

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

Katedra Environmentálního inženýrství a ochrany prostředí



## **Geotermální energie horkých suchých hornin a možnosti jejího získávání**

### **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Vedoucí bakalářské práce: Doc. RNDr. Ing. Ivan Landa, DrSc

Autor: Zdeněk Perkner

2011

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením konzultanta bakalářské práce Ing. Jana Baiera, a že jsem uvedl všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpal.

V Třebenicích 25.4. 2011

.....  
Zdeněk Perkner

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval všem, co se podíleli na vypracování bakalářské práce. Díky patří vedoucímu mé práce Doc. RNDr. Ing. Ivanu Landovi, DrSC, že jsem mohl toto téma vypracovávat. Za ochotu a poskytnuté informace k litoměřickému projektu děkuji Ing. Pavlovi Gryndlerovi. Největší poděkování patří Ing. Janu Baierovi, za odbornou i metodickou pomoc a za projevenou trpělivost se mnou.

V Třebenicích 25.4.2011

.....  
Zdeněk Perkner

## **Abstrakt**

Bakalářská práce je zaměřena na možnosti získávání geotermální energie. Z informací čerpaných z odborné literatury a ostatních zdrojů shromažďuje teoretické poznatky tohoto obnovitelného zdroje energie.

Úvodní část práce popisuje vznik a přenos geotermální energie a celkovou energetickou bilanci Země. Další část se zabývá zhodnocením možnosti využití geotermální energie metodou HDR. Závěrečná část je věnována možnostmi využití energie HDR v České republice a popsání dosud realizovaných nebo připravovaných projektů.

**Klíčová slova:** Bilance Země, energetický potenciál, Český masiv, geotermální energie, HDR,

## **Abstract**

Bachelor thesis is focused on options for geothermal energy. The information drawn from scientific literature and other sources collect theoretical knowledge of renewable energy sources.

The introductory part describes the emergence and transmission of geothermal energy and the overall energy balance of Earth. Another part deals with the evaluation of possible utilization of geothermal energy by HDR. The final section is devoted to energy use HDR in the Czech Republic and describe yet implemented or planned projects.

**Keywords:** Earth Balance, energy potential, Czech Massif, geothermal energy, HDR

## OBSAH

<b>1. CÍLE PRÁCE.....</b>	<b>7</b>
<b>2. ÚVOD.....</b>	<b>7</b>
<b>3. OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE.....</b>	<b>8</b>
<b>4. GEOTERMÁLNÍ ENERGIE.....</b>	<b>9</b>
4.1 HISTORIE GEOTERMÁLNÍ ENERGIE.....	9
4.2 TEPELNÝ TOK.....	12
4.3 VZNIK GEOTERMÁLNÍ ENERGIE.....	15
4.4 VHODNOST GEOLOGICKÉ STRUKTURY.....	17
4.5 GEOTERMÁLNÍ SYSTÉMY.....	18
4.6 VYUŽITÍ GEOTERMÁLNÍ ENERGIE.....	20
4.7 CELKOVÁ ENERGETICKÁ BILANCE ZEMĚ.....	21
4.7.1 TECHNOLOGIE GEOTERMÁLNÍCH ELEKTRÁREN.....	22
<b>5. METODA HDR ( HOT DRY ROCK).....</b>	<b>23</b>
5.1 PRINCIP METODY HOT DRY ROCK.....	23
5.2 MOŽNOSTI VYUŽITÍ HDR.....	23
<b>6. VYUŽITÍ HDR V ZAHRANIČÍ.....</b>	<b>24</b>
<b>7. GEOTERMÁLNÍ POTENCIÁL ČESKÉ REPUBLIKY.....</b>	<b>25</b>
7.1 VÝZKUM GEOTERMÁLNÍ ENERGIE.....	28
7.2 PROJEKTY V ČESKÉ REPUBLICE.....	30
7.2.1 PROJEKT V DĚČÍNĚ.....	30
7.2.2 PROJEKT V ÚSTÍ NAD LABEM.....	31
7.2.3 PROJEKT V LIBERCI.....	31
7.2.4 OSTATNÍ PROJEKTY.....	32
7.3 METODA HDR V ČESKÉ REPUBLICE.....	32
7.4 ZÁKL. GEO. CHARAKTERISTIKA LITOMĚŘICKÉ OBLASTI.....	32
7.5 REALIZACE PRŮZKUMNÉHO VRTU V LITOMĚŘICÍCH.....	36

7.6 ETAPY PROJEKTU PRŮZKUMNÉHO VRTU.....	37
7.7 PROJEKT HDR V LITOMĚŘICÍCH.....	39
<b>8. DISKUSE.....</b>	<b>40</b>
<b>9. ZÁVĚR.....</b>	<b>41</b>
<b>10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>42</b>
<b>11. PŘÍLOHY.....</b>	<b>45</b>

## 1. CÍLE PRÁCE

Cílem bakalářské práce je shrnutí informací o geotermální energii, jejím vzniku, přenosu a celkové bilanci Země. Dále shrnutí možností využívání této energie metodou HDR, při tom uvést příklady v zahraničí. V závěru práce zhodnotit možnosti využití metody HDR v České republice a popsat realizované nebo připravované projekty. Nedílnou součástí práce je shrnutí a porovnání geotermální energie s ostatními alternativními možnostmi výroby energie.

## 2. ÚVOD

Existence na Zemi je od počátku lidstva spojena s využíváním určité energie. Většina energie pochází ze slunečního záření nebo z nitra planety. Stále vzrůstající zalidněnost Země vede i k rostoucí spotřebě energie potřebné k uspokojování lidských potřeb. Příroda se pomalu, ale jistě vyčerpává z energetických zdrojů, které člověk zhruba 300 let využívá a to především z fosilních paliv ve formě uhlí nebo ropy. Tyto zdroje se vytvářeli několik miliónu let a za několik desítek let mohou být zcela vyčerpány. Jednou z možností jak tomuto předejít, je využívat obnovitelné zdroje energie.

Obnovitelné zdroje energie, ať už sem patří např. sluneční, větrné nebo geotermální zdroje, jsou budoucností tohoto světa a při jejich využívání se nemusíme bát o naše potomky. Fosilní paliva znečišťují životní prostředí, naproti tomu obnovitelné zdroje neprodukuji v podstatě nic, co by přírodě škodilo.

Geotermální energii, kterou jsem si vybral jako téma mé práce, považuji za jednu z nejlepších variant při výběru zdrojů ať už obnovitelných nebo neobnovitelných a to hned z několika důvodů. Již jsem se zmínil o šetrnosti k životnímu prostředí, to považuji za jeden z nejdůležitějších kladů tohoto energetického zdroje. Dalším neméně důležitým aspektem je její nevyčerpatelnost, alespoň co se lidské existence týče. Dále bych mohl uvést tichý provoz v porovnání např. s větrnou elektrárnou, čerpání této energie teoreticky na celé planetě a mnoho dalších výhod.

Samozřejmě má geotermální využívání i několik nevýhod. Jedna z největších je asi její ekonomická stránka při počátečních nákladech a její následná návratnost v řádech desítek let. Toto si ovšem uvědomují i na politické scéně a proto vznikají různé programy na podporu obnovitelných zdrojů.

Není pochyb o tom, že geotermální energie je z globálního hlediska budoucnost světa, proto by každý z nás měl k tomuto přistupovat pozitivně a tím napomáhat čistšímu životnímu prostředí.

### 3. OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE

Obnovitelné zdroje jsou takové zdroje, které se při postupném spotřebování dokážou částečně nebo zcela obnovit.

Rozdíl mezi neobnovitelnými a obnovitelnými zdroji energie je, že obnovitelné zdroje jsou nevyčerpatelné a jejich životnost je srovnatelná se životem lidské civilizace (Beranovský et al., 2000).

ZDROJ	VYUŽITELNÁ FORMA ENERGIE
Radioaktivní rozpad uvnitř Země	Geotermální energie
Pohyb kosmických těles Slunce, Měsíce a planet	Slapová energie (energie přílivu a odlivu)
Záření kosmického prostoru	Sluneční záření Energie vodních toků Energie ledovců Větrná energie Energie mořských vln Sluneční teplo (atmosféra, hydrosféra, litosféra) Energie živé hmoty (biochemická energie)

Tabulka č.1: Základní členění obnovitelných zdrojů energie (zdroj: Beranovský et al., 2000)

V roce 2001 byla světová spotřeba energie tvořena 38 % ropou, 28 % uhlím, 25 % zemním plynem, 5 % obnovitelnými zdroji a 4 % jadernými palivy ( Fiedler, n.d. ex. Sohn, 2001).

V současnosti kryjí obnovitelné zdroje celosvětovou spotřebu energie 12,5 %. Část spotřeby představuje jaderná energie se 6 % a zbytek tvoří fosilní paliva. Ve světě se už dnes vyrábí z obnovitelných zdrojů více jak dvojnásobek energie než z jaderných reaktorů.

Obnovitelné zdroje představují obor, který nabízí několik způsobů jak získat energii z okolního prostředí, bez toho, aby se zamořoval svět a vyčerpávaly zdroje energie pro budoucí generace (Beránek, 2009).

Mezi obnovitelné zdroje energie patří sluneční záření, energie vody a vzduchu, energie biomasy, mořská energie a v poslední době hojně diskutovaná geotermální



energie. Porovnání výhod a nevýhod obnovitelných zdrojů energie je uvedeno v příloze č. 1 a v příloze č. 2 je srovnání energie a investičních nákladů na výrobu elektrické energie z těchto zdrojů.

## **4. GEOTERMÁLNÍ ENERGIE**

Zdroje energie, které se na Zemi využívají se pomalu, ale jistě vyčerpávají, proto lidstvo hledá jiné, vhodnější a nejlépe obnovitelné zdroje energie. Jednou z možností je geotermální energie.

Geotermální systémy je možné definovat, jako prostorově a geologicky vymezenou část litosféry, popřípadě hydrosféry v níž je v porovnání s okolím zjištěna anomálně vysoká teplota (Blažková, 2002 ex. Hazdrová, 1981).

Geotermální energie je z obecného hlediska přírodní teplo Země , které je koncentrované v rezervoárech hornin, obvykle nasycených kapalinou, přitom vzniká potencionálně využitelný zdroj energie. Využití tohoto přírodního tepla je příznivé k životnímu prostředí a prakticky nevyčerpatelné (Blažková, 2002).

### **4.1 Historie geotermální energie**

Historie využívání geotermální energie se nedá přesně určit. Již staří přírodovědci a filozofové psali o podzemním ohni. Využití geotermální energie sahá až do starého Říma, kde vytápěli termální lázně přírodní teplou vodou. Ale nejen v Itálii nalezneme zmínky o využívání zemského tepla, ale i ve Španělsku, Francii, Německu, Řecku, Turecku a také v Anglii. Mezi šestnáctým a sedmnáctým stoletím, kdy vznikaly první doly, které byly několik stovek metrů pod úrovní země se zjistilo, že se vzrůstající hloubkou se zvyšuje i teplota Země. Nejčastěji zmiňovaným prvním vědeckým měřením teploty pod povrchem je pojednání J. J. D. Maurama, který se v roce 1733 snažil zaznamenat teploty v anglických dolech. Údaje z těchto měření se však nezachovaly. Ojedinelá zmínka W. Arnolda (1973) udává, že první vědecké měření teplot v dolech pocházejí z Báňské Štiavnice z roku 1630, dříve známá pod německým názvem Schemnitz. Tehdy měl navštívit tamější doly francouzský astronom a fyzik J. B. Morin, který podle vlastního pozorování napsal, že s každými padesáti metry stoupá teplota o 1 °C (Špičková et al., n.d. ).

Další zmínka o měření teploty byla v roce 1740, v dole Belfort ve Francii. Od roku 1870 se začaly používat ve své době moderní vědecké metody používané ke studiu teplotního režimu Země (Bullard, 1965).

V rané fázi devatenáctého století již byly využívány geotermální tekutiny pro jejich energetický obsah. V chemickém průmyslu tohoto období se získávala v italské oblasti nyní známe jako Larderello z horké vody kyselina boritá buď přirozenou cestou nebo ze speciálně vrtaných mělkých vrtů. V roce 1827 Ital Francesco Larderel, zakladatel tohoto odvětví, vyvinul systém pro využití tepla odpařováním z borové tekutiny, což bylo zřejmě první průmyslové využití geotermální energie. Geotermální pára byla použita ke zvýšení kapaliny v pístových a odstředivých čerpadlech. Mezi lety 1850 až 1875 továrna na Larderello držela monopol v Evropě pro výrobu kyseliny borité. První pokus o výrobu elektrické energie z geotermální páry byl proveden v roce 1904. Výroba elektřiny na Larderello byla obchodní úspěch (Dickson et. Fanelli, 2004).

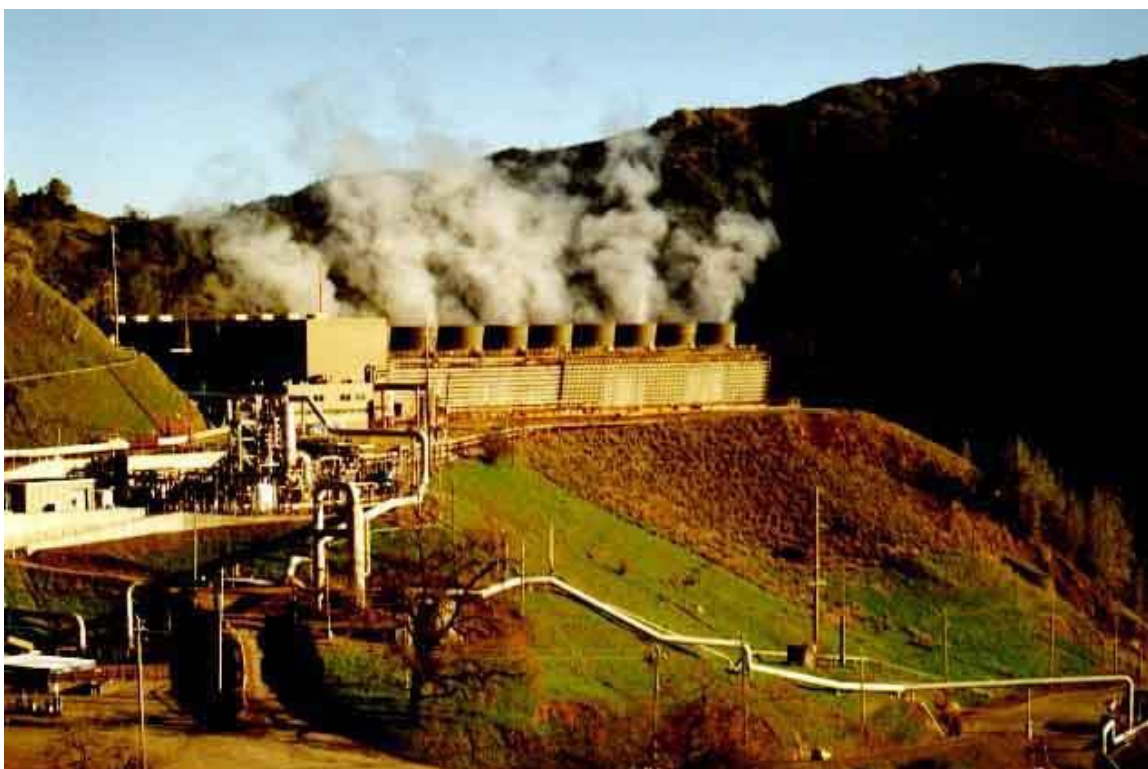
V témže roce Ital Pierro Ginori Conti na stejném místě rozsvítil pět žárovek pomocí přírodní tepelné energie. V roce 1912 již byl v provozu generátor o kapacitě 250 kW elektrické energie (Myslil et al. 2007a).



*Obr. č. 1: Parní stroj použitý v Lardarello v roce 1904 při prvním experimentu výroby elektrické energie z geotermální páry ( na obrázku s vynálezcem Pierrem Ginori Conti) ( zdroj: Rybár, 2007)*

V roce 1942 dosáhl instalovaný výkon 127,650 kW. V letech 1910 až 1940 byly v této oblasti použity nízkotlaké páry k vytápění průmyslových a obytných budov a skleníků (Dickson et Fanelli , 2004).

Příkladem Itálie následovalo několik zemí. První geotermální vrty v Japonsku byly uskutečněny v roce 1919 v Beppu a v USA na Geysers v Kalifornii v roce 1921. Geotermální pole The Geysers nedaleko San Franciska bylo objeveno již v roce 1847. S vrtným průzkumem se tu začalo v roce 1920, ale výroba elektřiny z páry tam začala o čtyřicet let později, v roce 1960. Ze dvou stovek vrtů tam uniká pára, z některých neobyčejnou silou, dokonce takovou, že se vrty nepodařilo uzavřít. Dnes se zde získává elektrická energie v kapacitě až 10 MW z dvaceti vrtů z hloubek 2–3 km (nejhlubší byl 3,2 km), které produkují 1–2 miliony kg přehřáté páry o teplotě 250 °C za hodinu. Efektivita výroby tepelné energie je však nízká, pouze asi 15 %. The Geysers vyrábí nejvíce geotermální energie na celém světě, výroba energie z páry může zásobovat elektřinou milionové město. Na tomto poli bylo vyhloubeno celkem 600 vrtů (Myslil et al. 2007a).



*Obr.č. 2: Geotermální elektrárna v Geysers, USA (zdroj: Rybár, 2007)*

Geotermální elektrárna menšího rozsahu začala pracovat v roce 1958 na Novém Zélandu, v roce 1959 v Mexiku a v mnoha dalších zemích v následujících letech. Zájem o tuto formu energie byl velký, jelikož byla ekonomicky konkurenceschopná s dalšími formami energie a v některých případech to byl jediný zdroj energie v daném místě (Lund, 2007).

V roce 1888 se na Islandu začala používat teplá voda k vytápění skleníků a od roku 1928 se začala využívat geotermální energie (převážně horké páry) pro vytápění domácností (Myslil et al., 2007a).

Tato země je považována za jednu z nejvyspělejších zemí, co se týče geotermálního využívání energie. Island, kde žije něco málo přes 300 000 obyvatel je v současné době plně napájen z obnovitelných zdrojů energie. V roce 2004 údajně vyprodukoval 1465 GWh energie z geotermálních zdrojů (Al-Dabbas, 2009)



Obr. č. 3: Geotermální elektrárna na Islandu (zdroj: <http://liberec.idnes.cz/cez>)

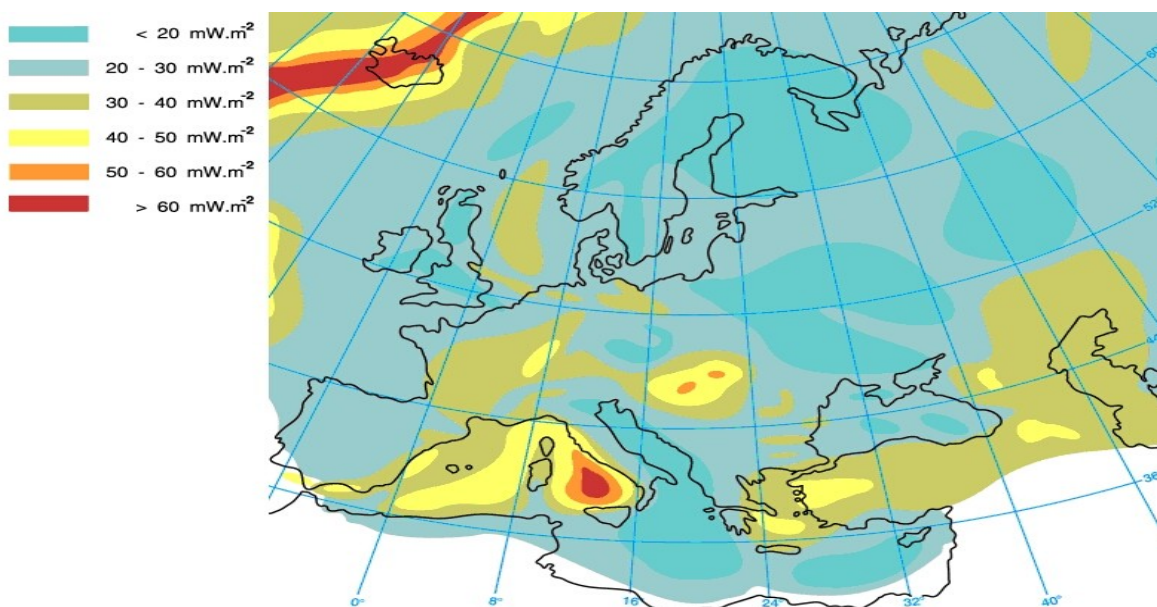
Na území České republiky lze ze středověkých listin vyčíst, že například v kutnohorských stříbrných dolech byla teplota několik stovek metrů pod povrchem mnohokrát vyšší než na povrchu. Další údaj z českého území se zmiňuje, že v příbramském dole Vojtěch, kde se poprvé na světě dostali hlouběji jak 1000 metrů pod povrch, byla teplota 50 °C (Špičková et al., n.d. ).

## 4.2 Tepelný tok

Množství energie, které se dostane během jednoho roku z pozemských hlubin na povrch, odpovídá energii, kterou je možné získat spalováním 35 miliard tun černého uhlí. K přínosu tepelné energie z hloubky dochází tzv. tepelným tokem, který je definován jako množství tepla prostupujícího plochou horniny za určitý čas (Rybár, 2007).

Množství zemského tepla je tedy charakterizováno zemským tepelným tokem. Tento tepelný tok je závislý na tepelné vodivosti hornin a vertikálním přírůstkem

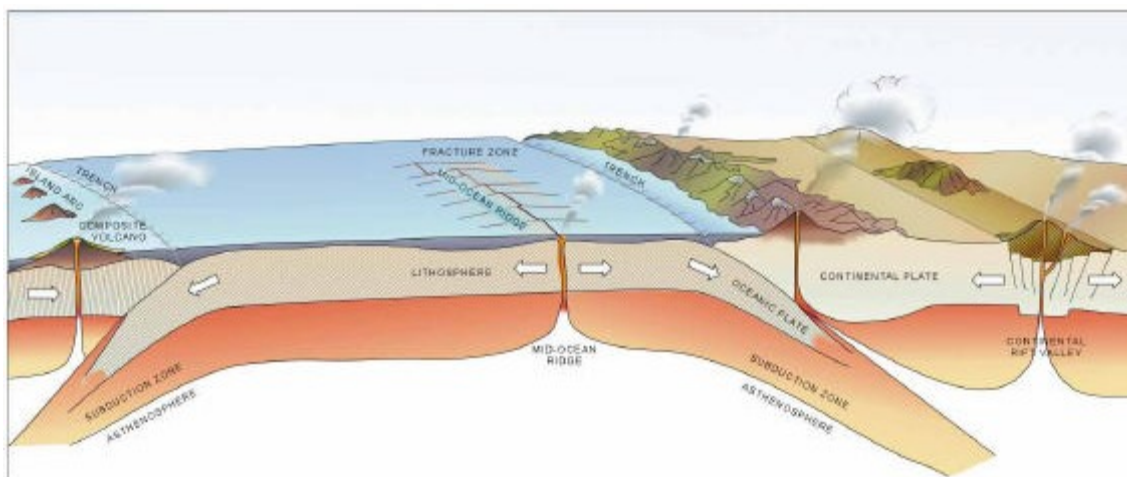
teploty s hloubkou (tepelný gradient). Průměrný tepelný gradient je asi 2,5 až 3 °C/100 m. Například pokud teplota několik metrů pod úrovní země je 15 °C, což odpovídá průměrné roční teplotě vnějšího vzduchu, pak se může důvodně předpokládat, že teplota v hloubce 2 000 metrů bude asi 65°-75°C, v hloubce 3 000 metrů 90°-105°C a tak dále pro dalších několik tisíc metrů. Existují však obrovské oblasti, v nichž se tepelný gradient liší od průměrné hodnoty. V místech, ve kterých hluboké skalní suterény prošly rychlým zatopením a jsou vyplněny s geologicky mladých sedimentů, může být tepelný gradient nižší než 1°C/100 m. Naopak v některých geotermálních oblastech je tepelný gradient dokonce vyšší než desetinásobek průměrné hodnoty (Myslil et al., 2007a).



Obr. č. 4: Mapa tepelného toku Země (<http://leccos.com/index.php/clanky/tepelnny-tok>)

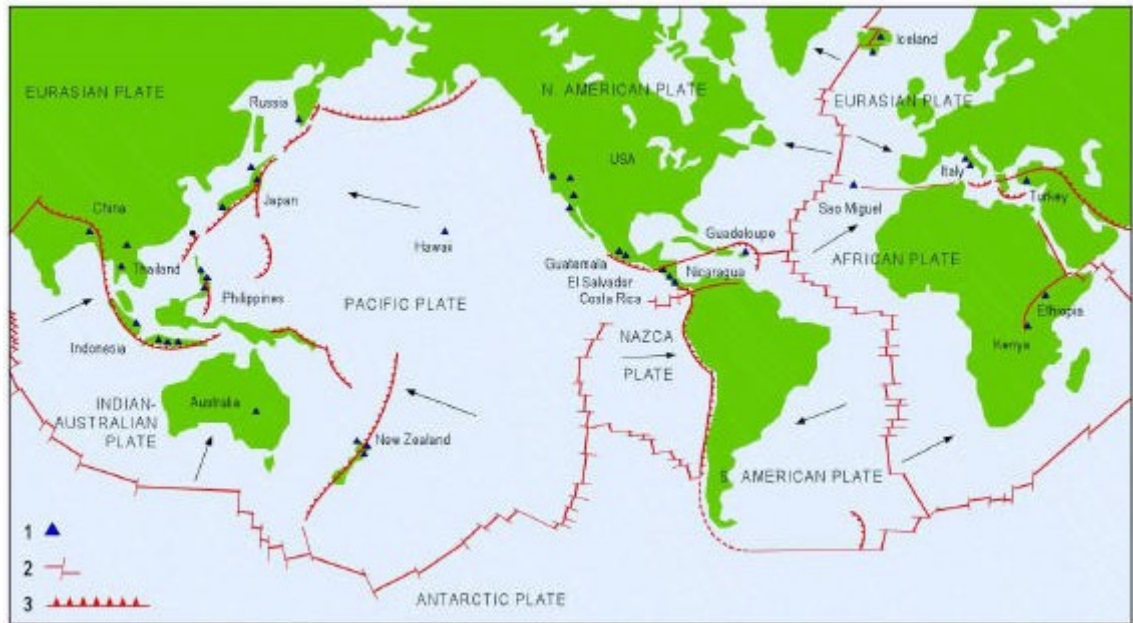
Planeta Země se skládá z kůry, která dosahuje tloušťky asi 20 až 65 km v kontinentálních oblastech a zhruba 5 až 6 km v oceánských oblastech. Dále z pláště, který je asi 2900 km tlustý a jádra, který má průměr asi 3470 km. Fyzikální a chemické vlastnosti kůry, pláště a jádra se liší od povrchu Země do jeho středu. Nejvzdálenější plášť země, který se nazývá litosféra, se skládá z kůry a horní vrstvy pláště. V hloubce méně než 80 km v oceánské oblasti a přes 200 km v kontinentální oblasti se litosféra chová jako tuhé těleso. Pod litosférou je zóna zvaná asthenosféra, která je od 200 km do 300 km na tloušťku. Ta se svým chováním podobá plastické

hmotě. Vzhledem k teplotním rozdílům mezi různými částmi asthenosféry dochází k tomu, že ohromné objemy hluboké, teplejší horniny, která je méně hustší a lehčí než okolní materiál, mají tendenci stoupat směrem k povrchu, zatímco chladnější, hustší a těžší horniny blíže povrchu klesají. V oblastech, kde litosféra je tenčí, a to zejména v oceánských oblastech, dochází k vytlačení velmi horkého a částečně roztaveného materiálu na povrch Země. Většina materiálu stoupající z asthenosféry se rozdělí na dvě větve, které proudí v opačných směrech pod litosférou. Tímto dochází ke zvyšování oceánského dna (oceánské litosféry). V důsledku toho musí být doprovázeno srovnatelným smrštěním litosféry v jiných částech světa.



Obr. č. 5: Schéma průřezu znázorňující procesy deskové tektoniky (zdroj: Dickson et. , Fanelli 2004 )

Planeta Země je rozdělena do šesti obrovských a několik dalších menších litosférických oblastí (litosférických desek). Vzhledem k obrovskému napětí dochází ke stlačování litosférických desek. Na okrajích desek, které jsou slabé, se vyskytuje intenzita seismicity, velké množství sopek a také vysoký tepelný tok. Geotermální projevy lze proto nalézt v místech s normálním nebo mírně nadnormálním gradientem a to především v oblastech kolem okrajů desek (Dickson et Fanelli, 2004).



Obr. č. 6: Šipky na obrázku znázorňují směr pohybu desek. 1) geotermální oblasti výroby elektřiny 2) oceánské vyvýšeniny 3) zóny, kde se desky ohýbají směrem dolů (zdroj: Dickson et , Fanelli, 2004 )

### 4.3 Vznik geotermální energie

Nejstarší energií na světě je geotermální energie, jelikož vznikla při utváření planety Země ze své mateřské mlhoviny před 4,5 miliardami let. Podíl na této energii měli i srážky kosmických těles se Zemí. Dnes je částečně generována rozpadem radioaktivních látek v zemském tělese a za pomoci slapové síly<sup>1</sup> dochází ke vzniku geotermální energie. Jejím projevem jsou erupce sopek a gejzírů nebo vyvěrající horké prameny či parní výrony (Schuhová, 2010).

Rozpad radioaktivních prvků je hlavním producentem tepla v zemské kůře. Samotný uran vyráběl při vzniku Země 60 % vnitřní tepelné energie, doplněný thoriem a radioaktivním draslíkem. Toto platí pro kontinentální kůru, která je bohatá radioaktivními prvky. Bez radioaktivního rozpadu prvků by neexistovala rudná ložiska, nefungovala by desková tektonika, ani by nedocházelo k vulkanickým činnostem. Avšak původ tepla v zemském plášti, v hlubších částech Zeměkoule a v kůře oceánské je stále předmětem diskusí a sporů. S pláštěm by větší problémy na

<sup>1</sup> Slapová síla je druhotným efektem gravitační síly mezi dvěma tělesy, v tomto případě Země a Měsíce. Projevuje se také např. přílivem a odlivem.

vysvětlení být neměly, konvekční proudy vynášejí teplo na bázi kontinentální kůry do teplejší a o hodně tenčí kůry oceánské.

Zdroje o teplotě několik tisíc stupňů v zemských hlubinách je stále nejistý. Zde jsou možné zdroje:

- původní teplo zemského tělesa pocházející z kosmické etapy jeho vzniku, kolik tepla zbylo se neví
- tepelná energie, která vzniká přeměnou kinetické energie při pohybu tektonických desek
- sluneční záření, tento zdroj však ohřívá jen zemský povrch
- teplo, které vzniká stlačováním podložních vrstev vahou nadloží a náhlým uvolněním tlaků
- energie pohlcených seizmických vln
- fyzikálněchemické procesy, které uvolňují teplo ( například oxidace, kdy se prvky slučují s kyslíkem a přecházejí z nižších mocností do vyšších)
- energie, která se uvolňuje při dopadu meteoritů. Kinetická energie meteoritu se mění na tepelnou. Není však jisté, kolik z této energie zůstane v zemi po dopadu
- energie slapových sil, je tvořena třením vodních mas o sebe, ale i o pevný povrch
- rozpad radioaktivních prvků, tento proces se považuje za hlavní zdroj zemského tepla (Myslil et al. 2007).

Realistické teorie tepelných modelů Země byly k dispozici až v roce 1980, kdy bylo prokázáno, že neexistuje rovnováha mezi teplem vnitřku Země a odváděním tepla do prostoru od Země, a že naše planeta se ochlazuje. Tepelná bilance představuje odhadem celkový tok od Země na  $42 \times 10^{12}$  W (kondukcí, konvekcí a radiací) Z toho  $8 \times 10^{12}$  W pochází z kůry,  $32,3 \times 10^{12}$  W pochází z pláště a  $1,7 \times 10^{12}$  W pochází z jádra ( Dickson et Fanelli, 2004 ex. Stacey a Loper, 1988).

Chladicí proces je však velmi pomalý, teplota pláště se snížila o 300 až 350 °C za tři miliardy let, na stávající asi 4 000 °C na jeho základně. Zdroje energie jsou dosažitelné jen ve svrchní části zemské kůry. Odhadem je v nejsvrchnější tříkilometrové části zakonzervováno teplo jak v horninách, tak ve vodě či v páře v množství, které by pokrylo spotřebu lidstva na 100 000 let. Tepelná energie na Zemi je tedy obrovská, ale jen zlomek této energie může být využit člověkem (Dickson et Fanelli, 2004).





Obr. č. 7: Projev geotermální energie ve formě gejzíru (zdroj: <http://www.kompas.estranky.cz>)

#### 4.4 Vhodnost geologické struktury

Příznivou či nepříznivou vhodnost geologické struktury lze hodnotit z geologického hlediska takto:

Příznivé podmínky:

- oblasti se současnou zvýšenou geotermální aktivitou s přírodními drahami teplých vod
- oblast s geologicky starší geotermální aktivitou, které lze určit podle hydrotermálních rud
- přítomnost hydrogeologických struktur s větším obsahem oxidu uhličitého ve vodách
- menší mocnost kůry, užší hranice mezi pláštěm a zemskou kůrou
- nižší nadmořská výška, jako například hluboce zaříznutá údolí toků
- přítomnost poruchových struktur hlubšího dosahu
- přítomnost žilných vyvěřelin
- území prohrátá vulkanickou činností, nejlépe s poruchami, které zasahují hluboko do kůry
- oblasti s výskytem granitoidových hornin, které obsahují více radioaktivních prvků

- oblasti , které tvoří metamorfované horniny s granitoidy v podloží

Nepříznivé podmínky:

- oblasti, které jsou na úbočích vyvýšenin a na jejich nejvyšších partiích

- území bez výskytu granitové horniny s vysokým obsahem radioaktivních prvků

- oblasti s horninami obsahující malé množství radioaktivních prvků

- oblasti s větší mocností zemské kůry a s předpokladem nižší hodnoty tepelného toku

- území tvořené metamorfovanými horninami, které se chovají jako izolátory a nejsou přítomny poruchové zóny

Místo, kde bude geotermální vrt musí mít vhodné geologické složení, v cílové hloubce vrtu musí být vhodná propustnost hornin, aby byla zabezpečena cirkulace vody (Myslil et al. 2007a).

Jedná-li se pouze o vytápění, lze použít i vrty s nižší teplotou, než je potřeba pro geotermální elektrárny (Blažková et al., n.d.)

V takovém případě postačí tepelná čerpadla, která odebírají energii z relativně malých hloubek

## 4.5 Geotermální systémy

Podmínky pro využití geotermální energie nejsou všude stejné, proto se používá několik geotermálních systémů k získávání tepla ze zemské kůry. Nejčastěji se teplo získává využitím fluid cirkulující v zemské kůře. Ovšem se využívá i přímé teplo samotných hornin.

Z pohledu geotermálních struktur a využití fluid se systémy dělí:

- Hydrotermální systémy s nižší tepelnou entalpií. Patří sem zvodně s horkou vodou ( nad 100 °C), teplou vodou ( 40-100 °C), zvodně nízkoteplotní ( 25-400 °C) a termální prameny s teplotou nad 20 °C.

- Hydrotermální systémy s vysokou tepelnou entalpií. Jsou to systémy s vysokým vodním tlakem, systémy s vodní parou a systémy s přehřátou vodou.

Hydrotermální systémy jsou vázané na hydrogeologické a geologické struktury, kde se nacházejí zvodně s teplou vodou buď otevřené nebo uzavřené. Z těchto zvodní je na povrch čerpána teplá voda pomocí jímacích vrtů, která se využívá pro vytápění. V případě vysokých teplot zvodní se využívá v energetice. Je-li zvodně uzavřená nebo objem čerpané vody převyšuje její doplňování, je nutné ochlazenou vodu injektovat

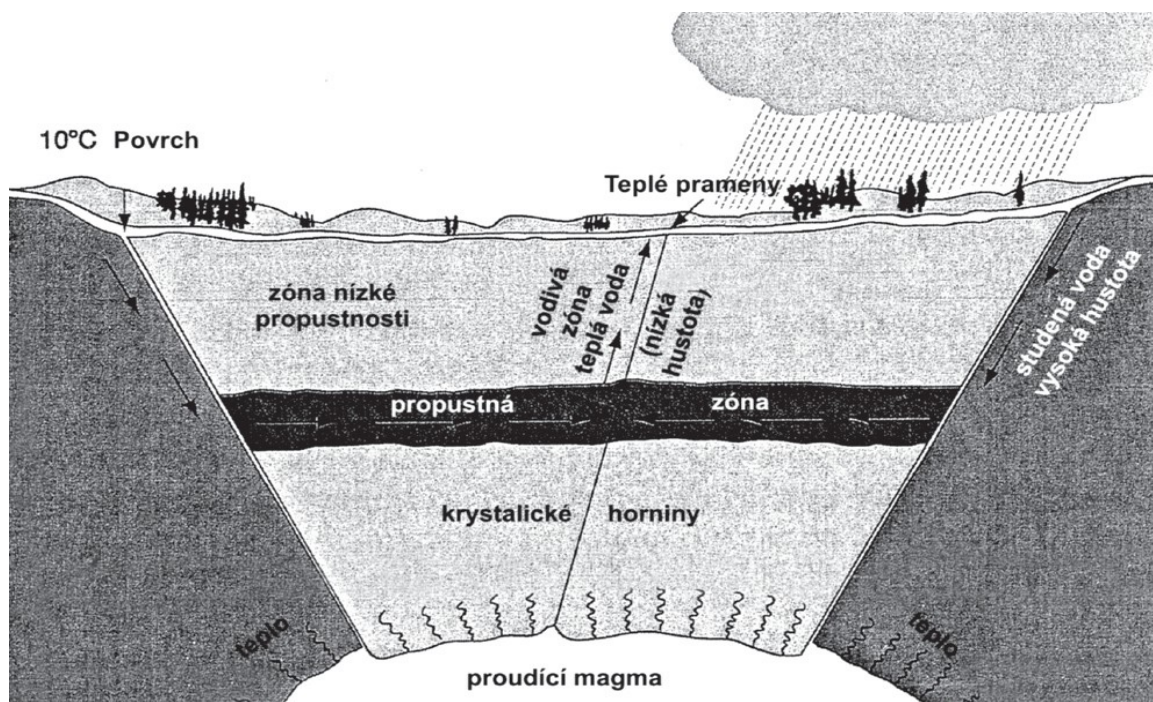
zpět, aby nedocházelo k úbytku kapacity zvodně. Tento systém je využíván v rozsáhlé hluboké druhohorní sedimentární pánvi pařížské ve Francii, terciérní pánvi panonské v Maďarsku a v menších pánevních strukturách v Bulharsku, Rumunsku a Slovensku. V České republice se tento systém využívá z bazálních sedimentů v české křídové pánvi v Děčíně a Ústí nad Labem, kde teplota vody dosahuje 32 až 35 °C. Na Moravě probíhá projekt využití terciérních zvodní karpatských předhlubní a sedimentů vídeňské pánve s teplotami 50 až 70 °C

- Mělké geotermální systémy do teploty 25 °C a hloubky přibližně 400 metrů. Zde sem patří svislé kolektory ve vrtech, zemní kolektory, podzemní voda ve vrtech a studních.

- Systémy, které mají zakonzervované teplo v horninách, magmatická tělesa a suché zemské teplo. Patří sem Hot Dry Rock-HDR a Fractured Hot Rock-FHR

- Systémy hlubokých vrtů pro velké odběratele s odběrem výkonu 2 MW tepelného výkonu. Systém je založen na spojení principu využití vyšších teplot nad 100 °C v hloubkách 3 km a sezónním ukládáním tepla ze solárních baterií a akumulaci tepla v nadzemních rezervoárech. Podmínka tohoto systému je, že musí být vhodný tepelný spád otopného systému a malá vzdálenost tepelného zdroje od uživatele. Tento systém se v současné době rozšiřuje v Německu, Rakousku, Švýcarsku a Itálii.

- Jiné systémy uplatňující vrty hlubší než 400 metrů, sezonní ukládání tepla v horninách v kombinaci s jinými alternativními zdroji, ukládání tepla ve zvodních, přímé využívání tepla vzduchu prohřátého slunečním zářením, teplo povrchových vod a teplo v podzemních prostorách (Myslil et al. 2007a).



Obr. č. 8: Schéma struktury hydrotermálního systému (zdroj: Myslíl, V. et al. 2007)

#### 4.6 Využití geotermální energie

Geotermální energii lze rozdělit z hlediska způsobu využití do tří skupin a to na **nízkoteplotní zdroje, středně teplé zdroje a vysokoteplotní zdroje.**

- Nízkoteplotní zdroje jsou jen "pár" metrů pod povrchem země (řádově několik desítek či stovek metrů). Teplota v takovéto hloubce nedosahuje více jak 90 °C. tepelná energie se získává z podzemní vody nebo geotermálními vrty na "suché" zemské teplo. Tento geotermální potenciál lze využít v neomezeném množství, jelikož odebírané teplo by jinak unikalo do atmosféry. Využívá se převážně k rekreaci, v lázeňství a také v poslední době hojně využívané výrobě tepla pomocí tepelných čerpadel. Zároveň je však vhodná k vytápění domácností nebo komerčních objektů.
- Středně teplé zdroje dosahují teploty 90 °C až 150 °C a využívají se k vytápění objektů, které vyžadují větší spotřebu tepla. Dále se využívají i v průmyslu a zemědělství.
- Vysokoteplotní zdroje jsou v hloubce několika kilometrů pod povrchem země a dosahují teploty nad 150 °C. Tyto zdroje slouží především k přímé výrobě elektrické energie (Blažková, 2002).

Geotermální energie pro lidské potřeby je možné využít buď ve formě tepla nebo pro výrobu elektrické energie. Po celém světě je v současné době nainstalováno přibližně 10 GW elektrické kapacity, což je 0,3 % celosvětové spotřeby elektrické energie. Využití geotermálního potenciálu Země roste ročně zhruba o 3 % (Fridleifsson et al., 2008).

Pro vytápění budov, lázeňství, v průmyslu a zemědělství se využívá 28 GW přímé geotermální tepelné kapacity. ročně tato spotřeba roste přibližně o 7,5 % (Lund et al., 2005).

Možnosti, k čemu se dá využít geotermální energie jsou znázorněny v Lindalově diagramu, který tvoří přílohu č. 3 (Blažková, M., 2002).

#### **4.7 Celková energetická bilance Země**

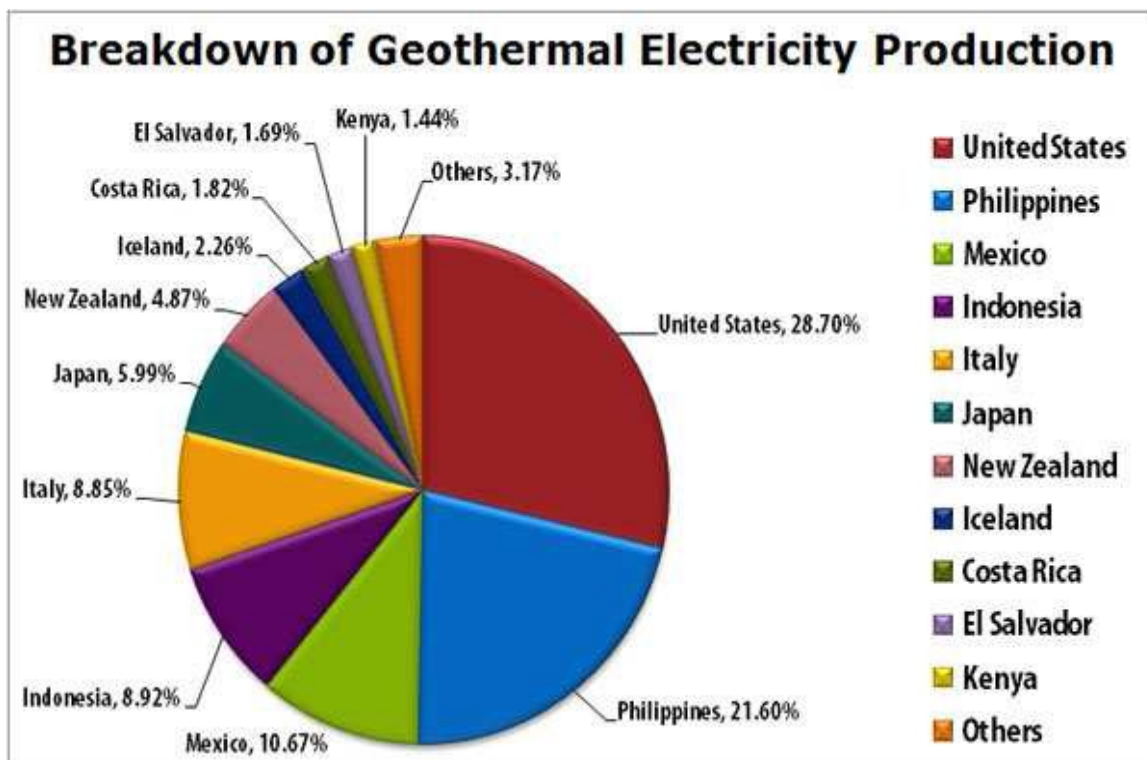
Celkový geotermální výkon, který Země v každém okamžiku uvolní do bezprostředního prostoru je 40 TW, z tohoto důvodu mluvíme o geotermální energii jako o nevyčerpatelném zdroji energie (<http://www.cvevl.cz>).

Geotermální energii využívají země jako jsou např. Island, Austrálie, Velká Británie, Turecko, Japonsko, USA a Čína. Vezme-li se, že geotermální energie je prakticky nevyčerpatelný zdroj a v současné době je po celé Zemi v geotermálních elektrárnách získáváno okolo 10 000 MW, pak je patrné, že jde jen o zanedbatelné procento využití z celkového potenciálu. Geotermální energie se využívá k výrobě tepla, v balneologii, k rekreaci, ale nejvýznamnější využití je k výrobě elektrické energie (Blažková, 2002).

V roce 2005 bylo 24 států vyrobeno celkem 57 GWh (205 PJ) elektrické energie s využitím geotermálních zdrojů. To odpovídá 0,3 % celosvětové spotřebě elektřiny (Bertani, 2005).

Instalovaná kapacita na celém světě je zhruba 28 GW, ale využitelnost je asi 20 %, což není mnoho. Důvodem je fakt, že se teplo využívá především v zimě. Zmiňované údaje zahrnují 88 PJ energie na vytápění (Fridleifsson et al., 2008).

Země, které využívají geotermální energii k výrobě elektřiny a jejich procentuální vyjádření ve vztahu k celkové výrobě v jednotlivých státech jsou podrobněji uvedeny v příloze č. 4 a v příloze č. 5 jsou uvedeny instalovaná zařízení pro výrobu elektřiny ve světě z geotermálních zdrojů.



Obr. č. 9: Procentuální využití geotermální energie v jednotlivých zemích (zdroj: <http://www.geothermal-energy.org>)

#### 4.7.1 Technologie geotermálních elektráren

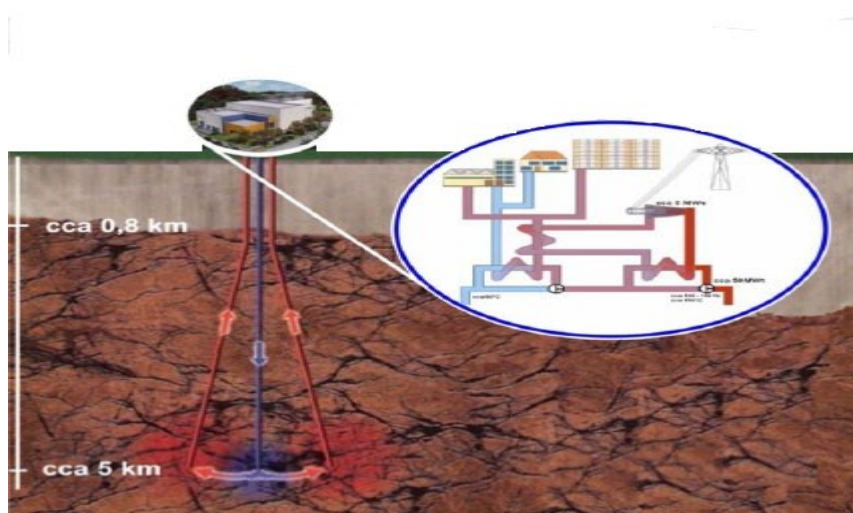
Technologie elektráren využívající geotermální energii lze rozdělit do tří druhů

1. **Systém suché páry**- pára získaná ze země se používá na pohon turbíny
2. **Systém mokré páry**- horká voda se nejprve přemění na páru a teprve ta pohání turbínu
3. **Horkovodní (binární) systém**- voda s nízkou teplotou předá ve výměníku teplo organické kapalině, jako je například freon nebo propan. Tyto látky mají nižší bod varu a teprve vytvořená pára zabezpečuje chod turbíny (Blažková, 2002).

## 5. METODA HDR ( HOT DRY ROCK)

### 5.1 Princip metody HDR

Jak již název metody napovídá ( Hot dry rock v překladu znamená horké suché skály), využívá se tu tepelná energie získaná ve velkých hloubkách z hornin vyhříváných teplem z jádra Země. Tento systém je založený na předpokladu, že v určité hloubce pod povrchem Země jsou horniny suché a nepropustné pro kapaliny. Tlak nadložních hornin je tak velký, že zabraňuje vzniku pórů a dutin. V hloubkách kolem 6 km je při normálním geotermickém stupni teplota hornin až 180 °C a tlaky až 165 megapascalů. Struktura je převážně jen z granitoidových a metamorfovaných hornin, ve kterých je cirkulace fluid omezena jen na tektonické poruchy pásem. Takové prostory se vytvářejí uměle a tím vzniká tepelný výměník. Kapalina, která se do takového prostoru čerpá, cirkuluje a odebírá teplo okolním horninám. Povrchovým výměníkem se pak za malého tlaku kapalina přeměňuje na přehřátou páru, která se používá pro výrobu elektrické energie (Myslil et al., 2007a).



Obr. č. 10: Zjednodušené schéma výměny energie (zdroj: <http://www.litomerice.cz/gte/index.php?lang=cz>)

### 5.2 Možnosti využití HDR

Nejideálnější teplota vhodná k výrobě elektrické energie je 150 °C. Přehřátá pára se též používá i k vytápění (Myslil et al., 2007a).

Využití hluboké geotermální energie, což představuje metoda HDR, vyžaduje důkladné studie z hlediska geotermální struktury daného území. Jedna z nejdůležitějších vlastností struktury je možnost hlubinného oběhu vodního média a vytvoření puklinového výměníku tepla v podzemí. S ohledem na požadavek vysoké teploty se musí hloubit vrty podle teplotního gradientu do cca 5 km v počtu dvou až tří vrtů. Investiční náklady jsou vysoké, ale perspektivně je to jeden ze zdrojů energie budoucnosti, protože jeho vybudování zajišťuje energetickou nezávislost na centrálních zdrojích energie (Blažková, 2002).

## 6. VYUŽITÍ HDR V ZAHRANIČÍ

Metoda HDR se ve světě poprvé užila v roce 1970 v Los Alamos Scientific Laboratory v New Mexiku v USA. Zde se navrhlo propojení paty dvou vrtů umělým štěpením hornin. Systém měl fungovat jako výměník tepla, to znamená do jednoho vrtu vhnět vodu a z druhého těžít horkou páru. Zpočátku byly s tímto systémem technické problémy, ovšem časem se našlo jeho uplatnění. Odborníci v Los Alamos vypočítali, že ochlazení 1 km<sup>3</sup> horniny dokáže provozovat tepelnou elektrárnu o výkonu 30 MW elektrické energie po dobu 30 let. O několik let později se metoda HDR začala uplatňovat prakticky po celém světě. K nejdůležitějším projektům patří Hijiori Geothermal Project v Japonsku, který fungoval v letech 1974–1991, Falkenberg Geothermal Project provozovaný v Německu v letech 1977–1986. Projekt nacházející se ve Velké Británii v letech 1977–1990 byl Geothermal Energy Project, Camborne School of Mines v Cornwallu. V letech 1978–1989 fungoval projekt Mayet de Montagne, ve Francii. V této zemi vznikl v roce 1986 European Geothermal Research Project v Soultz-sous-Forêts, který pracuje dodnes. Dalším projektem metodou HDR byl projekt Fjallbaecka HDR ve Švédsku v letech 1986–1990. Německo má také své zastoupení v systému HDR a to Urach Geothermal Project. Ten vznikl v roce 1977 a pracuje do současné doby (Myslil, 2007a).

Systém HDR se též využívá na jihu Austrálie v oblasti zvané Copper Basin. Zde je v provozu elektrárna Habanero. Ve výstavbě v této zemi jsou ovšem desítky dalších elektráren jako je Paralana, Yerilla, Frome, Heatlow, Blanche a jiné, které budou



pracovat s hlubinnou energií. Bad Urach je v Německu fungující elektrárna metodou HDR ( <http://3pol.cz/783>, 2011).

V roce 2006 byl ve švýcarské Basileji pozastaven projekt geotermální elektrárny metodou HDR, jelikož tam došlo k seizmickým otřesům. Podle odborníků byla voda do vrtu hlubokého 5 km vehnána pod vysokým tlakem. To způsobilo rychlé ochladnutí hornin a následnému zemětřesení o síle 3,4 stupně Richterovy škály. Během zimy 2006-2007 ještě došlo k dalším čtyřem otřesům (<http://digiweb.ihned.cz>).

## **7. GEOTERMÁLNÍ POTENCIÁL ČESKÉ REPUBLIKY**

Geotermální potenciál v jednotlivých oblastech České republiky je značně proměnlivý a to ve vztahu ke geologickým, geotermálním a hydrologickým podmínkám.

Zdroje energie, umožňující užití geotermálního tepla pro výrobu elektrické energie nebo jako zdroje pro centrální vytápění, které jsou využívány např. na Islandu, či v Itálii, se na území ČR prakticky nenajdou ( Zlatareva, 2008).

Při zpracování oblastí jednotlivého regionu je důležité rozdělení na plochy nejvhodnější pro využití geotermální energie pro menší objekty a velké objekty, pro který by geotermální zdroj byl vhodný při využití na hromadné zásobení teplem nebo výrobě elektřiny. V místech, kde je hustší zástavba je nutné detailně propočítat potenciální možnosti omezených ploch z důvodu, aby nedocházelo k rychlejšímu ochlazování svrchní části zemské kůry. V nedávné době byl počítán potenciál geotermální energie pro obce, ale i pro okresy a kraje, a to pro potřeby energetických studií i pro výstavby lokálních geotermálních elektráren (Myslil et al. 2007a).

Území	Využitelný jako „suché“ zemské teplo	Využitelný z podzemní vody	Energetický potenciál celkem MW
Karlovy Vary (okres)	94,8	38,0	132,8
Mělník (okres)	18,6	41,1	59,7
Most (okres)	28,8	7,7	36,5
Potůčky (obec)	2,0	1,3	3,3
Ústí nad Labem (aglomerace)	7,0	11,6	18,6
Chomutov (okres)	71,9	21,1	93,0
Krkonošský národní park	88,5	37,6	126,1
Šumavský národní park	28,5	25,1	53,6
Celkem	340,1	83,5	523,6

Tabulka č. 2: Hodnoty využitelného nízkoteplotního potenciálu pro některá zpracovaná území ( zdroj: Myslil et al. 2007b)

Vyčíslování potenciálu geotermální energie bylo řešeno několika výzkumnými a průzkumnými organizacemi.

Dle současných znalostí je možné vyčlenit:

- Pro vyčíslování potenciálu geotermální energie bylo využito výsledků projektu výzkumu a vývoje MŽP/630/3/99, která se zpracováním podkladů pro stanovení potenciálu využití geotermální energie v ČR precizně zabývala.
- Potenciál využití obnovující se nízkopotenciální energie horninového prostředí a mělkých podzemních vod je dosažitelný všude na území ČR potenciálem energie využitelné tepelnými čerpadly. Tento potenciál je nutné řešit z hlediska geotermálního, technického a hydrogeologického individuálně pro každého konečného spotřebitele.
- Výpočet teoretického potenciálu geotermálního tepla obsaženého v horninách svrchní části zemské kůry maximálně dosažitelného současnou vrtnou technikou v ČR, zpracovaný V. Myslilem a J. Motlikem v roce 2006, dává následující hodnoty:

Podle vzorce od Junga

$$E_{GT} = c \cdot p \cdot O \cdot T_{stf}$$

kde

$E_{GT}$  obsah tepla (J)

c specifická tepelná kapacita hornin (J/kgK)

$\rho$  hustota hornin (kg/m<sup>3</sup>)

$V$  objem hornin (m<sup>3</sup>)

$T_{stř}$  Teplota hornin střední (°C)

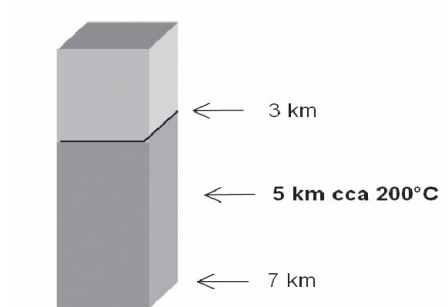
Pro výpočet je uvažováno:

$c=840$  J/kgK

$\rho=2600$  kg/ m<sup>3</sup>

$E_{GT}=118 \cdot 10^{21}$  J

$E_{GT}= 118 000000$  PJ



Uvažujeme využitelný geotermální potenciál jen hodnotou 50 % z výše uvedené vypočítané hodnoty, tedy 59 000000 PJ ( pro srovnání, roční spotřeba primárních energetických zdrojů v ČR je 1 800 PJ).

Podle materiálu TAB je uvažován technický potenciál pro HDR systém jako 50% této hodnoty ( prostorový faktor zvažuje plochu pro jednu instalaci 2 km<sup>2</sup>).

Technický potenciál na ploše Českého masívu je proto  $E_{GT}= 73,783E+21J= 73,783+6PJ$

Uvažujeme-li minimální mocnost jen 2 km, tj. od 3 do 5 km,tedy teplotně pouze první

dvě vrstvy, potom  $E_{GTMin} = 52,441E+21$  J a z toho využitelné zemské teplo  $E_{GTVyužitelné} = 26,22 E+6$  PJ. I tato hodnota je několik tisíckrát vyšší, než je celková potřeba energie v

ČR za rok anebo odpovídá energií na několik set let (Myslil et al. 2007a).

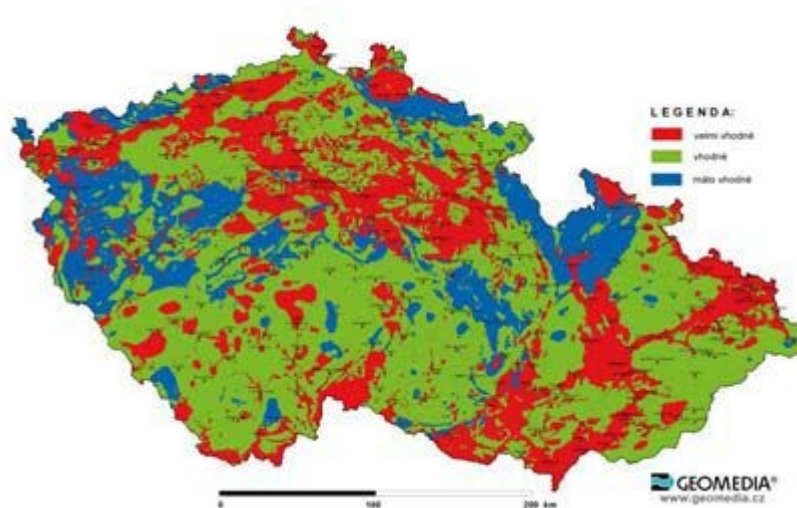
Průměrný tepelný tok z hlubin českého masívu je kolem 65 W/m<sup>2</sup>. Nejvyšších hodnot dosahuje oblast Podkrkonoší a Krušných hor. Naproti tomu např. v Jižních Čechách jsou tepelné toky v hodnotách kolem 20 – 30 W/ m<sup>2</sup> (Zlatareva, 2008).

V České republice se poměrně dlouho využívají termální vody pro lázeňské účely. Spoustu termálních pramenů lze najít v oblasti Karlovarska, která je svým lázeňstvím známá. Prameny v této oblasti dosahují teplot až 72 °C, což lze považovat za nejteplejší v České republice. Jejich vydatnost je navíc poměrně velká a to bez

umělého čerpání, řádově se pohybuje až u 40 l/s. Naproti tomu jsou silně mineralizované s hodnotami kolem 6,5 g/kg. Nižší teplotu pak mají prameny v Teplicích, tam se teplota pohybuje okolo 40 °C. V další lokalitách, ve kterých se termální voda využívá k lázeňským účelům, jsou již teploty nižší, přibližně 30 °C (Brož et Šourek., 2003).

## **7.1 Výzkum geotermální energie**

Výzkumem geotermální energie se intenzivně zabývá zejména geotermické oddělení Geofyzikálního ústavu České akademie věd. Jde o výzkum v hodnocení teplotních poměrů v zemské kůře a svrchním plášti. Teplotní poměry se studují přímým měřením teploty na povrchu i ve vrtech a také modelováním a extrapolací dat do větších hloubek pod povrchem. Extrapolace spočívá v řešení rovnice přenosu tepla v geotermických modelech a určitých částech zemského tělesa. K sestavení modelu se používají informace o rozložení tepelných zdrojů, teplotní a tepelné vodivosti a o hraničních podmínkách (povrchová teplota a její gradient). K přímému měření se slouží přístrojové vybavení zahrnující přenosný teploměr pro teplotní karotáž ve vrtech, umožňující přímé měření do hloubky jednoho kilometru, laboratorní přístroje na měření tepelné a teplotní vodivosti a gamma-spektrometr pro určování množství radioaktivních izotopů uranu, draslíku a thoria a z toho odvozené hodnoty radiogenní produkce tepla. V roce 1981 sestavil V. Čermák mapu tepelného toku pro celé Československo. V této mapě jsou vloženy informace o geotermické aktivitě jednotlivých geologických jednotek Českého masivu, Západních Karpat a okolních jednotek. Tuto mapu lze použít při výpočtu teplotního rozdělení v zemské kůře a plášti (Myslil et al., 2002).



Obr.č. 11: Ukázka mapy tepelného toku v ČR (zdroj: <http://www.mzp.cz>)

V případě teoretické úvahy o vyčerpání, či ochlazení o 1 °C bloku Českého masívu o mocnosti 1 km by se získal energetický potenciál 500 000 PJ. Přitom roční spotřeba primárních energetických zdrojů v České republice činí 1800 PJ (Blažková, 2002).

V projektu "Časové a prostorové změny teplotního pole litosféry Českého masívu", který trval v letech 1997-1999 (podpora GAČR), se studovalo rozložení teplot v křídové pánvi v severovýchodních Čechách. Tento projekt byl zaměřen zejména na migraci tepla přicházejícího z podloží pánve konvekcí podzemní vody v propustných vrstvách pánevních sedimentů. Podpovrchové teploty byly měřeny v osmi vrtech v hydrogeologicky aktivní oblasti, kde jsou dva horizontální kolektory, oddělené nepropustnou vrstvou. Teplota naměřená v jednotlivých vrtech ukázala, že nezávisí na hloubce či členitosti terénu, ve všech vrtech byla stejná. Tato skutečnost odpovídá výsledkům numerické simulace proudění vody horizontální kolektoru. Naproti tomu vertikální teplotní gradient v nepropustné vrstvě a spodním kolektoru není výrazněji ovlivněn prouděním podzemní vody a odpovídá tepelnému toku 90-100 mW/m<sup>2</sup>, které souhlasí s naměřenými zvýšenými hodnotami v ostatních částech pánve (Myslil et al., 2002).

V současné době lze identifikovat z výzkumných studií minimálně 60 lokalit, které jsou vhodné pro výrobu elektrické energie s celkovým výkonem cca 250 MW a pro výrobu tepla k vytápění s výkonem cca 2000 MW. Z těchto údajů lze odvodit, že by roční výroba elektřiny v ČR představovala přibližně 2 TWh a 4 TWh využitelného tepla. V časově vzdáleném horizontu lze předpokládat na vytipovaných

lokalitách vybudování elektráren o celkovém výkonu 3 200 MW, což představuje přibližně 26 TWh výroby ročně ( Blažková, 2002).

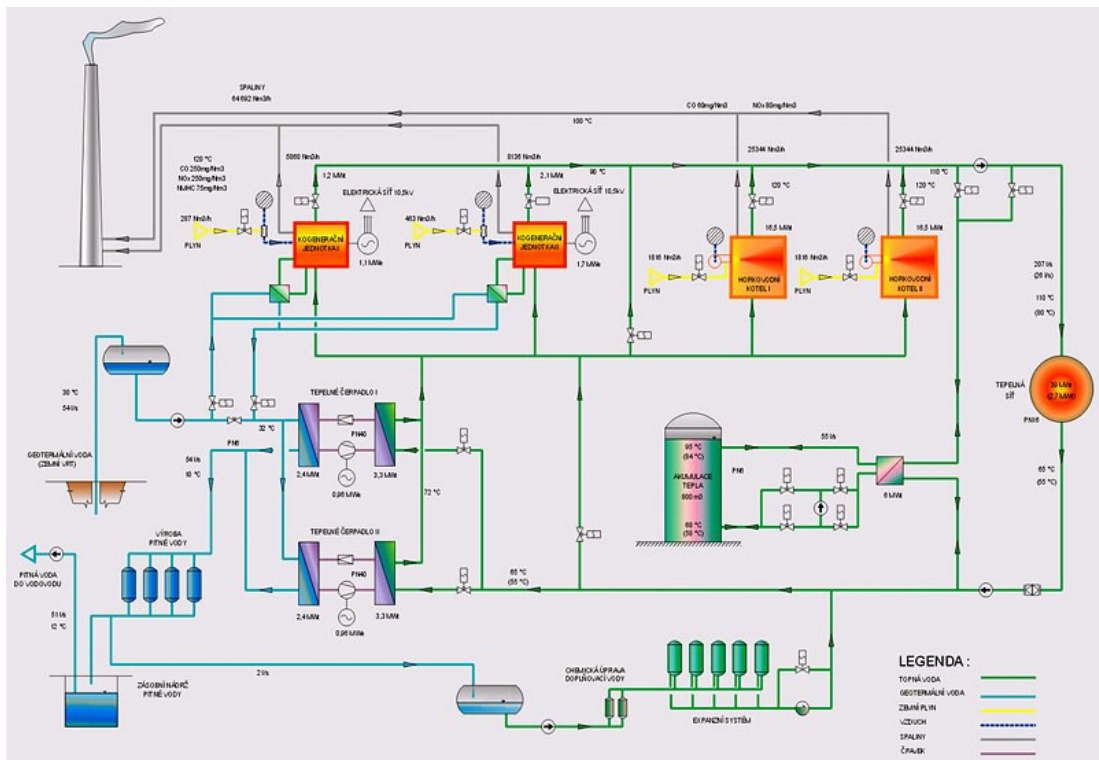
V České republice bylo v minulosti provedeno mnoho hlubinných vrtů, které sloužily ke geologickému průzkumu při hledání hlavně uhlí a ropy, zemního plynu a uranu. Mezi nejhlubší vrt patří Jablůnka, který je do hloubky až 6 506 m. Dnes má ČR přibližně 2000 vrtů, které přesahují hloubku 1 km. Tyto vrty jsou rozmístěny nepravidelně po celém území (Motlík et al., 2007).

## **7.2 Projekty v České republice**

Projekt výzkumu a vývoje MŽP č. 630/3/99 "Možnosti využití geotermální energie pro energetické účely" byl zahájen v roce 1999 a řešen firmou Geomedia (hlavní řešitel V. Myslíl), který v závěrečné zprávě v roce 2002 přinesl nové podklady o tomto zdroji a ukázal na možnosti využívání geotermální energie v České republice. Díky tomu byly na území ČR vytipovány desítky lokalit, vhodných pro výrobu elektrické energie a pro vytápění větších skupinových celků (Myslíl et al., 2002).

### **7.2.1 Projekt v Děčíně**

Projekt využívající nízkoteplotní geotermální energii byl realizován v Děčíně (2000-2002). Zde je využívána termální voda o teplotě 30°C z hloubky 550 metrů a o vydatnosti 54 l/s. Teplárna města tuto energii využívá ze 45%, zbytek je vytápěn plynem.. V Děčíně je tímto vytápěno deset tisíc domácností a místní Aquapark. V tomto aquaparku je vyhřívána plavecká hala a všechny bazény (Blažková, 2002). Zkušební vrt byl proveden v roce 1998 a již za čtyři roky byl centrální zdroj tepla uveden do provozu. Instalovaný výkon jednotlivých zařízení je 2 x 3,28 MWt tepelnými čerpadly, 0,8 MWe/1,01 MWt a 1,94 MWe/2,09 MWt kogeneračními plynovými motory a 2 x 16,5 MWt plynovými kotli. Celkové investiční náklady na vybudování teplárny dosáhli 531 mil. Kč,-. Tyto náklady byly řešeny investičním úvěrem a částečnou dotací Státního fondu životního prostředí (MVV Energie CZ, n.d.)



Obr. č. 12: Schéma systému výroby tepla v Děčíně (zdroj: <http://www.mvv.cz/geotermalni-zdroj-decin.html>)

## 7.2.2 Projekt v Ústí nad Labem

Dalším projektem využívající nízkoteplotní geotermální energii je ZOO Ústí nad Labem (2004–2006). Zde je realizován do hloubky 515 metrů, voda má teplotu 32 °C a vydatnost 12 l/s. V areálu je 5 tepelných stanic a 24 čerpadel, které vytápějí administrativní budovy, pavilony, skleníky, zimoviště atd. (Blažková, 2002).

Instalovaný výkon 7026 GJ tepelné energie plně vynahradil doposud dodávané teplo z trmické teplárny. Z pěti tepelných stanic lze dosáhnout 1057 kW tepelného výkonu a při extrémních podmínkách je možnost posílení výkonu o 298 kW instalovanými elektrokotli. Investice na tento projekt dosáhla výše 48, 5 mil. Kč,- (ZOO, 2006)

## 7.2.3 Projekt v Liberci

V roce 2007 založilo město Liberec veřejnou výzkumnou instituci "Centrum pro výzkum energetického využití litosféry", kde se sdružila i další města a obce (Pardubice, Rumburk, Český Krumlov, Opočno, Úvaly, Nová Paka, Nové Město pod

Smrkem, Heřmanův Městec, Dobruška). Tato výzkumná instituce se zaměří na výzkum a přípravu možností instalovat v těchto městech a obcích zdroje geotermální energie metodou HDR, které by dodávali elektrickou energii do veřejných sítí a tepelnou energii pro vlastní potřebu (Blažková, 2002).

Projekt využití geotermální energie je momentálně pozastaven a v letošním roce se z jeho realizací nepočítá. Důvodem jsou vysoké investiční náklady, které by přesáhly miliardu korun (Trdla, 2011)

#### **7.2.4 Ostatní projekty**

Další města jako jsou Lovosice a Semily o využívání metodou HDR zatím jen uvažují. Zatím jediné město v České republice, která metodu HDR realizuje jsou Litoměřice (Blažková, 2002).

### **7.3 Metoda HDR v České republice**

Tato metoda není v České republice prozatím odzkoušena. Avšak v Litoměřicích vzniká projekt využití geotermální energie metodou HDR. Město Litoměřice se rozhodlo podporovat obnovitelné zdroje energie v domácnostech a zároveň zhruba před sedmy lety vznikla myšlenka využití tepla z nitra Země. Tento projekt využití geotermální energie by umožňoval centrálně zásobovat teplem celé město a zároveň při dostatečně velkém výkonu teplárny by bylo možné distribuovat teplo i do spádových obcí, pokud by projevíly zájem. V době, kdy se nebude využívat získané teplo k vytápění, by se energie využívalo k výrobě tzv. zelené elektřiny. Ta by se následně dodávala do distribučních sítí a tím by přinesla finance do městského rozpočtu (<http://www.litomerice.cz>, 2010).

Zatím je hotov jen zkušební vrt a nachází se v bývalých vojenských Jiříkových kasárnách. Situační mapa místa zkušebního vrtu je umístěna v příloze č. 6.

### **7.4 Základní geologická charakteristika litoměřické oblasti**

Litoměřice spadají do oblasti tzv. Českého masivu. Tento masiv je zbytek variského, či hercynského horstva, který se vyvrátil v době od středního devonu do svrchního



karbonu. Dle teorie deskové tektoniky byla příčinou vrásnění srážka jižní pevniny Gondwany a Severoatlanského kontinentu ([http://ucitele.tym.cz/karel/fg\\_cr\\_1.pdf](http://ucitele.tym.cz/karel/fg_cr_1.pdf))

Složení struktury je známo do několika stovek metrů. Zakrývají ji křídové pánevní sedimenty turonského a cenomanského stáří. Bazální turonské sedimenty jsou zvodněné tak jako cenomanské souvrství, obsahující tlakovou zvodně s prohrátou vodou přibližně na 30 °C. V podloží je okraj permokarbonské pánve s mocností sedimentů až několik stovek metrů, převážně vodních a teplotních izolátorů. Zde stoupá velmi teplotní gradient. Podloží pánevních sedimentů se skládá místy z fylit, někde z granodiorit či z jiných hlubinných vyvřelin. Jelikož není známa mocnost těchto typů hornin, nelze většinou zjistit ani teplotní gradient. Oblast je několika systémy silně tektonicky porušena, z nich jsou některé sledovatelné pouze v podložních formacích a na povrchu se projevují jen rozpukáním a nepatrnými výškovými nebo plošnými posuny. Mladší tektonické projevy jsou výraznější v místech hlubinných zlomů. Využití hlubšího porušení vytváří složené zlomové struktury, jež je v detailu možné identifikovat i více směrů. Tento charakter vykazuje kromě litoměřického zlomového systému i lužický zlom či okrajový podkrušnohorský zlomový systém (Myslil et Frydrych, 2007b).

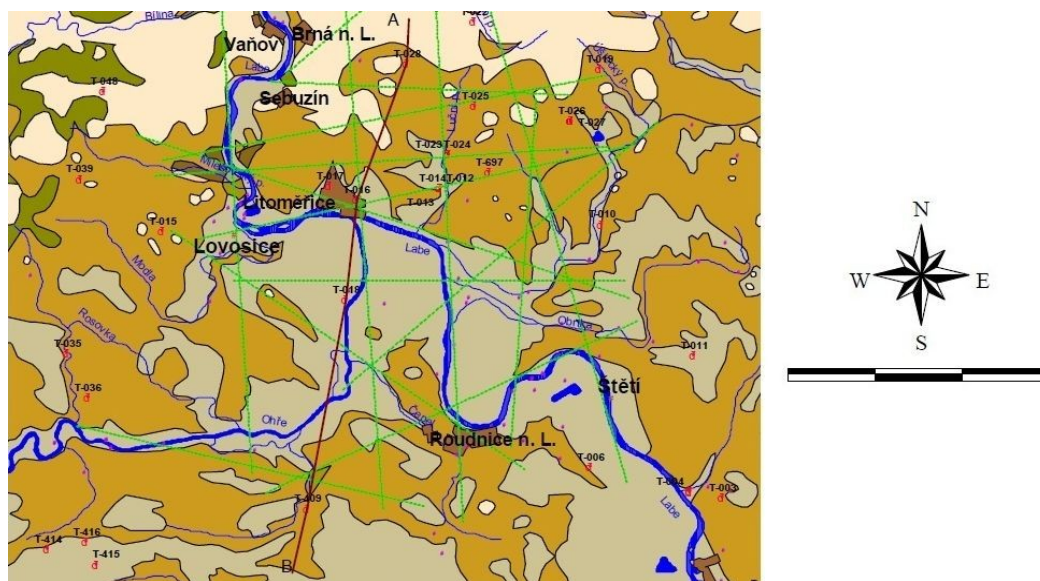
V podstatě je naše území rozděleno do bloků tzv. ker. Zlomový systém Českého masivu je rozdělen do tří směrů:

1. Sudetský směr (SZ-JV)- sem patří jáchymovský zlom, sázavský zlom atd.
2. Krušnohorský směr (JZ-SV)- litoměřický zlom, zlom boskovické brázdy a další
3. Jizerský zlom (S-J)- jizerský zlom, blanická brázda (<http://www.zemepisari.wi.cz>, 2011).

Tyto zlomové systémy jsou poskládány ze směrů V- Z, SV- JZ, S- J i SV- JZ, nebo některých směrů diagonálních. Průběh některých hlubších zlomů, zejména V- Z a S- J je na povrchu sledovatelný většinou jen podle průběhů dnešních vodních toků, které využily rozpukání povrchu sedimentů křídového stáří, nebo i malých pohybů i v terciálních sedimentárních formacích. V různých časových epochách byly bloky zemské kůry posunovány a rotovány, jak vyplývá z paleomagnetických dat a tedy směry ekvatoriální a meridionální se mohou v některých geologických dobách i z části opakovat, nebo změnit i svůj charakter. V permu byl paleomagnetický poledník odchýlen od dnešního zeměpisného poledníku zhruba o 16° a tomuto směru odpovídají prolomy blanická a boskovická brázda v Českém masívu.

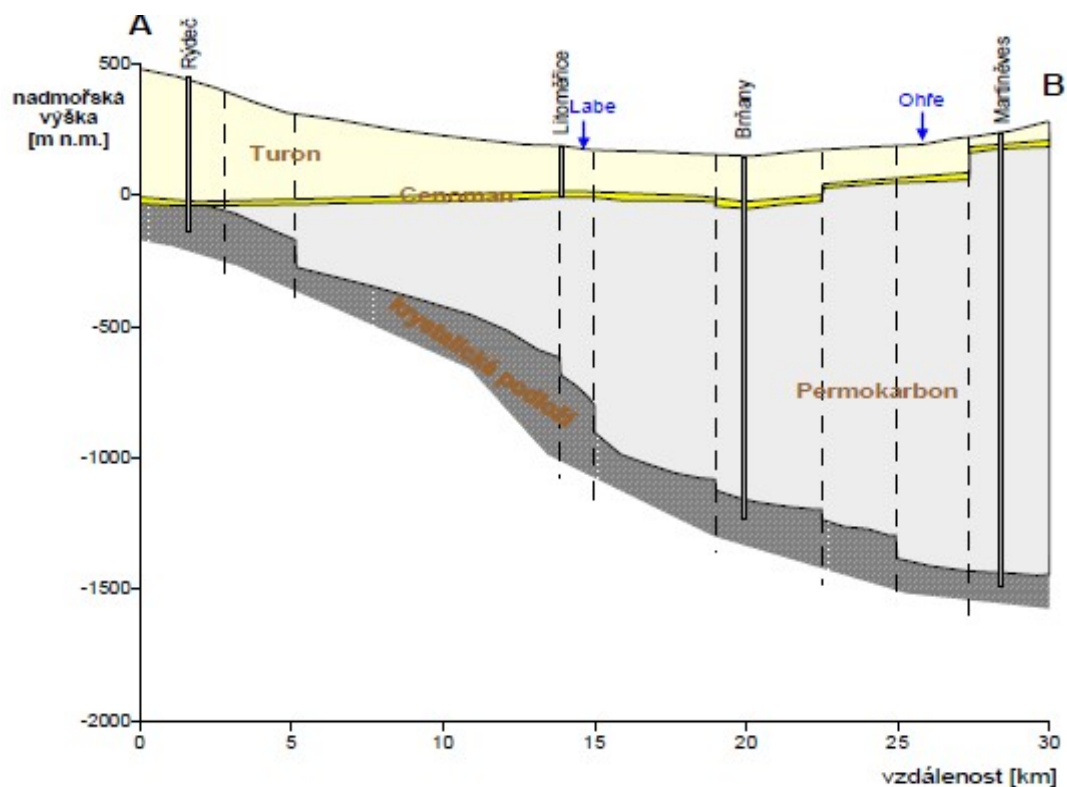
Permokarbonské pánve v podloží České křídové pánve jsou podle J. Chaloupského (1983) ekvatoriálního směru. V podloží křídových pánevních sedimentů tohoto území dokázán výskyt proterozoických hornin, v nichž jsou ostrovy tektonicky omezených žulových hornin, dioritů a gaber a také bazických vulkanogenních hornin (Myslil et al., 2007b ex. Malkovský, 1979).

V podloží křídových sedimentů jsou sledovatelné dva hlavní tektonické systémy: V-Z, S-J staré směry variské a JZ-SV, SZ-JV směry barrandienské a opakované tytéž směry podkrušnohorské (Obr. č. 10).



Obr.č. 13: Geologická mapa okolí Litoměřic s vyznačenými zlomovými systémy (zdroj: Acta Montanista Slovaca, 2007)

Výskyty vulkanogenních hornin, žulových masívů a stará i zmlazená alpinská tektonika umožňuje větší výstup zemského tepla. Význam některých tektonických směrů je sledovatelný až do geologicky nejmladší až současné doby průběhem povrchových toků Labe a Vltavy, jejichž průběh toku je v podstatě poskládan z směrů Z-V, S – J, SZ –JV, případně ze směru sdruženého JZ –SV. Studovaná území je ještě v úseku, kde probíhá jihozápadně jižní okraj zóny s menší hloubkou kůry, což je první předpoklad lepšího výstupu zemského tepla z hloubky a významného tepelného potenciálu svrchních částí zemské kůry. Na řezu severojižního směru (Obr. č. 11) je konstruováno výrazné starší tektonické porušení území hornin permu a karbonu a tedy také podložního krystalinika, zatímco křídové sedimenty mají tektonické porušení jen méně výrazné (Myslil et Frydrieh, 2007b).



Obr. č. 14: Schematický geologický řez A-B (zdroj: Acta Montanista Slovaca, 2007)

Studie geotermálních a vrtných aspektů využití geotermální energie pro výrobu elektrické energie a tepla pro město Litoměřice zpracovává firma GEOMEDIA s.r.o. Zpracování využívá nové podklady geologické, geofyzikální a geotermální, hlavně pokud se týká hlubších struktur Českého masívu. Z celkového pohledu na studovanou problematiku jsou pak vytipovány nadějně oblasti a z nich je dále rozpracován návrh projektu pro nejnadějnější, při čemž je vzato v úvahu i ekonomické hledisko finanční náročnosti nutných průzkumných prací. Předložené zpracování je podkladem pro stanovení geotermálního potenciálu oblasti města Litoměřic. Předpokládaný geotermální potenciál pro HDR systém hloubky cca 5 km byl stanoven na 4 MWe a 15 MWt. Tabulka v příloze č. 7 znázorňuje některé údaje

ve vztahu k vrtům v okolí Litoměřic. Na některých vrtech byl zjištěn vysoký teplotní gradient a tedy teplota 130°C by měla být dosažena již v hloubkách od 3 km do 4 km. Podle současných znalostí je nejperspektivnější území přímo na soutoku Labe a Ohře, kde je křížení zlomů směru V–Z se zlomy sdruženými S–J a dále oba hlavní směry Barrandienu, které jsou shodné s mladším směrem podkrušnohorského riftu. K soutokové oblasti Labe a Ohře směřuje také tzv. Litoměřický zlom, který je poskládaný z několika tektonických systémů. Struktura je tedy velmi příhodná pro využití zemského tepla.

Z geologie a hydrogeologie a po prostudování vrtné dokumentace a její interpretace je možné formulovat základní geotermální charakteristiku nejbližšího okolí Litoměřic:

- Překrytí křídovými sedimenty,
- v podloží sedimentárních hornin jsou hlubinné vyvřeliny žulového typu,
- celková mocnost sedimentárních formací je kolem 1000 m,
- v podloží křídových sedimentů se nacházejí karbonské pánevní struktury, či permské horniny,
- stará jizva VVS - ZZJ směru se na povrchu projevuje jako složený litoměřický zlom,
- jižní omezení vulkanitů Českého Středohoří je V-Z směru,
- téměř S-J směr porušení území sledují i průběhy toků Labe a Ohře, jižně od Litoměřic u Brňan je těleso hlubinných vyvřelin – dioritu V-Z směru,
- podélná osa synklinály křídové sedimentární pánve,
- slabé projevy výstupu CO<sub>2</sub>,
- vyšší naměřený tepelný tok až 85 mW·m<sup>-2</sup> (Myslil et Frydrych, 2007b).

## 7.5 Realizace průzkumného vrtu v Litoměřicích

V roce 2007 se začalo s realizací průzkumného vrtu.. Hlavním cílem projektu bylo realizování středně hlubokého vrtu v litoměřické geotermální struktuře. Provedení vrtu umožňuje získání nových hodnot teplotního pole do hloubky cca 2 500 m, odběr a analýzu vzorků hornin z hlubokého podloží krystalických hornin, prověřit rychlost a možnosti hloubení vrtu v daných horninových, tlakových a

teplotních poměrech, získat nové lokální hodnoty pro detailní modelové řešení, získat podklady pro optimalizaci nutných podkladů a prací pro budoucí další lokality využití geotermální energie pro výrobu elektrické energie a tepla, připravit ideově předběžně několik dalších lokalit v ČR (<http://www.litomerice.cz>, 2010).

V neposlední řadě zde byly odzkoušeny technologie pro vrtání cílových vrtů. Samotné vyvrtání zkušebního vrtu trvalo deset měsíců. V současnosti je již hotov a sahá do hloubky 2 111 m. Při realizaci byly zjištěny vhodné geologické podmínky (Vlková, 2010).

Naměřená teplota v této hloubce ihned po odvrtání činila 63,5 °C. Již půl roku po ukončení vrtání byla teplota na dně vrtu 65 °C a dnes již dosahuje 67 °C .

Z toho vyplývá, že by teplota v 5000 m, kam budou sahat cílové vrty měla být něco málo přes 200 °C. Při vrtání se zjistilo, že je lepší prvních cca 1300 m vrtat běžným způsobem a o něco málo větším průměrem , jelikož se tam nachází měkké horniny. Následně nastoupila metoda vrtání tzv. ponorným čerpadlem. Tento přístroj je spuštěn na dno vrtu. Dutými vrtnými tyčemi je do jeho turbínového soustrojí vháněn proud zahuštěné výplachové vody, která ho pohání. Výplach těmito tyčemi je po celou hloubku vrtu. Výplachová voda smíchaná s odvrtaným materiálem proudí zpět na povrch země kolem výpažnice. Průzkumný vrt má odchylku jen 1°, takže se půdorysně odchyluje do 10 metrů. Dále bylo nezbytné hlídat seizmicitu. Po dobu vrtání nebyla žádná naměřena. Menší otřesy byly zaznamenány mimo vrtací dobu, později se zjistilo, že to nebylo způsobené hloubením, ale nedalekým koncertem hudební skupiny (Vlková, 2010).

## **7.6 Etapy projektu průzkumného vrtu**

Základem projektu průzkumného vrtu byla rešerše geologických, geotermálních a geofyzikálních prací. Poté se provedl povrchový geofyzikální průzkum do větších hloubek.

Pozemní geofyzikální průzkum se soustředil na upřesnění geologické a tektonické stavby v okolí Litoměřic. Při tom byly použity geofyzikální metody refrakční a hlubinná reflexní seismika, odporové metody s velkým hloubkovým dosahem, magnetotelurické měření a gravimetrie. Tyto geofyzikální metody lokalizovaly tektonické porušení hornin v místech litoměřického zlomu, určily v

hloubkovém řezu mocnosti kvartérních, křídových a permokarbonských sedimentů, hloubku a reliéf krystalického podloží a jeho vlastnosti. Nejdůležitější bylo objevit v hloubce žulové těleso, plné energetických radionuklidů a přinášející blíže k povrchu teplo hloubek. Každá z výše uvedených metod se na řešení tohoto úkolu podílela různou měrou a z různého pohledu. V seismických metodách se porušené horniny projevují jako tlumící, v nichž se pomaleji šíří seismické vlny. Starší a hlouběji uložené horniny jsou kompaktnější a seismicky rychlejší. Porušené horniny jsou také více nasyceny vodou (všechny se nachází pod hladinou podzemní vody) a proto jsou elektricky vodivější. To prozradí měření odporová i magnetotelurická (elektromagnetická), která mají možnost dosáhnout do největších hloubek. A pevné žulové masívy mají vysoké odpory - obsahují křemen, slídy a jiné minerály, vesměs nevodivé. Sedimenty (křídové, permokarbonské) je překrývající mají odpory menší - obsahují jílovité polohy, které jsou díky vázané vodě opět elektricky vodivé. A gravimetrie - tíhové měření - je velmi citlivá na hustoty hornin: Kde jsou kompaktní, pevné, neporušené a husté horniny, tam je zemská přitažlivost větší, snížení i velmi malé lze registrovat citlivými gravimetry a to detekuje opět načechrání hmot (jejich deficit) v místech poruch. Tak použitý komplex geofyzikálních metod pronikne do hloubek, kam se dostanou jen finančně nákladné vrty. Výsledkem složité interpretace měřených dat je pak fyzikálně - geologický obraz, jak ukazuje geofyzikální J-S profil přes litoměřický zlom (Karous et Myslík, 2007).

Následně se situoval vrt a tím se mohlo započít s pracemi na samotném průzkumném vrtu. Podmínkou pro optimální situování vrtu byla vysoká teplota v hloubkách v prvních km, porušení - zvýšená poróznost - hornin v hloubce, aby voda mohla volněji proudit od vstupního do výstupního vrtu. Po dokončení hloubení se provedlo karotážní měření (speciální termokarotáž) vrtu, společně s tím se odebraly vzorky hornin, vody a plynů k jejich laboratornímu vyšetření. Po vystrojení vrtu pro jeho další sledování a monitoring se vyhodnotila dosavadní práce a jejich hloubková extrapolace a realizoval se cirkulační test ve vrtu. Součástí projektu také byla studie 3D simulace. Na závěr se vyhodnotily technické a legislativní aspekty řízeného využití geotermálního podzemního výměníku.

## 7.7 Projekt HDR v Litoměřicích

Cílem projektu je zajistit výrobu tepla a elektřiny geotermální energií získanou z vody čerpané z hlubokých vrtů. Ohřev vody bude generovat podzemní tepelný výměník, který ji ohřeje na teplotu 170-205 °C v množství 100 l/s. Pro vytvoření tohoto výměníku tepla se musí vyhloubit tři vrty v jedné linii. Krajní vrty budou v podzemí ukončeny v horizontální vzdálenosti od sebe cca 600 m. Podzemní propojení pro cirkulující vody bude probíhat po přirozených pouchových systémech aktivovaných tlakovým a tepelným štěpením hornin na koncích vrtů. Na povrchu budou krajní vrty od sebe vzdáleny asi 160 m z důvodu zajištění bezpečnosti při úvodním hloubení (Maňour, 2008).

Nejprve se vyvrtá jeden vrt. Až bude hotov započnou práce zároveň na dvou zbývajících vrtech. Zkušební vrt bude sloužit ke směřování vrtných souprav tak, aby se minimalizoval nepatřičný odklon.

Do hloubky 1 km budou vrty paženy, to zabrání vzniku kaveren kolem vrtů v drcených, mylonitizovaných nebo jinak nesoudržných pásmech hornin. Dále to zabrání pronikání agresivních vod obsahujících sírové ionty do vrtu v pásmech hornin, které jsou mineralizované sulfidy nebo sulfáty. Budova povrchové teplárny s kogenerační výrobou elektřiny bude umístěna na linii mezi jedním z krajních vrtů a středním vrtem. Nejnáročnější a nejdražší částí projektu je vyhloubení hlubokých geotermálních vrtů, proto musí být jejich umístění jednoznačné. Vrtná souprava, která bude hloubit bude obsahovat vybavení, které zajistí třídimenzionální směřování vrtu.

Karotážní měření fyzikálních vlastností hornin v kristaliniku a granitických horninách bude prováděno v celé hloubce centrálního vrtu. Pro zjištění rozpuštění hornin a určením směru a úklonu puklin a jejich hustoty bude z hloubky přibližně 3500 a 4500 m odebrán vzorek v délce asi 25 m. Tvar podzemního výměníku bude elipsoidní o velikosti 1200 x 600 m. Dle vypočtených parametrů bude hloubkový rozsah od 4000 do 5000 m. Injekční část centrálního vrtu se projektuje mezi 3500–5000 m a celkovou plochou 38,2 m<sup>2</sup>. Čerpací části krajních vrtů jsou projektovány v rozmezí 4000–5000 m s plochou 2x19,1=38,2 m<sup>2</sup>. Při výpočtech účinnosti podzemního výměníku se vychází z rozevření puklin do 1 mm a předpokladu puklinatosti 1-3% objemu hornin tvořících průtočný systém. Styčné plochy vody jako media přenosu energie s horninou tak budou vytvořeny na ploše 100 000 m<sup>2</sup>.

Předpoklad teploty na dně vrt je 207°C. Pracovní teplota primárního výměníku se projektuje na 178°C při kolísání mezi 170-205°C a tlaku 1,5 MPa (Maňour, 2008).

Nejen při samotném vrtání budou samozřejmě vznikat odpady. Přehled předpokládaných odpadů je uvedený v příloze č. 8.

Předpokládaná roční výroba energie by měla dosahovat 18,4 GWh. Tepelný výkon by měl být 50 MW, z toho 5 MW elektrické energie. Město počítá i s vlastními rozvody tepla, popřípadě se v některých místech napojit na stávající rozvody. Co se týče ekonomické stránky tak by projekt měl stát 1,5 miliardy Kč,-, z toho dotace EU dosáhnou 50-60 %.

V současné době práce na geotermálním projektu v Litoměřicích neprobíhají. Důvodem zpomalení projektu jsou dle vedoucího odboru životního prostředí města Litoměřice pana Ing. Pavla Gryndlera problémy způsobené těžkými dohodami s dodavateli obchodující s energiemi. Nicméně projekt pozastaven není jak se lze někde dočíst a po vyřešení těchto problémů bude dál pokračovat. Předběžně se počítá se zahájením prací v průběhu roku 2012, v závislosti na vyřešení neshod. Dokončení prací a následné spuštění geotermální elektrárny se odhaduje na rok 2015.

## **8. DISKUSE**

Svět si začíná uvědomovat, že současné energetické zdroje využívající se již stovky let pomalu, ale jistě docházejí. Například nejvýznamnější energetický zdroj jako je ropa bude podle odborníků vyčerpána během čtyřiceti let. V dnešní době se lidstvo neobejde bez této suroviny, ale co za těch čtyřicet let? Jediná možnost je nahradit jí obnovitelnými zdroji energie. Využití tepelného potenciálu Země se rozmohlo díky energetické krizi v sedmdesátých letech a v současnosti je naštěstí na vzestupu.

Geotermální energie nabízí možnost výroby tepla i elektrické energie bez toho, aby se škodilo životnímu prostředí už tak velmi poškozeného, právě fosilními zdroji. Velkou výhodou také je, že dodávaná energie může být prakticky 24 hodin denně po dobu lidské existence a navíc je to zdroj regulovatelný.

V případě zrealizování první geotermální elektrárny v Litoměřicích by dodávané teplo a elektřina zajistila energii nejen pro celé město, ale i okolní obce. To by mělo příznivý vliv na životní prostředí ve městě, jelikož by se snížily emise a prašnost.



## 9. ZÁVĚR

Geotermální energie je v posledních letech nejrychleji se rozvíjející oblastí co se týče obnovitelných zdrojů energie. Toto má své opodstatnění, jelikož je to relativně stálý a prakticky nevyčerpatelný zdroj energie. V současné době, kdy nás média informují o stálém zdražování ať už tepla nebo elektrické energie nebo stále rostoucích cenách paliv na čerpacích stanicích se musí každý z nás zamyslet nad tím, je-li možné něčím nahradit pomalu se vyčerpávající současné energetické zdroje. Pokud lidstvo bude informováno o výhodách geotermální energie v širším měřítku než do současné doby tak je můj názor takový, že se stane tento zdroj převládajícím ve využití než jakýkoliv jiný. Otázka je, do jaké míry bude moci být z hlediska ekonomického zajímavý. Vezměme si příklad kolik stál geotermální vrt před několika lety a porovnejme ho s dnešní cenou. Vlivem nových a stále lepších technologií, které žnou ceny projektů geotermální energie dolů pevně věřím, že v blízké budoucnosti si tento zdroj bude moci dovolit prakticky každý.

## 10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Al-dabbas, M. A. A., 2009: The Economical, Enviromental and Technological Evaluation of Using Geothermal Energy, Mutah University, Karak, Jordan, 626-642 s., online: <http://web.ebscohost.com/infodroje.czu.cz/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&hid=8&sid=59f3bd12-4478-4216-ad40-f4570a4082c0%40sessionmgr10>

Beranovský et al., 2000: Metody hodnocení vhodnosti a výtěžnosti OZE pro účely energetických bilancí a energetické statistiky a pro účely regionálního územního plánování a energetických generálů, EkoWATT, Praha, 1-131 s., online: [http://new.ekowatt.cz/upload/185e8ebf18feb4362c73f87f56e58606/97Metodika\\_oze\\_doplнена.pdf](http://new.ekowatt.cz/upload/185e8ebf18feb4362c73f87f56e58606/97Metodika_oze_doplнена.pdf)

Beránek, J. 2009: Naděje podruhé: obnovitelným zdrojů energie se daří, Deník Referendum, Svět, online: <http://www.denikreferendum.cz/clanek/492-nadeje-podruhe-obnovitelnym-zdrojum-energie-se-dari>, cit. 14.12.2009

Blažková, M., 2002: Geotermální energie v Podkrušnohoří. Acta Universitatis Purkynianae. č.80, UJEP Ústí nad Labem, 93 s., online: <http://fzp.ujep.cz/projekty/wd-44-07-1/dokumenty/aktivita/A411.pdf>

Bertani, R., 2005: World geothermal power generation in period 2001-2005. Geothermics, 651-690 s., online: <http://www.sciencedirect.com/>

Brož, K., Šourek, B., 2003: Alternativní zdroje energie, 1. vyd. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1-213 s.

Bullard, E.C., 1965: Historical introduction to terrestrial heat flow, in : Lee, W.H.K., ed. Terrestrial Heat Flow, Amer. Geophys. Un., Geophys. Mon. Ser., 1-6 s.

Dickson, H.M., Fanelli, M., 2004: What is geothermal energy?, Istituto di Geoscienze e Georisorse, Pisa, Italy, 1-33 s., online: <http://www.metu.edu.tr/~mahmut/pete450/Dickson.pdf>

Digi a věda, 2009: geotermální vrty u Basileje vyvolaly zemětřesení. Proto se s nimi končí, Digiweb.iHNed, online: <http://digiweb.ihned.cz/c1-39439650-geotermalni-vrty-u-basileje-vyvolaly-zemetreseni-proto-se-s-nimi-konci>, cit. 11.12.2009

Fiedler, J., n.d.: Obnovitelné zdroje energie v České republice, Energetický ústav, FSI VUT, Brno, 1-5 s. online: <http://oei.fme.vutbr.cz/teplarenstvi/papers/fiedler/oz-v-cr.pdf>

Fridleifsson, I.B., et al., 2008: The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change. In IPCC Scoping Meeting on Renewable Energy Sources, Luebeck, Germany, 20-25 s., online: [http://iga.igg.cnr.it/documenti/IGA/Fridleifsson\\_et\\_al\\_IPCCGeothermal\\_paper\\_2008.pdf](http://iga.igg.cnr.it/documenti/IGA/Fridleifsson_et_al_IPCCGeothermal_paper_2008.pdf)

Karous, M., Myslíl, V., 2007: Geologické a geotermální podmínky pro situování geotermálních vrtů, Geonika UGfAV ČR, Geomedia Praha, online: [www.aquasana.cz/Aquasana\\_soubory/11.9.../3/Geotermalni.doc](http://www.aquasana.cz/Aquasana_soubory/11.9.../3/Geotermalni.doc), cit. 11.9.2007

Lund, J. W. , Freeston, D. H. , Boyd, T. L. 2005: Direct application of geothermal energy: Worldwide review, Geothermics, 691-727 s., online: <http://www.sciencedirect.com/>

Lund, J. W., 2007: Characteristics, Development and Utilisation of Geothermal Recourses, online: <http://geoheat.oit.edu/bulletin/bull28-2/art1.pdf>

Maňour, J., 2008: Geotermální teplárna Litoměřice s kogenerační výrobou elektřiny, oznámení záměru dle zák. č. 100/2001 Sb., ve znění zák. č. 216/2007 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí, Praha, 1-52 s., online: [http://tomcat.cenia.cz/eia/detail.jsp?view=eia\\_cr&id=MZP251](http://tomcat.cenia.cz/eia/detail.jsp?view=eia_cr&id=MZP251)

Myslíl, V. et al., 2002: Závěrečná zpráva úkolu VaV MŽP 630/3/99: Možnosti využití geotermální energie pro energetické účely, Praha

Myslíl, V., Kukul, Z., Pošmourný, K., Frydrych, V., 2007a: Ekologická energie z hlubin Země-současné možnosti využívání. Planeta. Roč. XV, č. 4/2007. MŽP ČR Praha, 1-32s., online: [http://www.env.cz/osv/edice.nsf/4BE8C2DA7BE810F6C125725900456E0A/\\$file/planeta4\\_korektura3.pdf](http://www.env.cz/osv/edice.nsf/4BE8C2DA7BE810F6C125725900456E0A/$file/planeta4_korektura3.pdf)

Myslíl, V., Frydrych, V., 2007b: Využití geotermální energie pro výrobu elektrické energie a tepla pro městskou aglomeraci Litoměřice, Acta Montanistica Slovaca. Roč. 12, 181-186 s. online: <http://www.sustainable.cz/gtelm02.htm>

Motlík, V. et al., 2007: Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v ČR, Praha, 147-150 s., online: <http://www.cez.cz/edee/content/file/o-spolecnosti/oze-cr-all-17-01-obalka-in.pdf>

MVV Energie Cz, Geotermální zdroj v Děčíně, n.d. Online: <http://www.mvv.cz/geotermalni-zdroj-decin.html>

Rybár, P., 2007: Zdroje geotermálne energie a možnosti ich využítie, Acta Montanistica Slovaca, Roč. 12, 2007, 31-41 s., online: <http://www.zadania-seminarky.sk/referat/zemske-teplo-hydrotermalne-systemy/9236>

Schuhová, T., 2010: Geotermální energie: Kolik elektřiny získáváme?, online: <http://www.nazeleno.cz/energie/geotermalni-energie-kolik-elektriny-ziskavame.aspx>, cit. 11.1.2010

Špičková, I., Šturcová, J., Šudřichová, M., n.d.: Využití geotermální energie, 1-20 s., online: [http://www.rescompass.org/IMG/pdf/Geotermalni\\_energie.pdf](http://www.rescompass.org/IMG/pdf/Geotermalni_energie.pdf)

Trdla, M., 2011: ČEZ stopl výstavbu geotermální elektrárny v Liberci, byla by drahá, MF DNES, online: [http://liberec.idnes.cz/cez-stopl-vystavbu-geotermalni-elektrarny-v-liberci-byla-by-draha-1cr-/liberec-zpravy.asp?c=A110210\\_135455\\_liberec-zpravy\\_alh](http://liberec.idnes.cz/cez-stopl-vystavbu-geotermalni-elektrarny-v-liberci-byla-by-draha-1cr-/liberec-zpravy.asp?c=A110210_135455_liberec-zpravy_alh), cit. 3.2.2011

Vlková, J., A., 2008: Geotermální elektrárna v Litoměřicích, Litoměřice, online: [http://casopis.mensa.cz/reakce\\_na\\_akce/geotermalni\\_elektrarna\\_v\\_litomericich.html](http://casopis.mensa.cz/reakce_na_akce/geotermalni_elektrarna_v_litomericich.html)

Zlatareva, V., 2008: Tepelná čepadla, online: <http://www.mpoefekt.cz/dokument/1185.pdf>

ZOO, 2006: ZOO vytápí geotermální energie, Oficiální stránky města Ústí nad Labem, online: <http://www.usti-nad-labem.cz/cz/seznamy-zprav/aktualni-informace/zoo-vytapi-geotermalni-energie.html>, cit. 30.5.2006

### **Internetové zdroje:**

<http://3pol.cz/783>, cit. 25.3. 2011

[http://www.casopisstavebnictvi.cz/metoda-hot-dry-rock-v-litomericich\\_A82\\_I5](http://www.casopisstavebnictvi.cz/metoda-hot-dry-rock-v-litomericich_A82_I5), cit. 18. 11. 2010

<http://leccos.com/index.php/clanky/tepelny-tok>, cit. 9.11. 2010

[http://ucitele.tym.cz/karel/fg\\_cr\\_1.pdf](http://ucitele.tym.cz/karel/fg_cr_1.pdf), cit. 11.4. 2011

<http://www.cvevl.cz/>, cit. 12.4. 2011

<http://www.geomedia.cz/projekty.htm>, cit. 23.3. 2011

<http://www.geothermal-energy.org>, cit. 17.10. 2010

[http://www.kompas.estranky.cz/clanky/clanky---australie\\_-oceanie-a-antarktida/rotorua-wai-o-tapu-novy-zeland.html](http://www.kompas.estranky.cz/clanky/clanky---australie_-oceanie-a-antarktida/rotorua-wai-o-tapu-novy-zeland.html), cit. 16.12. 2010

<http://www.litomerice.cz/gte/index.php?lang=cz>, cit. 7.10. 2010

[http://www.mzp.cz/cz/geotermalni\\_energie](http://www.mzp.cz/cz/geotermalni_energie), cit 7.10. 2010

<http://www.npsumava.cz/gallery/5/1610-vyuzitiozenasumave.pdf>, cit. 21.4. 2011

[http://www.zemepisari.wi.cz/index\\_soubory/download/dalsi/CR\\_popis.pdf](http://www.zemepisari.wi.cz/index_soubory/download/dalsi/CR_popis.pdf), cit. 18. 4. 2011

## 11. PŘÍLOHY

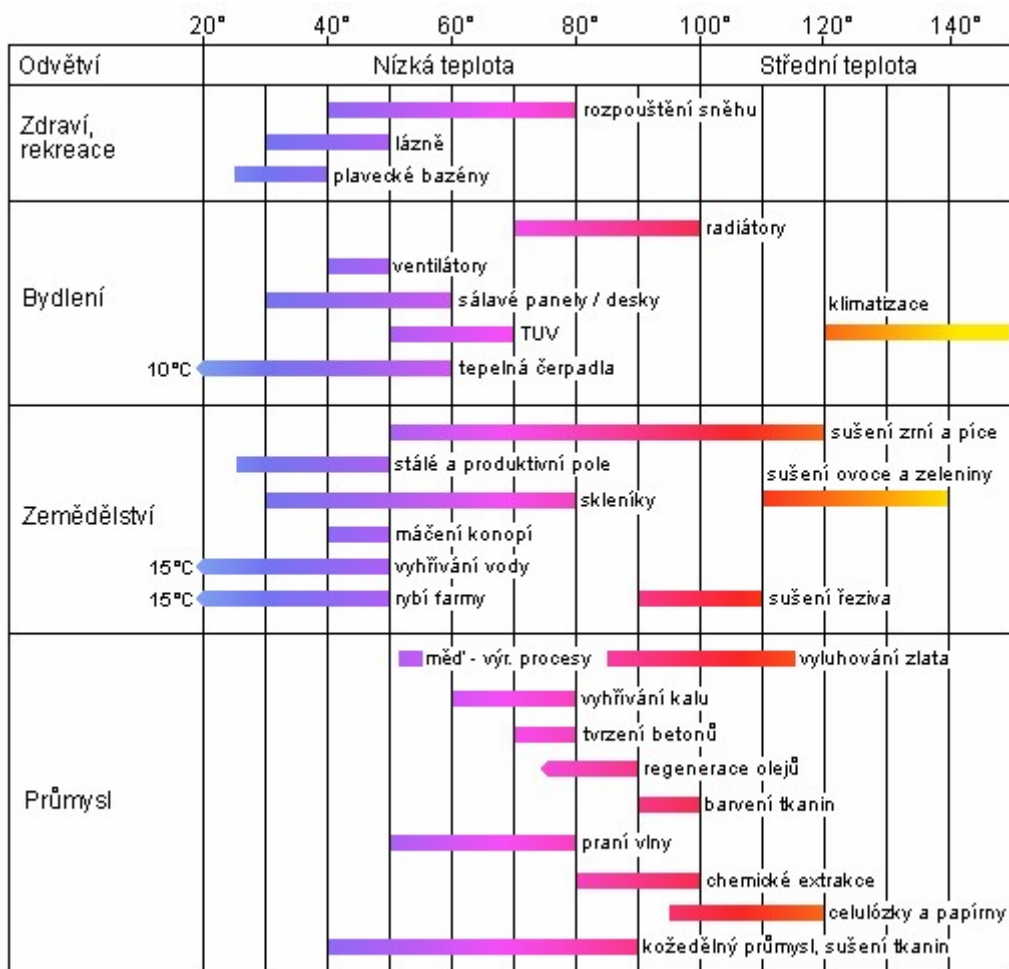
Příloha č. 1: Výhody a nevýhody vybraných alternativních zdrojů (zdroj Špičková et al, n.d.)

Obnovitelný zdroj	Výhody	Nevýhody
Větr	- obnovitelný nevyčerpatelný zdroj energie	- poměrně vysoká hlučnost
	- při výrobě energie nejsou produkovány škodlivé emise	- se stavbou větrné el. o vyšším výkonu třeba vynaložit poměrně vysoké investiční náklady
	- nejsou přenosové ztráty	- nestabilní zdroj
Slunce	- obnovitelný nevyčerpatelný zdroj energie	- nelze ho využít jako samostatný zdroj tepla
	- nízké provozní náklady	
Voda	- obnovitelný nevyčerpatelný zdroj energie	- se stavbou vodního díla spojené poměrně vysoké investiční náklady
	- při výrobě nejsou produkovány škodlivé emise	- poměrně složitá obsluha a údržba zařízení
	- přebytky vyrobené energie může výrobce prodávat do veřejné rozvodné sítě	
Geotermální energie	- obnovitelný nevyčerpatelný zdroj energie	- s využitím spojeny vysoké investiční náklady
	- ekologická výroba energie	- využití technologicky náročné
	- má obnovitelný charakter	- větší objem paliva, vyšší nároky na skladování

Příloha č. 2: Porovnání energie a investičních nákladů u obnovitelných zdrojů energie (zdroj: Rybár, 2007)

Energia/Energy	Náklady na vyrobenou el. energii Current energy cost [US\$.kWh <sup>-1</sup> ]	Potenciálně náklady na vyrobenou el. energii v budoucnosti Potential future energy cost [US\$.kWh <sup>-1</sup> ]	Investiční náklady Turnkey investment cost [US\$.kW <sup>-1</sup> ]
Biomasa/Biomass	5 - 15	4 - 10	900 - 3000
Geotermální/Geothermal	2 - 10	1 - 8	800 - 3000
Větrná/Wind	5 - 13	3 - 10	1100 - 1700
Slunečná/Solar (photovoltaic)	25 - 125	5 - 25	5000 - 10 000
Solar (thermal electricity)	12 - 18	4 - 10	3000 - 4000
Přílivová/Tidal	8 - 15	8 - 15	1700 - 2500

Příloha č. 3: Lindalův diagram (zdroj: Blažková, 2002 ex. Lindal, 1973)



Příloha č. 4: Instalovaná zařízení na výrobu elektřiny v jednotlivých zemích s procentuálním vyjádřením k celkové výrobě v jednotlivých státech ( zdroj: Hutterer, 2001)

Země	Instalované kapacity MWe	Výroba energie GWh	% z celkové výroby energie
Austrálie	0,17	0,9	-
Čína	29,17	100	-
El Salvador	161	800	20
Ethiopie	8,52	30,05	1,85
Filipíny	1 909	9 181	21,52
Francie	4,2	24,6	2
Guatemala	33,4	215,9	3,69
Indonésie	589,5	4 575	5,12
Island	170	1 138	14,73
Itálie	785	4 403	1,68
Japonsko	546,9	3 532	0,36
Keňa	45	366,47	8,41
Kostarika	142,5	592	10,21
Mexiko	755	5 681	3,16
Nicaragua	70	583	17,22
Nový Zéland	437	2 268	6,08
Portugalsko	16	94	-
Rusko	23	85	0,01
Thajsko	0,3	1,8	-
Turecko	20,4	119,73	-
USA	222,8	15 470	0,4
Celkem	7 974,06	49 261,45	

Příloha č. 5: Využívání geotermální energie ve světě (zdroj: Blažková, 2002)

Země	Výroba elektřiny MW	Přímé použití	Roční výroba v GWh	MW roční produkce GWh
Alžír	-	-	1	5
Argentina	0,7	3,5	-	-
Austrálie	0,4	0,8	-	-
Belgie	-	-	3,9	19
Bosna a Hercegovina	-	-	33	230
Bulharsko	-	-	95	346
Česko	-	-	2	15,4
Čína	32	175	1914	4717
Dánsko	-	-	3,2	15
El Salvador	105	486	-	-
Filipíny	1848	8000	-	-
Nový Zéland	345	2900	264	1837
Polsko	-	-	44	144
Portugalsko	11	52	0,8	6,5
Rakousko	-	-	21,1	84
Rumunsko	2	-	237	528
Rusko	11	25	210	673
Řecko	-	-	22,6	37,3
Slovensko	-	-	75	375
Slovinsko	-	-	24	217
Srbsko a Černá Hora	-	-	86	670
Švédsko	-	-	47	351
Švýcarsko	-	-	190	420
Thajsko	0,3	2	2	8
Tunisko	-	-	70	350
Turecko	20	71	160	1232
Ukrajina	-	-	12	92
USA	2850	14600	1905	3971
Evropa celkem	936	4309	4368	20505
Amerika celkem	3883	21529	1908	3984
Asie celkem	3031	16092	3075	12225
Oceánie celkem	345	2901	264	1837
Afrika celkem	453	90	71	355
Svět celkem	8240	45220	96686	38906



Příloha č. 6: Situační mapa s vyznačeným místem litoměřického geotermálního vrtu a areál vojenských kasáren s vyznačením umístění vrtů a teplárny (zdroj: Maňour, 2008)



**Legenda:**

- červené ohraničení- prostor kasáren
- červený ovál- schématické umístění teplárny
- červené křížky- schématické znázornění vrtů
- modrý křížek- průzkumný vrt

Příloha č. 7: Vrtý v okolí Litoměřic s termometrickým měřením (zdroj: Myslíl et Frydrych, 2007)

číslo	Lokalita	hloubka [m]	geotermální gradient [°C/km]	hloubka rozhraní s podložím [m]	podložní hornina	stáří podložní horniny	teplota [°C]	hloubka měřené teploty [m]
T-001	Střemy	1241	38.195	1200	fyilit	proterozoikum	33	809
T-004	Liběchov	1344	44.280	122	jilovec/arkóza	karbon	12.3	124
T-015	Boreč	96	34.500	86	fyilit	proterozoikum	12.3	94
T-016	Litoměřice	192	31.200	185	jilovec/arkóza	permokarbon	9.3	192
T-017	Litoměřice	114	24.880	111	pískovec	karbon	11.3	112
T-018	Břiany	1388	39.607	1312	fyilit/diorit	proterozoikum	48.3	1250
T-019	Brusov	675	46.28 - 56.14	652	prachovec/jilovec	permokarbon	33.4	650
T-021	Žandov	885	21.113	877	jilovec	permokarbon	26.6	879
T-022	Zubnice	812	45.794	792	arkóza	perm	25.6	389
T-023	Býčkovice	359.3	50.410	56	prachovec	turon	22.7	281
T-027	Habřina	240	56.500	111	pískovec/jilovec	turon	21.5	236
T-028	Rýdeč	584	36.273	525	syenit	proterozoikum	26.3	487
T-030	Těchlovice	598	40.134	542	pískovec	cenoman	29.6	527
T-039	Páleč	139	45.300	128	řula	neznámé	12.5	135
T-114	Svor Rousínov	645	16.670	631	jilovec	permokarbon	10.4	537
T-117	Krásné Pole	645	22.566	633	trachyt	terciér	18.8	510
T-378	Střemy	1128	34.884	1119	fyilit	proterozoikum	46.5	1090
T-381	Jelenice	746	29.630	670	fyilit	algonkium	26.5	735
T-409	Martiněves	1736	66.180	1679	žula	neznámé	78.4	1707
T-697	Soběnice	345	49.000	341	jilovec	perm	26.1	345

Příloha č. 8: Tabulka předpokládaných odpadů při realizaci geotermální elektrárny v Litoměřicích (zdroj: Maňour, 2008)

Katalogové číslo	Specifikace	Kategorie	Poznámka
01 05 06	Vrtné kaly a další vrtné odpady obsahující nebezpečné látky	N	výskyt ropných látek je možný jen v případě havárie; vrtné kaly budou obsahovat baryt a v případě proniknutí vrtu do uhelných slojí rovněž chloridy
01 05 99	Odpady jinak blíže neurčené	O	při odvrtávání tamponáže budou kaly obsahovat úlomky betonu, příp. ocelových úlomků
17 01 01	Beton	O	úlomky betonových panelů
17 01 07	Směsi nebo oddělené frakce betonu, cihel, tašek a keramických výrobků neobsahující nebezpečné látky	O	úlomky panelů, směs betonu a zeminy z odtěžení opěrných základových konstrukcí vrtné soupravy; zatvrdlý cement a cementová směs nevyužitá pro pažení vrtu; před likvidací nutno zaručit, že zde neulpívají ropné látky – v tom případě by se jednalo o č. 17 01 06 kategorie N
17 02 01	Dřevo	O	
17 02 03	Plasty	O	izolační fólie; v případě havárie a znečištění ropnými látkami č. 17 02 04 kategorie N

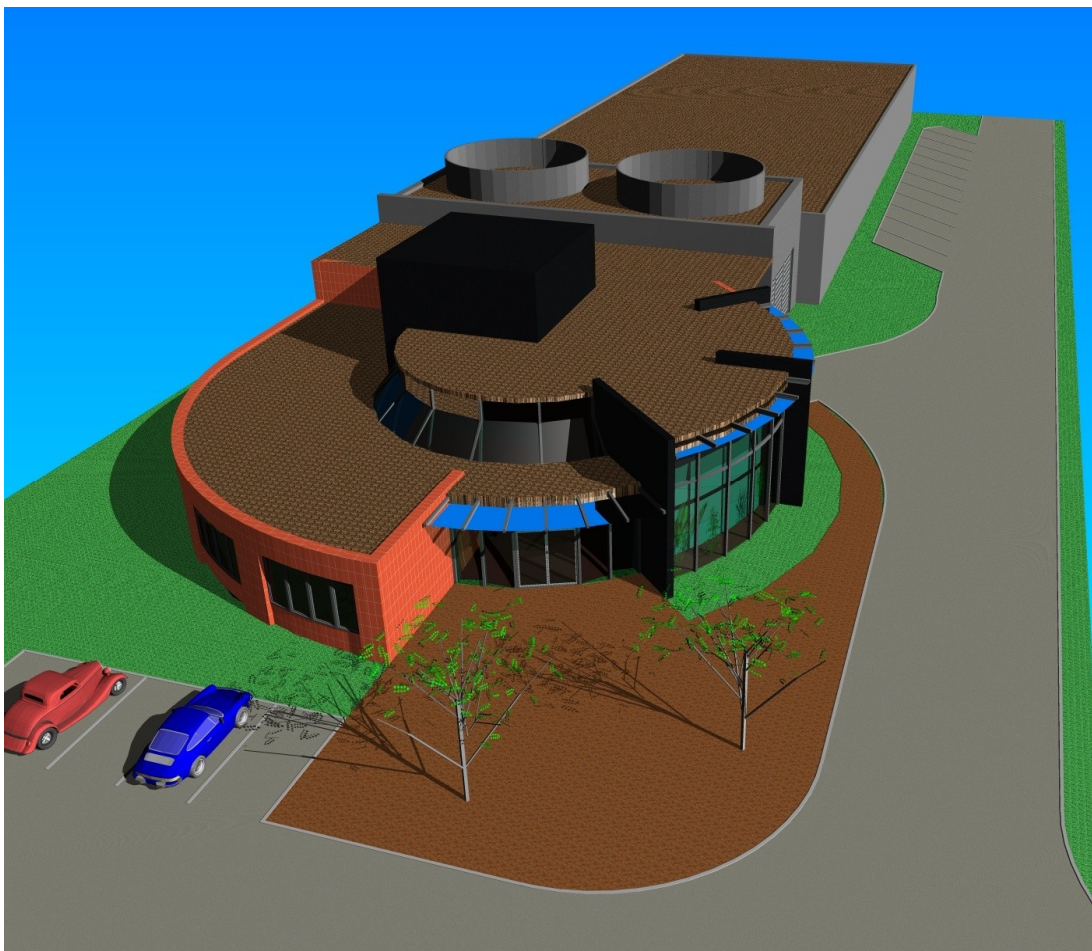
17 04 05	Železo a ocel	O	
17 04 11	Kabely	O	
17 05 03	Zemina a kamení obsahující nebezpečné látky	N	vznik na místě jen v případě havárie
17 05 04	Zemina a kamení neuvedené pod číslem 17 05 03	O	tzn. zemina neobsahující nebezpečné látky
13 01	Odpadní hydraulické oleje	N	vznik na místě jen v případě havárie
13 02	Odpadní motorové, převodové a mazací oleje	N	vznik na místě jen v případě havárie
13 07 01	Topný olej a motorová nafta	N	vznik na místě jen v případě havárie
15 01 01	Papírové a lepenkové obaly	O	z kategorie „Odpadní obaly...“
15 01 02	Plastové obaly	O	
20 01 21	Zářivky a jiný odpad obsahující rtuť	N	
20 01 33	Baterie a akumulátory	N	
20 03 01	Směsný komunální odpad	O	předpokládá se třídění odpadu

Příloha č. 9: Vybrané projekty s využitím geotermální energie firmy Geomedia s.r.o. (zdroj: <http://www.geomedia.cz/projekty.htm>, 2011)

lokality / oblast	popis projektu	zadavatel	období řešení
Tecuamburro, Guatemala	Technical due diligence – posouzení projektové dokumentace, hodnocení geotermálních poměrů oblasti sopky Tecuamburro, technických možností a možných rizik souvisejících s využitím geotermální energie pro geotermální elektrárnu, zhodnocení ekonomiky projektu	Wolfbauer und Partner, Graz	6-7/2009
Jamajka	Úvodní studie možnosti využití geotermálního potenciálu Jamajky – rešerše a základní hodnocení geologických, hydrogeologických a termálních poměrů zájmového území z hlediska perspektivy využití horninového prostředí pro jímání geotermální energie se záměrem výroby elektřiny.	Mines and Geology Division, Kingston	1 - 8/2009
Valašské Meziříčí	Studie možnosti využití potenciálu geotermální energie pro tepelné zásobování sportovního areálu města Valašské Meziříčí – rešerše a hodnocení archivních geologických, hydrogeologických a geotermálních poměrů, typové stanovení prakticky využitelných systémů jímání tepla; odhad efektivně možných výkonů navržených systémů jímání; orientační vyčíslení investičních a provozních nákladů.	Město Valašské Meziříčí	2-4/2009
Jablonec nad Nisou	Úvodní studie možnosti využití geotermálního potenciálu území města – rešerše a základní hodnocení geologických, hydrogeologických a termálních poměrů zájmového území z hlediska perspektivy využití horninového prostředí pro jímání geotermální energie	Jablonecká teplárenská a realitní, a.s.	5-6/2008
Košice	Technical due diligence – posouzení projektové dokumentace, hodnocení přírodních poměrů	EnerCap Capital Partners	6/2008

	košické pánve, technických možností a možných rizik souvisejících s využitím geotermální energie pro výrobu tepla a elektrické energie		
Chrastava	Dostavba areálu Zámeček v Chrastavě – využití hlubinné geotermální energie pro pokrytí části energetické potřeby objektů – zpracování projektové dokumentace pro územní řízení, projektu realizace hlubokého geotermálního vrtu	Imstav Group s.r.o.	10/2007-3/2008
Žatec	Úvodní studie možnosti energetického využití geotermálního potenciálu území města Žatce – rešerše a hodnocení archivních hydrogeologických, geologických a geotermálních údajů.	Žatecká teplárenská, a.s.	6-7/2008
Ústí nad Labem	technicko-ekonomické studie na využití geotermální energie pro Kampus Univerzity Jana Evangelisty Purkyně – studie proveditelnosti v Ústí nad Labem. Návrh a optimalizace možnosti využití tepelných čerpadel pro vytápění budov a výrobu teplé užitkové vody, investiční a provozní náklady, návratnost, úspory, technické parametry a potřeby zařízení, nároky na obsluhu a údržbu, životnost zařízení.	Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem	1-2/2008
Všeň	Projektová příprava výstavby wellness centra – zpracování studií a zpráv hodnotící okolí zájmové lokality z geologického, hydrogeologického a geotermálního hlediska a možnosti využití příznivých hydrogeologických a geotermálních poměrů území pro provoz wellness centra, variantní řešení zásobování objektů geotermální energií, příprava projektové dokumentace pro realizaci hlubinného geotermálního vrtu.	Wellness Centrum Všeň a.s.	2005-2008
Lovosice	Geofyzikální a geotermální průzkum okolí města Lovosice - doplnění geofyzikálních znalostí nejbližšího okolí města Lovosice, nová geofyzikální měření a jejich interpretace pro identifikaci nejvhodnější lokality pro situování hlubinných geotermálních vrtů, reinterpetace geotermálních znalostí pro projekt HDR systému využití zemského tepla pro energetické účely.	Ministerstvo životního prostředí	10-12/2007
Prostějov	Multifunkční relaxačně-rehabilitační, lázeňský a sportovní areál s hotelem a kongresovým centrem Prostějov Ideová studie možnosti získání zdroje vody a využitelnosti zemského tepla.	Style Studio Prostějov	1/2006
Česká republika	Možnosti využití geotermálních zdrojů pro energetické účely, využití geotermálních zdrojů v postižených oblastech – projekt VaV/630/3/99 - přehodnocení vrtné hydrogeologické a teplotní dokumentace, doplnění měření tepelného toku na starších i nových vrtech v ČR, členění ČR podle možnosti uplatnění TČ, pilotní projekty pro využití TČ, kombinace využití zemského tepla se sezónním skladováním tepla, získaného solárními panely nebo z jiných zdrojů např. odpadního tepla, projektová studie možnosti využití hlubinné geotermální energie pro energetické účely	Ministerstvo životního prostředí	1999 - 2003
NP České Švýcarsko	Studie možnosti využití geotermální energie na ploše Národního parku České Švýcarsko.	NP České Švýcarsko	9-12/2003
Plzeňský kraj	Posouzení potenciálu geotermální energie na území Plzeňského kraje	Tebodin a.s.	1-2/2003
Liberecký kraj	Studie geotermálního potenciálu Libereckého kraje	Tebodin a.s.	10-12/2003
Moravskoslezský kraj	Posouzení Potenciálu geotermální energie na území Moravskoslezského kraje	Tebodin a.s.	1-2/2002
NP Šumava	Studie možnosti využití geotermální energie v národním parku Šumava	Ministerstvo životního prostředí	1998
Sokolovsko	Zhodnocení možnosti využití geotermální energie na Sokolovsku, zemské teplo v západní podkrušnohorské oblasti a možnosti jeho využívání	Ministerstvo životního prostředí	1997
Krkonošský národní park	Studie možnosti využití geotermální energie v ekologicky exponovaných územích, Možnosti využití geotermální energie na území KRNP	Ministerstvo životního prostředí	1997
Praha	Hydrogeologické posouzení možnosti jímání podzemní vody jako zdroj pro tepelná čerpadla na vytápění objektů v ZOO Praha	Ministerstvo životního prostředí	1997

Příloha č.10: Architektonická představa vzhledu geotermální elektrárny v Litoměřicích (zdroj: <http://www.litomerice.cz>, 2010)



Příloha č. 11: fotodokumentace vzorku z průzkumného vrtu



*Obr. č. 1: vzorek svoru silně grafitizovaný*



*Obr. č. 2: Viditelné praskliny, potřebné pro oběh vody ve vrtech*



*Obr. č. 3: Detail prasklin*

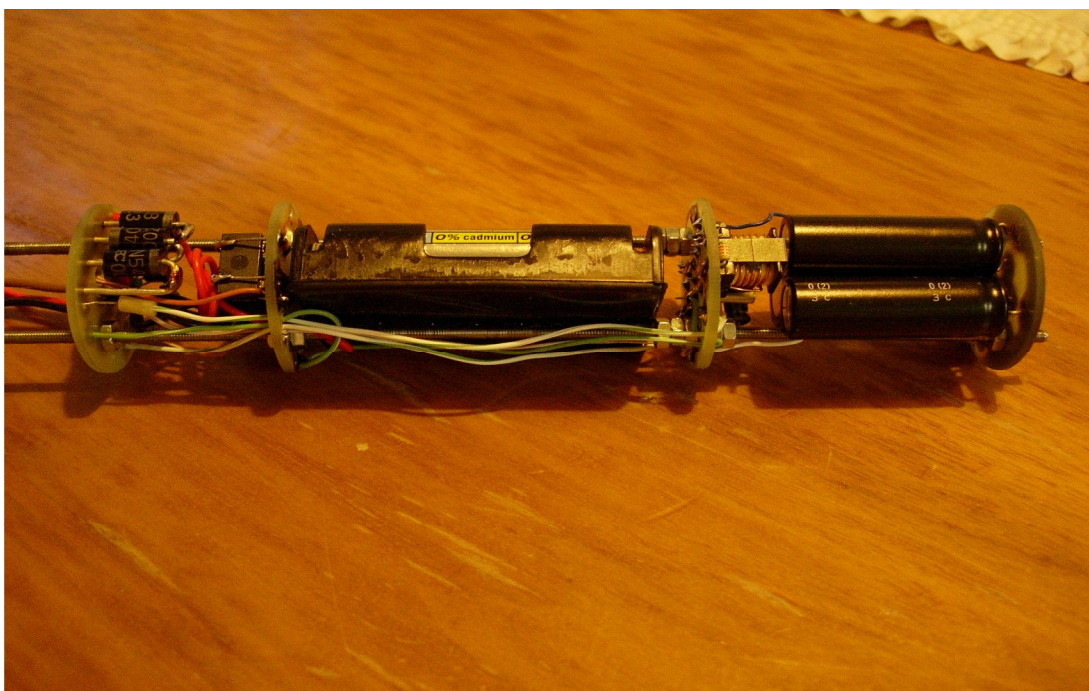
Příloha č. 11: Ústí průzkumného vrtu v Litoměřicích



Příloha č. 12: Vrtná hlavice (zdroj: <http://www.casopisstavebnictvi.cz>)



Příloha č. 13: Zařízení pro zajišťování vakuového rázu při měření prasklin ve vrtech





Příloha č. 14: Snímek zachycující ústí vrtu v geotermální elektrárně Soultz-sous-Forêts ve Francii



Příloha č. 13: Schéma elektrárny v Reykjavíku na Novém Zelandu využívající geotermální energii (zdroj: <http://3pol.cz/783>, 2011)

