

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra environmentálního inženýrství a ochrany prostředí



**Využití tepla suchých hornin ve vztahu
k životnímu prostředí**

Bakalářská práce

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

Bakalant: Roman Šigut

2011



Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra: Katedra environmentálního inženýrství a ochrany prostředí

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro: Roman Šigut

obor: BEKOL

Název tématu: Využití tepla suchých hornin ve vztahu k životnímu prostředí.

Název tématu v anglickém jazyce: The use of dry rocks in relation to the environment

Zásady pro vypracování:

Student zhodnotí metodiku a postupy pro vyprojektování systémů vhodných pro využití geotermální energie suchých hornin. Zhodnotí zkušenosti z Francie, USA, Švédska, ČR a SRN.

Práce bude rozdělena:

1. Úvod
2. Metodika
3. Zhodnocení současného stavu
4. Výsledky prací
5. Diskuze
6. Závěry a doporučení



Rozsah grafických prací: dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: cca 30 stran

Seznam odborné literatury:

Využije údajů z archivu geofondu např. práce dr. Tomáše Pačese, archivu AV ČR např. práce dr. Čermáka a výsledky průzkumného vrtu v Litoměřicích (zprávy AV ČR a firmy Geomedia).

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

Konzultant bakalářské práce:


Datum zadání bakalářské práce: 13.8.2010

Termín odevzdání rešerše: 31.12.2010

Termín odevzdání I. verze práce : 28.2. 2011

Termín odevzdání bakalářské práce: 25.4. 2011

L.S.


Vedoucí katedry
Doc. RNDr. Ing. Ivan Landa, DrSc.




Děkan
Prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

V Praze dne 30.9. 2010

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením prof. RNDr. Ing. Ivana Landy, DrSc., a že jsem uvedl všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpal.

V Praze dne 25.4.2011

.....

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval prof. RNDr. Ing. Ivanu Landovi, DrSc. za vedení bakalářské práce, společnosti Geomedia za poskytnuté dokumenty a rodině za trpělivost a pomoc.

V Praze dne 25.4.2011

.....

Abstrakt

Bakalářská práce „Využití tepla suchých hornin ve vztahu k životnímu prostředí“ se zabývá možnostmi získání elektrické či tepelné energie pomocí geotermální energie. Jedním z hlavních cílů práce je posouzení současného stavu jednoho z typů využívání geotermální energie, konkrétně systému tepla suchých hornin. Dále zhodnocení možnosti aplikace systému a role, kterou bude hrát v budoucím energetickém směřování lidské společnosti. Z důvodu kontextu práce nejprve stručně rozebírá základní typy alternativní energie. Druhá část práce se věnuje obecnějšímu rozboru geotermální energie jako takové, společně s možnostmi jejího celosvětového, ale i oblastního využití. V této části zároveň není možné opomenout tepelná čerpadla, jakožto systém využívající tepla suchých hornin, což je téma, kterému se věnuje následující kapitola práce. Na základě poznatků získaných v průběhu druhé části práce je možné detailněji rozebrat systém tepla suchých hornin, a to jak ve světě, tak také v ČR. Poslední část práce se zabývá detailnější analýzou připravovaného projektu geotermální elektrárny v Litoměřicích využívajícího právě systému tepla suchých hornin.

Klíčová slova

Litoměřice, tepelná čerpadla, obnovitelný zdroj, energie, vrt, podzemní rezervoár

Abstract

The bachelor thesis “The use of the heat from dry rocks in a relation to the environment” focuses on the possibilities of generating electric or thermal energy by use of geothermal energy. One of the main goals of this thesis is to analyse one of the current ways of using geothermal energy from the use of the heat from hot dry rocks. Furthermore, the thesis points out the advantages and limitations of such use as well as the future role of this way of generating energy. In order to better explain this topic, the thesis firstly explains the major types of alternative energy we use today. The second part of the thesis is devoted to a general analysis of geothermal energy including its potential of global and local use. It is in this part where heat pumps are analysed as one of the systems that use the heat from dry rocks. This issue is then deeply analysed in the following part of this thesis. As a result of the previous analysis, it is possible to examine in further details the system of use of hot dry rocks, not only on the global scale, but also in the Czech Republic. The last part

of this thesis is focusing on a detailed study of the forthcoming project of geothermal energy in Litoměřice that will exploit the use of dry rocks.

Key words

Litoměřice, heat pumps, renewable resources, energy, drill, underground reservoir

Obsah

SEZNAM ZKRATEK	9
SEZNAM OBRÁZKŮ	10
SEZNAM TABULEK	10
ÚVOD	11
CÍLE BP	13
METODIKA	14
1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ ZDROJŮ ENERGIE	15
1.1 KONVENČNÍ ZDROJE ENERGIE	15
1.2 ALTERNATIVNÍ ENERGIE	16
1.2.1 <i>Geotermální energie</i>	16
1.2.2 <i>Biomasa</i>	16
1.2.3 <i>Sluneční energie</i>	17
1.2.4 <i>Vodní energie</i>	17
1.2.5 <i>Větrná energie</i>	18
1.3 ZHODNOCENÍ.....	18
2 GEOTERMÁLNÍ ENERGIE	20
2.1 VÝHODY GEOTERMÁLNÍ ENERGIE	21
2.2 NEVÝHODY GEOTERMÁLNÍ ENERGIE.....	21
2.3 STAVBA ZEMĚ	22
2.4 PŮVOD TEPLA ZEMSKÉHO TĚLESA.....	23
2.5 MÍSTA VHODNÁ PRO INSTALACI GEOTERMÁLNÍCH ELEKTRÁREN	24
2.6 SITUACE VE SVĚTĚ.....	24
2.7 SITUACE V ČESKÉ REPUBLICE.....	26
2.7.1 <i>Děčín</i>	27
2.7.2 <i>Ostrava</i>	28
2.8 GEOTERMÁLNÍ ELEKTRÁRNY	28
2.9 TEPELNÁ ČERPADLA	31
2.9.1 <i>Systém voda-voda</i>	33
2.9.2 <i>Systém voda-vzduch</i>	34
2.9.3 <i>Systém země-voda</i>	34
2.9.4 <i>Právní úprava</i>	36
3 TEPLO SUCHÝCH HORNIN	37
3.1 SYSTÉM BUDOVÁNÍ.....	38
3.2 EKONOMIKA PROJEKTŮ.....	40
3.3 HISTORIE HDR	40
3.4 SUCHÉ HORNINY VE SVĚTĚ	41
3.4.1 <i>USA</i>	41
3.4.2 <i>Francie</i>	42
3.4.3 <i>Velká Británie</i>	43
3.4.4 <i>Japonsko</i>	43
3.4.5 <i>Německo</i>	44
3.4.6 <i>Švédsko</i>	44
3.5 VÝHODY TEPLA SUCHÝCH HORNIN	45
3.6 NEVÝHODY TEPLA SUCHÝCH HORNIN	45
4 SUCHÉ HORNINY V ČR	47
4.1 HDR PROJEKTY V ČR	48
5 GEOTERMÁLNÍ ELEKTRÁRNA V LITOMĚŘICÍCH	48
5.1 GEOLOGIE OBLASTI	49
5.2 FINANCOVÁNÍ.....	50
5.3 SOUČASNÝ STAV.....	51
5.4 FINÁLNÍ PODOBA PROJEKTU.....	51
DISKUSE	52
ZÁVĚR	54
PŘEHLED LITERATURY A POUŽITÝCH ZDROJŮ	55

Seznam zkratek

cca – cirka

ČEZ – České energetické závody

ČR – Česká republika

EGS – Enhanced Geothermal Systems

EU – Evropská unie

GE – geotermální energie

GWh – gigawatt hodin

HDR Hot Dry Rock

HFR – Hot-Fractured-Rock

HWR – Hot-Wet-Rock

Kč – Koruna česká

km – kilometr

km³ – kilometr krychlový

kW – kilowatt

kWh – kilowatt hodina

l/s – litr za sekundu

LASL – Los Almos Scientific Laboratory

m – metr

m/s – metr za sekundu

mil. – milion

MIT – Massachusetts Institute of Technology

mld. – miliarda

MW – megawatt

MWe – megawatt energie

PJ – petajoule

°C – stupeň celsia

TČ – tepelné čerpadlo

tis. – tisíc

TWh – terawatt hodina

USA – Spojené státy americké

Seznam obrázků

Obrázek 1: Lindalův diagram.....	21
Obrázek 2: Geologicky aktivní oblasti světa, Ohnivý kruh (Ring of Fire).....	25
Obrázek 3: Plošná klasifikace území ČR vhodnosti využití vyššího potenciálu zemského tepla.	27
Obrázek 4: Geotermální elektrárna s principem suché páry.	29
Obrázek 5: Geotermální elektrárna s principem mokré páry.	30
Obrázek 6: Geotermální elektrárna s binárním principem.	31
Obrázek 7: Princip tepelného čerpadla.	32
Obrázek 8: Využití systému voda-voda	33
Obrázek 9: Využití systému voda-vzduch	34
Obrázek 10: Využití systému země–voda.....	35
Obrázek 11: Schéma ideálního HDR systému	37
Obrázek 12: Závislost stimulace na různých faktorech	39
Obrázek 13: Uzavřený okruh geotermální elektrárny, geotermálních vrtů a podzemního rezervoáru	39
Obrázek 14: Schéma vrtu, první část – předpokládaný výsledek, druhá část – reálný výsledek.....	42
Obrázek 15: Některé z nadějných lokalit pro využití systému HDR.....	47
Obrázek 16: Vývoj geotermální energie v ČR v letech.	48
Obrázek 17: Schéma dokončené geotermální elektrárny Litoměřice.	51

Seznam tabulek

Tabulka 1: Charakteristiky zemských sfér.....	23
Tabulka 2: Produkce geotermální energie v jednotlivých zemích.	26
Tabulka 3: Instalované systémy elektráren využívající systém HDR.....	41

Úvod

Hlavním tématem této bakalářské práce je využití tepla suchých hornin (Hot Dry Rock) ve vztahu k životnímu prostředí. Práce se z kontextuálních důvodů zároveň zabývá širší oblastí geotermální energie a obnovitelných zdrojů.

Aplikace metody využívající tepla suchých hornin pro získávání energie je známá od 70. let 20. století, avšak až do dnešní doby je její praktické uplatnění stále v zárodcích. Ve světě dosud proběhlo pouze několik pokusných projektů a ještě menší část z nich byla úspěšně proměněna v projekty funkční. Jednu z hlavních příčin tohoto stavu můžeme nalézt ve faktu, že realizace je velice finančně náročná, úspěšnost jejich správného fungování je nejistá, a tudíž jsou pro investory riskantním záměrem. Kvůli těmto negativům se komerční sféra tomuto způsobu získávání energie zatím příliš nevěnuje, a výzkum a vývoj jsou tudíž nuceny zaštit'ovat jednotlivé vlády a vědecké organizace. Původní zájem o oblast tepla suchých hornin pochází ze Spojených států amerických, odkud se rozšířil do dalších částí světa, mezi něž patří také Česká republika. V současné době u nás probíhají přípravné práce na obdobném projektu v Litoměřicích.

System Hot Dry Rock se vyznačuje především nízkými negativními dopady na životní prostředí. Neznečišťuje svou činností ovzduší emisemi, ve srovnání s jinými alternativními zdroji energie nezatěžuje krajinu a jeho zásoby jsou prakticky nevyčerpatelné. Z výše zmíněných důvodů je možné v systému tepla suchých hornin spatřovat budoucnost energetiky a předpokládá se, že tento systém bude hrát klíčovou roli na poli alternativních zdrojů energie. Téma je pro mne zajímavé jednak z důvodu akutnosti a aktuálnosti diskuse o přechodu z konvenčních zdrojů energie ke zdrojům alternativním, jednak kvůli osobnímu zájmu o problematiku trvale udržitelného rozvoje. Plně se ztotožňuji s tvrzením, že ve využívání geotermálních zdrojů je budoucnost energetiky a vzhledem k faktu, že ČR disponuje potenciálem tepla suchých hornin, se moje práce zaměřuje konkrétně právě na toto téma.

Práce je vypracována na základě zdrojů uvedených v seznamu literatury. K vypracování obecné části práce byla využita z velké části anglická literatura a část zabývající se systémem tepla suchých hornin vychází spíše z literatury české, především ze zdrojů poskytnutých společnostmi Geomedia.

Práce je rozdělena na několik částí a je strukturována směrem od obecného ke konkrétnímu. První část se zabývá základním rozdělením zdrojů energie, druhá

podrobněji zpracovává tematiku energie geotermální a s ní souvisejících tepelných čerpadel, třetí část se soustřeďuje přímo na teplo suchých hornin. Předposlední část práce se zabývá stavem Hot Dry Rock v ČR a poslední představuje projekt geotermální elektrárny v Litoměřicích.

Cíle BP

Cílem této bakalářské práce je zhodnocení možností využití geotermální energie jakožto alternativního energetického zdroje, který je specifický svou minimální uhlíkovou stopou, přičemž hlavní důraz je kladen na technologii tzv. tepla suchých hornin. Na základě analýzy odborné literatury a již fungujících zařízení práce hodnotí možnosti využití tepla suchých hornin k vytápění objektů a k výrobě elektrické energie.

Očekávaným přínosem práce je souhrnný pohled na problematiku využívání tohoto alternativního zdroje energie, dále definování jeho vlivu na životní prostředí a v neposlední řadě zhodnocení jeho role v energetické budoucnosti.

Metodika

Práce je případová studie založená na empiricko-analytickém přístupu. Jejím cílem je obecné zhodnocení potenciálu geotermální energie a podrobný popis technologie tepla suchých hornin (v angličtině označováno jako Hot Dry Rock, HDR). Práce je založena na analýze odborné sekundární literatury a je doplněna primárními zdroji.

1 Základní rozdělení zdrojů energie

Veškeré zdroje energie, které se nachází na Zemi, můžeme rozdělit do tří základních skupin, a to na zdroje tradiční, na obnovující se zdroje a na zdroje trvalé (Balák, 1984).

Do skupiny tradičních zdrojů energie patří fosilní paliva tuhá, kapalná a plynná, například uhlí, ropa, zemní plyn, rašelina atd. Z této skupiny je pro energetické využití nejdůležitější hnědé uhlí. Slouží jako palivo v elektrárnách a teplárnách k výrobě elektrické energie a tepla. Zdroje tradičních energií mají tu nevýhodu, že jejich ložiska jsou vázána na určité místo na planetě. K tomuto problému se váže další nevýhoda, a to drahá expedice na místa, která jsou na tyto zdroje chudá. Jako další negativum je možné označit fakt, že se zásoby v důsledku stálé těžby nezadržitelně zmenšují (Balák, 1984).

Typickým příkladem obnovujících se zdrojů je voda a její koloběh v přírodě. Deštěm se dostává voda do řek, kde ji je možno energeticky využít, dále pokračuje do moří, kde se vypaří, opět kondenzuje a v podobě deště dopadá na zemský povrch. Nejnižší potenciální energii má voda, která odteče do moří, naopak nejvyšší potenciál má při proudění (Balák, 1984).

Poslední kategorií jsou trvalé zdroje energie. Mezi ně patří mj. i energie geotermální, jejímž konkrétním příkladem je teplo suchých hornin, které je hlavním tématem bakalářské práce. Do této skupiny dále patří energie větru a biomasy, sluneční a vodní energie. Předpokládá se, že každý z těchto zdrojů bude v budoucnu hrát velmi významnou roli, a proto jim je věnován prostor v následující kapitole (Balák, 1984).

1.1 Konvenční zdroje energie

Do druhé poloviny 20. století převládal názor, že na planetě Zemi je nevyčerpatelné množství základních energetických surovin jako uhlí, ropy a zemního plynu (Balák, 1984). Jak se ale zdá, lidé jednadvacátého století si budou muset zvyknout na fakt, že fosilní zdroje energií, které vznikaly miliony let za přispění sluneční energie, fotosyntézy a geologických pochodů, se zanedlouho vyčerpají. Důvodem tohoto stavu je fakt, že se tento druh energie spotřebovává asi milionkrát rychleji, než jakou rychlostí vznikal (Armstrong et Blundell, 2007). Výhodou ukončení spalování fosilních paliv je menší vypouštění škodlivých látek,

hlavně CO₂, do ovzduší. Předpokládá se, že díky tomuto vývoji dojde ke zpomalení globálního oteplování, což je aktuální celosvětový problém, na nějž upozorňuje celá řada vědců. Právě globální oteplování mělo v průběhu minulého století za následek nárůst teploty o 0,7 °C a zvýšení hladin moří o 20 cm (Letcher, 2008). Dalším přínosem omezení vypouštění škodlivých látek je čistší ovzduší a menší zátěž pro organismy (Armstrong et Blundell, 2007).

1.2 Alternativní energie

Alternativou k výše představeným fosilním palivům jsou obnovitelné zdroje energie, které jsou v některých případech nazývané „čistá energie“. Avšak ani tento pojem není úplně správný, protože každé z zařízení, a to i v případě alternativních zdrojů, nějakým způsobem ovlivňuje životní prostředí. V následující části práce jsou popsány hlavní druhy obnovitelných zdrojů energie, se kterými se můžeme setkat jak v České republice, tak ve světě.

1.2.1 Geotermální energie

Takto označovaná energie pochází z nitra Země, kde vzniká hlavně rozpadem radioaktivních částic, zejména uranu a draslíku, přičemž většina energie a tepla se nachází právě v samotném jádru. Teplota zemského tělesa se s hloubkou mění, dosahuje teplot od desítek °C na zemském povrchu, až po cca 6 500 °C v jádru (Asplund, 2008).

V řádu stovek tisíc let jsou zdroje geotermální energie prakticky nevyčerpatelné. K ochlazení 1 km³ horké zemské kůry o teplotě 100 °C dojde za 30 let, přičemž by toto množství mohlo zásobovat elektrárnu s kapacitou 30 MW (Cupta et Roy, 2007).

1.2.2 Biomasa

Hlavní předností spalování biomasy je její stálá obnova, relativně nízká cena a dostupnost. Navíc množství CO₂ vzniklé při spalování je téměř totožné s množstvím CO₂, které rostliny využijí při svém růstu. Spalováním se dá zpracovat velké množství organických surovin a také organického odpadu vznikajícího při zemědělské činnosti, či zpracování surovin (Kaminský et Vrtek, 1998).

Biomasa má také nevýhody, mezi které patří nutnost dopravy z místa produkce do místa spotřeby (udávaná cena převozu 1 tuny slámy vyjde na 100 Kč

na vzdálenost 10 km), nutnost zpracování řezáním, štěpkováním, mletím a hlavně sušením. Obsah vody je velice důležitý faktor – pokud spalujeme naprosto suché dřevo, energetický zisk činí 5,2 kWh, kdežto u dřeva s obsahem vody 20 % je energetický zisk jen 4,3 kWh. Jedna z dalších nevýhod se týká komunálního odpadu a odpadu z čistíren odpadních vod. Tento druh biomasy může v některých případech obsahovat nebezpečné látky, které při spalování unikají do ovzduší. Díky těmto faktorům nelze předpokládat uplatnění biomasy v makroenergetice, na druhou stranu je to vynikající prvek pro individuální použití (Kaminský et Vrtek, 1998).

Možností energetického zpracování biomasy je několik. Nejběžnějším způsobem je spalování. Další možností je zplynování, která probíhá ve dvou fázích. V první fázi, za nepřístupu vzduchu a teplotě okolo 800 °C, vzniká dřevěné uhlí a dehet, ve druhé fázi vzniklé produkty reagují se vzduchem. Nakonec je možné využít bioplyn, který vzniká anaerobním štěpením organických látek, například chlévské mrvy nebo kejdy (Kaminský et Vrtek, 1998).

1.2.3 Sluneční energie

Energie slunce, nazývána také solární, nabízí denně takové množství energie, které by pokrylo 100 000krát potenciál všech elektráren na světě. Přeměna sluneční energie na energii elektrickou probíhá pomocí fotoelektrických systémů. Nevýhodou tohoto druhu energie jsou vysoké náklady, výhodou pak možná instalace v chudých, ale sluncem bohatých oblastech (Kubín, 2006). Fotovoltaické články se stále zdokonalují a jsou schopné získávat stále více energie ze slunečního záření, tím pádem budou pravděpodobně hrát klíčovou roli v budoucnosti udržitelných energetických systémů (Armstrong et Blundell, 2007).

V České republice došlo v poslední době, díky vládním dotacím, k velikému nárůstu slunečních elektráren. Negativním vlivem této politiky je narušení krajinného rázu. Pozitivní důsledky tohoto vývoje pocítují především majitelé solárních elektráren, kteří mohou, díky vládním dotacím, prodávat vyprodukovanou elektřinu za velmi výhodných podmínek.

1.2.4 Vodní energie

Vody, jakožto hnacího média vodních mlýnů, bylo využíváno již před několika tisíci lety. Teprve v šestnáctém století se začaly vodní mlýny specializovat na různé druhy využití (Dorf, 1981). Tento proces pokračuje až do současnosti, kdy

je vody využíváno k výrobě elektřiny za pomoci turbín. Princip výroby spočívá v přeměně kinetické energie vody v energii mechanickou. V ČR pokrývají vodní elektrárny spotřebu energie ze 4 % (Kubín, 2006). Jedná se opět o nevyčerpatelný zdroj, nicméně jsou zde určitá rizika, která plynou například ze sucha a tudíž nedostatku vody, jakožto hnacího média. Dalším negativem je usmrcování živočichů žijících ve vodních tocích, popřípadě jim je v mnohých případech znemožněna migrace. Velikou výhodou je využití nočního proudu ke zpětnému přečerpání vody do nádrže nad elektrárnou. Tímto způsobem se dá využít nadbytečné energie v nočních hodinách (Dorf R, 1981).

1.2.5 Větrná energie

Vítr, tedy síla potřebná k pohonu lopatek větrných elektráren, vzniká vlivem nerovnoměrného ohřevu zemského povrchu. Ohřátý vzduch stoupá nahoru, jelikož je těžší než vzduch studený. Jeho nevýhodou je, že je nestálý co se intenzity, směru a rychlosti týče (Janíček F. et al., 2007).

Ve větrných elektrárnách je podle odhadů celosvětově ukryto okolo 5 000 TWh energie za rok. Ke konci roku 2004 dosáhl instalovaný výkon hodnoty 42 735 MW. Z toho bylo vyrobeno 28 706 MW v zemích Evropy, přičemž největší podíl na takto vysokém čísle mělo Německo, které vyrobilo 18 428 MW energie pomocí větrných elektráren (Janíček F. et al., 2007).

Rozhodnutí o stavbě větrné elektrárny ovlivňuje hlavně rychlost větru v daném místě. Jako mezní hodnota se udává rychlost 4,8 m/s. Lepší hodnoty můžeme očekávat na pobřeží moří (8–10 m/s). Z hlediska vlivu na krajinný ráz mnohé země umisťují větrné elektrárny do větší vzdálenosti od pobřeží, do vzdálenosti až 3 km (Deal, 2010).

Větrné elektrárny jsou dvojího typu, a to horizontálního a vertikálního. Nejčastěji používané jsou turbíny horizontální konstrukce. Princip výroby elektřiny spočívá v přenosu větrné kinetické energie na turbíny pomocí obrovských lopatek elektrárny (Deal, 2010).

1.3 Zhodnocení

U všech výše představených alternativních zdrojů energie je možné vysledovat jak kladné, tak záporné vlastnosti. Odlišují se od sebe cenovou a technologickou náročností. Každý zdroj energie je nutné zasadit do krajiny,

a pokud je to možné, měly by co nejméně narušovat krajinný ráz. Tohoto požadavku se mnohdy nedá dosáhnout u větrných elektráren a velkokapacitních slunečních elektráren. Tento typ elektráren je navíc limitován nestálostí zdroje. Všeobecnou nevýhodou všech elektráren je fakt, že vyrobenou elektrickou energii nedokážeme efektivně skladovat, vyprodukovaná energie se musí ihned spotřebovat. Na základě rozboru lze dojít k závěru, že velmi dobrým řešením je využití geotermální energie. Nejsnazší způsob je využití horké vody přímo vycházející z nitra Země. Kde to možné není, lze využít technologie tepla suchých hornin. Jejich stavby nenarušují krajinný ráz, dodávka energie je stálá po celou dobu využívání a negativní vliv na životní prostředí je minimální. Negativem je naopak vyšší finanční náročnost.

2 Geotermální energie

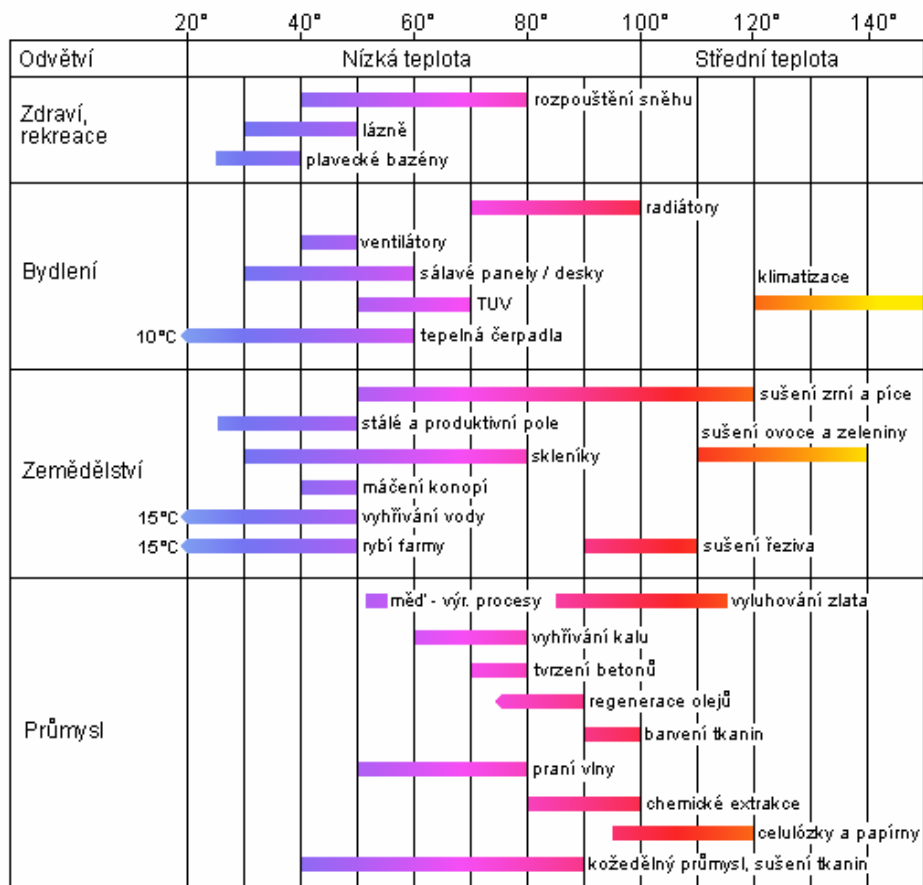
V posledních letech se stále zvyšuje počet geotermálních elektráren. V současné době se řadí na třetí místo využívání alternativní energie, hned za energii sluneční a větrnou (Jiráková, 2007). Jedná se jak o nárůst vysokoteplotní geotermální energie, tak o nízkoteplotní zdroje, což platí i pro naši republiku. Teplo stále vycházející ze zemského nitra je odhadováno na 42 milionů MW energie, což je ekvivalent k zásobování 31,5 miliard domácností (Asplund, 2008).

Existují dva hlavní způsoby využívání geotermální energie. energii můžeme využít k vytápění nebo může být prostředkem k výrobě elektrické energie.

Co se týče způsobů získávání geotermální energie, nejjednodušší je využití horké vody přímo vycházející ze země, kterou je možné rozvádět na různá místa k vytápění nebo ohřevu. Dalším způsobem je provedení hloubkového vrtu pro dosažení geotermálního rezervoáru a následně využít tepla k ohřevu či výrobě elektrické energie (Schlager et Weisblatt, 2006).

Pokud uvažujeme o výrobě elektrické energie z geotermálních zdrojů, je možné použít několika způsobů. Jedná se především o využívání horkých pramenů, případně horké páry přímo vycházející z hlubin Země, technologii tepla suchých hornin a také magmatu (Cupta et Roy, 2007). Využití různě teplých energetických zdrojů hodnotí Lindalův diagram na obrázku číslo 1. Teplota, kterou voda disponuje, se na různých místech značně liší. Zde uvádím základní rozdělení teplých vod podle geotermální teploty na:

- vysokoteplotní – vyskytují se převážně ve vulkanicky aktivních oblastech, jejich teplota je nad 200 °C. Díky jejich vysoké teplotě je lze využít přímo na výrobu elektrické energie,
- středně teplotní – takto jsou označovány zdroje o teplotě 150–200 °C. Lze je využít jak k výrobě elektřiny, tak k vytápění,
- nízkoteplotní – jsou charakteristické teplotou, která nepřesahuje 150 °C. Díky své nižší teplotě je můžeme najít na více místech na planetě. Vyskytují se jak ve vulkanicky aktivních oblastech, tak v sedimentárních oblastech. Využití nízkoteplotních zdrojů spočívá ve vytápění budov, skleníků a uplatňuje se v řadě průmyslových procesů (Myslil et al., 2007a).



Obrázek 1: Lindalův diagram. Zdroj: (Blažková, 2010)

2.1 Výhody geotermální energie

- nízké náklady na výrobu elektřiny, srovnatelné s fosilními elektrárnami,
- cena geotermální energie je konstantní po celou dobu životnosti zařízení,
- nepřetržitý zdroj energie 24 hodin denně (na rozdíl od větrných a slunečních elektráren),
- obnovitelný zdroj energie, jelikož teplota Země je její základní vlastností,
- novější elektrárny neprodukují skleníkové plyny a znečišťující látky,
- elektrárny využívají místních zdrojů energie a snižují závislost na fosilních palivech (Asplund, 2008).

2.2 Nevýhody geotermální energie

- geotermální elektrárny jsou ekonomické většinou pouze v geologicky aktivních oblastech,

- k vybudování geotermální elektrárny je nutné vynaložit vysoké finanční částky, zejména na průzkum oblasti, hloubení vrtů a konstrukci samotné elektrárny,
- některá zařízení produkují škodlivé látky či kaly, které je nutné zneškodnit,
- konstrukce zařízení může negativním způsobem ovlivnit stabilitu v okolí a také seizmickou aktivitu z důvodu hloubení vrtů,
- zdroje tepla mohou být vyčerpány, pokud není chod elektrárny správně řízen (Asplund, 2008).

2.3 Stavba Země

Z důvodu lepšího pochopení systému tepelného toku, je níže uvedeno základní geologické dělení Země. Zemské těleso se skládá z několika nestejných vrstev. Vrstvy se liší mocností, teplotou, hustotou, skupenstvím a mnoha dalšími faktory (Brunclík, 1986).

Postupujeme-li od středu směrem k povrchu, nejprve narazíme na jádro zasahující do vzdálenosti 3500 km. Jádro dělíme na dvě části – vnější a vnitřní. Vnitřní část je pravděpodobně pevná nebo blízka natavenému stavu, kdežto vnější jádro je ve stavu kapalném. Obě části zemského jádra jsou vzájemně oddělena asi 100 km tlustou přechodovou zónou (Brunclík, 1986).

Druhou vrstvou je plášť zajímající největší část hmoty zemského tělesa. Rozdělen je na spodní a svrchní plášť, přičemž druhý zmíněný je dále tvořen těstovitou a pevnou hmotou. Pevná hmota, sahající asi 60–100 km pod Mohorovičičovou diskontinuitu, je společně s kůrou zemskou nazývána litosférou. Z hlediska geologie je tato část zemského tělesa nejdůležitější, jelikož zde probíhají veškeré geologické procesy, jejichž výsledky můžeme pozorovat na zemském povrchu (Brunclík, 1986).

Nejsvrchnější část Země tvoří zemská kůra. Ta bývá tlustá v rozmezí 6 km pod oceány až po 70 km na pevnině. Průměrná mocnost kůry v podmínkách České republiky se pohybuje v rozmezí 3–34 km. Jednotlivé charakteristiky zemských sfér uvádím v tabulce 1 (Myslil et al., 2007a).

	Km od povrchu Země	Skupenství	Hustota v g/cm ³	Teplota °C
Vnitřní jádro	6370–4980	pevné	12	4000–4700
Vnější jádro	4980–2900	kapalné	10	3500–4000
Spodní plášť	2900–600	pevné / plastické	5,5	1000–3500
Svrchní plášť	600–25	pevné / plastické	3,5	pod 1000
Oceánská kůra	12–6	pevné	3,0	pod 1000
Pevninská kůra	70–0	pevné	2,7	pod 1000

Tabulka 1: Charakteristiky zemských sfér. Zdroj: (Myslil et al., 2007)

Přechod mezi zemskou kůrou a zemským pláštěm je tvořen výše zmíněnou Mohorovičičovou diskontinuitou nacházející se v hloubce 30–50 km pod kontinenty a 10–20 km pod oceány a moři. Teplota zde stoupá na 375 °C. Zdroj tohoto tepla pochází z vrstvy 100–200 km pod povrchem, kde se předpokládá rozpad radioaktivních látek a vysoká tepelná vodivost hornin. Díky ohromné energii, která je v Mohorovičičově diskontinuitě ukrytá, v ní dochází k procesům, které mají vliv na zemětřesení a vulkanismus (Brunclík, 1986).

Největší zdroje energie jsou tedy v samotném nitru, avšak pro člověka jsou za současných technických podmínek nedosažitelné. Dnešní možnosti umožňují vstup pouze do zemské kůry, navíc jen do její vrchní části. Nejhlubší vrt, který byl zatím proveden, je hluboký 12 068 m a nachází na poloostrově Kola na severozápadě Ruska (Čížek). Nicméně dle odhadů, by teplo, které je zakonzervováno v nejsvrchnější tříkilometrové vrstvě zemské kůry, a to jak ve vodě, tak v horninách, dokázalo pokrýt spotřebu lidstva nejméně na 100 000 let (Myslil et al., 2007a).

2.4 Původ tepla zemského tělesa

Jak je uvedeno výše, teplota ukrytá pod povrchem Země, je značně rozdílná. Obecně lze stanovit takzvaný teplotní gradient, který udává vzrůst teploty směrem od povrchu do středu Země. Teplotní gradient dosahuje hodnoty přibližně 30 °C na jeden kilometr hloubky. Jelikož se jedná o průměrnou hodnotu, budou se údaje na jednotlivých místech lišit (Balák, 1984).

Teplota zemského tělesa je ovlivňována následujícími faktory:

- teplo zemského tělesa, které zůstalo z dob jeho vzniku,
- sluneční záření, jež obsahuje velké množství energie, které ale ohřívá pouze povrch litosféry. Sluneční energie proniká do hloubek okolo 3 m. Mezi hloubkou 3–10 m je takzvaná neutrální zóna, kam neproniká teplo z atmosféry, ani z hloubky,
- rozpad radioaktivních prvků, jako jsou draslík, uran a thorium,
- teplo vznikající přeměnou kinetické energie při pohybu litosférických desek,
- teplo vznikající vahou nadloží působící na podloží,
- energie pohlcených seizmických vln,
- exotermické reakce, především oxidace, při které prvky, za slučování s kyslíkem, přecházejí z nižších mocností do vyšších,
- Energie uvolněná při dopadu meteoritů,
- Energie slapových sil vznikající třením vodních mas o sebe nebo o zemský povrch (Myslil et al., 2007a).

2.5 Místa vhodná pro instalaci geotermálních elektráren

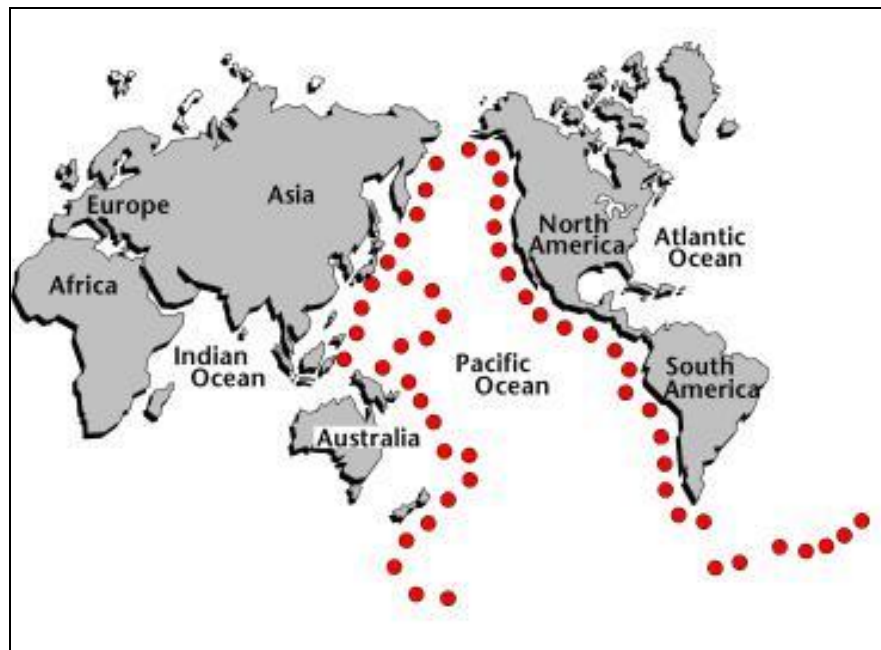
Jako u každého zdroje, tak i u geotermální energie, je nutné instalovat zařízení na výrobu elektřiny či tepla do míst, která jsou příhodná. Jejich rozdělení není rovnoměrné, jelikož je závislé na několika faktorech. Veliký potenciál mají místa, kde dochází k tektonické a sopečné činnosti. Toto pozitivum s sebou nese větší rizika zemětřesení, respektive vulkanické činnosti. Dalším faktorem ovlivňujícím tepelný potenciál hornin je stáří, obecně platí, že čím je hornina mladší, tím je také ideálnější pro použití (Schlager et Weisblatt, 2006).

2.6 Situace ve světě

Jednou z nejvíce geologicky aktivní oblastí světa je Pacifický oceán. Břehy zemí, které omývá, jsou označovány jako tzv. Ohnivý kruh (Ring of Fire), obrázek číslo 2. Jedná se o oblast s vysokou vulkanickou aktivitou, tudíž ideální místo pro instalaci geotermálních elektráren. Do oblasti Ohnivého kruhu spadají například Nový Zéland, Japonsko, Filipíny, Havaj, Aljaška či Kalifornie (Schlager et Weisblatt, 2006).

Ve světě jsou i místa, ležící mimo Ohnivý kruh, která se i přesto vyznačují aktivní geologickou činností, mezi ně je řazeno mimo jiné Turecko, Keňa nebo

Zambie. V tomto ohledu nezůstávají pozadu ani evropské státy, mezi nimiž je užívání geotermální energie na nejvyšší úrovni na Islandu a v Itálii. Tyto státy využívají pro získávání GE především horkých pramenů lokalizovaných pod povrchem Země a díky své poloze jsou tyto země hlavními uživateli geotermální energie. Naopak další evropští zástupci v této skupině, Německo, Švýcarsko, Francie a Velká Británie, využívají tepla suchých hornin (Schlager et Weisblatt, 2006).



Obrázek 2: Geologicky aktivní oblasti světa, Ohnivý kruh (Ring of Fire).

Zdroj: <<http://indianpowersector.com/renewable-energy/geothermal/>>

V tabulce 2 uvádím producenty energie z geotermálních zdrojů, která dosáhla v roce 2005 celkové hodnoty 56 798 GWh. Čísla jsou uvedena podle Letchera, nicméně jejich hodnoty se v různých zdrojích liší.

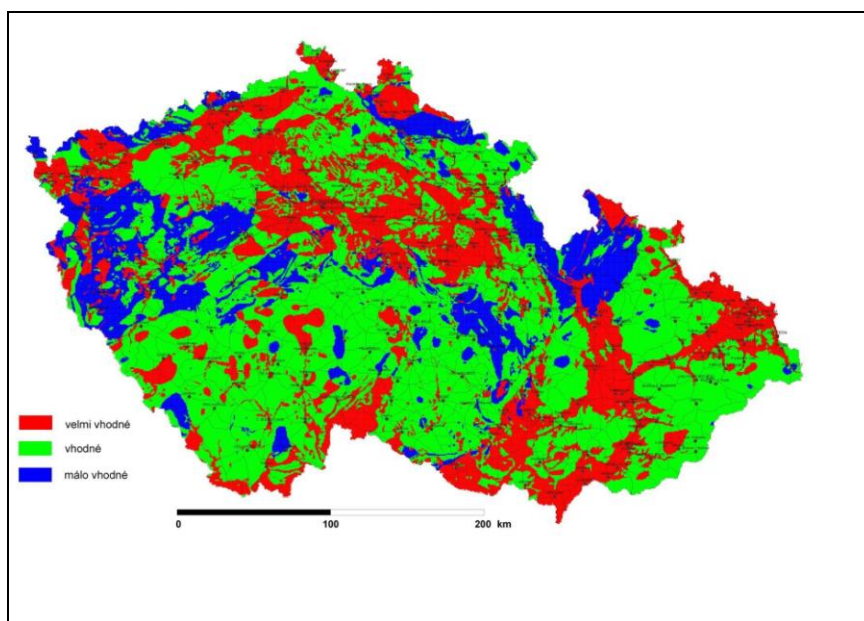
Země	Instalovaná kapacita / (MW)	Roční výroba energie / GWh
Austrálie	0,2	0,5
Rakousko	1,0	3,2
Čína	28,0	95,7
Kostarika	163,0	1 145,0
El Salvador	151,0	967,0
Etiopie	7,0	0,0
Francie	15,0	102,0
Německo	0,2	1,5
Guatemala	33,0	212,0
Island	202,0	1 406,0
Indonézie	797,0	6 085,0
Itálie	790,0	5 430,0
Japonsko	535,0	3 467,0
Keňa	127,0	1 088,0
Mexiko	953,0	6 282,0
Nový Zéland	435,0	2 774,0
Nikaragua	77,0	270,7
Papua-Nová Guinea	6,0	17,0
Filipíny	1 931,0	9 419,0
Portugalsko	16,0	90,0
Rusko	79,0	85,0
Thajsko	0,3	1,8
Turecko	20,0	105,0
USA	2 544,0	17 870,0
celkem	8 912,0	56 798,0

Tabulka 2: Produkce geotermální energie v jednotlivých zemích. Zdroj: (Letcher, 2008)

2.7 Situace v České republice

Využívání geotermální energie v ČR je možné dvěma základními způsoby. Jednak pomocí tepelných čerpadel a jednak pomocí tepla suchých hornin. Tepelných čerpadel je v ČR instalováno asi 15 000, což je v porovnání například se sousedním Německem, které disponuje zhruba 300 000 čerpadly, málo (Myslil, 2011). Konkrétně je možné tuto metodu využít například pro získávání energie ze starých dolů nebo šachet. Tyto doly či šachty, ve kterých je ukrytá voda o teplotě několika desítek stupňů, však musí být dostatečně hluboké (Cenek et al., 1994). Níže uvádím další příklady využití této metody, konkrétně příklad města Děčín a Technické univerzity Ostrava (Myslil et al., 2007a).

Co se týče druhé metody využívání geotermální energie, tj. tepla suchých hornin, v budoucnosti by měla v Litoměřicích vzniknout první geotermální elektrárna, která bude využívat právě tento druh energie. Možnosti využívání této metody jsou částečně omezené geotermálním potenciálem dané lokality. Ačkoli není rozloha našeho státu příliš velká, rozdíl geotermálního potenciálu se v jednotlivých částech značně liší. Obrázek číslo 3 znázorňuje klasifikaci ČR podle vhodnosti využití vyššího potenciálu zemského tepla. Jednotlivé barvy udávají vhodnost využití, kde červená barva znamená velmi vhodné, zelená barva vhodné a modrá barva nevhodné území (Myslil et al., 2007a).



Obrázek 3: Plošná klasifikace území ČR vhodnosti využití vyššího potenciálu zemského tepla. Zdroj: Geomedia

V současné situaci se jako nevýhoda geotermálních elektráren jeví jejich finanční náročnost a dlouhodobá návratnost investic, která se obecně počítá v rozmezí 5–7 let, nicméně za předpokladu zdražení cen energií se může návratnost zkrátit. Odhady říkají, že celkový teoretický potenciál energie suchých hornin v České republice pro výrobu elektrické energie (pro kterou je nutná teplota vyšší než 130 °C) je 2 385 900 MW. Dle zahraničních zkušeností lze tento potenciál využít pouze z 2 %, je tedy možné získat asi 50 000 MW energie (Myslil et al., 2007a).

2.7.1 Děčín

Město Děčín se rozhodlo vybudovat geotermální teplárnu s cílem zlepšit životní prostředí a snížit exhalace. Za tímto účelem využívá tepla geotermální podzemní vody, která je natolik kvalitní, že je zároveň využívána jako voda pitná.

Obsahuje pouze větší množství sloučenin železa a radioaktivity, nicméně tyto škodlivé látky lze odstranit oxidací, čímž voda splňuje parametry pitné vody dle ČSN 75 7111. Samotný vrt má hloubku 520 m, průměr činí 133 mm (do hloubky 342 m je průměr 168 mm), vydatnost vody je do 20 l/s. Odběr vody je z hloubky 439,9 m až 503,60 m, kde voda dosahuje nejvyšší teploty 55 °C. Dalším přínosem projektu je omezení znečištění, které vznikalo silniční dopravou, která zajišťovala uhlí a odvoz vzniklé škváry (Monhaupt, 1998).

2.7.2 Ostrava

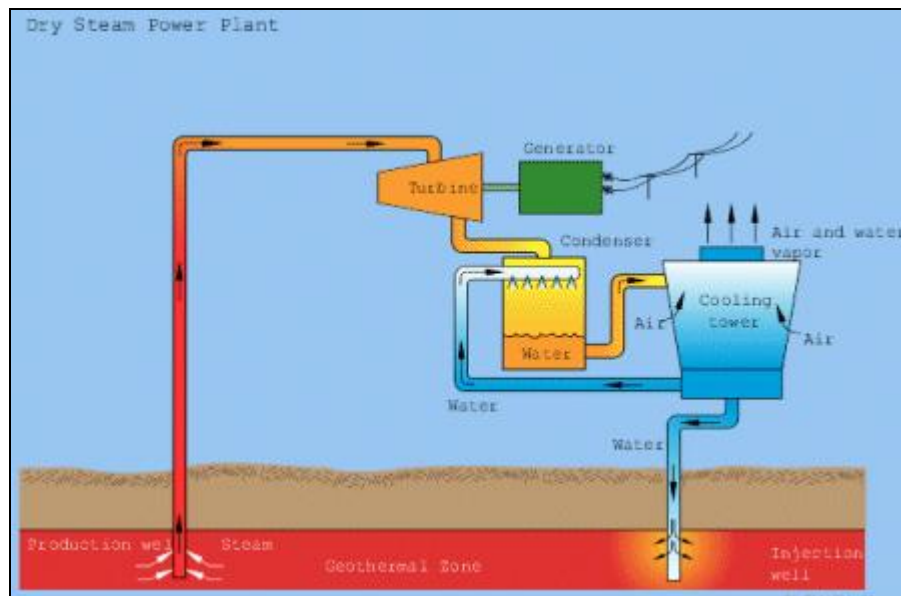
Dalším místem v ČR, ve kterém je možné nalézt praktický příklad využití geotermální energie, je město Ostrava, konkrétně místní Technická univerzita. O vytápění nové auly Technické univerzity Ostrava se v současné době stará systém tepelných čerpadel, který pokryje spotřebu tepla z 82–85 %. Slouží jak k tepelnému vytápění v zimních měsících, tak ke klimatizování v měsících letních. Při budování systému bylo vyhloubeno 110 vrtů hlubokých 140 m, přičemž celá tato soustava je napojena na 10 tepelných čerpadel. Topný výkon těchto tepelných čerpadel dosahuje hodnoty 69,8 kW. Celkové náklady na realizaci projektu činily zhruba 65 mil. Kč, z čehož bezmála 45 mil. Kč poskytl Evropský fond pro regionální rozvoj, zbylé náklady byly pokryty ze Státního fondu životního prostředí a vlastních zdrojů univerzity (Technická univerzita Ostrava, 2006).

2.8 Geotermální elektrárny

Jedním z nejdůležitějších způsobů využití geotermální energie je výroba elektrické energie. Princip fungování geotermálních elektráren je následující. V geotermální elektrárně horká voda putuje z geotermálních rezervoárů skrz vrty, kde roztáčí turbíny turbogenerátorů a ty následně produkují elektrickou energii. Ve většině případů je použitá voda reinjektována zpět do rezervoáru. Tato voda se znovu ohřeje a díky tomu pomáhá udržení tlaku uvnitř rezervoáru. Pokud by byla veškerá voda odčerpána bez navrácení, rezervoár by se mohl stát chladným a mohlo by dojít k vyčerpání vodního zdroje, čímž by došlo ke znemožnění dalšího používání elektrárny. Využívaná voda, užívána k výrobě elektřiny, musí být velmi horká. Pokud by její teplota klesla pod 121 °C, nebylo by možné vyrábět elektrický proud (Schlager et Weisblatt, 2006). První taková elektrárna byla vybudována již v roce 1904 v italském Larderellu italským vědcem Giovannim Cottim (Asplund, 2008).

V současné době využívají geotermální elektrárny pro svou práci tři základní principy:

- Princip suché páry (Dry steam): Jedná se o nejpůvodnější systém získávání energie pomocí suché páry s teplotou nad 235 °C unikající vysokou rychlostí přímo na povrch, kde po odfiltrování kapiček vody pohybuje turbínami. Využitá pára je buď vypuštěna do atmosféry, nebo je zkapalněna a následně ochlazená v chladících věžích, odkud je zaváděna zpět do horninového prostředí. Momentálně největší geotermální elektrárnou na světě využívající princip Dry steam je Kalifornská The Geysers, která svým výkonem dokáže zásobovat město o velikosti San Francisca, tedy téměř 800 000 lidí. Princip geotermální elektrárny využívající suché páry je znázorněn na obrázku číslo 4 (Špičková et al.).



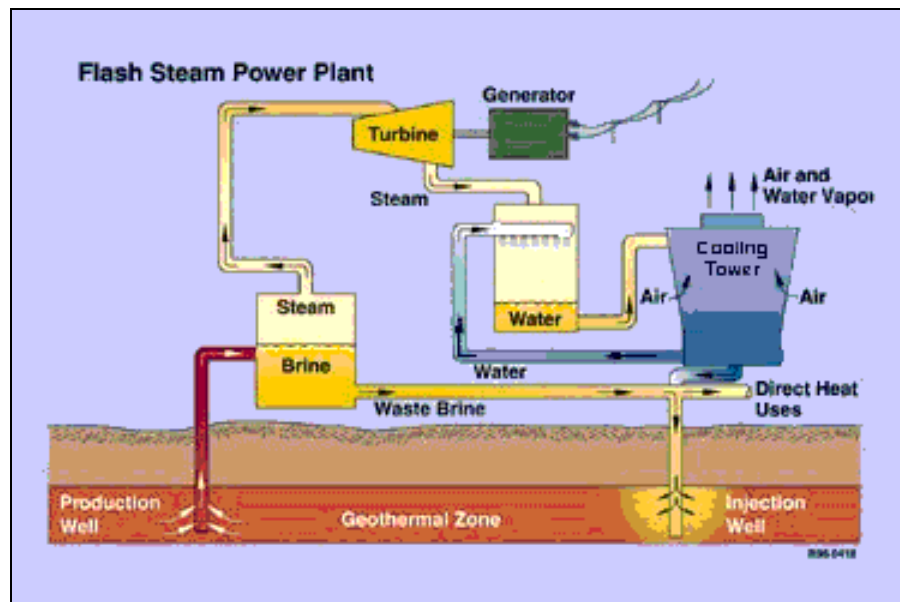
Obrázek 4: Geotermální elektrárna s principem suché páry.

Zdroj: <<http://myecoproject.org/get-involved/energy-conservation/renewable-energy-sources/geothermal-energy/>>

Překlad: Dry Steam Power Plant – elektrárna s principem suché páry, Turbine – turbína, Generator – generátor, Condenser – kondenzátor, Water – voda, Air – vzduch, Cooling Tower – chladicí věž, Air and Water Vapor – vzduch a vodní pára, Production Well – produkční vrt, Steam – pára, Geothermal Zone – geotermální zóna, Injection Well – injekční vrt.

- Princip mokré páry (Flash steam): Je v současnosti nejvíce používaný typ geotermální elektrárny, který využívá horkou vodu o teplotě minimálně 182 °C. Vyvěrající voda, která je pod vysokým tlakem, je vstřikována do tzv. odtlakovací nádoby. Díky snížení tlaku se část vody změní v páru, která roztáčí generátor elektrárny. Voda, která se nezměnila v páru a má dostatečnou teplotu, je čerpána do další nádoby, zde opět tlakový pokles

způsobí vznik páry, která je také využita na výrobu elektrické energie. Po použití je voda vrácena zpět do rezervoáru, či využita přímo na vytápění. Princip geotermální elektrárny využívající mokré páry je znázorněn na obrázku číslo 5 (Schlager et Weisblatt, 2006).



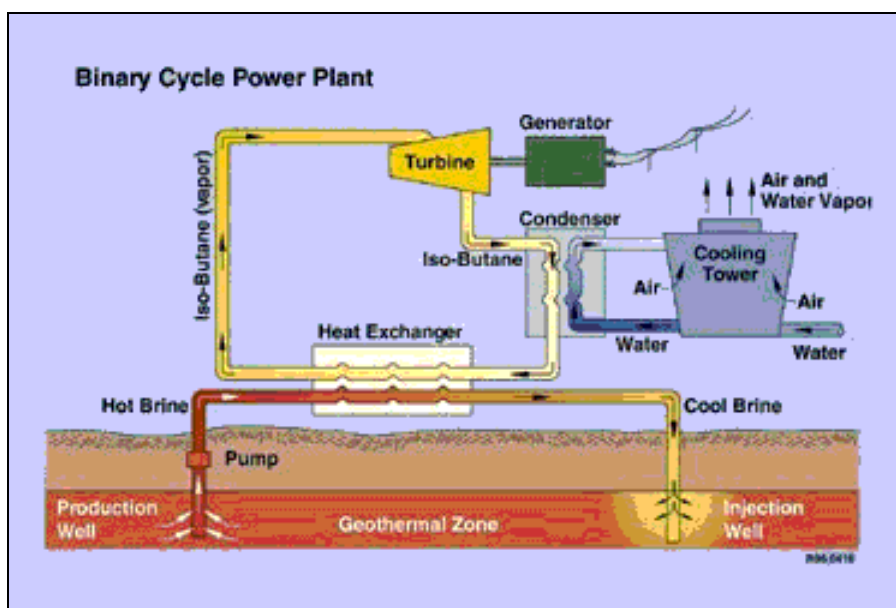
Obrázek 5: Geotermální elektrárna s principem mokré páry.

Zdroj: <<http://myecoproject.org/get-involved/energy-conservation/renewable-energy-sources/geothermal-energy/>>

Překlad: Flash Steam Power Plant – elektrárna s principem mokré páry, Turbine – turbína, Generator – generátor, Brine – fluidum, Waste Brine – využitě fluidum, Direkt Heat Uses – teplo k přímému využití, Water – voda, Air – vzduch, Cooling Tower – chladicí věž, Air and Water Vapor – vzduch a vodní pára, Production Well – produkční vrt, Steam – pára, Geothermal Zone – geotermální zóna, Injection Well – injekční vrt.

- Binární princip (Binary power plants): Využívá dvoustupňový proces pro získání energetického potenciálu z vody, která není dostatečně teplá, a tudíž nemá potenciál na roztočení turbín vlastní silou. Voda vycházející ze Země rovnou putuje do výměníku, který obsahuje tekutinu s mnohem nižším bodem varu než má voda. Využívá se látka jako například propan (explozivní), isobutan (explozivní) nebo freonů (poškozuje ozónovou vrstvu), u novějších elektráren se využívá organický n-pentan (Jiráková, 2007). Teplota geotermální vody ohřeje tuto „binární“ tekutinu, kterou převede na páru. Vzniklá pára roztočí turbínu, která pohání generátor. Geotermální voda je reinjektována zpět do hlubin, „binární“ tekutina zůstává v nádrži, kde je jí využíváno k pohonu generátoru stále dokola. Výhodou je, že žádné škodlivé látky neunikají do ovzduší. Další nesmírnou výhodou tohoto typu elektrárny je její možnost využití na místech, kde geotermální teplota nedosahuje vysokých hodnot.

Binární typ elektráren je využíván právě u systémů HDR. Princip binární geotermální elektrárny je znázorněn na obrázku číslo 6 (Schlager et Weisblatt, 2006).



Obrázek 6: Geotermální elektrárna s binárním principem.

Zdroj: <<http://myecoproject.org/get-involved/energy-conservation/renewable-energy-sources/geothermal-energy/>>

Překlad: Binary Cycle Power Plant – elektrárna s binárním principem, Turbine – turbína, Generator – generátor, Hot Brine – horké fluidum, Cool Brine – studené fluidum, Water – voda, Air – vzduch, Cooling Tower – chladicí věž, Air and Water Vapor – vzduch a vodní pára, Production Well – produkční vrt, Geothermal Zone – geotermální zóna, Injection Well – injekční vrt, Pump – pumpa, Heat Exchange – výměník tepla, Iso-Butane (vapor) – isobutan (pára), Condenser – kondenzátor.

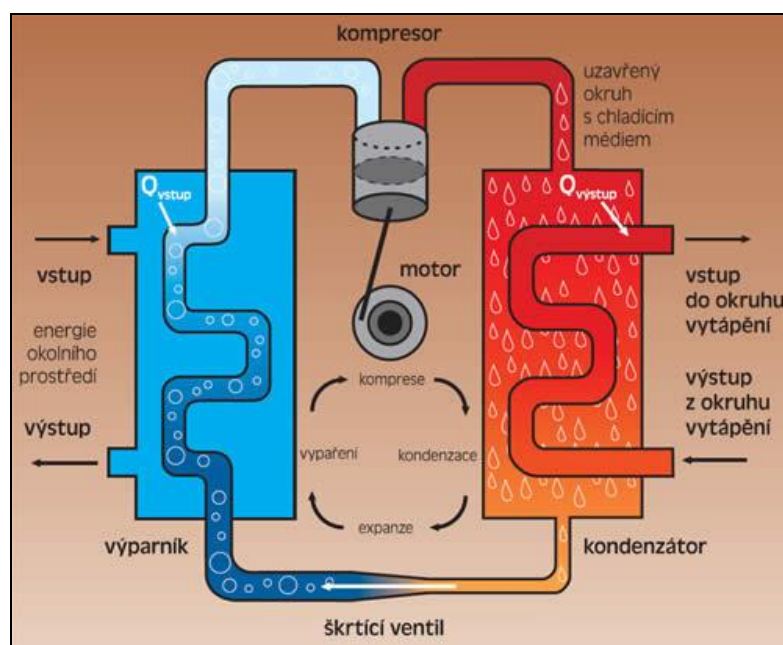
2.9 Tepelná čerpadla

Tepelná energie se nachází prakticky všude kolem nás. Nízkopotenciální teplo, vznikající důsledkem dopadu slunečního záření a tepelného vyzařování zemského tělesa, je obsaženo v zemi, vodě i vzduchu. Tepelná čerpadla umožňují odebírat nízkopotenciální teplo okolí a převádět jej na vyšší teplotní hladinu. TČ se skládá ze dvou částí, vnitřní a vnější. Ve vnitřní je obsaženo samotné zařízení a vnější slouží k odběru nízkopotenciálního tepla. Jako primárního zdroje tepla můžeme využít například povrchové vody, vzduch ze skleníků či důlních prostor, podzemních kolektorů, větrání budov, z výrobních procesů atd. (Beranovský et al., 2004).

TČ nedokáže pracovat samostatně, k jeho pohonu je zapotřebí dodat elektrickou energii. Běžně užívaná tepelná čerpadla vyprodukují třikrát až čtyřikrát více tepla než kolik elektřiny spotřebují. Veličina používaná pro posouzení výkonu TČ se nazývá topný faktor, což je poměr tepelného výkonu čerpadla (tedy energie

dodaná k ohřevu) k energii spotřebované na pohon kompresoru. Čím je topný faktor vyšší, tím účinněji (respektive levněji) lze energii získat (Beranovský et al., 2004).

Činnost TČ, znázorněná na obrázku číslo 7, je založena na principu spojeném se změnou skupenství v závislosti na tlaku pracovní látky (chladiwa). Za nízkého tlaku a teploty odebírá chladivo ve výparníku teplo ochlazené látky, které je přiváděné zdrojem nízkopotenciálního tepla. Dochází k varu kapalného chladiva, které se postupně mění v páru. Z výparníku jsou páry chladiva odsávány a stlačeny kompresorem na kondenzační tlak. V kondenzátoru dochází k předání kondenzačního tepla ohřívání látky za postupné změny zpět na kapalné skupenství. Po snížení tlaku je kapalné chladivo přiváděno zpátky do výparníku, čímž je celý okruh tepelného čerpadla uzavřen (Beranovský et al., 2004).



Obrázek 7: Princip tepelného čerpadla.

Zdroj: <<http://www.teplodomova.com/>>

TČ je možné dělit hned podle několika kritérií. Níže je uvedeno rozdělení podle více kategorií, ale podrobněji jsou popsány pouze komerčně nejvíce využívané metody.

➤ Podle pohonu TČ:

- kompresorová a pístová
- kompresorová s rotačním kompresorem
- kompresorová s šroubovaným kompresorem
- turbokompresorová
- absorpční

- Podle druhu pohonné energie na TČ poháněná:
 - elektřinou
 - plynem
 - kapalnými palivy
- Podle zdrojů tepla na TČ odebírající teplo:
 - z vody
 - ze země
 - ze vzduchu
- Podle teplonosné otopné látky na TČ:
 - voda – voda
 - voda – vzduch
 - vzduch – voda
 - vzduch – vzduch
 - země – voda (Brož et Šourek, 2003)

2.9.1 Systém voda-voda

Tento systém se dá aplikovat na vodu podzemní, ale také na vodu povrchovou, což naznačuje obrázek číslo 8. Při použití podzemní vody je na pozemku nutné vybudovat studnu zdrojovou, kde se voda čerpá a vsakovací, kam se ochlazená voda vypouští. Výhodou je nejvyšší roční topný faktor, což je dáno relativně vysokou teplotou po dobu celého roku, která činí přibližně 8–10 °C v hloubce 10 m. Možnost použití povrchových vod se využívá jen velmi málo. Hlavní nevýhody jsou problém se zanášením výměníku a potrubí, nízká teplota povrchové vody, která se mnohdy nedá ochladit na nižší teplotu – mohlo by dojít k zamrznutí (Beranovský et al., 2004).



Obrázek 8: Využití systému voda-voda. Zdroj: <http://www.teplodomova.com/>

2.9.2 Systém voda-vzduch

Nízkopotenciálním zdrojem tepla je v tomto případě okolní vzduch, jak naznačuje obrázek číslo 9. Výhodou je dobrý průměrný roční topný faktor, především v mírnějším klimatickém pásu s nižším počtem mrazových dnů. Pro fungování tohoto mechanismu je možné využít i odpadního vzduchu z budov. Čerpadlo v tomto případě zpracovává vzduch o relativně vysoké teplotě. Dalším kladem je snadná instalace a nižší pořizovací cena. Nevýhodou je nižší životnost (zejména venkovní jednotky s pomaloběžným ventilátorem, který zatěžuje okolí nepatrným hlukem) (Beranovský et al., 2004).



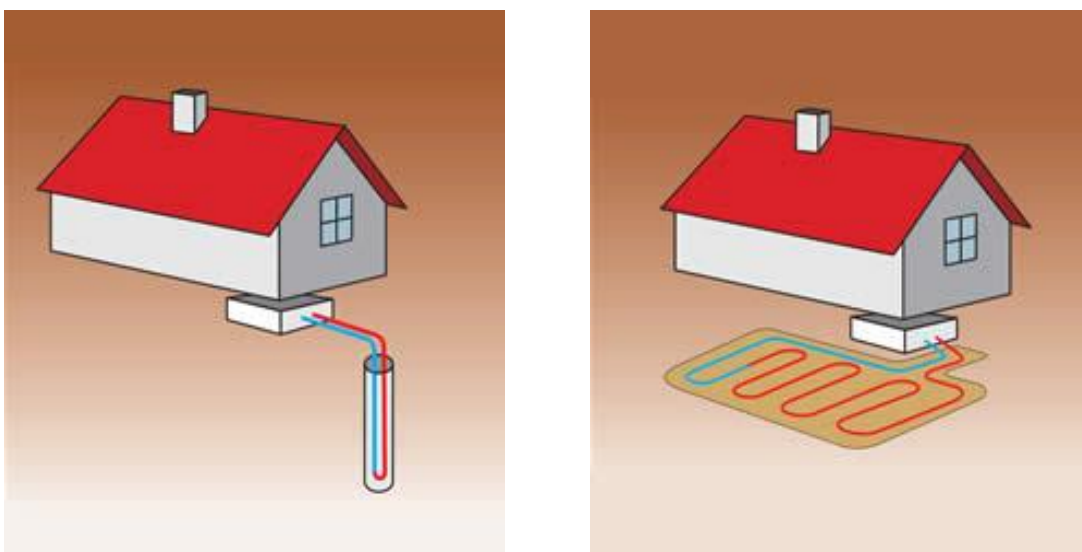
Obrázek 9: Využití systému voda-vzduch. Zdroj: <http://www.teplodomova.com/>

2.9.3 Systém země-voda

Tepelné čerpadlo typu země-voda odebírá nízkopotenciální teplo z okolí pomocí uzavřeného horizontálního či vertikálního okruhu, jak naznačuje obrázek číslo 10. Přednostmi jsou jednoduchost, malé množství pohyblivých částí a především konstantní teplotní zisk. Pro čerpání tepla mohou sloužit plošné kolektory (horizontální kolektory) nebo geotermální vrty (vertikální kolektory), vždy plněné nemrznoucí směsí. Rozhodnutí o aplikaci jedné či druhé varianty závisí především na velikosti pozemku a geologické situaci. Pokud nemáme k dispozici velký pozemek, musíme zvolit variantu hloubených vrtů (výhodou je možnost umístění vrtů přímo pod stavbu, nevýhodou vyšší cena). Výhodnějším řešením, než vertikální kolektor, je pokládka horizontálních kolektorů, a to hned z několika důvodů. Cena stavebních prací je nepoměrně nižší, než u hloubkových vrtů (cena vrtných prací se v ČR pohybuje okolo 1 200 Kč/m hloubky) (Frydrych, 2011), jsou méně náročné na stavební řízení a realizace celého projektu je snazší. Nevýhodou

plošného kolektoru je naopak požadavek na velikost pozemku, dále pak kolektor nesmí zasahovat do konstrukce budovy a nikdy se na místě pokládky nesmí nic stavět (Trs, 2010).

Při použití pokládky kolektorů by měla být velikost plochy, která bude pokryta, přibližně třikrát větší, než je plocha vytápěná. Na 1 kW výkonu tepelného čerpadla, potřebujeme přibližně 5–8 m² výkopu. Při hloubení se pohybujeme v rozmezí 50 až 150 m, přičemž je možné udělat 2 vrty o hloubce 70 m a rozteči minimálně 10 m, aby se vzájemně neovlivňovaly. Na 1 kW výkonu tepelného čerpadla je v tomto případě zapotřebí 12–18 m (Beranovský et al., 2004). Z důvodu nemožné nebo velice náročné možnosti opravy je důležité, aby použitý materiál pokládaných trubek byl co možná nejodolnější. Dříve se vyráběly trubky, které bylo nutné zasypávat pískem, aby se neporušil jejich povrch. Dnešní materiály umožňují zásyp přímo zeminou, která je získána při výkopu. Nezbytným opatřením je uložení plošného kolektoru do nezámrazné hloubky, ta v našich geografických podmínkách činí 1,2–1,5 m (Trs, 2010).



Obrázek 10: Využití systému země–voda. Zdroj: <http://www.teplodomova.com/>

2.9.4 Právní úprava

Při realizaci hlubinných vrtů, pro získávání geotermální energie, se musíme řídit platnými zákony a normami. První případ se týká geotermální energie, která je vázána na podzemní vodu, v tomto případě se postupuje podle vodního nebo lázeňského zákona. U tepla suchých hornin rozeznáváme dva případy, které mohou nastat. Zaprvé jde o situaci, kdy k využití dochází neprůmyslovým způsobem, potom jsou tyto vrty stavbou nebo příslušenstvím stavby. Zadruhé jde o situaci, kdy se vrt využívá průmyslovým způsobem. V tomto případě se jedná o zvláštní zásah do zemské kůry podle horního zákona § 34, zákona č. 44/1988 Sb., ve znění pozdějších předpisů (Špona, 2008).

Při hloubení vrtu, který je hlubší než 30 m je činnost prováděna hornickým způsobem podle § 3, písmena f, zákona č. 61/1988 Sb., o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě, ve znění pozdějších předpisů. Na tuto činnost se nevztahuje živnostenský zákon, a tak prováděcí práce mohou provádět pouze osoby, které mají oprávnění k těmto činnostem vydané okresním báňským úřadem.

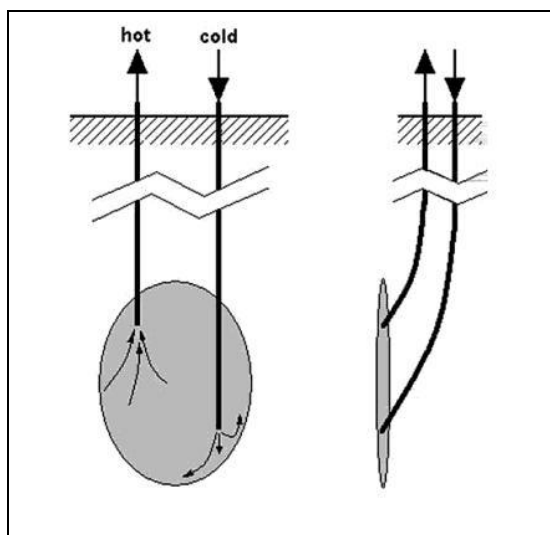
Pro umístění vrtu je nutné získat územní rozhodnutí, které vydává stavební úřad podle stavebního zákona § 76–94, zákon č. 183/2006 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Na základě žádosti stavební úřad vydá stavební rozhodnutí, ve kterém lokalizuje geotermální vrt jako stavbu nebo vodní dílo a stanoví podmínky pro jeho realizaci (Špona, 2008).

Povolení pro realizaci vrtů, které nebudou užívány průmyslovým způsobem, se vydává na základě stavebního zákona č. 183/2006 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Pokud se jedná o průmyslové využívání geotermální energie, vydání povolení se řídí podle zákona o hornické činnosti, výbušninách a státní báňské správě zákona č. 61/1988 Sb., ve znění pozdějších předpisů, jelikož se jedná o zásah do zemské kůry, což je klasifikováno jako hornická činnost (Špona, 2008).

3 Teplo suchých hornin

Geotermální systémy představují velmi atraktivní možnost získávání tepelné i elektrické energie. Ve světě jsou hojně rozšířené geotermální systémy (systémy s přirozeně se vyskytující termální vodou), kterých je na mnoha místech využíváno. Naopak systémů uměle vytvořených, tedy Hot Dry Rock (HDR), je prozatím využíváno jen velmi málo. Jedná se o relativně novou technologii čerpání geotermální energie (Vozáb et al., 2010). V literatuře se můžeme setkat také s označením EGS (Enhanced Geothermal Systems), což v překladu znamená umělé geotermální systémy (Duffeld et Sass, 2003).

Pokud není možné v nitru Země nalézt podzemní horkou vodu, která by se přímo využila na pohon generátorů elektráren, existuje možnost vyřešit tento problém systémem tepla suchých hornin. Nejprve je nutné vybudovat podzemní rezervoár a zajistit dostatečný přísun povrchové vody pro zásobení podzemního rezervoáru, respektive zajištění média pro výrobu elektrické energie. Jedním z nejdůležitějších aspektů při budování geotermální elektrárny je nutnost důkladně nastudovat geologické a přírodní podmínky (Vozáb et al., 2010). Schéma ideálního HDR systému je naznačen na obrázku číslo 11.



Obrázek 11: Schéma ideálního HDR systému (Dipippo, 2008).
překlad: Hot – horký, Cold – studený

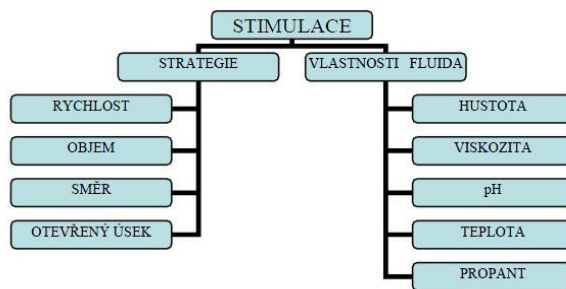
Jako každá nová technologie, tak i HDR technologie se potýká s vysokými náklady na realizaci. Hlavní investice jsou vynaloženy na konstrukci systému, tedy vrtné práce, které probíhají v tvrdých krystalických horninách a na vytvoření umělého výměníku tepla (Boyle, 1996). Cena vrtných prací se v České republice pohybuje v rozmezí 20–40 tis. Kč/m (Frydrych, 2011).

Systém HDR byl vyvinut ve Spojených státech ve městě Los Alamos. Na tomto místě se před zahájením projektu nepředpokládal výskyt podzemní vody, ale pouze horké suché horniny, která navíc neměla být narušena puklinovým systémem. V dnešní době je již známo, že i hornina několik kilometrů pod povrchem může být rozpukána a nasycena fluidy. Z tohoto důvodu bylo zavedeno nové označení pro horniny, které nejsou zcela suché nebo obsahují pukliny, a to HFR (Hot-Fractured-Rock – horká rozpukaná hornina) nebo HWR (Hot-Wet-Rock – horká mokrá hornina). Společným znakem těchto systémů je velmi nízká propustnost a velmi vysoká teplota (Jiráková, 2004).

Pro dobrý výkon geotermálních elektráren je zapotřebí veliký objem správných druhů horniny v ideálním geologickém systému. Nejlepším zdrojem energie pro HDR jsou vysokoteplotní granity, jež obsahují radiogenní minerální látky produkující teplo. Většina elektráren byla budována právě v granitových oblastech (Knehtl, 2004).

3.1 Systém budování

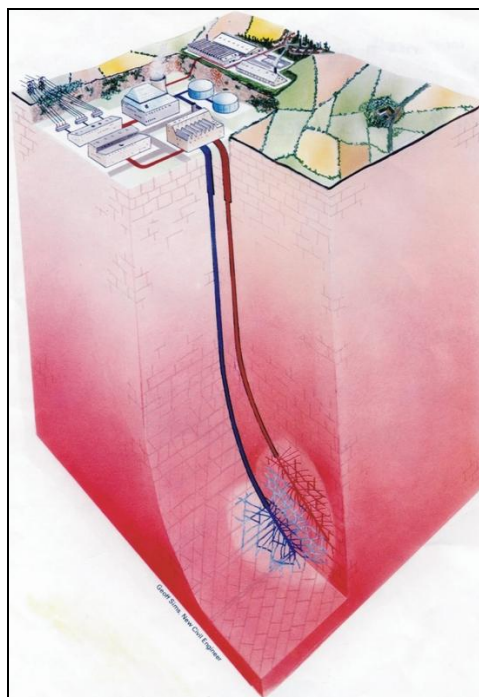
Metoda budování je označována jako hydraulická stimulace. K vytvoření podzemního výměníku tepla se používá několika možností. Jednou z možností hydraulické stimulace je vhánění vody do prvně vytvořeného injekčního vrtu pod vysokým tlakem, dokud nedojde k narušení a frakturaci v podloží a následnému vytvoření puklin pro efektivní pohyb vody. Další možností je vytvoření trhlin detonací. Tvar, směr a vnitřní struktura rezervoáru je značně závislá na geologické situaci konkrétního místa. Výsledek procesu hydraulické stimulace je značně závislý na postupu prováděné stimulace, ale také na vlastnostech fluida, což znázorňuje obrázek číslo 12 (Jiráková, 2007).



Obrázek 12: Závislost stimulace na různých faktorech (Jiráková, 2007)

Při hydraulické stimulaci se uvedou bloky horninového masivu do mírného pohybu, což lze na povrchu pozorovat za pomoci velice citlivých přístrojů jako mikroseismické otřesy (Jiráková, 2007).

Druhý produkční vrt je následně vrtán tak, aby se napojil na vytvořený podzemní rezervoár, většinou vzdálený několik set metrů od vrtu injekčního. Pro správné napojení je využito dat získaných při měření. Celý podzemní systém je tedy tvořen injekčním vrtem (jím je voda vháněna do podzemí pod tlakem, který je nižší než tlak, kterým byl formován podzemní rezervoár), jímacím vrtem (jím je voda vytlačována na povrch) a umělým rezervoárem (zde probíhá výměna tepelné energie mezi geologickou strukturou a fluidem). Podzemní systém společně s geotermální elektrárnou tvoří uzavřený okruh, který je znázorněn na obrázku číslo 13 (Jiráková, 2007).



Obrázek 13: Uzavřený okruh geotermální elektrárny, geotermálních vrtů a podzemního rezervoáru. Zdroj: <http://www.iga.lit.pl/314,what_is_geothermal_energy.html>

3.2 Ekonomika projektů

Díky šetrnosti k životnímu prostředí, své všudypřítomnosti a nezávislosti na okolních podmínkách, má geotermální energie potenciál stát se velmi významným zdrojem energie budoucnosti. Pokud tomu tak má opravdu být, je nutné zajistit, aby byla konkurenceschopná v porovnání s ostatními, ať už alternativními, či fosilními druhy výroby energie. Instituce MIT (Massachusetts Institute of Technology) vytvořila ve spolupráci s americkou kancelář pro geotermální a větrné technologie ekonomický model, na základě něhož se dá hodnotit cena produkované elektřiny systémem HDR. Model byl aplikován na elektrárny Fenton Hill (USA), Soultz (Francie) a Hunter Halley (Austrálie) pro různá technická provedení a výkonnost elektrárny. Ekonomika HDR systému je hodnocena z několika různých, spolu vzájemně souvisejících, parametrů:

- technické parametry (hloubka vrtu, počet vrtů, průtok, atd.)
- charakteristiky zdroje (geotermální teplotní gradient, vlastnosti hornin, atd.)
- struktura rezervoáru a výkonnost (počet a vzdálenost puklin, impedance toku, pokles teploty, vodní ztráty, atd.)
- peněžní náklady (vrtání, stimulace, elektrárna, provozní a údržbové náklady)
- finanční zhodnocení (diskontní sazba, životnost elektrárny, kapacita instalovaného zařízení, atd.) (Jiráková, 2007).

3.3 Historie HDR

První pokusy o vytvoření HDR systému pocházejí z již zmiňovaného města Los Alamos v USA, které prováděla v roce 1970 vědecká laboratoř LASL (Los Alamos Scientific Laboratory). V projektu se předpokládalo propojení dvou vrtů pomocí uměle vytvořených trhlin v krystaliniku. Trhliny měly vzniknout hydraulickou stimulací vedoucí k rovinnému uspořádání vertikálních trhlin. Také ve zdejších krystaliniku se ukázalo, že hornina není ve velmi hlubokých horizontech zcela suchá a nacházejí se zde trhlinky propustné pro fluidum. Roku 1973 proběhly na lokalitě Fenton Hill první HDR experimenty. Cílem studie měla být analýza celého složitého systému, možné nepříznivě ovlivňující faktory, ekonomické zhodnocení a návrh realizace. Získané informace se uplatňovaly u dalších projektů po celém světě. V letech 1980–1986 se do projektu v Los Alamos aktivně zapojily také SRN a Japonsko (Jiráková, 2007).

3.4 Suché horniny ve světě

Koncept HDR je mnohem jednodušší z hlediska teoretického než z hlediska praktického. Vzhledem k vysokým investicím, které dosáhly zhruba 250 mil. dolarů od roku 1970 převážně v USA, Velké Británii, Německu a Japonsku, není projekt HDR rozšířen ve velkém měřítku (Boyle, 1996). Na celém světě probíhá již od počátku sedmdesátých let celá řada experimentů a studií, jejichž cílem je umožnit hojnější využití tepla suchých hornin k energetickým účelům. Celé toto snažení bylo, jak je popsáno v předchozí kapitole, započato ve Spojených státech, ke kterým se postupně přidávalo více států, a následně se výzkum rozšířil po celém světě. Ne všechny instalované systémy byly úspěšné a komerčně využívané, nicméně zjištěné skutečnosti se uplatňují při budování nových zařízení (Jiráková, 2007). Instalované elektrárny využívající HDR systém prezentuji v tabulce 3.

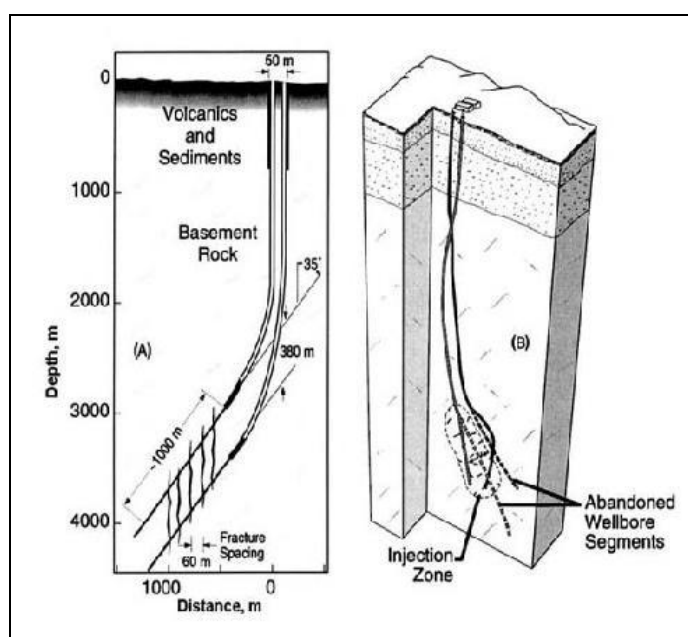
Stát	Lokalita	Období
Spojené státy	Fenton Hill	1973–1996
Velká Británie	Rosemanowes	1977–současnost
Německo	Bad Urach	1997–současnost
Japonsko	Hijiori	1985–2000
	Ogachi	1986–současnost
Francie	Soultz	1987–současnost
Švýcarsko	Basel	1996–současnost
Austrálie	Hunter Valley	2001–současnost
	Cooper Basin	2002–současnost

Tabulka 3: Instalované systémy elektráren využívající systém HDR (Dipippo, 2008).

3.4.1 USA

Ve Spojených státech amerických, jak uvádím výše, celý projekt HDR vznikl. Popisovaná lokalita Los Alamos se nachází v severní části středního Mexika. Ministerstvo energetiky se zavázalo sponzorovat celý projekt, který probíhal od roku 1973 do roku 1996. V první fázi projektu mezi léty 1973 a 1979 byly úspěšně vyhloubeny 2 vrty do hloubky přibližně 2 600 m, kde byla naměřena teplota 185 °C. Stimulací vytvořený rezervoár byl schopen dodávat fluidum o teplotě 135–140 °C. Na základě těchto výsledků byla instalována binární elektrárna, která disponovala výkonem 60 kW (Dipippo, 2008).

Druhá fáze začala v roce 1979. Dva nové vrty byly hloubeny na povrchu 50 m od sebe se záměrem vytvořit rezervoár, jak je naznačeno na obrázku číslo 14 (první část). Hlubší z vrtů dosáhl hloubky 4 390 m a na bázi byla naměřena teplota 327 °C. Bohužel nově vytvořené vrty spolu nekomunikovaly. Vytvořený rezervoár nebyl v souladu s očekáváním, které bylo založeno na prvně vytvořeném vrtu. Rezervoár, který vznikl po masivní hydraulické stimulaci, je znázorněn na obrázku číslo 14 (druhá část). Při pumpování fluida do rezervoáru docházelo k velkým ztrátám. Nakonec byl experiment kvůli nedostatku finančních prostředků zastaven (Dipippo, 2008).



Obrázek 14: Schéma vrtu, první část – předpokládaný výsledek, druhá část – reálný výsledek (Dipippo, 2008).

Překlad: Depth, m – hloubka, m, Distance, m – vzdálenost, m, Volcanics and Sediments – vulkanity a sedimenty, Fracture Spacing – fraktury, Injection Zone – injekční zóna, Abandoned Wellbore Segment – opuštěné vrtané segmenty.

3.4.2 Francie

Jeden ze zatím nejzdařilejších projektů v oblasti HDR technologií se nachází právě ve Francii, v oblasti Soultz, poblíž hranic s Německem. Vývoj systému zde probíhá již od roku 1987, přičemž byl rozdělen do tří fází. První fáze probíhala mezi léty 1987–2004, kdy probíhal průzkum a hloubení vrtů. V druhé fázi, probíhající mezi léty 2004–2008, byly dokončeny vrty společně s podzemním rezervoárem v hloubce 5 000 m (teplota na bázi dosahovala hodnoty okolo 200 °C) a byla instalována binární elektrárna o výkonu 1,5 MWe. V poslední fázi, která probíhá

od roku 2008 do současnosti, se plánuje rozšíření systému a zvýšení výkonu binární elektrárny na hodnotu 6 MWe (Příbyl, 2009).

3.4.3 Velká Británie

První britský a zároveň evropský průzkumný projekt započal na lokalitě Rosemanowes (Cornwall), za finanční podpory Ministerstva energetiky a Úřadu evropské komunity. Z obavy o techniku byla záměrně omezena teplota na 100 °C, tudíž se nikdy nepředpokládalo využití k výrobě elektrické energie. Budování probíhalo ve třech fázích, jelikož se zde vyskytovala celá řada problémů. Experiment byl ukončen roku 1991 s celou řadou výsledků, mimo jiné i toho, že ne vždy může být vhodně pospojována puklinová síť, která by vytvořila komerčně využitelný podzemní rezervoár (Jiráková, 2007).

V roce 2010 byl radou Cornwallu schválen plán na stavbu geotermální elektrárny. Tato oblast má jedny z nejteplejších hornin z celé Velké Británie, teplota zde stoupá o 35 °C na jeden kilometr hloubky. Výhodou bylo, že zde již proběhl průzkum oblasti k vhodnosti využívání tepla suchých hornin. Společnost Geothermal Engineering bude první ve Velké Británii, která provede nejhlubší vrty, které budou zasahovat 5 km do hloubky a vytvoří zde podzemní rezervoár, který bude zásobovat teplem elektrárnu na povrchu, přičemž se plánuje instalace binární elektrárny. Celý projekt má být hotový do roku 2014, kdy má celková kapacita elektrárny dosáhnout produkce 10 MW elektrické energie. Vyhloubeny budou dohromady tři vrty, jeden bude injekční a zbylé dva vrty budou produkční, jimiž se bude přivádět ohřátá voda z vytvořeného rezervoáru (Law, 2010).

3.4.4 Japonsko

Na základě zapojení japonské organizace pro vývoj průmyslových technologií do výzkumu geotermální energie ve Fenton Hill se následně uskutečnila studie i přímo v Japonsku, a to na lokalitě Hijiori na ostrově Honšu. Cílem studie bylo zjistit, zdali je technologie vyvinutá v USA aplikovatelná na místní podmínky. Lokalita byla záměrně vybrána kvůli svému vysokému teplotnímu gradientu a bývalé vulkanické aktivitě v oblasti, kde poslední erupce proběhla před 10 000 lety. Vybudovány byly čtyři vrty. Jeden byl injekční a zbylé tři produkční. Produkční vrty byly relativně blízko od sebe, a to 40 m, 50 m a 55 m. Naměřená teplota v hloubce 1500 m byla 225 °C. V systému proběhla hydraulická stimulace a poté testy

na cirkulaci fluida v hornině. Později se vrty prohloubily a proběhla další hydraulická stimulace, díky čemuž vznikly dva podzemní rezervoáry. V roce 2000 proběhl test cirkulace vody v hlubokém i mělkém rezervoáru. Celková vydatnost produkčních vrtů činila cca 8 MW. Zprovozněna byla binární elektrárna s výkonem 130 kW. V průběhu experimentu klesla nečekaně teplota z jednoho produkčního vrtu na 100 °C z původních 163 °C, což mělo za následek uzavření testu a ukončení experimentu (Jiráková, 2007).

3.4.5 Německo

Výzkumná geotermální činnost započala v oblasti Bad Urach již v polovině 70. let dvacátého století. Celý projekt vznikl z iniciativy programu Investice do budoucna, který celý projekt od prosince roku 2001 financuje. Záměrem bylo vytvořit podzemní rezervoár, který by byl schopen zásobovat geotermální elektrárnu. Stávající vrt dosahuje hloubky 4 395 m s teplotou na bázi 170 °C. Roku 2002 proběhla ve vrtu hydraulická stimulace, jejíž výsledky byly sledovány pomocí moderního software, který dokázal přesně identifikovat hypocentra a sledovat indukovanou seismicitu v reálném čase a tudíž poskytnout co nejpřesnější informace o účinnosti samotné stimulace. Výsledkem hydraulické stimulace byl vytvořený podzemní rezervoár, který dosahoval hloubky od 3 400 m do 4 400m, jeho průměr dosahoval hodnot od 500 m do 1 000 m. Výkon binární elektrárny dosahuje hodnoty 1 MW při průtoku 25 l/s a teplotě 150 °C (Tenze et al., 2004).

Ve Spolkové republice Německo je v současné době v provozu pouze výše zmíněná geotermální elektrárna v Bad Urachu, nicméně ve výstavbě jsou další 3 geotermální elektrárny využívající principu Hot Dry Rock. Realizace probíhá v Riedstadtu, Bruchsalu a Isaru u Mnichova (Karafiát, 2009).

3.4.6 Švédsko

Také v tomto severském státě probíhaly průzkumy a pokusy aplikace systému Hot Dry Rock. Jednalo se o oblast Fjällbacka, kde se předpokládaly dobré podmínky pro aplikaci. Pokus probíhal od roku 1984 do roku 1995. Během experimentu došlo k vyhloubení dvou vrtů, které byly hluboké pouze 500 m a k vytvoření podzemního rezervoáru. Při vtačování vody docházelo ke ztrátám fluida a na povrch se dostalo pouze okolo 50 % vtačovaného fluida. V projektu se dále nepokračovalo a byl ukončen (Wallroth et al., 1999).

3.5 Výhody tepla suchých hornin

Výhody geotermální energie jako takové popisují výše. Pokud jde o teplo suchých hornin, jedná se především o kladný vztah k životnímu prostředí. Jak jsem již zmínil, tento systém má minimální uhlíkovou stopu, malý dopad na krajinný ráz, zdroj podzemního tepla je nevyčerpatelný a náklady na provoz jsou v případě správného fungování systému minimální. Další výhody jsou spatřovány v relativně jednoduchém principu, jedná se o vyhloubení několika vrtů, pomocí hydrologické stimulace dojde k vytvoření podzemního rezervoáru a celý okruh se uzavře, ve většině případů, binární elektrárnou, umístěnou na zemském povrchu (Dipippo, 2008). Vodu použitou k pohonu elektrárny je možné využít také k zásobování teplem, čímž je možné nahradit teplárny spalující tuhá paliva, což přispěje k dalšímu omezení škodlivých látek v ovzduší. Při produkci pouze elektrické energie (bez tepelné) je možné využít potenciálu geotermální elektrárny prakticky celoročně (cca 8 000 hodin/rok), na rozdíl například od elektrárny větrné (cca 1 000–2 000 hodin/rok) či elektrárny solární (cca 1 000 hodin/rok) (Příbyl, 2009).

Nepřehlédnutelným faktem je také bezpečnost, ať už se jedná o bezpečnost technickou, či bezpečnost energetickou. V prvním případě jde o bezpečný zdroj elektrické energie, který v případě havárie nemůže větším způsobem poškodit životní prostředí, jak tomu bývá u jiných typů elektráren, například jaderných. Nezávislost na surovinách dovážených z nestálých a neustále politicky ovlivňovaných zdrojů v zahraničí zajistí větší energetickou bezpečnost státu využívajícího vlastní zdroje (Myslil P., 2006).

3.6 Nevýhody tepla suchých hornin

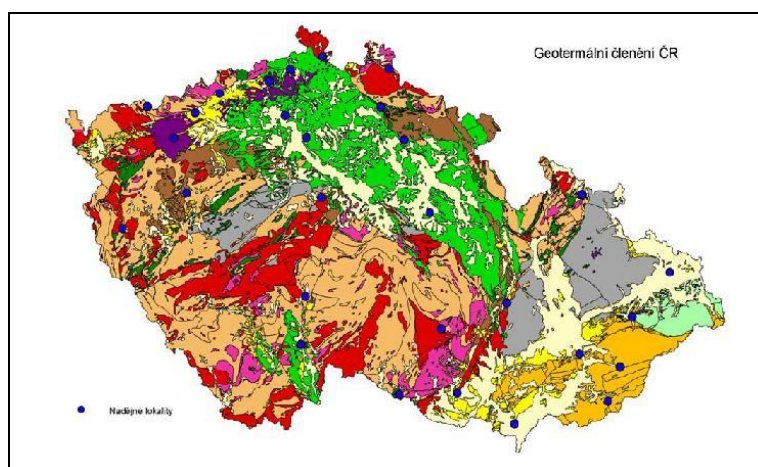
Jedná o vynikající druh alternativní energie, nicméně i GE má řadu nevýhod. První problém nastává u samotného budování systému. Obecně je velmi složité kontrolovat a ovlivňovat velmi hluboké geologické systémy. Již při samotném hloubení vrtů jsou kladeny veliké nároky na zařízení, které musí být velmi kvalitní, čímž je celý proces prodražen. Jak uvádím výše, největší riziko přináší vybudování podzemního rezervoáru. Při některých experimentech se nepodařilo ideálním způsobem propojit hloubené vrty s podzemním rezervoárem, což mělo za následek veliké ztráty vody injektované do rezervoáru, či dokonce nedostatečnou komunikaci vrtů a de facto znemožnění provozu elektrárny (Dipippo, 2008).

Další nevýhodu spatřuji v nutnosti zásobování podzemních rezervoárů povrchovou vodou, což se může negativně projevit na vodní bilanci prostředí. Při provozu geotermálních elektráren do ovzduší uniká menší množství tepla (Jiráková, 2007). Technický problém může nastat při čerpání vody z velikých hloubek, jelikož podzemní voda obsahuje veliké množství solí, které zanášejí technologické zařízení elektrárny (Chander, 1995).

4 Suché horniny v ČR

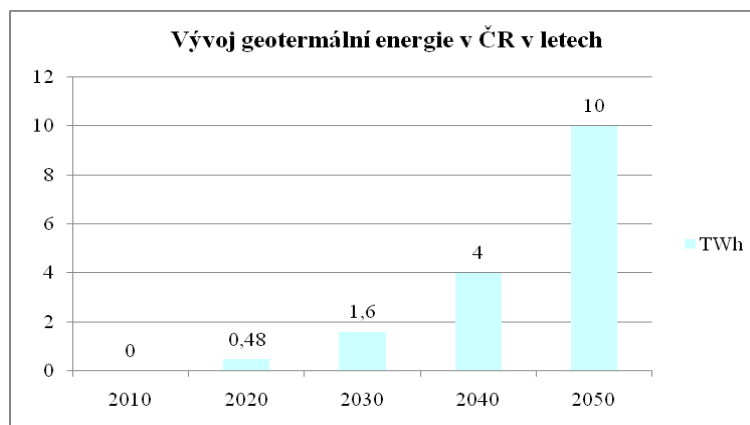
Pro naše území je možné uvažovat výrobu elektrické energie pouze na některých omezených místech českého masívu a některých částech karpatské soustavy. Jedná se výhradně o systém tepla suchých hornin za využití vysokoteplotního či středně teplotního geotermálního systému. Pro ostatní části republiky je možné využít systémem nízkoteplotní (Blažková, 2010).

Při plánování využívání geotermální energie je nutné uvažovat proměnlivé podmínky území, a to z pohledu geotermálního, geologického a hydrogeologického. Pokud bychom uvažovali o teoretickém ochlazení bloku Českého masívu (o mocnosti 4 km) o jeden stupeň Celsia, získali bychom tím teoretický energetický potenciál 50 000 PJ. V porovnání s celkovou spotřebou ČR, která činí 1 800 PJ, je cifra teoreticky získaná z ochlazeného bloku českého masívu velmi zajímavá (Blažková, 2010).



Obrázek 15: Některé z nadějných lokalit pro využití systému HDR. Zdroj: (Myslil P., 2006)

Podle průzkumů, které byly dosud provedeny, je možné odvodit zhruba 60 míst na území republiky, které by byly vhodné k výrobě elektrické energie systémem HDR, některé z možných lokalit jsou zobrazeny na obrázku číslo 15. Pokud by pracovalo všech 60 elektráren současně, disponovaly by elektrickým výkonem cca 250 MW a výkonem 2 000 MW pro vytápění (Myslil P., 2006). Pokud se podíváme do vzdálené budoucnosti z energetického pohledu, v roce 2050 by mělo být instalováno okolo 140 geotermálních elektráren s výkonem 10 TWh. Teoretický vývoj využívání GE v ČR uvádím v grafu znázorněném na obrázku číslo 16 (Pačes et al., 2008).



Obrázek 16: Vývoj geotermální energie v ČR v letech (Pačes et al., 2008).

4.1 HDR projekty v ČR

V České republice se rozbíhá projekt geotermální elektrárny v Litoměřicích. Jedná se o první projekt tohoto typu v České republice, nicméně v plánu jsou i další místa pro vybudování geotermální elektrárny s využíváním principu tepla suchých hornin (Příbyl, 2009).

Z iniciativy představitelů města Liberec vzniklo ve spojení s dalšími pěti městy uskupení, které se nazývá Centrum pro výzkum litosféry. Náplní zmiňované organizace je posuzování a zkoumání vhodnosti vybraných lokalit pro umístění systému HDR v ČR (Příbyl, 2009).

Hlavní iniciativa ze strany Liberce není náhodná, právě zde má v budoucnu vzniknout geotermální elektrárna. Hlavním investorem, který poskytne základní vklad 100 mil. Kč se má stát společnost ČEZ, město Liberec poskytne bezplatně pozemky. Náklady celého projektu se odhadují na 1,2 mld. Kč (Příbyl, 2009).

Plán geotermální elektrárny neleží pouze na stolech Liberce a Litoměřic, dalšími městy jsou například Úvaly u Prahy, Nová Paka, Nové Město pod Smrkem či Opočno. Zda-li bude možné systému HDR využít ukáže až průzkum oblastí (Karafiát, 2009).

5 Geotermální elektrárna v Litoměřicích

Ve stádiu přípravy a průzkumných prací je projekt budování první geotermální elektrárny v ČR. Projekt má význam regionální, státní, ba dokonce i evropský. Státy EU se zavázaly do roku 2020 pokrýt spotřebu elektrické energie obnovitelnými zdroji z 20 %, čemuž by měla litoměřická elektrárna výrazně pomoci. Společně s tím se EU zavázala snížit emise CO₂ do roku 2020 také o 20 %

v porovnání s rokem 1990. Oba cíle EU jdou ruku v ruce se snižováním spotřeby energie, která se má snížit opět o 20% do roku 2020 (Kalaš, 2007).

Projekt Litoměřice je velmi důležitý, jelikož je prvním v České republice, od kterého se bude odvíjet i další směřování využívání tepla suchých hornin. Výhody, které přináší instalace geotermální elektrárny v Litoměřicích:

- Jedním z nejdůležitějších přínosů je snížení znečištění ovzduší a prašnosti, společně se snížením produkce CO₂ vznikajícího spalováním uhlí
- Ekonomický aspekt, který zajistí stálou cenu energie, na rozdíl od konvenčních zdrojů energie, u kterých se cena stále mění.
- Nezávislost na dodávkách elektřiny a tepla z jiných zdrojů přináší strategickou výhodu.
- Výhoda z finančního pohledu spočívá v prodeji elektrické energie. Po jejím faktickém zaplacení bude zařízení vydělávat z prodeje energie do sítě (Kalaš, 2007).

5.1 Geologie oblasti

Lokalita je překryta křídovými pánvemi, stáří sedimentů je turonské a cenomanské, přičemž oba zmiňované sedimenty jsou zvodnělé. Dále následuje okraj permokarbonské pánve o mocnosti několika set metrů, v této struktuře velmi stoupá teplotní gradient. Pod těmito pánevními sedimenty se nachází fility, granodiority, či jiné hlubinné vyvřeliny. Níže uvádím stratigrafický profil, který byl zjištěn v průzkumném vrtu (pracovní označení průzkumného vrtu – PVGT–LT 1) (Myslil et al., 2007b).

Grafický profil zjištěný v průzkumném vrtu:

- 0–15 m navážka
- 15–25 m – kvartér pleistocén
- 25–90 m – svrchní křída – střední turon
- 90–165 m – svrchní křída – spodní turon
- 165–190 m – svrchní křída – cenoman
- 190–460 m – permokarbon – svrchní červené (líňské) souvrství
- 460–500 m – svrchní karbon – svrchní šedé (slánské) souvrství
- 500–600 m – svrchní karbon – spodní červené (týnecké) souvrství
- 600–780 m – svrchní karbon – spodní šedé (kladenské) souvrství

- 780–900 m – křemenný porfyr
- 900–2110 – svor (Burda et al., 2007).

Podloží sedimentárních pánví patří ke struktuře teplicko-barrandienské, středočeské oblasti (bohemika), která se na severozápadní části stýká s krušnohorskou oblastí (saxothuringika) a je tvořena z převážné části metamorfovanými horninami. Na některých vrtech byl zjištěn vysoký tepelný gradient, čímž se předpokládá dosažení teploty 130 °C v hloubce mezi 3–4 km (Myslil et al., 2007b).

5.2 Financování

Do dnešního dne není jasné, jakým způsobem bude projekt geotermální elektrárny financován. Nabízí se několik možností řešení. Od financování celého projektu samotným městem, přes půjčky, až po společníky podílející se na realizaci. Nedílnou součástí budou dotace z evropských fondů a také fondů státních (Kalaš, 2007).

Všechny možné druhy financování mají své výhody a úskalí. Pokud by se projekt financoval z prostředků města, plynuly by pro něj z tohoto jisté výhody strategické a ekonomické. Navíc by Litoměřice mohly hospodařit s penězi získanými z prodeje elektrické energie. Prvotní odhady nákladů byly odhadovány na částku 1 111 mil. Kč. Podrobnější rozpočet uvádím níže:

- Cena hlavních vrtů: 586 mil. Kč
- Cena ověřovacích vrtů: 60 mil. Kč
- Pojištění: 100 mil. Kč
- Binární elektrárna: 300 mil. Kč
- Pomocné provozy: 20 mil. Kč
- Stavební část: 45 mil. Kč (Motlík).

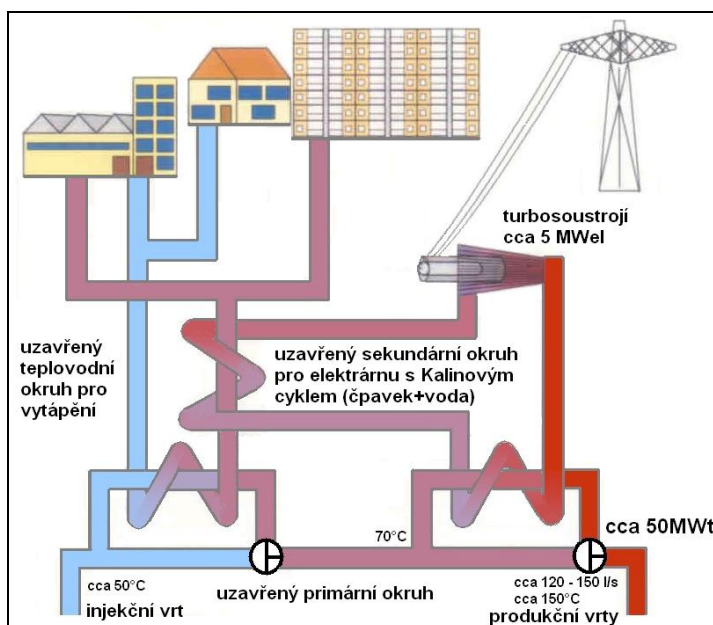
V současné době se mluví o nákladech, které budou v rozmezí 2,2–2,4 mld. Kč. Do této sumy jsou navíc zahrnuty náklady na vybudování nové rozvodné sítě. Podrobnější rozpis nákladů zatím není znám, teprve v budoucnu budou probíhat výběrová řízení, která určí podrobnější cenu jak celého projektu, tak jeho jednotlivých částí. Stejně tak i technologická řešení projektu budou předmětem tendrů na základě vstupních parametrů (Tym, 2011).

5.3 Současný stav

V současné době probíhají průzkumné práce a řeší se postup realizace celého projektu. Do dnešního dne byla vyhloubena první část průzkumného vrtu označovaného PVGT–LT 1 a dosahující hloubky 2 111 m. V nejbližší době proběhnou výběrová řízení, která určí konkrétní dodavatele a autory stavby. V roce 2012 se začne s hloubením vrtů, vytvářením podzemního rezervoáru a instalací samotné binární elektrárny. První geotermální elektrárna využívající tepla suchých hornin v ČR by měla být dokončena v roce 2014 a do plného provozu by měla být spuštěna v roce 2015 (Tym, 2011).

5.4 Finální podoba projektu

Jak uvádím výše, v roce 2015 by měla být v plném provozu první geotermální elektrárna pracující na binárním principu využívající systému Hot Dry Rock v České republice. Zásobovat by měla město elektrickou energií a teplem. U vody, která bude vyvěrat z geotermálního rezervoáru a bude zásobovat binární elektrárnu, se předpokládá teplota okolo 150 °C, přičemž hodnota výkonu by měla dosáhnout 5 MW. Tímto výkonem přispěje k pokrytí značné části spotřeby jak elektrické, tak tepelné energie města, ale také ke snaze zvýšení podílu obnovitelných zdrojů na energetickém poli jak samotné České republiky, tak také Evropské unie, k čemuž, jak uvádím výše, se zavázala do roku 2020. Schéma, jak by měl celý projekt v budoucnu vypadat, je zobrazeno na obrázku číslo 17 (Motlík).



Obrázek 17: Schéma dokončené geotermální elektrárny Litoměřice. Zdroj: (Motlík).

Diskuse

Na základě rozboru a studia dané problematiky je možné označit celou řadu pozitiv i negativ souvisejících s problematikou systému tepla suchých hornin. Jako hlavní negativa je možné chápat jednak vysoké náklady spojené s realizací systému, jednak nejistotu spojenou s investicemi do tohoto typu projektu. Další nevýhodou je riziko nesprávného fungování celého systému, které může být způsobeno např. nesprávně vybudovaným podzemním rezervoárem, či velkými ztrátami injektovaného fluida. Jako negativum se jeví také technologické problémy spojené s provozem, jako např. zanášení technologických zařízení či nutnost separace solí, které jsou ve vysoké koncentraci přítomny v hloubkách. Vedle zmíněných technologických a ekonomických negativ nese s sebou tato metoda taktéž negativum dlouhodobějšího rázu, a tím je fakt, že využívání systému HDR zapříčiňuje ochlazování vrchních vrstev litosféry.

Co se týče pozitiv, nejdůležitějším zjištěním vztahujícím se přímo k tématu této bakalářské práce je fakt, že systém tepla suchých hornin má minimální dopady na životní prostředí. Tento stav je zapříčiňován především skutečností, že do ovzduší neuniká při využívání systému HDR větší množství CO₂. Dalšími pozitivy je např. skutečnost, že systém využívá obnovitelné zdroje a svým vzhledem výrazně nenarušuje krajinný ráz. Stálost ceny taktéž přispívá k pozitivním vlastnostem systému. Jako velmi kladnou vlastnost je možné hodnotit bezpečnost tohoto systému, a to jak z politického, energetického, tak i technologického hlediska. Shrneme-li výše uvedené poznatky, můžeme tvrdit, že pozitiva systému HDR výrazně převyšují negativa. Na základě výše uvedených argumentů zastávám názor, že systém tepla suchých hornin v sobě skrývá veliký potenciál pro budoucnost a ve srovnání s ostatními alternativními zdroji energie je převyšuje celou řadou svých pozitivních vlastností. Vztah systému k životnímu prostředí hodnotím jako velmi pozitivní.

Velmi kladně lze hodnotit stav využívání Hot Dry Rock ve Spolkové republice Německo, která je obecně dobrým příkladem státu využívajícího a investujícího do obnovitelných zdrojů energie. Díky tomuto faktu můžeme Německu i v budoucnosti předpovídat vysokou úroveň energetické bezpečnosti a kvality životního prostředí.

Co se týká právě vznikajícího projektu geotermální elektrárny využívajícího tepla suchých hornin v Litoměřicích, jedná se o vynikající pionýrský projekt.

V případě úspěšného provozu je možné předpovídat další rozšiřování tohoto systému v České republice, což by jistě přineslo řadu výrazných pozitiv, jak pro energetickou bezpečnost země, tak pro životní prostředí.

Závěr

Na základě průběhu práce je možné označit několik základních zjištění. Pokud budeme postupovat chronologicky, práce se nejprve zabývá představením základních typů alternativní energie a primárním závěrem této části je poznatek, že nejlépe lze z této skupiny zdrojů hodnotit energii geotermální. Jejím popisem se práce zabývá v následující kapitole, z níž vyplývá, že pozitiva GE převažují nad negativy. Další část práce se věnuje tématu tepelných čerpadel a jejím základním zjištěním je fakt, že s jejich pomocí lze využívat nízkopotenciálního tepla, které je ukryto ve svrchních vrstvách Země. Klíčová kapitola práce se zabývá představením a zhodnocením systému tepla suchých hornin. Tento systém je možné hodnotit jako velmi pozitivním ve vztahu k životnímu prostředí, přičemž podrobnější představení hlavních zjištění týkající se této kapitoly jsou shrnuta v diskusi této práce. Co se týká ČR, kterou se zabývá kapitola následující, používání tohoto systému je zatím ve fázi příprav a průzkumů. V budoucnu lze ale očekávat, v souvislosti se snižováním nákladů na realizaci tohoto druhu projektu a s rozvojem technologie HDR, jeho větší expanzi. Největší potenciál mají v tomto ohledu oblasti českého masivu a karpatské soustavy. V poslední části se práce věnuje projektu výstavby geotermální elektrárny využívající HDR v Litoměřicích.

Práce si v úvodu klade několik základních cílů. Prvním z nich je zhodnocení možnosti využití GE k výrobě elektrické energie a tepla. Na základě provedené analýzy je možné tvrdit, že potenciál tohoto typu energie je v celosvětovém měřítku veliký. Druhým cílem práce je definování vlivu zařízení HDR na životní prostředí. Základním zjištěním je skutečnost, že vztah systému HDR k životnímu prostředí je velmi kladný a je možné jej označovat za jedno z jeho největších pozitiv systému samotného. Jako poslední cíl si práce stanovuje zhodnocení role systému HDR v energetické budoucnosti a dospívá k závěru, že je možné předpokládat jeho veliký rozmach.

Přínosem této práce je možné označit ucelený pohled na využívání tepla ukrytého v horninách, ať už pomocí elektráren produkujících elektrickou a tepelnou energii, či pomocí tepelných čerpadel. Na základě práce je možné demonstrovat, jakým způsobem lze potenciálu tepla suchých hornin využít a jakým způsobem pracují zařízení na jeho získávání.

Přehled literatury a použitých zdrojů

ARMSTRONG F. ET BLUNDNELL K., 2007: Energy ...Beyond Oil. Oxford university press, New York.

ASPLUND R., 2008: Profiting from Clean Energy. John Wiley & Sons, New Jersey.

BALÁK R. ET PROKEŠ K., 1984: Nové zdroje energie. SNTL, Praha.

BERANOVSKÝ J. ET TRUXA J., 2004: Alternativní energie pro váš dům. ERA, Šlapanice.

BLAŽKOVÁ M., 2010: Metodika k hodnocení geotermálního potenciálu v modelovém území Podkrušnohoří. UJEP, Ústí nad Labem. Dostupné z: <<http://fzp.ujep.cz/projekty/wd-44-07-1/dokumenty/aktivity/A411.pdf>> , Staženo 11.01.2011.

BOYLE G., 1996: Renewable Energy, Power for a Sustainable Future. Oxford University Press, New York.

BROŽ K. ET ŠOUREK B., 2003: Alternativní zdroje energie. ČVUT, Praha.

BRUNCLÍK O., BENEŠ S., VLK K., 1986: Geologie a půdoznalství III, Geologie. ČZU, Praha.

BURDA J., ŽÁČEK V., MLČOCH B., LOJKA R., VALEČKA J., 2007: Závěrečná zpráva na léta 2006–2007, Geologické a hydrogeologické poměry ověřovacího vrtu PVGT–LT 1 v geotermální struktuře Litoměřice pro energetické využití. Česká geologická služba, ČR.

CENEK M., 1994: Obnovitelné zdroje energie. FCC Public, Praha.

ČÍŽEK P.: Geologie, hydrogeologie, inženýrská geologie, geofyzika, tepelná čerpadla, hledání vody. Dostupné z: <<http://www.geolog.cz/dotazy/Geologie%20-%20dotazy/V-Z/V-Z%20dotazy.htm>>. Staženo 15.2.2011.

DEAL W., 2010: Wind Power: An Emerging Energy Ressource. Technology and Engineering Trachet 2010/9: 9 – 15. Dostupné z: <<http://www.iteea.org/Publications/TTT/sept10.pdf>> . Staženo: 20.12.2010.

DICKSON M. ET FANELLI M., 2004: What is Geothermal Energy? Dostupné z: <http://www.iga.lit.pl/314,what_is_geothermal_energy.html>. Staženo 12.3.2011.

DIPIPO R., 2008: Geothermal Power Plants–Principles, Applications, Case Studies and Enviromental Impact–Second Edition. Elsevier Ltd., Oxford.

DORF R., 1981: The energy factbook. McGraw-Hill INC, USA.

DUFFIELD W. ET SASS J., 2003: Geothermal Energy–Clean Power From the Earth´s Heat. U.S. Geological Survey, Virginia.

FRYDRYCH V.: Osobní rozhovor s Václavem Frydrychem, zástupcem společnosti Geomedia. Praha, 23.3.2011.

GUPTA H. ET ROY S., 2007: Geothermal energy–An Alternative Ressource for the 21st century. Elsevier Ltd., Oxford.

HAHN D., 2008: Geothermal Power Generation. Dostupné z: <<http://myecoproject.org/get-involved/energy-conservation/renewable-energy-sources/geothermal-energy/>>. Staženo: 12.1.2011.

CHENDLER D., 2008: Hot Dry Rock Power Plant Potential Attracts Scientists.Tulsa World, Okla. Dostupné z: <<http://search.proquest.com/docview/399551572?accountid=26997>> Staženo: 05.02.2011.

JANÍČEK F., DURULA I., GADUŠ J., REGULA E., SMITKOVÁ M., POLONEC L., EUDVIL J., KUBICA J., 2007: Obnoviteľné zdroje energie 1, Technológie pre udržateľnú budúcnosť. Renesans s.r.o., Slovenská republika.

JIRÁKOVÁ H., 2007: Současný stav využívání geotermální energie, systémy HDR. Geomedia, Praha.

KALAŠ P., 2007: Aspekty financování a realizace geotermálního projektu v Litoměřicích. Geomedia, Praha.

KALAŠ P., 2007:Aspekty financování a realizace geotermálního projektu v Litoměřicích. Geomedia, Praha.

KAMINSKÝ J. ET VRTEK M., 1998: Obnovitelné zdroje energie. VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, Ostrava.

KARAFIÁT J., 2009: Geotermální teplárny nabízejí zajímavou alternativu. Teplo, technika, teplárenství / 3, 3–4.

KNEHTL I., 2004: Power from the Earth, Energy From Oceane Wales and the World's Tallest Structures Full of Hot Air: New Technologies from Australia Unveiled. Yemen Times, Sanaa. Dostupné z: <<http://search.proquest.com/docview/429777722?accountid=26997>> Staženo: 11.3.2011.

KUBÍN M., 2006: Energetika perspektivy–strategie–inovace, Lpress, Křtiny.

LAW R., 2010: Cornwall, the UK's hottest county. Geodrilling International. Mining Communications Ltd, UK. Dostupné z : <<http://ovidsp.tx.ovid.com.infozdroje.czu.cz/sp-3.3.1a/ovidweb.cgi?&S=BIJPFPPGMKDDKFIINCCLKFDCPNPPAA00&Complete+Reference=S.sh.16|1|1>> , staženo: 07.04.2011.

LETCHER T., 2008: Future energy: Improved, Sustainable and Clean options for our Planet, Elsevier Ltd., Oxford.

MOHAUPT J., 1998: Geotermální energie Děčín. Alternativní energie / 1, 20–21.

MOTLÍK J.: Město Litoměřice, geotermální projekt. Geomedia, Praha.

MYSLI., STIBLITZ M., FRYDRYCH V., JIRÁKOVÁ H., FRITSCHOVÁ L., JIRÁKOVÁ H., ŠAFANDA J., BURDA J., BROŽ K., KAROUS M., LANDA I., PROCHÁZKA M., GREGOR P., WOLFBAUER J., KALAŠ P., MOTLÍK J., ALINČE Z., SPUDIL J., PECHAR T., MUŽÁK J., SCIRANKOVÁ L., 2007b: Závěrečná zpráva o řešení projektu v programu Trvalá prosperita MPO v roce 2006–2007. Geomedia, Praha.

MYSLIL P., 2006: Geotermální energie a její význam pro ČR. Mytos, Praha.

MYSLIL V., 2009: Geotermální energie – zdroje a jejich současné využití. Energie 21 / 4: 32–35.

MYSLIL V., 2011: Využití geotermální energie je na vzestupu. *Energie* 21 / 1, 26–27.

MYSLIL V., KUKAL Z., POŠMOURNÝ K., FRYDRYCH V., 2007a: Geotermální energie, Ekologická energie z hlubin Země–současné možnosti využívání, *Planeta* / 4, 1–32.

PAČES V., BUBENÍK J., DLOUHÝ V., HRDLIČKA F., KUBÍN M., MOOS P., OTČENÁŠEK P., SEQUENS E., VLK V., 2008: Zpráva Nezávislé odborné komise pro posouzení energetických potřeb České republiky v dlouhodobém časovém horizontu. Vláda ČR, ČR.

PŘIBYL E., 2009: Využití geotermální energie pro využití elektrické energie. Vytápění, větrání, instalace / 5, 207–209.

SCHLAGER N. ET WEISBLATT J., 2006: *Alternative Energy, Volume 1.* Thomas Corporation, USA.

ŠPIČKOVÁ I., ŠTURCOVÁ J., ŠUDŘICHOVÁ M., 2010: Využití geotermální energie. Dostupné z: http://www.rescompass.org/IMG/pdf/Geotermalni_energie.pdf. Staženo 11.2.2011.

ŠPONAR P., 2008: Geotermální vrty. Státní báňská správa, ČR. Dostupné z: www.cbubss.cz/docs/jine05.doc. Staženo: 13.12.2010.

TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, 2006: Tepelná čerpadla na vysoké škole báňské – Technické univerzitě Ostrava. Online. Dostupné z: http://www1.vsb.cz/ke/tepelna_cerpadla/. Staženo 12.3.2011.

TENZER H., SCHANZ U., STANG H., BAISCH S., WEIDLER R., 2004: Potential for geothermal power production from deep hot crystalline rock at Bad Urach (Southern Germany). Online. Dostupné z: <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=19065275>. Staženo 14.3.2011.

TRS M., 2010: Plošný zemní kolektor jako součást tepelného čerpadla. *Energie* 21 / 1, 24–27.

TYM A.: Emailová korespondence s Antonínem Tymem, odborným pracovníkem elektrárny v Litoměřicích. Praha, únor-duben 2011.

VOZÁB J., BLAŽEK J., VLASÁK T., CASNK P., ŽÍŽALOVÁ P., ADÁMEK P., LICHTENBERK L., FORMAN P., RAZIMA V., 2010: Analýza věcných priorit a potřeb jednotlivých oblastí v působnosti MPO pro zaměření podpory ze strukturálních fondů EU v příštím programovacím období (2014+), Závěrečná zpráva – část I. Bergman Group, Praha. Dostupné z:
<download.mpo.cz/get/43014/48164/571634/priloha001.pdf>. Staženo: 05.2.2011.

WALLROTH T., 1999: Hot Dry Rock Research Experiments at Fjällbacka, Sweden. Dostupné z:
<http://www.sciencedirect.com/infodroje.czu.cz/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6VCN-3X94HKX-D&_user=2930208&_coverDate=08%2F10%2F1999&_alid=1728259133&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_origin=search&_zone=rslt_list_item&_cdi=5959&_sort=r&_st=13&_docanchor=&view=c&_ct=12&_acct=C000059211&_version=1&_urlVersion=0&_userid=2930208&md5=292a8c97253eda198edb846ee84f0791&searchtype=a>. Staženo 10.4.2011.