tím je, stejně jako u vertikálního řešení, obvykle směs etylenglykolu a vody. U obou systémů je potřeba elektrické energie pro oběh nemrznoucí směsi malá. Výhodou těchto kolektorů, oproti vrtům, jsou méně nákladné technické práce a snadné uložení do připravených rýh. Nevýhodou je však velká potřebná plocha. Běžně bývá 2,5násobkem plochy vytápěné.[1] Lze ji ale také spočítat podle následující rovnice [8]:

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

kde je  $\Phi_0$  – potřeba nízkopotenciálního tepla [W]

$k_b$  – součinitel charakterizující bivalentní provoz [-]

$k_b = 0,3$  až  $0,5$

$q_z$  – tepelný tok ze země [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ]

$q_z = 6$  až  $10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  u masivní, kamenité půdy,

$q_z = 20 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  u suché písčité půdy,

$q_z = 25 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  u vlhké písčité půdy,

$q_z = 30 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  u suché hlinité půdy,

$q_z = 35 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  u vlhké hlinité půdy,

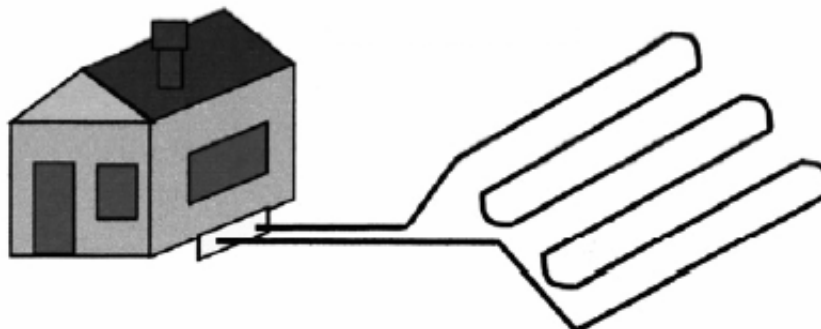
$q_z = 40 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  u půdy s přítomností spodní vody.

Z tohoto vztahu můžeme usuzovat, že vlhké půdy s větším obsahem jílových částic jsou pro plošný kolektor vhodnější než půdy suché.

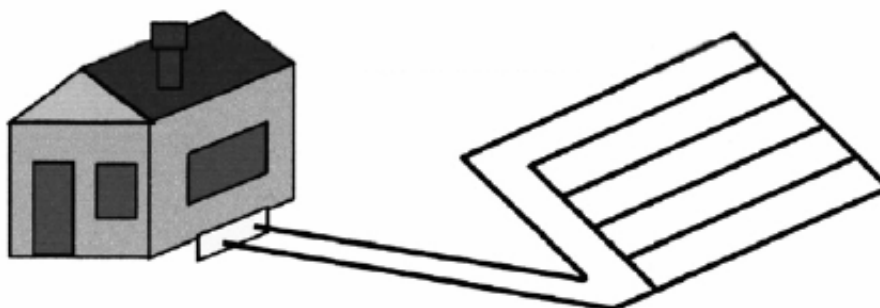
### 2.2.2.1 Uložení plošného kolektoru

Spojení trubek půdního kolektoru může být provedeno do série (obr. 4), nebo paralelně (obr. 5).

*Obr. 4 Sériové spojení [2]*

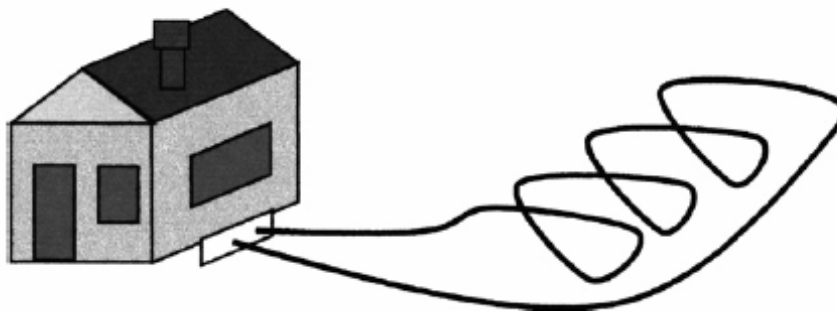


*Obr. 5 Paralelní spojení [2]*



V USA byly vyvinuty speciální zemní výměníky tepla pro tepelné čerpadlo, ve kterých je trubka zavinuta do kruhové smyčky (obr. 6).[2]

*Obr. 6 Zemní výměník tepla s kruhovou smyčkou [2]*



### 2.3 Tepelné vlastnosti půdy

Půda je složitý systém s komplexními mechanismy přenosu tepla zahrnujících kondukcii, radiaci, konvekci, odpařovací a kondenzační procesy, iontovou výměnu a procesy mrznutí a tání. Přenos tepla v nezmrzlé půdě se uskutečňuje především kondukcí a druhotně i konvekcí. Radiací se děje jen minimálně.[9]

Teplotní profil půdního masivu ovlivňují především okolní klimatické podmínky a musí být při projektování zemního výměníku tepla uvažovány. Rozdělení teploty půdy je ovlivněno její strukturou, chemicko – minerálním a mechanickým složením, pokrývkou povrchu půdy, klimatickými interakcemi, které jsou určeny teplotou a vlhkostí vzduchu, tlakem, větrem, slunečním zářením, množstvím srážek. Mezi další faktory patří například i měrná hmotnost, stupeň hydrofilnosti, pórovitost půdy atd. Teplota se se vzrůstající hloubkou zvětšuje přibližně o 30 °C na 1 km. Geotermální odchylky od průměrné hodnoty jsou potom závislé na druhu horniny, která je v dané sekci.[2]

Ve většině oblastí Evropy zůstávají sezónní teploty půdy poměrně konstantní v hloubce 10 až 15 m. Hodnoty mezi 10 a 15 °C mají převahu do hloubek 50 m. Takové teploty umožňují ekonomické vytápění a chlazení za pomoci tepelně aktivních půdních objektů a reprezentují ideální podmínky pro tepelná čerpadla. V oblasti tropů, v hloubce větší než 10 až 15 m, se konstantní teplota pohybuje mezi 20 a 25 °C, lokálně i 28 °C. Tyto teploty stále ještě umožňují chlazení budov.[9]

Z pohledu rozdělení teplot se dají rozlišit tři půdní oblasti:

- *Povrchová oblast* dosahující hloubky přibližně 1 m, ve které je teplota půdy velmi citlivá na krátkodobé změny vnějších podmínek.
- *Mělká oblast* sahající od 1 do 8 m u suchých a lehkých půd, nebo až 20 m u půd vlhkých, kdy je teplota téměř konstantní a blíží se roční teplotě vzduchu. V této oblasti závisí rozdělení teploty půdy hlavně na sezónním cyklu okolních podmínek.
- *Hluboká oblast* (od 8 popř. 20 m) je oblast, kde je teplota prakticky konstantní a vzhledem ke geotermálnímu gradientu se zvyšuje s rostoucí hloubkou velmi pozvolna.[2]

Mezi parametry, které jsou závislé na teplotě půdy, patří tepelná vodivost a tepelná kapacita. Při výpočtech tepelných toků a teplotních polí je třeba znát součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  [ $W.m^{-1}.K^{-1}$ ], součinitele teplotní vodivosti  $a$  [ $m^2.s^{-1}$ ] a objemovou měrnou tepelnou kapacitu  $c_o$  [ $J.m^{-3}.K^{-1}$ ]. Tyto veličiny se označují jako tepelné charakteristiky půdy.

### 2.3.1 Sluneční záření

Sluneční záření dopadající po prostupu atmosférou na zemský povrch se z části odráží a z části pohlcuje. Při dopadu se 47 % slunečního záření přeměňuje přímo na tepelný výkon  $159 W.m^{-2}$ . Vnitřní výkon Země, nazývaný rovněž tepelný tok Země, představuje přibližně  $0,065 W.m^{-2}$ . [10] Také se uvádí, že podíl slunečního záření na akumulaci tepelné energie v podpovrchových vrstvách Země činí 97 až 98 % a zbytek připadá na vnitřní zdroje Země. Podpovrchovými vrstvami jsou zde myšleny vrstvy do hloubky 20 m. [11]

V podmínkách našich zeměpisných šířek neproniká sluneční záření do velkých hloubek. Od 3 do 10 m pod povrchem je zóna tzv. intaktní nebo-li neutrální, ve které není přírůstek ani z tepla z atmosféry, ani z hloubek. Mocnost této vrstvy se mění v závislosti na reliéfu území, hloubce hladiny podzemní vody, tepelné vodivosti hornin případně zemin. I když má sluneční záření rozhodující vliv na teplotu povrchu země, celkové tepelné hospodářství prakticky neovlivňuje, a proto se při úvahách o zdrojích zemského tepla neuvažuje. [6]

### 2.3.2 Tepelná vodivost

Tepelná vodivost je schopnost látky vést teplo. Každý druh horniny má tuto hodnotu jinou. Její zjištění je důležité pro úvahy i modelové výpočty rozmístění teplot v zemské kůře. Je závislá na obsahu vody, porózitě, hustotě půdy, tudíž i na minerálních komponentech a na chemických vlastnostech půdní vody. Tepelná vodivost klesá s rostoucí porózitou a zvyšuje se s obsahem vody. Také mrznutí výrazně zvyšuje tuto hodnotu. Součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  [ $W.m^{-1}.K^{-1}$ ] vody je  $0,57 W.m^{-1}.K^{-1}$ , zatímco ledu už  $2,18 W.m^{-1}.K^{-1}$ . Lze ji získat s dostatečnou přesností z diagramů zohledňujících obsah vody, hustotu nasycení a strukturu půdy. Pro velké projekty by se měla určovat podle laboratorních nebo polních testů, kde musí být půdní profil vystaven změně teploty. To však může způsobit významný přenos vlhkosti v nenasyčených půdách, který by při hodnocení výsledků měl být brát v úvahu. V laboratořích se používá především „přechodová“ metoda, tzv. „metoda hot wire“. Při ní je namontován elektricky vodivý drát do vzorku půdy. Je do něj dodáván stálý proud a měřen pokles a nárůst teploty pomocí termočlánu. Tyto hodnoty jsou po dobu ochlazování a oteplování zaznamenávány.[9] V tabulce 1 jsou hodnoty tepelné vodivosti zemin a v tabulce 2 vybraných hornin.

**Tab. 1** Tepelná vodivost zemin [12]

<b>zemina</b>	<b>součinitel tepelné vodivosti <math>\lambda</math> [<math>W m^{-1} K^{-1}</math>]</b>
<b>žula</b>	2,90
<b>suchá půda</b>	0,30
<b>suchý písek-hrubozrný</b>	0,20
<b>-jemnozrný</b>	0,19
<b>suchá hlinito-písčítá</b>	0,19
<b>suchá hlína</b>	0,14
<b>vlhká půda</b>	1,90
<b>vodou nasycený písek-hrubozrný</b>	1,72
<b>-jemnozrný</b>	1,63
<b>vodou nasycená hlinito-písčítá</b>	1,34
<b>vodou nasycená hlína</b>	0,88
<b>vodou nasycená rašelina</b>	0,46



**Tab. 2 Tepelná vodivost hornin[12]**

<b>hornina</b>	<b>součinitel tepelné vodivosti <math>\lambda</math> [W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]</b>
<b>amfibolit</b>	1,90-2,40
<b>břidlice</b>	1,30-2,10
<b>čedič</b>	1,70
<b>diorit</b>	1,90-2,80
<b>dolomit</b>	0,80-4,50
<b>gabro</b>	2,20-2,40
<b>granit</b>	1,90-4,00
<b>jíl</b>	0,40-1,20
<b>jílovec</b>	1,80-2,80
<b>písek</b>	0,30-3,50
<b>pískovec</b>	0,80-7,10
<b>prachovec</b>	1,50-2,50
<b>rula</b>	1,70-3,30
<b>syenit</b>	1,60-3,30
<b>vápenec</b>	0,80-3,00

Pro tepelný režim zemského povrchu platí následující rovnice[13]:

$$Q_a = Q_p + Q_s \quad [J] \quad (2)$$

kde je  $Q_s$  – teplo sdělené resp. odvedené zemnímu masivu radiací zemského povrchu, ochlazením půdy okolní atmosférou, ochlazením při odpařování vody, sdílením tepla prosakující gravitační vodě, sdílením tepla do vrstev s nižší teplotou, endotermickými chemickými a biologickými reakcemi, spotřebou tepla na tání sněhu a ledu [J],

$Q_p$  – teplo přivedené zemnímu masivu získané působením slunečního záření, ohřevem půdy okolní atmosférou, adsorpcí plynů a vodní páry a jejich kondenzací, ohřevem masivu artézskou vodou, sdílením tepla z vrstev s vyšší teplotou, exotermickými chemickými a biologickými reakcemi, sdílením skupenského tepla vody při změně fáze na led a sdělené tepelným tokem Země [J].[13]

### 2.3.3 Tepelná kapacita

Tepelná kapacita  $C [J.K^{-1}]$  vyjadřuje množství tepla, kterým se těleso ohřeje o 1 K. Měrná tepelná kapacita  $c [J.kg^{-1}.K^{-1}]$  je množství tepla potřebného k ohřátí 1 kg látky o 1 K. Definuje množství energie uložené v materiálu na jednotku hmoty, která je navíc proměnná s časem. Nezávisí však na mikrostruktuře půdy. Ve většině případů je dostačující počítat měrnou tepelnou kapacitu půdy z měrných tepelných kapacit různých složek podle jejich měrných objemů. Při výpočtech se uvažují měrné objemy pevných fází a vody. Základní vztah [9] je následující:

$$c = 2 \cdot x_{s,min} + 2,5 \cdot x_{s,org} + 4,2 \cdot x_w \quad [J.kg^{-1}.K^{-1}] \quad (3)$$

kde je  $x_{s,min}$  – měrný objem minerálních komponent [ $m^3.kg^{-1}$ ]

$x_{s,org}$  – měrný objem organických komponent půdních složek [ $m^3.kg^{-1}$ ]

$x_w$  – měrný objem vody [ $m^3.kg^{-1}$ ]

Z rovnice 3 je vidět, že minerální a organické složky mají téměř shodnou měrnou tepelnou kapacitu, proto hlavní proměnou zůstává obsah vody, alespoň v krátkodobém hledisku.

Celková měrná tepelná kapacita se zvyšuje spolu s obsahem vody ( $c_w = 4186 J.kg^{-1}.K^{-1}$ ) a snižuje v případě mrznutí ( $c_i = 1884 J.kg^{-1}.K^{-1}$ ). V tabulkách spíše ale nalézáme hodnoty objemové měrné tepelné kapacity  $c_o [J.m^{-3}.K^{-1}]$ . [9] Některé hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.

**Tab. 3** Objemová měrná hmotnost zemin[12]

<b>zemina</b>	<b>objemová měrná tepelná kapacita <math>c_o</math> [<math>10^6 \text{ J.m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}</math>]</b>
<b>písek-suchý</b>	1,26
<b>-nasyčený vodou</b>	3,00
<b>jíl -suchý</b>	1,01
<b>-nasyčený vodou</b>	3,47
<b>rašelina-suchá</b>	0,62
<b>-nasyčená vodou</b>	3,81
<b>půda-suchá</b>	1,35
<b>-vlhká</b>	2,90

### 2.3.4 Teplotní vodivost

Teplotní vodivost ukazuje, jak látka vede teplo. Znamená to, jak snadno se v ní dokážou vyrovnat teplotní rozdíly. Součinitel teplotní vodivosti  $a \text{ [m}^2 \cdot \text{s}^{-1}\text{]}$  je veličinou odvozenou, která bezprostředně závisí na změně součinitele tepelné vodivosti  $\lambda$  a objemové měrné tepelné kapacity  $c_o$ .

$$a = \frac{\lambda}{c_o} = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (4)$$

kde je  $\rho$  – měrná hmotnost [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

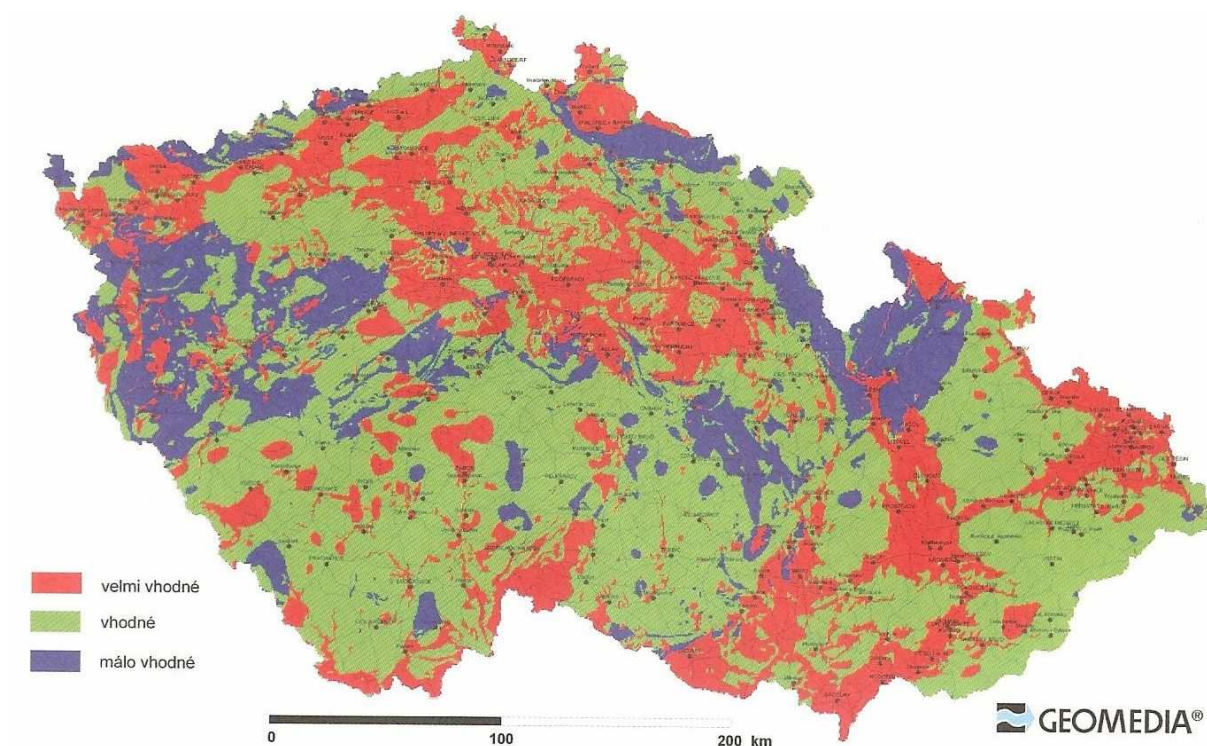
### 2.3.5 Tepelný tok

Hodnota tepelného toku vyjadřuje množství tepla procházející jednotkou plochy za jednotku času. Lze z něj odvodit rychlost růstu teploty s hloubkou. Dříve se vyjadřoval v jednotkách  $\text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Dnes je v  $\text{mW} \cdot \text{m}^{-2}$ . V místech, kde je vysoká hodnota tepelného toku tzn., kde jsou v malých hloubkách pod povrchem zvýšené teploty, jsou potenciální možnosti z hlediska využití geotermální energie.

Na zemském povrchu je rozmezí hodnot tepelného toku mezi 30 a 120 mW.m<sup>-2</sup>. Samozřejmě existují výjimky, kde jsou hodnoty vyšší. V zásadě platí, že čím je mocnější zemská kůra, tím je tepelný tok nižší. V průměru vyšší hodnoty vykazuje oceánská kůra. Také v poruchových zónách, tzv. transformních zlomech, jsou hodnoty vysoké.

V rámci studií výzkumu a vývoje Ministerstva životního prostředí byla zpracována mapa tepelného toku České republiky (obr. 7). Průměrná hodnota toku pro celý Český masiv je 68 mW.m<sup>-2</sup>. [6]

*Obr. 7 Plošná klasifikace České republiky z hlediska vhodnosti využití zemského tepla [6]*



### **2.3.6 Změny půdních vlastností způsobené teplotou**

Rozmezí teplotních změn v půdě způsobených geotermální energií je poměrně malý. Nicméně by se tyto změny měly kontrolovat. Tepelné vlastnosti se mění ve zmrzlé půdě, kde se velmi často mění koeficienty přenosu přes zmrzlou vrstvu. Proto by se mělo předcházet extrakcím tepla z energetických základů způsobujících mrznutí půdy. [9]

### **2.3.6.1 Mechanické vlastnosti**

Tepelné procesy v půdě způsobují migraci vody směrem k chladnějším oblastem. U jemnozrnné půdy to může způsobit pozvolné smrštění v teplé a expanzi v chladnější oblasti. Tepelná expanze vody v pórech zvyšuje její tlak a nakonec snižuje efektivní napětí půdy. Zvyšující se teplota pak snižuje její vnitřní viskozitu a tím snižuje odpor proti stříhu. Citlivost půd taky zvyšují organické složky. Hlavně pokud se jedná o jílu. Nicméně správně řízený energetický systém neovlivňuje nosnou kapacitu tepelně aktivních pilířů usazených v těchto vrstvách. Obvykle jsou interakce v praxi zanedbatelné, ale musí se s nimi počítat, když je nadzemní část budovy extrémně citlivá na rozdílné sesedání půdy.[9]

### **2.3.6.2 Hydraulické vlastnosti**

Snižováním teploty podzemní vody způsobuje zvýšení viskozity a tudíž snížení hydraulické vodivosti. To vede k nižším rychlostem toku podzemní vody. Komplexní parametrické studie však ukázaly, že tyto efekty jsou v praxi, ve vztahu ke geotermálním energetickým systémům, zanedbatelné.

### **2.3.6.3 Fyzikálně – chemické vlastnosti**

Příliš intenzivní ochlazování podzemní vody (způsobené nadměrnou extrakcí energie pro vytápění budov) zvyšuje hodnotu pH a snižuje rozpustnost vápníku, což způsobuje ucpávání pórů. Na druhou stranu rozpustnost plyných substancí (jako např. CO<sub>2</sub>) se zvyšuje a s tím i tvrdost podzemní vody. Dosavadní šetření ukázala, že teplotní změny menší než 5 K mají v teplotním rozmezí 0 – 20 °C zanedbatelný vliv.

### **2.3.6.4 Biologické vlastnosti**

Teplota je jeden z nejvýznamnějších přírodních činitelů pro mikroorganismy v podzemní vodě. Mnozí z nich mohou existovat pouze v malém teplotním rozmezí. Při teplotách pod 10 °C razantně klesá aktivita mikroorganismů konzumujících bakterie. Proto je například úmrtnost patogenů snížena na polovinu, pokud teplota klesne ze 7 na 2 °C.[9]

## 2.4 Geotermální energie

### 2.4.1 Geotermální potenciál světa

Využití geotermální energie je dalekosáhlé a závisí na tom, zda-li jde o páru nebo horkou vodu a dále na tom, jak horká voda je. V tabulce 4 jsou znázorněny možnosti využití. Za efektivnější jsou považovány systémy s horkou párou, ale nejsou tak časté.[6]

*Tab. 4* Možnosti využití zemského tepla podle teploty [6]

	[°C]	využití
<b>pára</b>	200	
	190	výroba papíru
	180	
	170	
	160	sušení rybího masa
	150	destilace alkoholu
	140	sušení zemědělských produktů
	130	
	120	destilace pro pitnou vodu
	110	
100	praní a sušení vlny	
<b>voda</b>	90	sušení ryb
	80	vytápění objektu
	70	chlazení
	60	vytápění skleníků
	50	pěstování hub
	40	terapeutické lázně
	30	vyhřívání plaveckých bazénů
	20	

Geotermální energie se využívá jak pro vytápění, tak i pro výrobu elektrické energie. V roce 1904 byla postavena dnes nejstarší geotermální elektrárna v Itálii, ve městě Lardarello. Vodní pára tam byla extrahována z hloubky 3000 m. Dnes tato elektrárna, po různých rozšířeních, produkuje 545 MW elektrické energie.

Přes 500 MW produkuje také Japonsko. Zde se první elektrárny dočkali v roce 1966 u města Matsukawa. Nyní má země celkem 8 geotermálních zařízení s výkonem 1 až 50 MW.

Už v roce 1847 bylo nedaleko San Francisca v Kalifornii objeveno geotermální pole, ale s vrtným průzkumem se zde začalo až v roce 1920. Na tomto poli bylo vyhloubeno celkem 600 vrtů. V současné době se zde získává energie z dvaceti vrtů o hloubce 2 až 3 km produkujících mezi 1 a 2 milióny kg přehřáté páry za hodinu, která má teplotu 250 °C. Ačkoli se tady vyrábí nejvíce energie na světě, efektivita výroby je jen kolem 15 %.

Dnes jsou geotermální elektrárny také ve Francii, Itálii, Portugalsku, Rumunsku, Rusku, Turecku, na Islandu, Novém Zélandu, Filipínách, v Indonésii, Mexiku atd.[6]

#### ***2.4.2 Speciální aplikace využití geotermální energie v zahraničí***

Podpovrchové geotermální zdroje mohou být využívány jako:

- a) vytápění / chlazení víceúčelových budov,
- b) vytápění / chlazení povrchů mostů,
- c) vytápění / chlazení vozovek a parkovišť,
- d) vytápění letištních ranvejí,
- e) energetické tunely pro vytápění / chlazení budov blízko vjezdů do tunelu,
- f) energetické studny pro vytápění / chlazení budov blízko studní podzemní vody.

Vytápění a chlazení platí pro různé druhy budov a dopravních území díky využívání strukturních prvků pro extrakci nebo ukládání energie. Tyto prvky jsou:

- a) pilíře a přepážkové stěny jako základové prvky mostů,
- b) mělké základy,
- c) opěrné zdi,
- d) násypy,
- e) obklady tunelů.

Rakouské železnice plánují použít geotermální energii z tepelně aktivních základů, opěrných zdí a tunelů pro vytápění (a chlazení) železničních stanic, nástupišť, přechodů pro pěší a schodišť podél nových vysokorychlostních linek.

Vytápění závoďišť na sportovních stadiónech je další možnost využití geotermální energie. Toto se začíná prosazovat v zemích s dlouhou, chladnou zimou, ale je to poměrně nákladný způsob, kvůli nízké účinnosti.[9]

#### **2.4.2.1 Vytápění a chlazení povrchů mostů**

V zemích s chladnými zimami a teplými léty se díky technickým a ekonomickým výhodám vytápí / chladí povrchy mostů. Mezi tyto výhody lze zahrnout následující:

- a) zabraňuje se namrznutí vozovky a jejímu pokrytí sněhem, tudíž se výrazně snižují dopravní rizika,
- b) snižují se náklady na údržbu a dopady na životní prostředí,
- c) snižují se teplotní tlaky v deskách mostu, což prodlužuje životnost vrchní konstrukce a vozovky,
- d) snižuje teplotně závislou tvorbu kolejí způsobené těžkou a hustou dopravou.

#### **2.4.2.2 Vytápění a chlazení vozovek**

Geotermální technologie v silničním inženýrství odkazuje hlavně na vytápění vozovek v zimních měsících a skládá se z následujících cílů:

- a) povrch silnice je bez ledu, a tudíž je zvýšená bezpečnost provozu,
- b) snížení potřeby prohrnování silnice,
- c) zvýšená environmentální ochrana, neboť není nutné aplikovat sůl a štěrk na namrzlou silnici,
- d) zvýšená životnost povrchu vozovky,
- e) pohodlnější doprava (není nutné nasazovat zimní řetězy),
- f) minimalizace poškození vozovky kvůli tání ledu, zvláště v případě podloží citlivých na mráz,
- g) úspory nákladů pro majitele či provozovatele silnic.

Aby povrch vozovek nenamrzal, měl by mít teplotu vyšší než 2 °C.



### 2.4.2.3 Energetické tunely

Tepelný potenciál tunelu lze využít pomocí tunelových podpor a obložení jako energetické absorpční prvky. Těmi jsou kotvy nebo betonové obložení. Poměrně velkou masu pro geotermální využití mohou aktivovat kotvy nebo hřeby, protože vedou hluboko do okolní půdy.[9]

### 2.4.3 Geotermální potenciál České republiky

V jednotlivých částech našeho území je geotermální potenciál proměnlivý. Vždy je proto nutné najít místo nejvhodnější pro aplikování geotermální energie pro jednotlivé objekty a plochy vhodné pro větší zdroje, které se využijí pro hromadné zásobení teplem nebo výrobu elektrické energie.

Pokud je území hodně zastavěné, musí se detailně propočítat potenciální možnosti omezených ploch, aby nedocházelo k prochlazování svrchní části zemské kůry.

V České republice jsou počáteční investice u zemních výměníků tepla stále o něco vyšší než u jiných zdrojů tepla. Avšak návratnost těchto zařízení se s narůstajícími cenami energie zkracuje.[6]

Potenciál některých lokalit v ČR je uveden v tabulce 5.

*Tab. 5 Hodnoty využitelného nízkopotenciálu pro některá území ČR [6]*

území	využitelný jako „suché“ zemské teplo [MW]	využitelný z podzemní vody [MW]	celkový energetický potenciál [MW]
<b>Karlovarsko</b>	94,8	38	132,8
<b>Mělnicko</b>	18,6	41,1	59,7
<b>Mostecko</b>	28,8	7,7	36,5
<b>Chomutovsko</b>	71,9	21,1	93,0
<b>Krkonošský národní park</b>	88,5	37,6	126,1
<b>Šumavský národní park</b>	28,5	25,1	53,6

#### ***2.4.4 Geotermální energie ve vztahu k životnímu prostředí***

Využití geotermální energie souvisí s produkcí horké vody nebo přehřáté páry. Proto podobně jako při využití jiných zdrojů energie musí být každá lokalita posouzena z hlediska možných změn s ohledem na nepříznivé vlivy na životní prostředí.

Analýzy rizika definuje standard číslo 85/337/EEC Evropské unie. Analýza zahrnuje popis procesu a hodnocení vlivu na zájmy obyvatel a okolního prostředí se všemi složkami.

Energie se získává z geologických formací, které mají horké vody s plyny a bývají často silně mineralizované. Proto se na zemský povrch dostanou i škodlivé látky. Z plynů je to například oxid uhličitý nebo sirovodík, z rozpuštěných látek ve vodě pak sodík a draslík ve formě chloridů, síranů a karbonátů, spolu s menším množstvím křemičitanů a těžkých kovů. Porovná – li se ale produkce CO<sub>2</sub> geotermální a uhelné elektrárny, je přibližně dvacetkrát nižší u první jmenované (cca 50 g na 1kWh). Při odběru „suchého“ tepla z horniny se však neprodukuje prakticky žádný plyn.[6]

Při realizaci geotermálních elektráren je třeba myslet na to, že větší část páry nebo vody, se zavádí zpět do podzemí. Na ochlazení je zapotřebí obrovské množství vody (při tepelné kapacitě elektrárny 100 MW<sub>e</sub> vyžaduje ochlazení o 100 °C 240 l vody za sekundu), která je nejdůležitějším faktorem při úvahách o vlivu na životní prostředí především z těchto důvodů:

- může se narušit bilance podzemních vod při změně tlaků v pórech hornin,
- pokud není opětné zavedení kapalin pod zem provedeno odborně, může dojít k poklesům povrchu,
- může dojít k prochlazení hornin a s tím spojenými změnami v geotermálním rezervoáru,
- do ovzduší mohou unikat plyny jako CO<sub>2</sub> a sirovodík,
- může dojít k rozpouštění minerálů hornin,
- do atmosféry se může uvolňovat značné množství tepla,
- může dojít k nepřiměřeným změnám povrchu při stavbě chladících věží a potrubí,
- okolí může být postiženo hlukem.[6]

### 3. Výchozí podmínky, postupy a metody měření

#### 3.1 Popis objektu

Měření probíhalo od 24. 4. 2008 nedaleko Tábora v obci Hlinice (obr. 8), která se nachází v nadmořské výšce 480 m. Zimní výpočtová teplota okolního vzduchu pro toto území je -15 °C.

*Obr. 8 Hlinice na mapě*

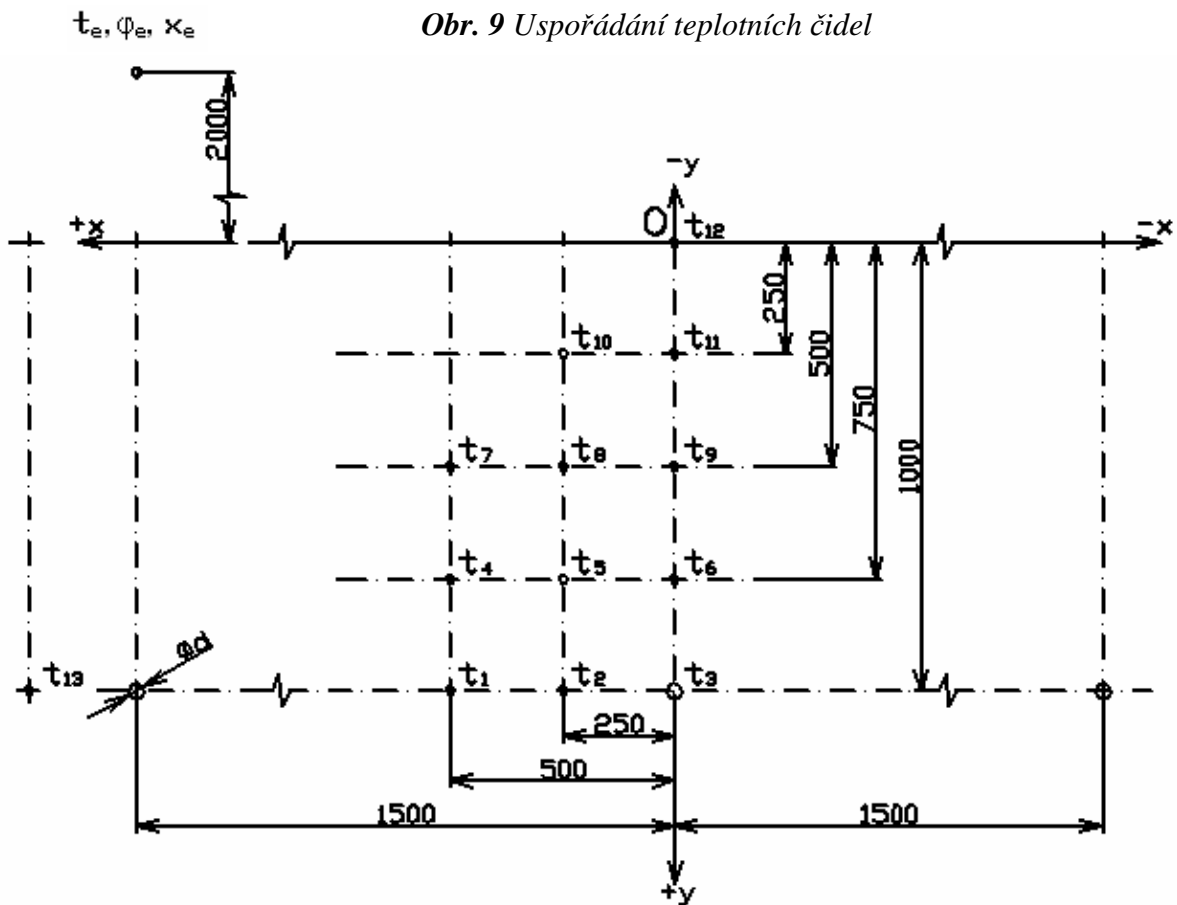


Půdní kolektor tvořený polyetylenovými trubkami PE 40 x 3,7 mm je uložen v hloubce 1 m s roztečí 1,5 m. Půdorysný rozměr zemního výměníku je 27 x 25 m. Celková délka trubek činí 400 m a proudí v nich jako teponosné médium směs etylenglykolu (40 %) a vody (60 %). Tento kolektor je zdrojem tepla pro tepelné čerpadlo, vytápějící plochu cca. 250 m<sup>2</sup>, Villa Classic 105, které má výkon 16,5 kW (10,5 kW je výkon na

kondenzátoru a 6 kW výkon přídatného zdroje). Toto zařízení má v sobě zabudovaný bojler na teplou vodu o objemu 152 l.[1]

### 3.2 Měřicí přístroje

Pro samostatné měření byly použity přístroje dodané firmou Alhborn, měřicí a regulační technika s.r.o. Praha, datalogery Almemo 5990 – 2 a Almemo 2890 – 9 se senzory FH A646 AG (kombinovaný senzor typu teplota – vlhkost s úpravou pro meteorologická měření) a T 123 – 30 (senzor pro sledování teploty v půdě NiCr – Ni s bodcem). Senzorů T 123 – 30 bylo celkem 13 kusů a měřily teplotu půdy v různých hloubkách a vzdálenostech od zemního výměníku (obr. 9). Senzor FH A646 AG byl umístěn ve výšce 2 m nad povrchem. Všechny hodnoty se zaznamenávaly 1 x za hodinu. Přístroj ISOMET, který dodala firma Applied Precision, Bratislava, Slovenská republika, sloužil ke stanovení tepelných charakteristik půdy.



## Datalogger ALMEMO 5990 – 2

Ústředna ALMEMO 5990 – 2 (obr. 10) je zástupce měřících přístrojů, které jsou vybaveny patentovaným systémem připojení ALMEMO<sup>®</sup> - konektor. U ALMEMO<sup>®</sup> - měřících přístrojů se připojují všechna čidla a výstupní moduly shodně.

*Obr. 10 Datalogger ALMEMO 5990 – 2*



### ➤ **Funkce**

Ústředna má max. 90 galvanických oddělených měřících vstupů s až 100 měřícími kanály pro více jak 65 měřících rozsahů, hodin a jednu paměť o 500 kB pro 100 000 naměřených hodnot. Je také k dispozici přídatná externí paměť. Pro obsluhu přístroje je k dispozici LCD displej, klávesnice a multifunkční otočné kolečko. Zobrazení na displeji si můžete nakonfigurovat pro jednotlivá použití pomocí uživatelského menu. Na dva výstupní konektory můžeme připojit libovolný výstupní ALMEMO<sup>®</sup> - modul, jako například analogový výstup, digitální rozhraní, trigger vstup nebo kontakty alarmu. Jednoduchým vzájemným propojením můžeme vytvořit síťové propojení více přístrojů.[14]

### ❖ *Programování čidel*

Měřicí kanály se dají plně naprogramovat pomocí ALMEMO<sup>®</sup> - konektorů. Programování je uskutečnitelné v libovolném rozsahu jak pomocí přístroje, tak i přes rozhraní pomocí např. počítače.

- *Měřicí rozsahy*

Pro senzory s nelineárními charakteristikami jako např. 10 druhů termočlánků, čidla Ntc a Pt 100, infrsenzory, snímače proudění (větráčky, thermoanemometry, tlakové trubice) jsou k dispozici odpovídající měřicí rozsahy. Pro vlhkostní čidla jsou pak přídatné funkční kanály, které vypočítávají další vlhkostní veličiny jako rosný bod, směšovací poměr, tlak par a entalpii. Je počítáno také s podporou komplexních chemických senzorů. Měřené hodnoty ostatních senzorů se získají pomocí hodnot napětí, proudu a odporu s individuálně nastaveným rozsahem měření.

- *Funkční kanály*

Maximální, minimální a střední hodnoty a odchylky od určité hodnoty můžeme naprogramovat jako funkční kanály a dále zpracovávat.

- *Jednotky*

Dvoustupňové označení jednotky lze nastavit u každého měřicího kanálu tak, že se na displeji a při tisku objevují vždy jednotky správné. Přístroj umí pracovat s jednotkami °C a °F. Přepočítání na odpovídající jednotky probíhá automaticky.

- *Označení a korekce měřené hodnoty*

Pro identifikaci čidla je k dispozici 10ti místné číselné označení. Měřenou hodnotu každého kanálu lze korigovat na nastavenou nulovou hodnotu a příslušné stoupání.

- *Okrajové hodnoty a alarm*

Ke každému měřicímu kanálu se mohou přiřadit dvě okrajové hodnoty (1 Max a 1 Min). Pokud se měřená hodnota nachází mimo rozsah daných okrajovými hodnotami, pak se dostane do alarmu. Odezvu na překročení hraniční hodnoty lze nastavit jako odstartování nebo zastavení jednotlivých měření.

- *Uzamčení čidla*

Všechny údaje týkající se čidla se mohou zamknout s daným stupněm bezpečnosti.[14]

### ❖ *Měření*

Pro každé měřicí místo jsou k dispozici až 4 měřicí kanály. To znamená, že přístroj může měřit také na dvou místech najednou s rozdílnými měřítky nebo kanály měření. Standardně jsou dotazovány měřicí místa aktivních kanálů stálou rychlostí 10 měřících míst za sekundu a zobrazovány na displeji nebo je zajištěn analogový výstup. Pokud chceme zvýšit rychlost měřících dotazů u jednotlivých míst, zvýšíme rychlost na 50 měření za sekundu nebo omezíme dotazy pouze na místa, které nás zajímají.

- *Hodnoty měření*

Hodnoty měření z 1 až 20 míst lze zobrazit na displeji pomocí 7 konfigurovatelných menu ve 3 velikostech písma buďto jako sloupcový nebo čárový diagram. Zároveň jsou kalibrovány a upraveny na nulovou hodnotu. Uživatel pak může tyto hodnoty upravit podle libovolného měřítka.

- *Analogový výstup a měřítka*

U každého měřícího místa můžeme určit počáteční a koncovou hodnotu analogového signálu tak, že námi stanovený měřicí rozsah pokryje celý rozsah čárové nebo sloupcové grafiky, nebo celý rozsah analogového výstupu (2 V, 10 V nebo 20 mA). Na analogovém výstupu měřenou hodnotu z kteréhokoliv měřícího místa anebo hodnotu programově upravenou.

- *Měřicí funkce*

K získání optimálních měřených hodnot jsou u některých senzorů potřebné speciální funkce. Například pro infračervená čidla je použit parametr nulového bodu a korekce stoupání jako teplota pozadí a faktor emise.

- *Maximální a minimální a střední hodnota*

U každého měření je min. a max. hodnota s údaji času a datumu zapsána do paměti. Tyto hodnoty můžeme zobrazit, vytisknout nebo smazat. V námi zvoleném kanále lze nastavit měřenou střední hodnotu za určitý čas nebo z jednotlivých měření.

### ❖ *Programování v průběhu měření*

K dostání digitálně měřených hodnot na všech připojených čidlech je k dispozici, vedle hodin tiskového cyklu, měřicí cyklus, a pokud potřebujeme, tak i rychlost. Měření lze spustit i zastavit z klávesnice, přes rozhraní, vnějším trigger signálem, časovým okamžikem nebo překročením hraniční hodnoty.[14]

- *Čas a datum*

Časový údaj a datum, popřípadě doba měření, je zapotřebí k vytvoření protokolu každého měření. K odstartování či zastavení měření se může naprogramovat počáteční a konečný stav včetně datumu měření.

- *Perioda tisku a perioda měření*

Zařízení umožňuje nastavit automatický tisk podle stanovených intervalů, v rozmezí 1 sekundy až 59 hodin. Dále umožňuje periodický výstup naměřených hodnot na rozhraní tiskárny nebo do paměti přístroje. Perioda měření lze nastavit ve stejných hodnotách jako perioda tisku.

- *Rychlost činnosti*

Přístroj dokáže provést dotazy na jednotlivá měřicí místa rychlostí 2,5; 10 nebo 50 dotazů za sekundu.

- *Číslování měření a řídicí výstupy*

Každé měřicí čidlo má přidělené číslo, které lze z paměti selektivně číst. Přes rozhraní můžeme řídit až 4 relé nebo jeden analogový výstup.

- *Obsluha*

Všechny měřicí a funkční hodnoty se nechají zobrazit v různých menu na LCD displeji. Lze nakonfigurovat 3 uživatelská menu s použitím až 50 funkcí. Na přístroji je k dispozici 7 tlačítek a jedno obslužné kolečko. Díky nim můžeme naprogramovat čidla, zařízení i průběh měření. Vstup do menu a obsluhu tlačítek je možno postupně omezit a přístup zabezpečit heslem.

- *Výstup a připojení do sítě*

Všechny protokoly měření, funkce menu, programové a měřené hodnoty se dají poslat na libovolné periferní zařízení. K dispozici je rozhraní RS232, RS422 nebo Centronics. Naměřené hodnoty mohou být vypisovány jako seznam, v kolonkách či v tabulkovém formátu. Propojení do sítě zajišťují síťové kabely, popřípadě RS422.[14]



## Datalogger ALMEMO 2890 – 9

Datalogger ALMEMO 2890 – 9 (obr. 11) je zástupce měřících přístrojů, které jsou vybaveny patentovaným systémem připojení ALMEMO<sup>®</sup> - konektor. U ALMEMO<sup>®</sup> - měřících přístrojů se připojují všechna čidla a výstupní moduly shodně.[14]

*Obr. 11 Datalogger ALMEMO 2890 – 9*



### ➤ **Funkce**

Ústředna má max. 90 galvanických oddělených měřících vstupů. K dispozici je 36 kanálů v konektorech čidel a 4 interní funkční kanály s více jak 70 měřícími rozsahy. Paměť má kapacitu 512 kB, což odpovídá přibližně 100 000 naměřeným hodnotám. Pro obsluhu přístroje je k dispozici LCD displej a klávesnice s kurzorem. Na dva výstupní konektory můžeme připojit libovolný ALMEMO<sup>®</sup> - výstupní modul, jako například analogový výstup, digitální rozhraní, trigger vstup nebo kontakty alarmu. Jednoduchým vzájemným propojením můžeme vytvořit síťové propojení více přístrojů.[14]

### ❖ *Programování čidel*

Měřicí kanály jsou automaticky plně naprogramovány pomocí ALMEMO® - konektorů. Programování můžeme libovolně omezit nebo změnit pomocí klávesnice nebo přes datové rozhraní.

- *Měřicí rozsahy*

Pro senzory s nelineární odezvou jako např. 10 druhů termočlánků, čidla Ntc a Pt 100, infrsenzory, snímače proudění (větráčky, thermoanemometry, tlakové trubice) jsou k dispozici odpovídající rozsahy měřících veličin. Pro čidla vlhkosti jsou k dispozici přídatné funkční kanály, které vypočítávají další vlhkostní veličiny jako rosný bod, směšovací poměr, parciální tlak a entalpii. Podporovány jsou také komplexní chemické senzory. Měřené hodnoty ostatních sensorů se získají pomocí rozsahů napětí, proudu a odporu s individuálním měřítkem v konektoru.

- *Funkční kanály*

Maximální, minimální a střední hodnoty a difference z určitých měřících míst můžeme naprogramovat jako funkční kanály a dále zpracovávat.

- *Jednotky*

Dvoustupňové označení jednotky lze nastavit u každého měřícího kanálu tak, že se na displeji a při tisku objevují vždy jednotky správné. Přístroj umí pracovat s jednotkami °C a °F. Přepočítání na odpovídající jednotky probíhá automaticky.

- *Označení a korekce měřené hodnoty*

Pro identifikaci čidla existuje 10ti místné číselné označení. Korekci měřených hodnot lze provádět v každém měřícím kanále.

- *Hraniční hodnoty a alarm*

Pro každý kanál můžeme nastavit dvě hraniční hodnoty (1 Max a 1 Min). Při překročení těchto hodnot reaguje měřicí přístroj tak, že např. vytiskne mimohraniční hodnotu nebo pokud je připojen reléový výstupní modul, využije kontaktů alarmu pro další individuální reakce. Překročení hraničních hodnot lze využít pro odstartování nebo zastavení probíhajících měření.

- *Blokace čidel*

Všechna data čidel můžeme zabezpečit před nechtěným přepisem několika stupňovou blokadou.[14]

## ❖ *Měření*

Pro 9 snímačů měřených hodnot je k dispozici 36 měřících kanálů. To znamená, že lze vyhodnocovat dvojitá čidla, čidla s odlišným měřítkem, nebo čidla opatřená funkčními kanály. Standardně jsou všechny měřící kanály dotazovány stálou rychlostí 10 měřících míst za sekundu a zobrazovány na displeji, nebo pokud je k dispozici analogový výstup, pak také výstup na něj. Chceme-li zvýšit rychlost měření při větším počtu míst, můžeme upřednostnit jen určitá měřící místa.

- *Hodnoty měření*

Hodnoty měření z 1 až 20 míst lze zobrazit na displeji v 9 konfigurovatelných menu se 3 velikostmi písma, buďto jako sloupcový graf nebo čárový diagram. Hodnoty jsou automaticky zkalibrované, ale můžeme je libovolně upravovat nebo měnit jejich měřítko. U většiny čidel přístroj automaticky pozná, zda nedošlo k jeho poruše.

- *Analogový výstup a měřítko*

Pro každé měřící místo můžeme upravit počátek a konec analogového výstupu tak, že daný měřící rozsah je zobrazen sloupcovou nebo čárovou grafikou na nastaveném analogovém výstupu (2 V, 10 V nebo 20 mA). Na něj je možno poslat měřené hodnoty z libovolného měřícího místa nebo libovolnou programovou hodnotu.

- *Měřící funkce*

K získání optimálních měřených hodnot jsou u některých senzorů potřebné speciální funkce. Například pro infračervená čidla je použit parametr nulového bodu a korekce stoupání jako teplota pozadí a emisní faktor.

- *Maximální a minimální a střední hodnota*

U všech měření je min. a max. hodnota s údajem času a datumu uložena do paměti. Tyto údaje můžeme zobrazit na displeji, vytisknout nebo smazat. V námi zvoleném kanále lze vytvořit střední hodnotu za určitý čas, cyklus nebo z jednotlivých měření.

## ❖ *Programování v průběhu měření*

Abychom dostali naměřené hodnoty z čidla v digitální formě, je zapotřebí se jich průběžně dotazovat s určitým časovým řízením. Měření lze spustit i zastavit z klávesnice, přes rozhraní, vnějším trigger signálem, pomocí reálného času nebo okamžikem překročení hraniční hodnoty.[14]

- *Čas a datum*

Reálný čas s datumem nebo čistý čas měření slouží k protokolaci každého měření. Odstartování a zastavení měření se může naprogramovat pomocí času a datumu startu a zastavení.

- *Perioda tisku a perioda měření*

Cyklus je možné nastavit v rozmezí 1 sekundy až 59 hodin. Dále umožňuje periodický výstup naměřených hodnot na rozhraní tiskárny nebo do paměti přístroje. Perioda měření lze nastavit ve stejných hodnotách jako perioda tisku.

- *Rychlost činnosti*

Přístroj dokáže provést dotazy na jednotlivá měřicí místa rychlostí 2,5; 10 nebo 50 dotazů za sekundu.

- *Číslování měření a řídicí výstupy*

Každé měřicí čidlo má přidělené číslo, které lze z paměti selektivně číst. Přes rozhraní můžeme řídit až 4 relé nebo jeden analogový výstup.

- *Obsluha*

Všechny měřicí a funkční hodnoty se nechají zobrazit na LCD displeji. Lze nakonfigurovat 3 uživatelská menu s použitím až 50 funkcí. Tisk se nechá pomocí textů, čar a mezer uživatelsky přizpůsobit. Na přístroji je k dispozici 9 kláves. Díky nim můžeme naprogramovat čidla, zařízení i průběh měření.

- *Výstup a připojení do sítě*

K dispozici jsou kabely pro rozhraní RS232, RS422 nebo Centronics a Ethernet. Naměřené hodnoty mohou být vypisovány ve formě seznamu, kolonek nebo tabulky. Připojení do sítě zajišťují síťové kabely, popřípadě síťovým děličem RS422.[14]

## Senzor ALMEMO FHA646AG

Tento senzor (obr. 12) umožňuje stanovení venkovní teploty a vlhkosti vzduchu. Obsahuje vlhkostní čidlo s tenkovrstvým senzorem a teplotní NTC čidlo, která jsou namontována v ochranném pouzdře.[14]

*Obr. 12 Senzor FHA646AG*



### ❖ Technická data

- **Vlhkostní čidlo:**      *kapacitní tenkovrstvý senzor*
  - Rozsah:                      5 až 98 % rH (celkové rozmezí 0 – 100 % rH)
  - Přesnost:                    ± 2 % při jmenovité teplotě
  - Jmenovitá teplota:      25 °C ± 3 °C
  
- **Teplotní čidlo:**        *Ntc Typ N (10 kΩ při 25 °C)*
  - Rozsah:                      od -20 do +80 °C
  - Přesnost:                    od -20 do 0 °C: ± 0,4 °C  
od 0 do 70 °C : ± 0,1 °C  
více než 70 °C: ± 0,2 °C

- Jmenovitá teplota:  $25\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$
- Rozsah použití:  $-20\text{ až }+80\text{ °C}$

➤ **Ochranné pouzdro:** průměr 85 mm  
výška 100 mm

### **Senzor T 123 – 30**

Toto čidlo zaznamenávalo teploty půdy. Je typu NiCr – Ni s bodcem a je znázorněn na obrázku 13.

***Obr. 13 Senzor T 123 – 30***



Na obrázek 14 zachycuje pohled na senzory umístěných na pozemku

***Obr. 14 Pohled na senzory***



### **ISOMET**

Jedná se o mikroprocesorově řízený ruční zařízení (obr. 15) určené pro přímé měření objemové měrné tepelné kapacity  $c_o [J.m^{-3}.K^{-1}]$ , součinitele tepelné vodivosti  $\lambda [W.m^{-1}.K^{-1}]$  a součinitele teplotní vodivosti  $a [m^2.s^{-1}]$  kompaktních, sypkých a kapalných materiálů pomocí výměnných jehlových, resp. plošných sond. V sondách je zabudovaná paměť, na které jsou uloženy kalibrační konstanty.[15]

Obr. 15 Měřicí přístroj ISOMET [15]



Fyzikálně je měření založeno na analýze časové závislosti teplotní odezvy na impulsu tepelného toku do analyzovaného materiálu. Tepelný tok se vytvoří rozptýleným elektrickým výkonem v odporu sondy, která je tepelně vodivě spojená s analyzovaným materiálem. Teplota odporu je snímána polovodičovým snímačem. Průběh teploty jako funkce času se v diskrétních bodech vzorkuje a těmito vzorky se prokládají regresní polynomy metodou „nejmenších čtverců“. Koeficienty regresních polynomů slouží k výpočtu termofyzikálních parametrů pomocí analytických vztahů.

❖ Rozlišovací schopnost přístroje:

- součinitel tepelné vodivosti  $\lambda = 0,001 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}$
- objemová měrná tepelná kapacita  $c_0 = 103 \text{ J.m}^{-3}.\text{K}^{-1}$
- součinitel teplotní vodivosti  $a = 109 \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$
- teplota  $t = 0,01 \text{ }^\circ\text{C}$

Měření sypkých vzorků probíhá v odměrném válci, který je kvůli zjištění objemové hmotnosti zvážen prázdný a se vzorkem. Do vzorku se umístí jehlová sonda, která je zapojena do vlastního přístroje.

Doba měření je závislá na tepelných parametrech měřeného materiálu. Vlastní měření, včetně kontroly, trvá cca 240 s. Po měření se vlhké vzorky umístí na 24 h do pece s teplotou  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  a potom se znovu zváží (nutné pro výpočet vlhkosti vzorku).[15]

## 4. Návrh řešení, dosažené výsledky a diskuze

### 4.1 Návrh řešení

Plocha potřebná pro uložení kolektoru se vypočítá podle následujícího vztahu:

$$S_p = \frac{Q_o}{q_p} \quad [\text{m}] \quad (5)$$

kde je  $Q_o$  – výkon na kondenzátoru [W],

$q_p$  – množství tepla, které získáme z 1 m<sup>2</sup> půdy [W.m<sup>-2</sup>].

obvykle se používá hodnota  $q_p$  rovna 15 W.m<sup>-2</sup>

Tepelný odpor půdy, který je potřebný pro určení měrného tepelného toku získáme z rovnice:

$$R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_p} \cdot \ln \left[ \frac{2 \cdot s}{\pi \cdot D} \cdot \sinh \left( 2 \cdot \pi \cdot \frac{h}{s} \right) \right] \quad [\text{m.K.W}^{-1}] \quad (6)$$

kde je  $\lambda_p$  – součinitel tepelné vodivosti půdy [W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>],

$s$  – rozteč trubek půdního kolektoru [m],

$D$  – průměr trubek půdního kolektoru [m],

$h$  – hloubka uložení kolektoru [m].

Potom měrný tepelný tok je:

$$q_1 = \frac{t_p - t_m}{R} \quad [\text{W.m}^{-1}] \quad (7)$$

kde je  $t_p$  – teplota půdy [°C],

$t_m$  – teplota teplotonosné látky [°C].

Jako poslední lze určit délku horizontálního výměníku tepla a to z rovnice:

$$L = \frac{Q_o}{q_1} \quad [\text{m}] \quad (8)$$

Půdní výměník musí být zakopán na volné ploše, kde nejsou velké terénní nerovnosti. Také se vyžaduje prostor bez stromů, aby nedošlo k poškození vrtů kořeny. V neposlední řadě by měl být vzdálen od objektů tak, aby nedocházelo k zastiňování plochy.



## 4.2 Výsledky a diskuze

Pro stanovení tepelných charakteristik půdy, jejichž hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6, byly odebrány vzorky z povrchu půdy a hloubek 100 mm, 300 mm, 400 mm.

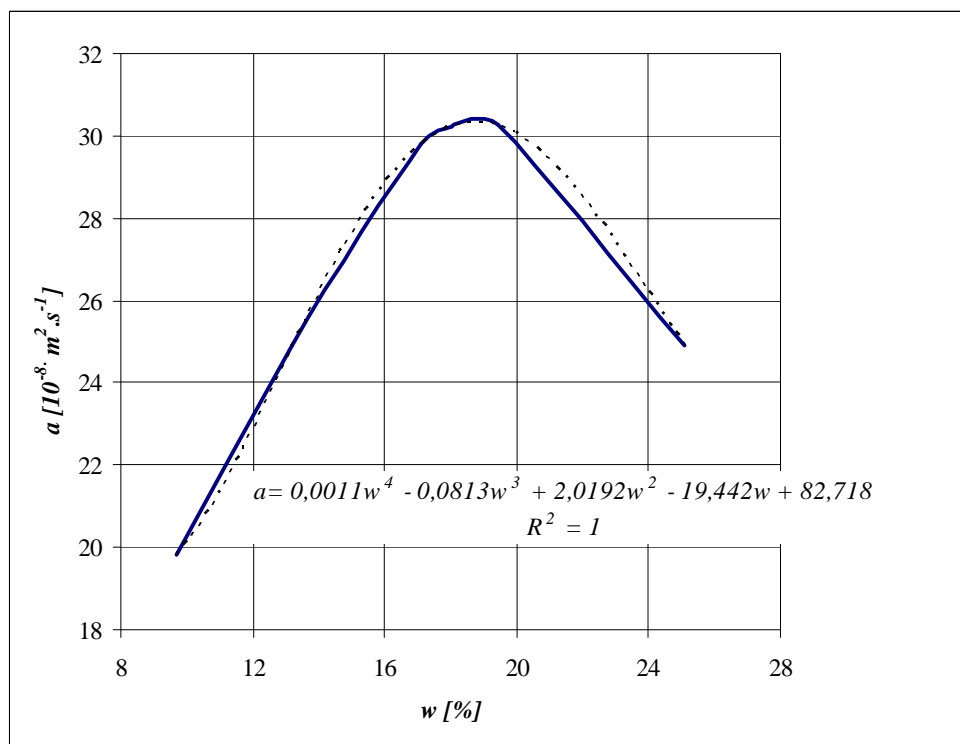
**Tab. 6** Naměřené tepelné charakteristiky půdy pro různé hloubky

	1	2	3	4	5	6
$w$ [%]	9,68	13,21	17,12	18,04	19,44	25,1
$a$ [ $10^{-8} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ]	19,81	24,9	39,82	30,22	30,36	24,91
$\lambda$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	0,341	0,493	0,629	0,659	0,678	0,652
$c_o$ [ $\text{J} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	1721,35	1988,7	2109,32	2180,97	2240,58	2617,42

Po sestavení grafů z výše uvedených hodnot jsme dospěli k závěrům:

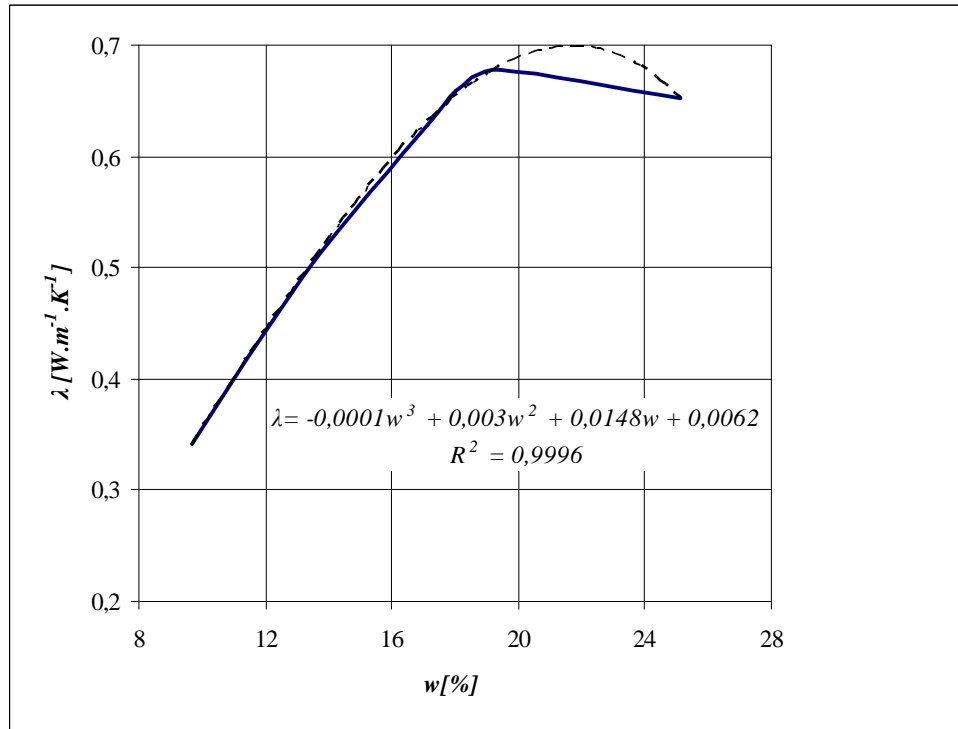
- závislost teplotní vodivosti  $a$  [ $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ] na vlhkosti  $w$  [%] má průběh polynomu 4. stupně (obr. 16). Teplotní vodivost narůstá lineárně do okamžiku, kdy má půda vlhkost něco málo přes 17 %. Při 19 % nasycení nastává zlom a vodivost se začíná výrazně snižovat. Pokles je zhruba o  $10^{-8} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  na 1 % vlhkosti.

**Obr. 16** Závislost teplotní vodivosti na vlhkosti [16]



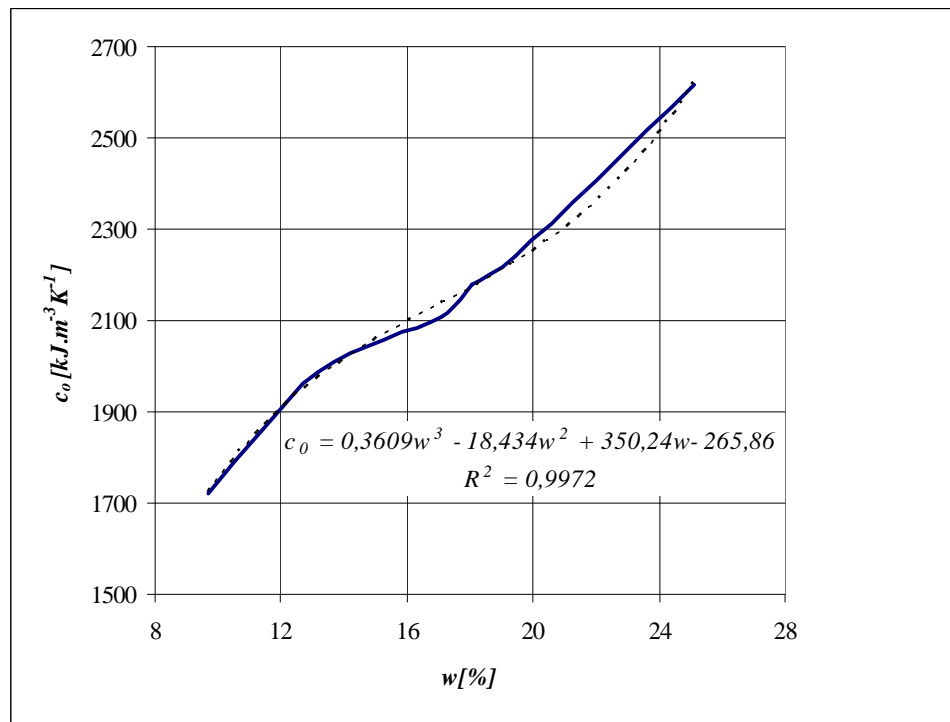
- závislost tepelné vodivosti  $\lambda$  [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ] na vlhkosti  $w$  [%] má téměř shodný průběh jako proložená polynomická křivka 3. stupně (obr. 17). Zde nastává zlom při 19 % vlhkosti půdy. V tomto bodě dochází k pomalému lineárnímu poklesu hodnot tepelné vodivosti.

**Obr. 17** Závislost tepelné vodivosti na vlhkosti [16]



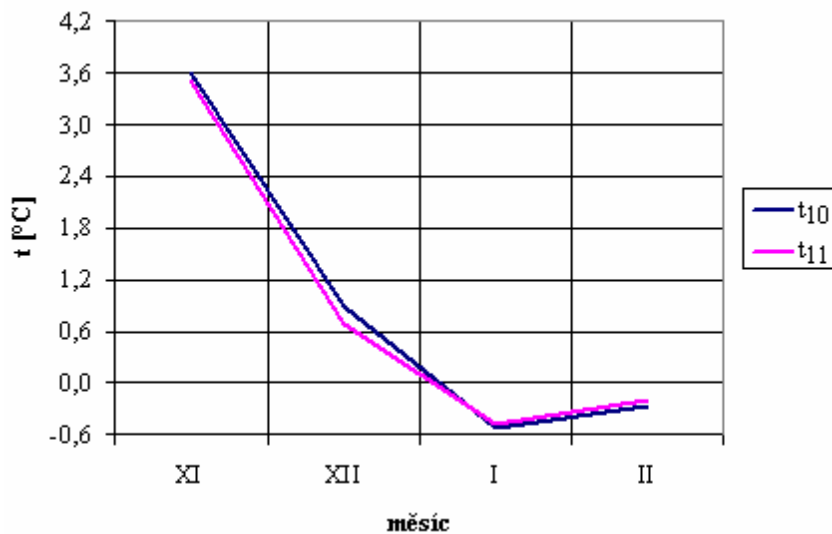
- závislost objemové měrné tepelné kapacity  $c_0$  [ $J.m^{-3}.K^{-1}$ ] na vlhkosti  $w$  [%] má také průběh téměř shodný jako proložená polynommická křivka 3. stupně (obr. 18). Z obrázku je vidět, že jako jediná z těchto třech zkoumaných tepelných charakteristik půdy má jen narůstající ráz. Od 19 % vlhkosti se objemová měrná tepelná kapacita zvyšuje přibližně o cca  $65 \text{ kJ.m}^{-3}.K^{-1}$  na 1 % vlhkosti.

**Obr. 18** Závislost objemové měrné tepelné kapacity na vlhkosti [16]



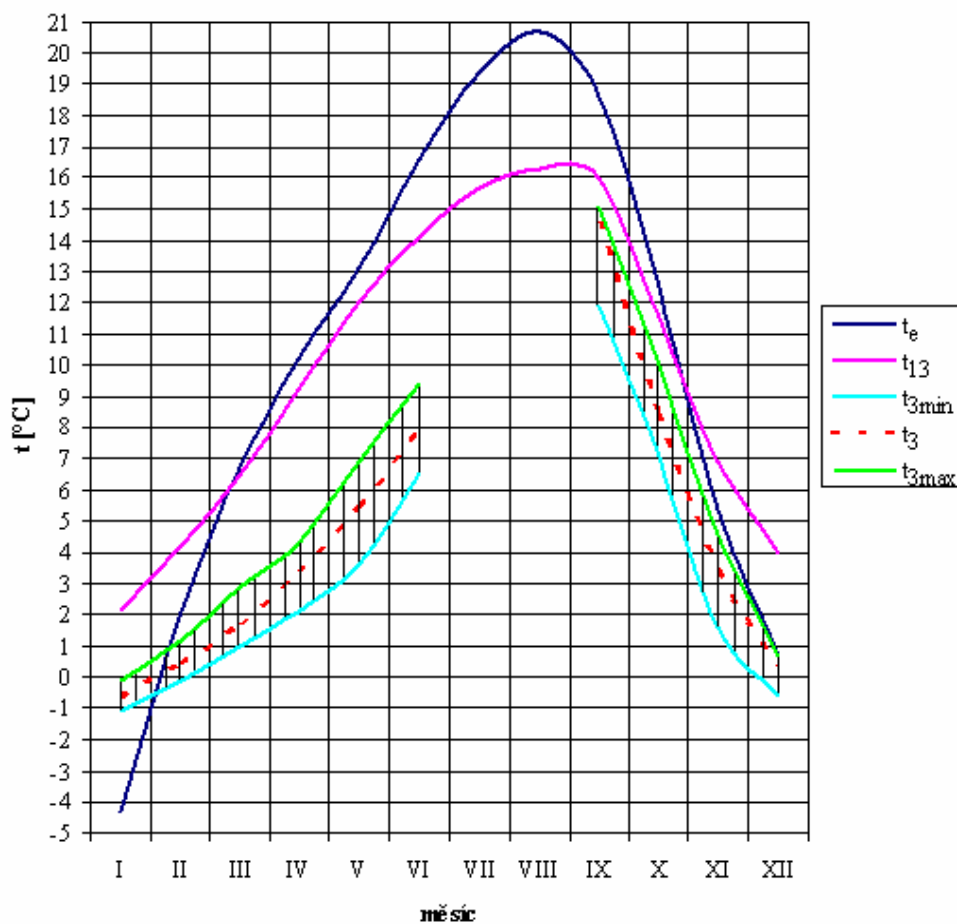
Při sledování průměrných teplot v hloubce 1 m, tedy v horizontální rovině zemního tepelného výměníku, se ukázalo, že ve všech měřeních platí  $t_1 > t_2 > t_3$  při teplotních rozdílech 0,71 až 2,91 K. V hloubce 0,75 m pod povrchem půdního masivu se rozdíly teplot snižovaly, ale stále platilo, že teplota půdy byla v horizontální vzdálenosti 0,75 m největší, takže  $t_4 > t_5 > t_6$ . I v hloubce 0,5 m byly teplotní difference nižší a platilo  $t_7 > t_8 > t_9$ . Teprve v hloubce 0,25 m se ukázalo, že teploty v horizontální rovině nejsou již čerpáním tepelné energie zemním výměníkem ovlivněny. Na obr. 19 jsou znázorněny průměrné teploty  $t_{10}$  a  $t_{11}$  v zimním období. Vidíme, že průběh těchto teplot je téměř shodný. Maximální teplotní rozdíl byl zaznamenán v prosinci a to 0,19 K.

Obr. 19 Průběh teplot v hloubce 0,25 m []



V následujícím obrázku (obr. 20) je znázorněna průměrná denní teplota  $t_e$ , maximální  $t_{3max}$ , minimální  $t_{3min}$  a průměrná teplota  $t_3$  v oblasti trubky tepelného výměníku a teplota půdy pozemku v hloubce 1 m  $t_{13}$  v průběhu celého roku.

Obr. 20 Průběh teplot []



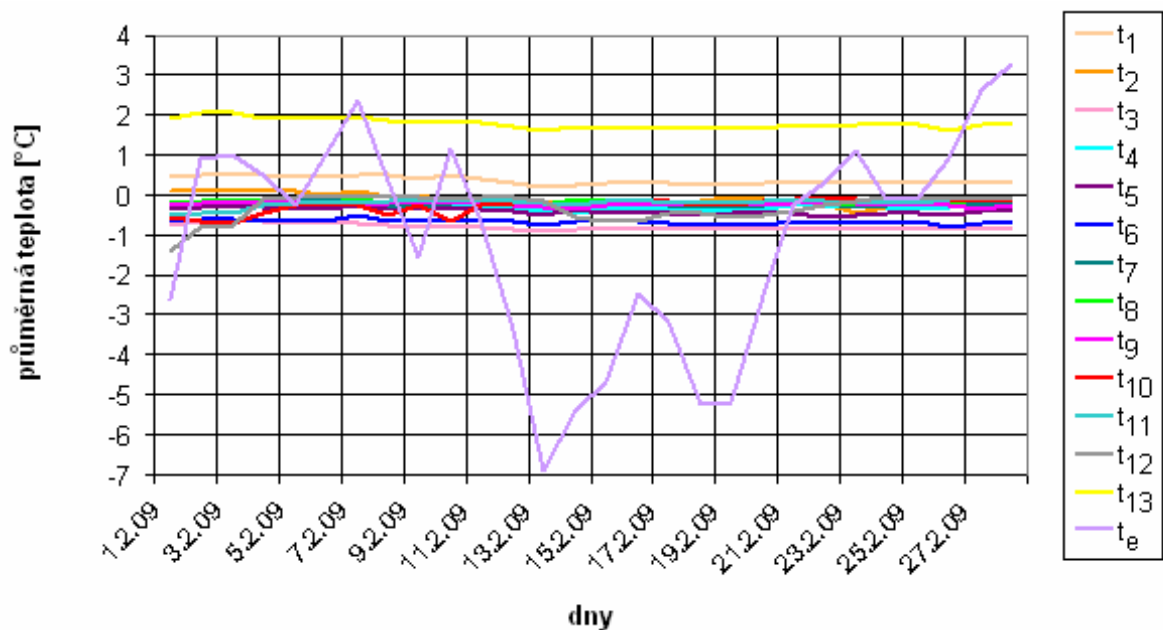
Z obrázku je patrné, že během zimních měsíců půda v hloubce 1 m nezamrzá. V měsících červenec až září, při akumulování tepelné energie, dosahovala průměrných hodnot okolo 16 °C.

Rozdíl teplot  $t_{13}$  a  $t_3$  byl na začátku topného období (v září) 1,35 K. Na konci sezóny (v květnu) však vzrostl na 6,51 K. Tato hodnota byla největší teplotní diferencí, v hloubce 1 m u horizontálního výměníku a v téže hloubce na referenčním pozemku, v průběhu celého roku. Nejvyšší rozdíly byly naměřeny v období od března do června. Je to následek vyčerpání tepelného potenciálu půdního masivu na konci topné sezóny. Od června do září se tato hodnota postupně snižovala a svého minima (1,35 K) dosáhla právě v září.

Teplota  $t_3$  byla minimální v lednu a to -1,1 °C, nicméně její průměrná hodnota v tomto měsíci činila -0,62 °C. Maximum  $t_{3max} = 15,1$  °C bylo naměřeno v září. Teplotní difference mezi průměrnou hodnotou  $t_3$  a maximální  $t_{3max}$  byl 0,5 K. Nejmenší rozdíl těchto teplot byl ale naměřen v prosinci 0,34 K. Je to způsobeno tím, že chod tepelného čerpadla je intenzivnější.

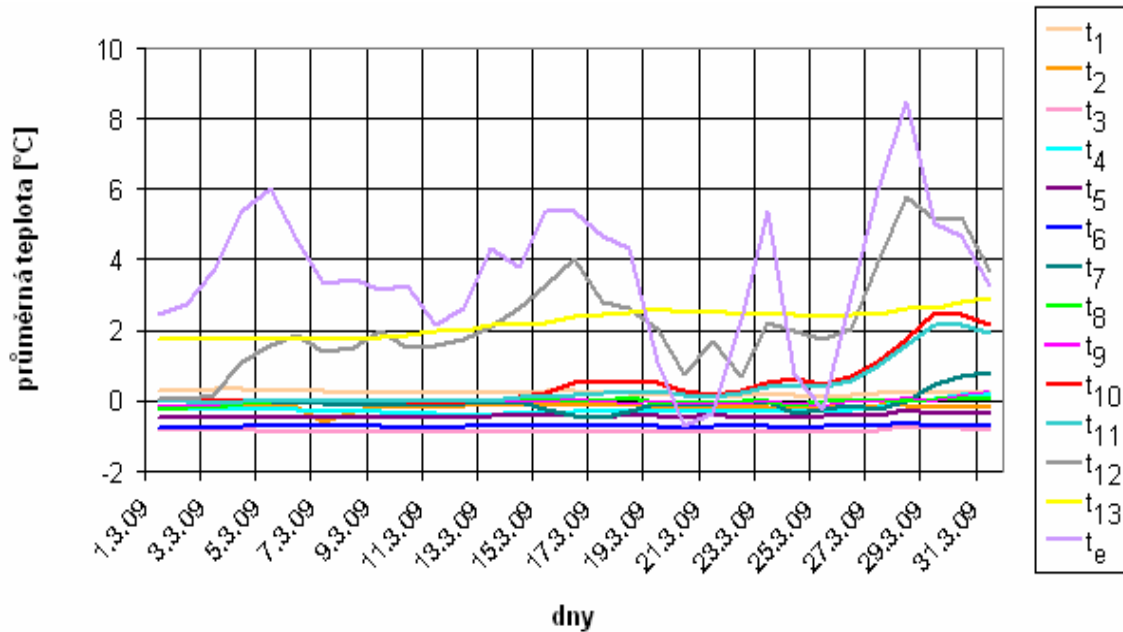
Na obr. 21 je zachycen průběh průměrných teplot v měsíci únor. Je vidět, že teploty  $t_1$  až  $t_{12}$  se pohybují v intervalu od -1 °C do +1 °C. Dále lze konstatovat, že i přes velké teplotní výkyvy okolního prostředí, zůstává teplota referenčního pozemku v hloubce 1 m téměř konstantní.

**Obr. 21** Průběh jednotlivých teplot během února



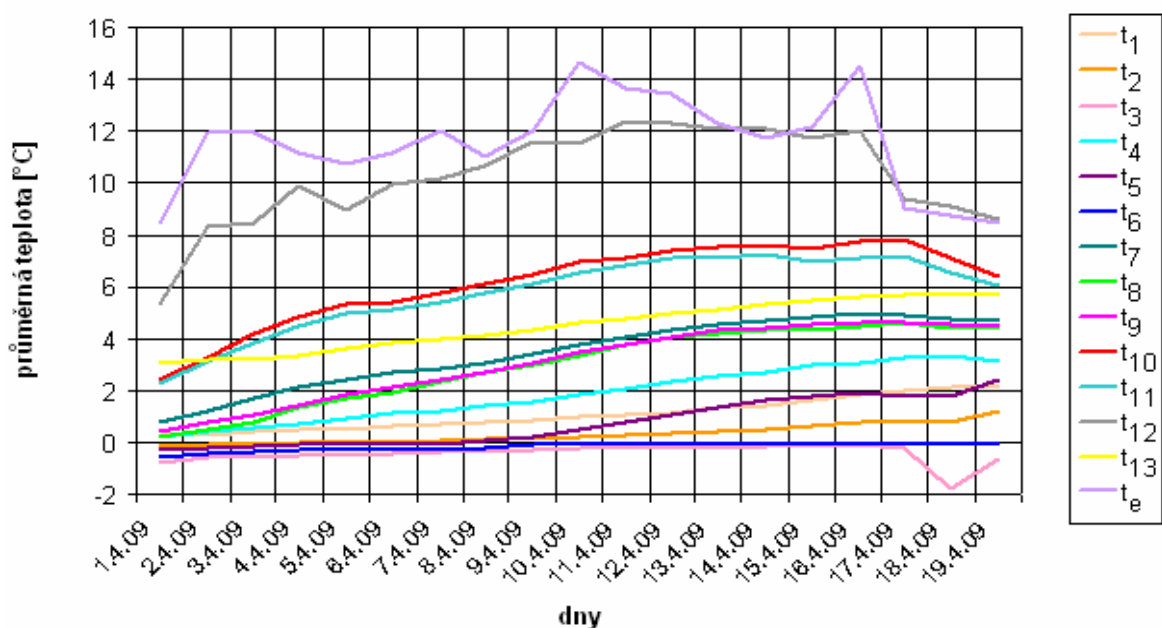
Z obrázku 22 můžeme soudit, že povrchová teplota půdy  $t_{12}$  už je ovlivňována vnějším prostředím. Především větší intenzita slunečního záření tuto teplotu zvyšuje. V posledním březnovém týdnu je i čitelné výraznější prohřátí půdy v hloubce 0,25 m. Ostatní hodnoty se pohybují stále v přibližně stejném teplotním intervalu jako v únoru.

**Obr. 22** Průběh jednotlivých teplot během března



V dubnu už je rozložení teplot v půdním masivu velmi znatelné (obr. 23). Podpovrchová vrstva (až do 0,25 m) je ovlivněna dopadajícími paprsky tak, že její průměrná hodnota je vyšší než teplota půdy referenčního pozemku v hloubce 1 m.

**Obr. 23** Průběh jednotlivých teplot během dubna



## 5. Závěr

Při sledování teplot půdního masivu v okolí půdního kolektoru a referenčního pozemku jsme zjistili následující fakta:

- teplota půdy referenčního pozemku v hloubce 1 m nezamrzá, tudíž je hloubka uložení horizontálního výměníku tepla dostačující,
- rozdíl teplot půdy pozemku  $t_{13}$  a půdy v blízkosti zemního výměníku  $t_3$  byl na konci topného období 6,51 K,
- na začátku topné sezóny se difference snížily téměř 5krát a to na 1,35 K,
- půdní masiv má dostatečné „regenerační schopnosti“ pro to, aby dokázal zpět absorbovat tepelnou energii (její větší část), která mu byla odebrána tepelným čerpadlem, jenž zajišťuje ohřev teplé vody a vytápění rodinného domu,
- plošný kolektor půdy v hloubce 0,25 m již neovlivňuje,
- teploty půdního masivu v různých hloubkách a vzdálenostech od zemního výměníku tepla se začínají výrazněji lišit až v měsíci dubnu.

## 6. Literatura

- [1] Firemní literatura společnosti THERIMEX
- [2] FLORIDES, Goergious, KALOGIROU, Soteris. Ground heat exchangess : A review of systéme, models and applications. [s.l.] : [s.n.], 2006. 18 s.
- [3] *GEROtop : tepelná čerpadla* [online]. 2006 [cit. 2006-11-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.gerotop.cz/cz/home/>>.
- [4] *AllTech : Tepelná čerpadla* [online]. 2007 [cit. 2009-04-22]. Dostupný z WWW: <[http://www.alltechsro.cz/heat\\_pump.aspx](http://www.alltechsro.cz/heat_pump.aspx)>.
- [5] TRNOBRANSKÝ, Karel, et al. *Hospodárné využití a výroba energie vedoucí ke snižování zátěže životního prostředí*. [s.l.] : [s.n.], 2005. 140 s. Dostupný z WWW: <<http://www.mpo-efekt.cz/dokument/5073.pdf>>.
- [6] *Planeta : Geotermální energie*. Ministerstvo životního prostředí. 2007, roč. XV, č. 4. ISSN 1801-6898.
- [7] Zákon 254/2001 Sb. O vodách a o změně některých zákonů
- [8] PETRÁŠ, Dušan, et al. *Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie*. Bratislava : Jaga group, 2008. 207 s. ISBN 978-80-8076-0.
- [9] BRANDL, H. *Energy foundation and other thermo-active ground sctructures*. [s.l.] : [s.n.], 2006. 122 s.
- [10] JAKEŠ P. 1984 *Planeta Země* . 1. vyd. Praha, Mladá fronta, 1984, 177 s.
- [11] Oklahoma State University 1988. *Closed-Loop/Ground-Source Heat Pump Systéme*. Installation Guide.
- [12] ČÍŽEK, Petr. *Zemní tepelné výměníky tepelných čerpadel se neobejdou bez podzemní vody* [online]. 2005 [cit. 2009-04-21]. Dostupný z WWW: <[http://www.geolog.cz/odborne\\_clanky/Cizek%20TC%20a%20voda.htm](http://www.geolog.cz/odborne_clanky/Cizek%20TC%20a%20voda.htm)>.
- [13] DRBAL, J. *Melirační pedologie*. 2. vyd. Praha, Nakladatelství VŠZ Praha, 1969, 167 s.
- [14] Firemní materialy společnosti Almemo
- [15] Centrum experimentální geotechniky. *Tepelné vlastnosti* [online]. 2002 , 19.09.2006 [cit. 2009-04-21]. Dostupný z WWW: <<http://ceg.fsv.cvut.cz/CZ/ceg-vyzkum/tepelne.htm>>.
- [16] ŠEĐOVÁ, M., ADAMOVSKÝ, R. *Půdní kolektor jako zdroj tepla pro tepelné čerpadlo*. Najnovšie trendy v poľnohospodárstve, v strojárstve a v odpadovom hospodárstve, Nitra. 2009



## **7. Seznam obrázků**

**Obr. 1** Znázornění provedení zemního plošného kolektoru [3]

**Obr. 2** Znázornění provedení geotermální vertikální sondy [3]

**Obr. 3** Princip tepelného čerpadla [4]

**Obr. 4** Sériové spojení [2]

**Obr. 5** Paralelní spojení [2]

**Obr. 6** Zemní výměník tepla s kruhovou smyčkou [2]

**Obr. 7** Plošná klasifikace České republiky z hlediska vhodnosti využití zemského tepla [6]

**Obr. 8** Hlinice na mapě

**Obr. 9** Uspořádání teplotních čidel

**Obr. 10** Datalogger ALMEMO 5990 – 2

**Obr. 11** Datalogger ALMEMO 2890 – 9

**Obr. 12** Senzor FHA646AG

**Obr. 13** Senzor T 123 – 30

**Obr. 14** Pohled na senzory

**Obr. 15** Měřicí přístroj ISOMET [15]

**Obr. 16** Závislost teplotní vodivosti na vlhkosti

**Obr. 17** Závislost tepelné vodivosti na vlhkosti

**Obr. 18** Závislost objemové měrné tepelné kapacity na vlhkosti

**Obr. 19** Průběh teplot v hloubce 0,25 m

**Obr. 20** Průběh teplot

**Obr. 21** Průběh jednotlivých teplot během února

**Obr. 22** Průběh jednotlivých teplot během března

**Obr. 23** Průběh jednotlivých teplot během dubna

## **8. Seznam tabulek**

**Tab. 1** Tepelná vodivost zemin [12]

**Tab. 2** Tepelná vodivost hornin[12]

**Tab. 3** Objemová měrná hmotnost zemin[12]

**Tab. 4** Možnosti využití zemského tepla podle teploty [6]

**Tab. 5** Hodnoty využitelného nízkopotenciálu pro některá území ČR [6]

**Tab. 6** Naměřené tepelné charakteristiky půdy pro různé hloubky